

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE HIDROLISADO DE COURO E  
RESÍDUO DE RECURTIMENTO**

**Vanessa Martins**  
(Dissertação de Mestrado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE HIDROLISADO DE COURO E  
RESÍDUO DE RECURTIMENTO**

VANESSA MARTINS  
Química (UFLA)

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de  
Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Dezembro, 2009

Vanessa Martins  
Química – UFLA

## **DISSERTAÇÃO**

Submetida como parte dos requisitos  
para a obtenção do Grau de

## **MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO**

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em:  
Pela Banca Examinadora

Homologado em:  
por

CLESIO GIANELLO  
Professor Orientador  
PPG - Ciência do Solo

FLAVIO ANASTACIO DE  
OLIVEIRA CAMARGO  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do  
Solo

CLAUDIO HENRIQUE KRAY  
CEFET-Bento Gonçalves RS

CARLOS ALBERTO BISSANI  
PPG-Ciência do Solo

MARINO JOSÉ TEDESCO  
PPG-Ciência do Solo

PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me guiar e capacitar a alcançar mais este alvo, por sempre estar ao meu lado.

À Universidade Federal de Rio Grande do Sul, pela oportunidade de estudo, a todos seus professores, pelo conhecimento transmitido durante o trabalho, e ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao professor Clesio Gianello pela orientação e ao professor Marino José Tedesco pela paciência, orientação e convivência no decorrer do trabalho.

Ao Laboratório de Solos da UFRGS, e todos os funcionários, em especial a Taís, Élio e Analú.

Aos colegas do PPG Ciência do Solo, e principalmente aos grandes amigos que conquistei ao longo desta jornada, Tia Graci, Dani e Vivi, obrigada pela amizade e companheirismo sempre.

À minha família, meus pais, José Reis e Vânia, pelo exemplo de vida e apoio incondicional, aos meus irmãos Tiago e André pelo carinho, ao Eric pelos bons momentos juntos e em especial à nossa filha Laura, que é a minha fonte de alegria sempre.

E a todos que contribuíram direto ou indiretamente, por esta conquista, muito obrigada.

Dedicada aos meu pais José Reis e  
Vânia e à minha filha Laura,  
por toda força e amor...

# EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE HIDROLISADO DE COURO E RESÍDUO DE RECURTIMENTO<sup>1/</sup>

Autor: Vanessa Martins  
Orientador: Prof. Clesio Gianello

## RESUMO

O processamento de peles gera uma grande quantidade de resíduos, com possibilidade de contaminação ambiental, caso não sejam adequadamente tratados. A utilização dos mesmos na agricultura poderia ser uma forma viável de ciclagem no ambiente. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de estudar a possibilidade de suprimento de N para as culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) pelas aplicações de hidrolisado de cromo (HC) e de resíduo de recurtimento de peles (RRc), aplicados na semeadura, em comparação com a aplicação de adubos nitrogenados solúveis ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e uréia); a absorção de Cr pelas plantas foi também avaliada. Foram utilizados dois argissolos (PVd) em vasos de 12 L de capacidade, a céu aberto, com as adições de 50, 100, 200 e 400 mg de HC  $\text{kg}^{-1}$  e de 200 mg de RRc  $\text{kg}^{-1}$  de solo, com e sem correção da acidez. O efeito residual da adição destes resíduos foi estudado na cultura do rabanete (*Raphanus sativus*). O suprimento de N às plantas de feijoeiro pela adição do HC em quantidades recomendadas (50 a 100 kg de N total  $\text{ha}^{-1}$ ) apresentou efeito semelhante à adição de fertilizante solúvel sobre o rendimento das plantas e na absorção de N; o maior teor deste nutriente foi determinado em folhas e o menor em grãos. O efeito residual destes resíduos na cultura do rabanete foi equivalente à aplicação inicial de meia dose, tanto no rendimento como nos teores de N nas diferentes partes das plantas. Os teores de Cr nas plantas situaram-se na faixa adequada para consumo, tanto nos grãos e na parte aérea do feijoeiro, como nas folhas e raízes do rabante, os quais apresentaram maior concentração desse metal na camada externa dos raízes. Não foi detectado Cr(VI) no solo, em qualquer dos tratamentos com as adições dos resíduos.

<sup>1/</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (113) Dezembro, 2009.

# HIDROLIZED LEATHER AND HIDE'S RE-TANNING RESIDUE EFFECTS ON PLANTS AND SOIL<sup>1/</sup>

Author: Vanessa Martins  
Adviser: Prof. Clesio Gianello

## ABSTRACT

The hide's tanning activity generates a big amount of residues, which can be a potential environmental risk if not properly cased for. Agricultural use can be a safe means of cycling these residues. In order to study the hidrolizes leather (HC) and the hide's re-tanning residues (RRc) potential as N source for black beans (*Phaseolus vulgaris*) compared to soluble N fertilizers (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> an urea), a pot (12L) experimental was conducted in an open area, using two low fertility soils (Hapludult) with and without liwing. The HC was added at the rate of 50, 100, 200 and 400 mg total N kg<sup>-1</sup>, and the RRc at the rate of 200 mg kg<sup>-1</sup>. Residual effects of the residues' applications were studied with radish (*Raphanus sativus*). N supplied to the beans by the HC applied at the recommend rate (50 to 100 mg kg<sup>-1</sup>) showed the rame effectes as the soluble N source on plant's yeld and N content, which was lower in the than in the leaves. The HC residual effect was equivalent to half the amount applied to the first crop, either in yeld as in the N content. Plant's Cr contens were in the range adequate for consuption, either in the grains as the beans plant tops. The same was observed of the radish; in this Cr content was higher the bulb's outer layer. Cr(VI) in soil was not defected in any of the treatments.

<sup>1/</sup> MSC Dissertation in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (113) December, 2009.

## SUMÁRIO

	<b>PÁGINA</b>
RELAÇÃO DE TABELAS.....	VIII
RELAÇÃO DE FIGURAS.....	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Aspectos gerais.....	4
2.2. Resíduos gerados no processo de curtimento.....	6
2.3. Destinação dos resíduos sólidos e algumas alternativas para seu aproveitamento.....	6
2.4. Tratamento dos resíduos.....	8
2.5. Uso de rejeitos como fertilizantes na agricultura.....	9
2.6. O processo de obtenção do fertilizante hidrolisado de couro.....	11
2.7. Características químicas do hidrolisado de couro.....	12
2.8. A importância do uso de fontes nitrogenadas de liberação lenta.....	13
2.9. Eficiência agronômica de hidrolisado de couro.....	15
2.9.1. Estudos conduzidos na Europa.....	15
2.9.2. Estudos conduzidos no Brasil.....	16
2.10. O cromo e suas formas.....	17
2.10.1. O cromo no solo.....	20
2.10.2. Distribuição de cromo nos solos.....	21
2.10.3. Trabalhos com uso de cromo no solo.....	26
2.11. Cromo nas plantas.....	29
2.11.1. Concentrações de Cr nas plantas e solo.....	30
2.11.2. Germinação de sementes e crescimento das plantas.....	31
2.11.3. Absorção de cromo pelas plantas.....	32
2.11.4. Transporte de cromo nas plantas.....	33
2.11.5. Cromo nas raízes de plantas.....	34
2.11.6. Toxidez de cromo em plantas.....	35
2.11.7. O cromo aplicado ao solo na forma de sais.....	35
2.11.8. O cromo aplicado ao solo na forma de resíduos.....	37



3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	40
3.1. Coleta e caracterização dos solos.....	40
3.2. Resíduos utilizados .....	40
3.3. Tratamentos .....	41
3.4. Instalação do experimento .....	45
3.5. Cultivo do feijoeiro.....	45
3.6. Cultivo do rabanete .....	46
3.7. Análises do tecido vegetal.....	48
3.8. Análises do solo .....	48
3.9. Análise Estatística .....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1 Experimento com feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ).....	50
4.1.1 Rendimento de massa seca total.....	50
4.1.2 Rendimento de grãos de feijoeiro .....	55
4.1.3 Absorção de nitrogênio por plantas de feijoeiro.....	57
4.1.4 Absorção de cromo por plantas de feijoeiro.....	66
4.2 Experimento com rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ).....	70
4.2.1 Rendimento de matéria seca de rabanete .....	70
4.2.2. Absorção de nitrogênio por plantas de rabanete .....	73
4.2.3. Cromo na planta de rabanete .....	80
4.3. Teor de cromo e pH do solo após cultivo do feijão e do rabanete.....	83
5 CONCLUSÕES .....	88
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
7 APÊNDICES .....	105

## RELAÇÃO DE TABELAS

	<b>Página</b>
1. Caracterização química do hidrolisado de couro (em pó e floculado) comercializado na Itália (variação entre seis amostras) .....	13
2. Espécies químicas de cromo presentes no ambiente .....	18
3. Concentração de cromo no ambiente .....	19
4. Concentração de cromo em algumas plantas cultivadas em solos com alto ou baixo Cr natural.....	30
5. Concentração de cromo em plantas comestíveis cultivadas em solos não contaminados .....	31
6. Caracterização físico-química dos solos utilizados no experimento .....	41
7. Caracterização físico-química do hidrolisado de couro (HC) e do resíduo de recurtimento de couros (RRc).....	42
8. Tratamentos e quantidades de insumos adicionados no solo PVd-1 (u.m. Bom Retiro), antes do cultivo do feijoeiro .....	43
9. Tratamento e quantidades de adubos/resíduos adicionados no solo PVd-2 (u.m. São Jerônimo), antes do cultivo do feijoeiro.....	44
10. Quantidades de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O minerais e N orgânico, adicionadas na cultura do rabanete (kg ha <sup>-1</sup> ) nas repetições com reaplicação dos resíduos.....	47
11. Rendimento de massa seca total <sup>1</sup> de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro em diferentes doses e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições) .....	51
12. Rendimento de massa seca de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), aos 56 dias após a emergência, em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro em diferentes doses e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições).....	53
13. Rendimento de massa seca na colheita <sup>1</sup> de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições) .....	54
14. Rendimento de grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante	

mineral e hidrolisado de couro aplicados em dose agronômica (média de 3 repetições).....	56
<b>15.</b> Rendimento de grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições).....	57
<b>16.</b> Nitrogênio acumulado em folhas de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 3 repetições) .....	58
<b>17.</b> Nitrogênio acumulado em folhas de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com N mineral, hidrolisado de couro com e sem N mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições).....	59
<b>18.</b> Nitrogênio acumulado em ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 4 repetições) .....	60
<b>19.</b> Nitrogênio acumulado em ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com adição de N mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições) .....	61
<b>20.</b> Nitrogênio acumulado, da semeadura à colheita, nas folhas de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 3 repetições).....	62
<b>21.</b> Nitrogênio acumulado, da semeadura à colheita, nas folhas de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com adição de N mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições).....	63
<b>22.</b> Nitrogênio acumulado da semeadura à colheita nos ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 3 repetições).....	64
<b>23.</b> Nitrogênio acumulado nos ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com adição de N mineral, e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições.....	64
<b>24.</b> Nitrogênio acumulado nos grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 3 repetições).....	66

<b>25.</b> Nitrogênio acumulado nos grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com aplicação de N mineral e resíduo de recurtimento de couro.(média de 3 repetições).....	67
<b>26.</b> Teor de cromo em folhas e ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), após 56 da emergência das plântula, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições).....	68
<b>27.</b> Teor de cromo em folhas, ramos e grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições) .....	69
<b>28.</b> Rendimento de massa seca de folhas de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante hidrolisado de couro <sup>1</sup> e resíduo de recurtimento de couro (efeitos imediato e residual) (média de 2 repetições).....	71
<b>29.</b> Rendimento de massa seca de raízes de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições).....	72
<b>30.</b> Nitrogênio acumulado nas folhas de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) (miligramas por vaso) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) da aplicação de fertilizante hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 2 repetições).....	75
<b>31.</b> Nitrogênio acumulado nas folhas de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) de hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições) .....	76
<b>32.</b> Nitrogênio acumulado nas raízes de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 2 repetições) .....	78
<b>33.</b> Nitrogênio acumulado nos raízes de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) (miligramas por vaso) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) de hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições) .....	79
<b>34.</b> Teor de cromo em folha, raiz e casca de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos sem correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante	

hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições).....	81
<b>35.</b> Teor de cromo em folha, raiz e casca de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com correção da acidez e efeito residual e imediato <sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições).....	82
<b>36.</b> Valores de pH em dois tipos de solos sem e com correção de acidez com aplicação de fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro, após o cultivo de feijoeiro (1ª coleta) e após o cultivo do rabanete em efeito residual (2ª coleta residual) e imediato (2ª coleta ½ dose) (média de 2 repetições).....	84
<b>37.</b> Teor de Cr(III) em dois tipos de solos sem e com correção de acidez com aplicação de fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro, após o cultivo de feijoeiro (1ª coleta) e após o cultivo do rabanete em efeito residual (2ª coleta residual) e imediato (2ª coleta ½ dose) (média de 2 repetições).....	86

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Rendimento de grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos, com e sem correção da acidez, e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N. ....	55
2. Nitrogênio acumulado nas folhas de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), no período de 56 dias, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N. ....	57
3. Nitrogênio acumulado nos ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), em 56 dias após a emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N. ....	60
4. Nitrogênio acumulado nas folhas de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), da semeadura à colheita, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N. ....	61
5. Nitrogênio acumulado, da semeadura à colheita, nos ramos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N. ....	63
6. Nitrogênio acumulado em grãos de feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N. ....	65
7. Nitrogênio acumulado nas folhas de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e doses crescentes de nitrogênio, utilizando como fonte de N fertilizante hidrolisado de couro em efeito residual e imediato (meia dose) (média de 2 repetições). ....	74
8. Nitrogênio acumulado em raízes de rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> ) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e doses crescentes de nitrogênio, utilizando como fonte fertilizante hidrolisado de couro em efeito residual e imediato (meia dose) (média de 2 repetições). ....	77

## 1 INTRODUÇÃO

A estocagem de resíduos industriais em aterros sanitários, técnica frequentemente utilizada, não é necessariamente a melhor alternativa de proteção do ambiente. Atualmente, incentiva-se o uso de resíduos como matéria prima na elaboração de produtos que possam ser reutilizados na cadeia produtiva. Em algumas atividades industriais, são gerados resíduos orgânicos que apresentam alto potencial de utilização como fonte de nutrientes para as plantas. Alguns destes, entretanto, podem conter elementos não essenciais ou mesmos tóxicos para as plantas ou prejudiciais ao ambiente.

A indústria coureiro-calçadista gera uma grande quantidade de resíduos. Parte destes contém o elemento cromo na forma trivalente (CrIII). A alternativa de uso destes resíduos no solo diretamente ou pela elaboração de fertilizantes, embora benéfica às plantas e ao ambiente, é bastante controvertida. Os países da Comunidade Económica Europeia e os Estados Unidos não adotam restrições à utilização desse material como fertilizante. No Brasil, esse resíduo não pode ainda ser utilizado como fertilizante, devido à matéria prima utilizada para sua elaboração (aparas e serragem de couro) ser enquadrada na Classe I (resíduo perigoso), devendo, portanto, ser disposta em aterros para resíduos perigosos (ARIP's).

Tendo em vista a geração de grande quantidade de resíduos pelas indústrias de couro e o risco de contaminação ambiental pelo confinamento em pequenas áreas, uma alternativa promissora como tratamento final destes resíduos é a sua utilização agrícola. Os diferentes processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no solo possibilitam a decomposição de compostos orgânicos e ciclagem de nutrientes pelas plantas.

O uso de insumos, em especial fertilizantes nitrogenados, tem propiciado altos rendimentos das culturas, principalmente de milho e de arroz,

no estado do Rio Grande do Sul. No caso do nitrogênio, devido à possibilidade de perdas tanto para a atmosfera quando por lixiviação no solo, o manejo é um fator muito importante na eficiência agronômica deste insumo. A alternativa mais usada para aumentar a eficiência agronômica e diminuir as perdas de nitrogênio é a aplicação parcelada durante o ciclo da cultura ou, então, o uso de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta. Neste grupo, incluem-se os resíduos naturais, como os dejetos de animais e restos vegetais; estes, entretanto, apresentam baixos teores de nitrogênio, o que requer a aplicação de grandes quantidades para atender às necessidades das plantas. No entanto, alguns resíduos industriais, cujo teor de nitrogênio é mais alto, podem ser utilizados como fonte deste nutriente. Neste grupo estão as peles de animais; porém, o couro curtido ao cromo é de difícil degradação no solo, principalmente após seu curtimento, necessitando assim de um pré tratamento.

A hidrólise da proteína (por processo térmico ou enzimático) contida nas peles curtidas de animais possibilita a utilização desse material como fonte de nutrientes para as plantas. Além disso, sob o aspecto ambiental, seria possível resolver o problema crônico da disposição dos resíduos de couro (aparas, serragem de rebaixadeira, etc). Embora seja um material com alto teor de carbono e de nitrogênio de fácil degradação, a proteína hidrolisada contém cromo Cr(III). Nesta forma, esse metal não é tóxico aos vegetais, sendo um elemento essencial para os mamíferos. Contudo, na forma hexavalente, e em altas dosagens, o cromo é muito tóxico. A forma Cr(VI) é praticamente inexistente no fertilizante hidrolisado de couro, mas a presença de Cr(III) no ambiente sempre é motivo de preocupação pela possibilidade de sua oxidação à forma hexavalente. Praticamente todos os estudos feitos com o objetivo de avaliar o efeito dos fatores de solo na transformação de Cr(III) para Cr(VI) evidenciaram que, em condições normais de pH (4,0-8,0) e de quantidades aplicadas (doses de até 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de Cr(III) ligado a material orgânico), não há risco de contaminação ambiental. Assim, a disposição no ambiente, para fins agrícolas, de hidrolisado de couro, de um lado elimina uma parcela significativa de poluição ambiental, e de outro, contribui com matéria orgânica e nutrientes (principalmente nitrogênio) para as plantas.

Visando à utilização racional dos resíduos do processamento de couros e a proporcionar alternativas de adubação nitrogenada, foi proposto o presente



estudo, com os objetivos de: a) avaliar a eficiência agronômica do suprimento de nitrogênio para as culturas por fertilizante hidrolisado de couro; b) quantificar a absorção de cromo pelas plantas, bem como sua translocação para as partes utilizadas na alimentação; e, c) avaliar a possibilidade de contaminação do solo pela adubação com fertilizante elaborado à base de hidrolisado de couro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos gerais

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, sendo o quinto maior produtor de couros bovinos, suplantado apenas por EUA, Rússia, Índia e Argentina, com produção aproximada de 33 milhões de couros, representando 10 a 11% da produção mundial (BNDES, 2008). Em 1990, o Brasil passou a ser importante exportador e, em 2004, a produção total do país foi de aproximadamente 36,5 milhões de couros, sendo que 26,3 milhões foram exportados, representando 72,1% da produção (Pacheco, 2005).

O setor coureiro-calçadista é de grande importância na economia brasileira, não só pela quantidade exportada, mas também pela geração de empregos diretos e indiretos (BNDES, 2008). A indústria brasileira de couro é constituída por mais de 700 curtumes (Pacheco, 2005) e a maior concentração situa-se nas regiões Sul e Sudeste, em que o estado do Rio Grande do Sul destaca-se com mais de 200 indústrias instaladas, gerando aproximadamente 14 mil empregos diretos. Pela grande quantidade de curtumes e indústrias, o estado do Rio Grande do Sul processa aproximadamente 14,4 milhões de peles anualmente, o que representa 55% da produção nacional.

A transformação da pele bovina em produtos de couro é feita pelo curtimento. Neste processo, 80% a 95% das fábricas existentes utilizam o cromo como elemento curtidor, o que torna a pele estável, flexível e maleável. Visualmente, o couro curtido ao cromo tem um aspecto umedecido, de cor azul, denominado "*wet blue*". Após o curtimento, as peles são aparadas para uniformizar a espessura e cortadas conforme o padrão adotado por cada curtume. Porém, durante esses processos, é gerado um grande volume de resíduos sólidos, como serragens e aparas de couro.

Por conter cromo, esses materiais são classificados como resíduo perigoso (classe 1) pela norma NBR 10.004, devendo ser estocado em aterros construídos especificamente para resíduos industriais perigosos (ARIP's).

O Brasil, por ser um grande produtor de couros, gera grandes quantidades de resíduos, totalizando aproximadamente  $270 \times 10^3 \text{ t ano}^{-1}$ , os quais podem apresentar elevado potencial poluidor (Tedesco e Gianello, 1997).

O aumento do rigor das legislações ambientais, os acordos internacionais de proteção ao meio ambiente e a demanda crescente por certificações ambientais indicam a crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável.

Nas últimas décadas do século XX, o descarte ambientalmente correto dos resíduos têm sido a preocupação da cadeia produtiva do couro, dos órgãos governamentais e das Instituições de Pesquisa (Ruppenthal, 2001). A utilização dos resíduos de couro diretamente em solo agrícola apresenta restrições (Gutterres, 1996) e o uso de aterros controlados é uma medida provisória, até que surjam melhores alternativas. Rodrigues et al. (1993) propuseram a quantidade máxima de  $1.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de cromo que poderia ser aplicada no solo por resíduos de curtume, em áreas experimentais ou sob monitoramento. Esta sugestão está sendo aceita pela Fundação de Proteção Ambiental Henrique L. Roessler (FEPAM), do estado do Rio Grande do Sul.

A literatura científica nacional e internacional tem demonstrado que o cromo, quando adicionado ao solo em quantidades agronômicas por resíduos orgânicos oriundos do processo de industrialização de peles de animais, não causa danos às plantas, ao solo ou à água. Pelo alto custo dos fertilizantes comerciais, principalmente nitrogenados, o uso dos resíduos orgânicos na agricultura torna-se uma alternativa viável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental (Costa et al., 2004).

Uma alternativa proposta para o tratamento dos resíduos sólidos de couro é a hidrólise térmica ou enzimática, obtendo-se um fertilizante orgânico. A utilização deste no solo apresenta liberação lenta do nitrogênio disponível, de modo a reduzir as perdas e a garantir o suprimento de N para as culturas em quantidade adequada durante todo o ciclo vegetativo (Benedetti, 1983).

## **2.2. Resíduos gerados no processo de curtimento**

O termo resíduo é definido por Mulholland e Dyer (1999) como um produto não desejado em um processo, que em grande parte não apresenta valor agregado. Conforme já exposto em relatórios feitos pela FEPAM sobre geração de resíduos sólidos no estado do RS, o setor do couro é o maior gerador de resíduos perigosos, em massa, dentre os setores pela mesma inventariados.

O método de curtimento de peles mais empregado mundialmente é o que utiliza sais de cromo, devido à sua versatilidade, eficiência e custos relativamente baixos, mas gera resíduos contendo cromo. Os resíduos sólidos de indústria de curtumes podem ser divididos em três grupos: a) resíduos não curtidos (aparas caleadas e não caleadas e carnaças); b) resíduos curtidos (aparas curtidas ao cromo, farelo da rebaixadeira, pó da lixadeira/desempoadadeira e aparas de couro acabado); e, c) lodo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Uma tonelada de pele úmida salgada apresenta um rendimento de 200 kg de couro acabado e aproximadamente 250 kg de resíduos sólidos curtidos e 350 kg de resíduos não curtidos, sendo que 200 kg são contidos nos resíduos líquidos (Alexander et al., 1992).

Embora os curtumes sejam economicamente importantes, este tipo de indústria é tido como um consumidor de recursos e um produtor de poluentes. Gera, entretanto, produtos essenciais para a sociedade, como calçados, bolsas, produtos têxteis, acessórios de automóveis, mobiliário de casas e muitos outros, dos quais esta mesma sociedade nem de longe pensa em se desfazer.

## **2.3. Destinação dos resíduos sólidos e algumas alternativas para seu aproveitamento**

Atualmente, a principal destinação dos resíduos de curtumes ao cromo é o aterro industrial, que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, (ARIP's).

Em alguns casos, a utilização de resíduos no solo pode ser recomendada pelo valor corretivo e fertilizante que apresentam, bem como pela capacidade da macro e microbiota do solo em decompor os materiais orgânicos presentes. Para esta utilização, é necessário, entretanto, estudar as alterações nas propriedades do solo e a resposta das plantas para avaliar o potencial fertilizante dos resíduos e a possível contaminação do ambiente por metais pesados (Ferreira et al., 2003).

Daudt et al. (2007) demonstraram a possibilidade do cultivo de plantas ornamentais de jardim em substratos contendo serragem de rebaixamento de couro. Neste estudo, foi observado que a adição do resíduo reduziu a densidade do solo, aumentou a porosidade e a quantidade de água retida nas misturas, proporcionando boas condições físicas para o desenvolvimento das mudas de *Tagetes patula* L. (Aurora) até a fração volumétrica de 50% nas misturas.

Outra alternativa tecnicamente viável para a utilização de resíduos sólidos de curtumes é a codisposição com resíduos sólidos urbanos, em recuperação de áreas degradadas, aproveitando a capacidade dos resíduos urbanos de complexar metais pesados presentes nos resíduos sólidos industriais (Pohland e Gold, 1986).

Spier e Westhauser (1994), estudando a possibilidade de confeccionar materiais alternativos utilizando resíduos de couro, observaram que o couro pode substituir fibras de amianto e celulose na obtenção de compostos para plaquetas de freio. Outra forma de utilização do resíduo é como couro regenerado (uma mistura dos resíduos da operação de rebaixamento e de retalhos provenientes da indústria de calçados e artefatos), utilizado na fabricação de palmilhas, contrafortes pré-conformados e em artigos de couro como reforço em forro (Comte, 1982).

O resíduo sólido do curtume pode ser também utilizado como adsorvente de outros contaminantes. Oliveira et al. (2007) estudaram a alternativa de eliminar o efeito contaminante no ambiente e de promover o uso lucrativo do resíduo de couro “wet blue” e do colágeno (material remanescente após a retirada do cromo), tendo observado que os resíduos adsorveram corantes orgânicos, sendo eficientes na remoção do corante aniônico vermelho reativo, apresentando capacidade máxima de adsorção de 163 mg de corante

$\text{g}^{-1}$  de couro; porém, o mesmo não ocorreu com o corante azul de metileno (3 mg de corante  $\text{g}^{-1}$  de couro).

Fathima et al. (2005) mostraram que o rejeito de couro “wet blue”, após tratamento com cloreto férrico, foi eficaz na adsorção de cromo hexavalente (51 mg de cromo  $\text{g}^{-1}$  de material). É importante ressaltar que, após a adsorção dos contaminantes, o couro contendo os poluentes pode ser pirolisado para a produção de carvão ativado, como relatado por Oliveira et al. (2004).

Cabeza et al. (1998) relataram que, entre 1969 e 1988, investigadores de todo o mundo publicaram e patentearam métodos de hidrólise de resíduos de couro para recuperar aminoácidos e peptídeos para uso em rações e adubos.

#### **2.4. Tratamento dos resíduos**

Os processos de tratamento de resíduos dependem das características físicas e químicas dos resíduos, bem como das condições externas do local, solo e água para a aplicação da técnica. O tratamento pode ser definido como qualquer processo em que haja alteração nas características físicas, químicas ou biológicas de um resíduo, tornando-o menos perigoso ao meio ambiente. Um tratamento pode neutralizar o resíduo, reciclá-lo e até recuperá-lo (USEPA, 1984), permitindo que o processo seja sustentável. No caso do resíduo de couro, o cromo pode, por exemplo, voltar à cadeia produtiva do couro (agente curtente) e o colágeno ser utilizado como fonte de nitrogênio na agricultura.

Vlyssides e Israilides (1997) estudaram um sistema de remoção do cromo de efluente de curtume, baseado em célula eletrolítica. Este tratamento consistiu da degradação da matéria orgânica em um sistema de eletrólise. O cromo é encontrado nesse processo nas formas  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO})_3$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Nos trinta minutos iniciais da eletrólise, o cromo pode sedimentar como  $\text{Cr}_2(\text{SO})_3$ , devido à oxidação do sulfeto, mas após uma hora o cromo aparece oxidado e convertido em hexavalente, solúvel em água. Este estudo mostrou que a remoção do cromo do efluente de curtume por sedimentação pode ser eficiente nos primeiros 30 minutos de eletrólise.

Vieira et al. (2001) estudaram a remoção de cromo em efluente de curtume por um sistema de ultra filtração por membranas. De acordo com os autores, o processo mostrou-se eficiente na remoção do metal, podendo ser tratado e reutilizado.

Para o tratamento dos rejeitos de couro “wet blue” na forma de serragem, Oliveira et al. (2007) estudaram os processos de hidrólise ácida (com  $H_3PO_4$ ) e básica (com NaOH), variando parâmetros como tempo (1, 2 e 3 horas) e temperatura (25, 40, 50, 60, 70 e 80°C). O método da hidrólise ácida foi o mais eficiente, apresentando remoção de 99,6% de cromo, passando de 27.150 mg kg<sup>-1</sup> no couro “wet blue” para 84,7 mg kg<sup>-1</sup> no colágeno. O melhor reagente para a extração de cromo dos rejeitos de couro “wet blue” foi o ácido fosfórico, após duas horas de reação a 70° C e relação estequiométrica Cr:H<sup>+</sup> de 1:1 (Oliveira et al., 2007).

## **2.5. Uso de rejeitos como fertilizantes na agricultura**

A quantidade de resíduos orgânicos gerados, principalmente por atividades industriais, é cada vez maior e o uso agrônômico dos mesmos como fonte de nutrientes às plantas e/ou como condicionadores dos solos tem se constituído em alternativa viável na preservação da qualidade ambiental (Melo e Marques, 2000).

Souza et al. (2006), estudando os efeitos da aplicação de lodo de curtume sobre a condutividade elétrica (CE) e a correção de acidez do solo, observaram que: a) a quantidade de lodo de curtume aplicado em quantidade igual à de carbonato de cálcio não foi eficiente na neutralização da acidez do solo, nem tão pouco aumentou a condutividade elétrica; b) o pH do solo aumentou quando aplicado lodo de curtume em quantidades dez e vinte vezes maiores que a do carbonato de cálcio; e, c) a quantidade de lodo de curtume dez vezes maior (13,8 t ha<sup>-1</sup>) que a de carbonato de cálcio recomendada para neutralizar a acidez do solo pode ser mais adequada que a de vinte vezes (27,6 t ha<sup>-1</sup>), pois neutraliza a acidez sem elevar excessivamente a CE do solo.

Ferreira et al. 2003, em trabalho de campo com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de lodo gerado por estações de tratamento de resíduos de curtume, de serragem cromada de couro e de rejeito de mineração de carvão e

determinar alguns atributos químicos e biológicos do solo e o rendimento das culturas soja e milho, observaram que: a) o lodo de curtume reduziu a acidez do solo, aumentando o teor de cálcio trocável; b) o teor de cromo total no solo aumentou com as aplicações de resíduos de curtume e de Cr mineral; c) as concentrações dos metais Zn e Cu totais no solo não foram afetadas pela aplicação dos resíduos, em relação à testemunha; d) os rendimentos de grãos das culturas de soja e de milho nos tratamentos com a adição de lodo de curtume acrescido de adubação fosfatada e potássica (na forma mineral) foram semelhantes aos obtidos no tratamento com calagem e adubação mineral; e) a adição de serragem cromada, com adubação mineral, não afetou o rendimento de grãos das culturas soja e milho; f) o rendimento de grãos de milho, entretanto, aumentou com a adição de resíduo carbonífero; g) os teores de Cr, Ni, Cd e Zn determinados na parte aérea e nos grãos das culturas não foram influenciados pela adição dos resíduos, em relação à testemunha; e, h) as adições de lodo de curtume e de serragem cromada estimularam a atividade microbiana do solo e não influenciam a população de microrganismos.

Teixeira et al. (2006), em trabalho avaliando o efeito da adição de lodo de curtume sobre a fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) observaram que: a) o lodo de curtume elevou o pH e os teores de matéria orgânica, cálcio e sódio do solo; e, b) houve um incremento no rendimento de matéria seca do caupi com a adição do lodo de curtume, embora, em altas doses, o resíduo tenha diminuído a nodulação do caupi pela estirpe de *Bradyrhizobium sp* inoculada.

Costa et al. (2001) avaliaram os efeitos das adições de lodos de curtume (com cromo e de calcário) sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes pela soja cultivada num Planossolo Hidromórfico eutrófico solódico, tendo observado que: a) o lodo que continha cromo apresentou baixa eficiência na correção da acidez do solo, porém, quando aplicado com calcário, apresentou aumentos nos valores de pH; b) os tratamentos contendo lodo com cromo apresentaram quantidades de N absorvido mais altas em comparação com os tratamentos contendo lodo do calcário; e, c) a salinidade e os teores de sódio aumentaram com a aplicação dos resíduos de curtume.



No Brasil, foram conduzidos poucos trabalhos com a utilização do resíduo sólido de couro “wet blue” (serragem e aparas) na agricultura, uma vez que esse resíduo contém maior teor de cromo (~3% m/m). Entretanto, na Europa, este resíduo é utilizado como fertilizante orgânico após passar por um processo de hidrólise em que é produzido um material (colágeno) mais facilmente biodegradável, podendo ser utilizado como fonte de N na agricultura.

A utilização de rejeitos da indústria do couro “wet blue” como fonte de N para as plantas tem o objetivo de proporcionar menor utilização de fertilizantes convencionais e menor acúmulo de resíduos em aterros sanitários. Dentre os nutrientes essenciais para as plantas, destaca-se o nitrogênio, presente nas proteínas da pele.

Em relação a alguns fertilizantes comerciais disponíveis no mercado, o teor de N contido no rejeito de peles após o tratamento (11 a 13%) não é tão alto quanto o da uréia (45%), mas próximo ao do sulfato de amônio (20%), indicando grande potencial de utilização e aproveitamento agrícola. Esse potencial também pode ser observado ao comparar o teor de N do colágeno (14%) ao teor de N presente em fertilizantes orgânicos, como esterco de aves (2,8%), esterco bovino (1,6%) e resíduo de gelatina (3%) (Lisboa, 2004).

Assim, estudos sobre a caracterização dos rejeitos da indústria do couro, bem como sobre a viabilidade do uso desses resíduos como fonte alternativa de N para as plantas, são de grande interesse para a exploração agrícola. Além disso, a avaliação do efeito residual da adubação é fundamental para o manejo da fertilidade do solo na produção de culturas anuais. Como são escassas as informações sobre o efeito residual de rejeitos provenientes da indústria do couro, há necessidade de estudar esses efeitos sobre o sistema solo-planta, com a finalidade de racionalizar o uso desses insumos.

## **2.6. O processo de obtenção do fertilizante hidrolisado de couro**

O processo utilizado é de domínio público e se baseia na hidrólise do resíduo de couro curtido (serragem de rebaixadeira e aparas/tiras) em altas temperaturas (160 a 165°C) e pressão (500 a 600 mil Pa) em autoclave. Após a colocação do material na autoclave, a mesma é hermeticamente fechada com a introdução de vapor d'água pressurizado; por esse processo, ocorre a

desnaturação das moléculas orgânicas sem a adição de enzimas hidrolíticas ou de catalisadores. Durante o processo, a temperatura e a pressão são aumentadas de modo gradual e constante até atingir 160-165°C e 500-600 mil Pa de pressão atmosférica. Após atingir esses valores, o material permanece por um tempo adicional (10 a 15 min) à temperatura de 130°C e 3 bares de pressão atmosférica. Isso garante a completa esterilização do produto. Quando a hidrólise está completa (o ciclo dura aproximadamente 2 horas), o material é removido da autoclave. O produto resultante é uma massa gelatinosa, que é desidratada à temperatura de 105°C até atingir 12% de umidade. Após a secagem, o produto é passado em peneiras para a retirada de impurezas (material não hidrolisável). O produto é posteriormente separado em pó (menor que 3 mm de diâmetro) ou floculado (3 a 5 mm de diâmetro). A fração pó é utilizada principalmente na fabricação de fertilizante organo-mineral e a fração floculada é usada diretamente na agricultura como fonte de liberação lenta de nitrogênio (Ciavatta e Gessa, 1997).

### **2.7. Características químicas do hidrolisado de couro**

Os fertilizantes obtidos por hidrólise do couro caracterizam-se por conter altos teores de carbono (38 a 44% de C) e nitrogênio (10 a 13% de N). A Tabela 1 mostra a variação nos parâmetros físico-químicos de seis amostras obtidas no comércio italiano de fertilizantes (Ciavatta e Gessa, 1997). Além desses elementos, o hidrolisado de couro contém outros nutrientes de plantas, como fósforo (0,04 a 0,3% de  $P_2O_5$ ), potássio (0,03 a 0,06% de  $K_2O$ ), cálcio (0,7 a 2,5% de CaO), magnésio (0,25 a 0,37 de MgO%) e enxofre (4,8 a 5,5% de  $SO_3$ ) (Ciavatta et al., 1989; Benedetti e Ciavatta, 1996). À exceção do Cr, os teores de metais pesados são inferiores aos limites especificados na Instrução Normativa Nº 27 de 05 de junho de 2006. No entanto, por utilizar matéria prima oriunda do resíduo de acabamento do couro (curtimento ao cromo) esse fertilizante apresenta concentração de cromo trivalente entre 0,9 e 3% e quantidades menores que  $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$  de cromo hexavalente.

**Tabela 1.** Caracterização química do hidrolisado de couro (em pó e floculado) comercializado na Itália (variação entre seis amostras)

Determinação (unidade)	Pó	Floculado
pH em água	3,5 – 4,9	3,6 – 4,7
Teor de cinzas (g kg <sup>-1</sup> )	97 – 110	91 – 117
Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	385 – 498	382 – 473
Nitrogênio orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	94 – 132	88 – 123
Ferro total (g kg <sup>-1</sup> )	1,1 – 3,2	0,1 – 2,8
Manganês total (mg kg <sup>-1</sup> )	13 – 43	12 – 30
Cobre total (mg kg <sup>-1</sup> )	17 – 77	22 – 39
Zinco total (mg kg <sup>-1</sup> )	22 – 65	35 – 63
Níquel total (mg kg <sup>-1</sup> )	5 – 14	6 – 14
Chumbo total (mg kg <sup>-1</sup> )	6 – 39	4 – 39
Cádmio total (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,5	< 0,5

Ciavatta et al. 1989.

## 2.8. A importância do uso de fontes nitrogenadas de liberação lenta

Os fertilizantes são necessários para aumentar a produção de alimentos no mundo. O Brasil ocupa a quarta colocação entre os maiores consumidores desses insumos, embora com participação de apenas 2% na produção mundial. Considerando-se que aproximadamente 75% dos fertilizantes nitrogenados utilizados no Brasil são importados, torna-se ainda mais necessária a maximização da eficiência de seu uso.

Na avaliação do aproveitamento do N-fertilizante realizada em culturas de interesse econômico como arroz, cana-de-açúcar, feijão, milho, soja, trigo, citros e espécies forrageiras, observou-se que, na maioria das pesquisas, independentemente da cultura, o aproveitamento é de 50% ou menos, permanecendo no solo para efeito residual, 30% ou menos do N-fertilizante.

A baixa eficiência dos adubos nitrogenados pode ser devida à:

- a) volatilização de NH<sub>3</sub>, especialmente de fontes amídico-amoniacais;
- b) lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para camadas sub-superficiais do solo; e
- c) desnitrificação, que pode ocorrer em solos com drenagem deficiente ou em sistemas agrícolas (plantio direto e pastagens, por exemplo) em que

há elevada disponibilidade de carbono e anaerobiose, gerando condições favoráveis à redução do nitrato.

Os fertilizantes de liberação lenta são considerados uma alternativa para diminuir as perdas de N que, em geral, são maiores em condições edafoclimáticas tropicais. Esses fertilizantes apresentam baixa solubilidade em água, liberam os nutrientes gradualmente às plantas, por um período determinado, acompanhando a necessidade das plantas, sendo menos suscetíveis às perdas, minimizando, assim, os riscos de poluição ambiental.

A solubilidade dos fertilizantes nitrogenados pode ser controlada pela cobertura dos grânulos com enxofre, ceras ou polímeros (Osmocote, Meister, Nutricote, etc.). Dos citados, vários são comercializados no mundo, mas, devido ao elevado preço (três a dez vezes o custo dos fertilizantes convencionais) são utilizados em nichos de mercado de culturas de alto valor agregado.

Há também os fertilizantes de liberação lenta de origem orgânica, entre eles o hidrolisado de peles, que apresentam as mesmas vantagens dos sintéticos, com outros benefícios. A relação custo/benefício é, em geral, melhor, pois além do suprimento de nutriente(s) às plantas, melhoram a atividade biológica do solo e contribuem para a diminuição da carga poluidora que, via de regra, é mantida concentrada em aterros de resíduos perigosos.

O colágeno, proteína fibrosa com alto peso molecular, é o principal componente de resíduos de couro com liberação de C e N após a hidrólise. O nitrogênio é disponibilizado para as plantas, pela atividade microbiológica. Os benefícios agrônômicos devido à utilização dos resíduos de couro como fertilizante dependem da composição da proteína do couro e da atividade microbiológica do solo (Benedetti et al., 1991). Altas taxas de mineralização de C e N ocorrem normalmente em solos com alta atividade microbiológica. Além disso, como ocorre com qualquer resíduo orgânico, a mineralização pode depender do tamanho das partículas adicionadas ao solo.

Abate et al. (2003), em estudo para avaliar a mineralização de C e do N de três hidrolisados de couro com diferentes granulometrias, em dois solos com atividades microbiológicas diferentes, observaram que a mineralização de C e de N do fertilizante foi maior no solo com a maior atividade microbiológica e quando foi adicionado o fertilizante em pó.

A otimização do uso do fertilizante nitrogenado orgânico para as plantas deve ser feita visando à liberação lenta do N disponível, de modo a reduzir significativamente a perda de N e garantir a colheita com um fornecimento adequado de N durante todo o ciclo vegetativo (Benedetti, 1983).

## **2.9. Eficiência agrônômica de hidrolisado de couro**

### **2.9.1. Estudos conduzidos na Europa**

A utilização de proteína hidrolisada de couro na agricultura foi bastante estudada nas décadas de 1970 a 1980, principalmente na Itália, devido à grande produção de artigos de couros e, conseqüentemente, a grande quantidade de resíduos gerados. Um desses estudos foi conduzido pelo Instituto de Química Ambiental da Faculdade de Agronomia de Piacenza (Itália). Nesse estudo foram cultivados em seqüência, em dois solos, trigo, arroz e milho, sempre com uma cultura intercalada, com a aplicação de fertilizante mineral e fertilizante orgânico obtido pela hidrólise de couro contendo cromo. O objetivo do estudo foi avaliar a transferência de cromo para as partes comestíveis e a interferência desses na absorção de outros nutrientes e no rendimento das culturas. Os solos em que foram conduzidos os experimentos apresentam pH em água 6,2 e 5,3, argila 10,2 e 3,4%, CTC 20,9 e 15,2  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente para os solos franco e franco-siltoso. Nesse estudo, as doses de fertilizante hidrolisado de couro foram calculadas para atender às necessidades de nitrogênio das culturas, acrescidas das quantidades necessárias de fósforo e potássio. A análise dos dados de rendimento obtidos indica que não foi observada diferença estatística em qualquer dos tratamentos com fertilizante. O teor de N nos grãos de trigo e de arroz adubado com fertilizante hidrolisado não é estatisticamente diferente daquele obtido com o fertilizante mineral (Ciavatta e Gessa 1997).

Em trabalho realizado por Cary et al. (1977) foi observado que a utilização de fertilizante orgânico contendo cromo não afetou o teor desse metal nas partes utilizadas para alimentação animal (no caso grãos) sendo o cromo bloqueado na forma de hidróxido insolúvel no solo e, em parte, nas raízes.

Quando aplicados em taxas agronômicas, os fertilizantes contendo cromo não afetaram a absorção de nutrientes pelas plantas ou o seu rendimento.

### 2.9.2. Estudos conduzidos no Brasil

Os estudos com a aplicação no solo do hidrolisado de couro curtido ao cromo são recentes. A possibilidade de utilização deste material como fonte de adubo nitrogenado de liberação lenta deve ser considerada. Três estudos já foram executados (Ribeiro, 2006; Oliveira et al., 2008; Abichequer et al., 2008).

No trabalho conduzido por Ribeiro (2006), foram utilizados dois hidrolisados de couro, sendo um de origem italiana e outro de origem brasileira e sulfato de amônio como fonte de nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), nas seguintes doses: zero (testemunha), 750 e 1.500 mg de N vaso<sup>-1</sup> (vasos com 3 L de solo). Foram utilizados dois solos, sendo um Latossolo férrico (LF) e um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA). Os teores de N e de Cr no hidrolisado italiano foram de 12,5% e 2,1% respectivamente; e no brasileiro 14,2% e 2,3%. Foi concluído que: a) os dois hidrolisados de couro testados foram eficientes como fontes de nitrogênio para o milho, com índices de eficiência agronômica (IEA) de 79,7% e 78,7% para o italiano e o brasileiro, respectivamente; b) os dois hidrolisados também supriram cálcio e magnésio para as plantas de milho; e, c) o Cr(III) presente nos hidrolisados é disponível para as plantas, concentrando-se principalmente nas raízes, e a sua absorção não interferiu no desenvolvimento da parte aérea das plantas.

Oliveira et al. (2008) utilizaram o hidrolisado de couro após extração de Cr (colágeno), como fonte de adubo nitrogenado para cultivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv. Napier), como primeiro cultivo (em vasos) e para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Talismã, como segundo cultivo (efeito residual), em Latossolo Vermelho-Amarelo, com quatro doses do colágeno, contendo 15% de N (4, 8, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e três tratamentos adicionais (testemunha; adubação com N mineral (300 mg kg<sup>-1</sup>) e resíduo de couro *wet blue* sem a extração do Cr). Os teores de Cr e N do hidrolisado foram de 0,084% e 14,4% respectivamente e de 2,7% e 10,4%, no resíduo "Wet blue". Foi observado que: a) a aplicação do colágeno até a dose de 16 t ha<sup>-1</sup> supriu a necessidade de N para plantas de capim-elefante, semelhantemente à adubação com N mineral; b) o colágeno proporcionou respostas em

produtividade na cultura do feijoeiro (efeito residual), à semelhança da adubação convencional (efeito não residual), apresentando-se como uma boa fonte alternativa de adubo nitrogenado para as plantas; e, c) os teores de Cr mais altos não atingiram a faixa considerada como excessiva ou tóxica em folhas maduras e os teores e acúmulos de Cr nas raízes das plantas foram mais altos que os determinados na parte aérea do capim-elefante.

No trabalho conduzido por Abichequer et al. (2008), foi avaliado o hidrolisado de couro (HC) aplicado na cultura do milho (em vasos), determinando-se o rendimento e a absorção de nutrientes pelas plantas, com determinação dos teores de Cr nos (grãos, raízes e parte aérea, bem como no solo e na água). Foram utilizados um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVa) e um Latossolo Vermelho-Escuro (LVd) e os seguintes tratamentos: T1 = HC em quantidades adequadas para suprir a dose de N recomendada ( $1.132 \text{ kg ha}^{-1}$  de HC no solo LVd) e ( $1.445 \text{ kg ha}^{-1}$  no solo PVa); T2 = metade da dose de HC aplicado no tratamento T1, complementada com uréia; T3 = adubação mineral (uréia como fonte de N) ( $105 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no solo LVa e  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no solo PVa). Os teores de N e de Cr no HC foram de 11,96% e 2,4%, respectivamente. Foi observado que: a) o hidrolisado de couro apresentou eficiência semelhante à da uréia como fonte de N para o milho, com rendimentos de grãos e teores de N nas folhas semelhantes e, no caso do Argissolo Vermelho-Amarelo, também em crescimento das plantas; e, b) os teores de cromo em grãos de milho com a aplicação de  $1.132$  de HC no solo LVa e  $1.445$  no solo PVa em  $\text{kg ha}^{-1}$  foram de 0,3 e 0,9  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, valores considerados normais em plantas.

## 2.10. O cromo e suas formas

O cromo é um metal de transição, de coloração cinza, de grande importância econômica por seus usos industriais. O cromo é empregado em diversas áreas, tais como: na metalurgia; em ligas metálicas; na fabricação de produtos refratários e cerâmicos; na cromagem de metais e na indústria de couro.

Na crosta terrestres o Cr ocorre em quantidades de 0,1 a 0,3  $\text{mg kg}^{-1}$ . O estado trivalente e hexavalente são os mais estáveis, embora existam

compostos com valências de Cr (II), (IV) e (V). As várias espécies químicas de cromo no meio ambiente e as suas ocorrências na natureza são resumidas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Espécies químicas de cromo presentes no ambiente

Espécies químicas	Estado de oxidação	Exemplos	Observações
Cr elementar	Cr (0)		Não ocorre naturalmente.
Cr divalente	Cr (II)	CrBr <sub>2</sub> , CrCl <sub>2</sub> , CrF <sub>2</sub> , CrSe, Cr <sub>2</sub> Si	Relativamente instável e é facilmente oxidado ao estado trivalente.
Cr trivalente	Cr(III)	CrB, CrBr <sub>3</sub> , CrCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O, CrCl <sub>3</sub> , CrF <sub>3</sub> , CrN, KCr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O	Forma compostos estáveis e ocorre na natureza em minérios, tais como ferrochromita (FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ).
Cr tetravalente	Cr (IV)	Dióxido CrO <sub>2</sub> , Tetrafluoreto CrF <sub>4</sub>	Não ocorre naturalmente, mas representa um importante elemento intermediário que influencia na taxa de redução para a forma de Cr(V). Cromo (IV) são compostos menos comuns. O íon Cr (IV) e seus compostos não são muito estáveis e devido à curta meia-vida dificilmente são detectados como intermediários entre Cr(VI) e Cr(III).
Cr pentavalente	Cr (V)	Tetraper-oxocromato CrO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , perchromato de potássio.	Não ocorre naturalmente e representa um importante elemento intermediário que influencia a taxa de redução da forma de Cr(VI). Espécies de Cr(V) são derivadas a partir do CrO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> e tem longa vida o suficiente para ser observado diretamente. No entanto, existem relativamente poucos compostos estáveis contendo Cr(V).
Cr hexavalente	Cr(VI)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , BaCrO <sub>4</sub> , CaCrO <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	O segundo estado mais estável do Cr. No entanto, o Cr(VI) raramente ocorre naturalmente, mas é produzido a partir de fontes antropogênicos. Ocorre naturalmente em um raro mineral crocoite (PbCrO <sub>4</sub> ).

Fonte: Nieboer e Jusys (1988); Syracuse Research Corporation (1993); Katz e Salem (1994).



As formas mais estáveis são encontradas nos estados de oxidação Cr(III) e Cr(VI), e a dinâmica química dessas é muito complexa. O Cr(III) apresenta menor toxicidade, é um elemento necessário para a nutrição humana, sendo essencial para o metabolismo do glicogênio e sua ausência provoca uma intolerância à glicose, e como consequência ocorre o aparecimento de diversos distúrbios como, por exemplo, ansiedade, fadiga e problemas de crescimento; o excesso nos humanos pode causar dermatites, úlcera, problemas renais e de fígado. Por outro lado, os compostos de cromo no estado de Cr(VI) são muito oxidantes e tóxicos para plantas, animais e humanos, provocando irritação na pele e até mesmo câncer (Mertz, 1969).

O cromo é amplamente distribuído em rochas, solos, água doce e água salgada. Os teores de Cr em diferentes amostras no ambiente são dados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Concentração de cromo no ambiente

Tipo de amostra	Concentração	Referência
Solos naturais	5-1.000 mg kg <sup>-1</sup>	Adriano (1986)
	5-3.000 mg kg <sup>-1</sup>	Skeffington et al. (1976)
	5-1.500 mg kg <sup>-1</sup>	Verry e Vermette (1991)
	30-3.00 mg kg <sup>-1</sup>	Katz and Salem (1994)
	Traços até 5,23%	NAS (1974)
Solos serpentiniticos	634-125.000 mg kg <sup>-1</sup>	Adriano (1986)
Solos do mundo	200 mg kg <sup>-1</sup> (média)	Vinogradov (1959)
	100-300 mg kg <sup>-1</sup>	Aubert e Pinta (1977)
	10-150 mg kg <sup>-1</sup> (média 40 mg kg <sup>-1</sup> )	NAS (1974)
Solos dos EUA	25-85 mg kg <sup>-1</sup> (média 37 mg kg <sup>-1</sup> )	Shacklette et al. (1971)
	57 mg kg <sup>-1</sup> (média)	Smith et al. (1989)
Solos do Canadá	10-5.000 mg kg <sup>-1</sup> (média 43 mg kg <sup>-1</sup> )	Pawlisz (1997)
Solos do Japão	87 mg kg <sup>-1</sup> (média)	Smith et al. (1989)
Solos da Suécia	74 mg kg <sup>-1</sup> (média)	Smith et al. (1989)
Sedimentos	0-31.000 mg kg <sup>-1</sup>	Pawlisz (1997)
Água doce	0-117 µg L <sup>-1</sup> (media µg L <sup>-1</sup> )	Pawlisz (1997)
Água do mar	0-0,5 µg L <sup>-1</sup>	Pawlisz (1997)
Ar	1-545.000 ng m <sup>-3</sup>	Pawlisz (1997)
	100 ng m <sup>-3</sup>	USEPA (1983)
Plantas	0,006-18 mg kg <sup>-1</sup>	Pawlisz (1997)
Animais	0,03-1,6 mg kg <sup>-1</sup>	Pawlisz (1997)

Fonte: Zayed e Terry (2003)

A indústria do couro é uma atividade que utiliza Cr(III) em grande quantidade; os produtos finais de couro podem, em alguns casos conter

vestígios de Cr(VI), embora apenas compostos de Cr(III) sejam utilizados no processo de curtimento. Existem alguns fatores que podem provocar a ocorrência de Cr(VI) no processo de curtimento. A presença de gorduras insaturadas, ácidos graxos e óleos após o envelhecimento por raios UV ou tratamento térmico (calor seco de 80°C), podem provocar a oxidação de Cr(III) a Cr(VI). O mesmo pode ocorrer com o armazenamento do couro com gordura e umidade maior que 35% e o uso de colas alcalinas na produção de sapatos.

### 2.10.1. O cromo no solo

O estado de oxidação do cromo pode variar entre +2 a +6, mas apenas os estados (III) e (VI) são estáveis, nas condições do ambiente natural. O Cr hexavalente (CrVI) é conhecido como agente cancerígeno para humanos, sendo móvel no solo, em compostos de cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) ou dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ); o Cr trivalente (CrIII) é comparativamente menos tóxico e relativamente imóvel no solo.

O Cr(III) é encontrado principalmente ligado à matéria orgânica do solo e em ambientes aquáticos (Becquer et al., 2003). A concentração média de cromo total em solos minerais varia, geralmente, entre 5 e 250  $\text{mg kg}^{-1}$  (Mertz, 1969; Silva, 1989), podendo chegar até 5.230  $\text{mg kg}^{-1}$  em alguns solos (Mertz, 1969).

A composição do solo (capacidade de troca de cátions, textura, competição de íons, capacidade de adsorção, etc) e as condições do solo (pH, umidade, temperatura e presença de vegetação) são os principais fatores que afetam o cromo no solo (Zachara et al., 1989; Hanson et al., 1993; James, 1994; Milacic e Stupar, 1995; Chen e Hao, 1996). Cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), bicromato ( $\text{HCrO}_4^-$ ), e dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) são fracamente adsorvidos aos solos sob condição de pH não muito elevado para fracamente ácido, que conduzem à alta mobilidade (Wittbrodt e Palmer, 1995).

No solo, o comportamento do cátion  $\text{Cr}^{+3}$  é similar ao do cátion  $\text{Al}^{+3}$ , podendo substituir o alumínio hexacoordenado em aluminossilicatos, apesar de ter raio atômico maior (0,65 e 0,47 Å, respectivamente) (Cary et al., 1977). O ion  $\text{Cr}^{+3}$  possui maior afinidade pela superfície de troca do que os cátions divalentes, diminuindo a sua adsorção com a adição de fosfatos e com a elevação do pH (Bartlett e Kimble, 1976). O  $\text{Cr}^{+3}$  também pode formar

complexos de esfera interna, com átomos de oxigênio e nitrogênio contidos em ligantes orgânicos (Mertz, 1969).

A espécie  $\text{Cr}^{+3}$  predomina em  $\text{pH} < 3,6$ ; entretanto, a elevação do  $\text{pH}$  do solo favorece a formação de compostos insolúveis, como  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  e também  $\text{Cr}(\text{OH})_4$  em níveis de  $\text{pH}$  maiores que 11,5 (Cary et al., 1977; Silva, 1989; Rai et al., 1989). Devido à sua baixa afinidade por  $\text{O}_2$ , o  $\text{Cr}^{+3}$  forma um grande número de complexos, tanto com ligantes orgânicos quanto inorgânicos (Losi et al., 1994). Entre os ligantes  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ , avaliados em concentrações comuns em ambientes naturais, somente o  $\text{OH}^-$  complexa significativamente o Cr. E a formação de hidróxidos insolúveis é preconizada como reação predominante do Cr(III) no solo, com base nas quantidades de cromo extraídas em análises sequenciais e pelo baixo produto de solubilidade do  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ( $K_{ps} = 2,9 \times 10^{-29}$ ) (Cary et al., 1977; James e Bartlett, 1983a).

O cromo trivalente Cr(III) é a forma mais estável de cromo no solo, sendo que precipita facilmente na forma de hidróxidos, ou se torna imobilizado após a sorção (por exemplo, adsorção e precipitação de superfície) em colóides do solo (Covelo et al. 2007; Flogeac et al., 2007; Palmer e Puls, 1994; Stewart et al. 2003). No entanto, o Cr(VI) é estável na solução do solo e é geralmente muito mais móvel no solo do que o Cr(III); os íons de Cr(VI) nas formas de cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), bicromato ( $\text{HCrO}_4^-$ ), e dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) não são adsorvidos por colóides do solo em condições alcalinas.

### **2.10.2. Distribuição de cromo nos solos**

A distribuição do Cr em sistemas ambientais é controlada por três importantes reações: oxidação-redução, precipitação-dissolução e sorção-dessorção (Saleh et al., 1989).

#### **Oxidação-redução**

As reações de oxidação e redução do Cr no solo e na água são dependentes da presença de oxidantes e redutores (Bartlett e James, 1988). Os principais oxidantes de Cr(III) para Cr(VI) em solos são os óxidos de Mn. Por outro lado, Fe(II) (Buerge e Hug, 1997; Eary e Rai, 1988), matéria orgânica (Wittbrodt e Palmer, 1995) e S reduzido (Patterson et al., 1997) podem reduzir o Cr(VI) para Cr(III).

Reações de oxidação e redução são importantes na localização, no transporte e na toxicidade do cromo e são mais freqüentes em solos do que em águas subterrâneas (Barcelona e Holm, 1991). As reações de oxi-redução do cromo são regidas por muitos fatores, como: aeração, conteúdo de água do solo, umedecimento e secagem, estado de oxidação do ferro e do manganês, atividade microbiana, matéria orgânica, pH, e da disponibilidade de doadores e receptores de elétrons. O umedecimento e secagem do solo podem induzir condições de redução por causa da maior solubilidade e labilidade da matéria orgânica (Bartlett, 1991).

O destino do Cr no solo é parcialmente dependente do potencial redox e do pH do solo. Na maioria dos solos, o Cr está presente predominantemente no estado Cr(III). Sob condições de redução o Cr(VI) será reduzido para Cr(III) em solos por reação redox com soluções aquosa inorgânica, transferência de elétrons na superfície mineral, reações não humificadas com substâncias orgânicas, tais como carboidratos e proteínas, ou pela redução de substâncias húmicas do solo. A redução do Cr(VI) para Cr(III) é dependente do pH e ocorre em maior proporção com menores valores de pH. Em solos aeróbicos, a redução do Cr(VI) para Cr(III) é possível, mesmo em pH levemente alcalino, se o solo contém matéria orgânica adequada como fonte de energia para que ocorra a reação redox (Adriano, 1986; Bartlett e Kimble, 1976). No subsolo, a quantidade de matéria orgânica é muito mais baixa do que na superfície do solo, propiciando menos redução, fazendo com que o cromo seja mais móvel. Contudo, uma vez que o pH é um fator chave que afeta o ritmo de redução do Cr(VI) no subsolo, este pode ser efetivamente reduzido em condições ácidas, simplesmente porque esta condição aumenta a taxa de liberação de Fe(II) a partir de minerais do solo, que funciona como doador de elétrons (Arnfolk et al., 1996; Eary e Rai, 1989, 1991). A redução de Cr(VI) a Cr(III) é favorecida em baixos valores de pH (4 - 7) e na presença de agentes redutores. Entre estes, a matéria orgânica é o principal doador de elétrons no solo, para que possa ocorrer a reação de redução (Bartlett e Kimble, 1976; Losi et al., 1994) como também o íon ferro (II) (James, 1996).

A oxidação do Cr(III) para Cr(VI) é um processo que pode causar graves consequências ambientais (Bartlett, 1991; Bartlett e James, 1979; Chuan e Liu, 1996; Eary e Rai, 1987; James e Bartlett, 1983a, 1983b; Milacic e

Stupar, 1995; Rock et al., 2001). O processo de oxidação pode ser limitado pelo oxigênio ou óxidos de manganês (Bartlett e James, 1979; James e Bartlett, 1983a). A oxidação de Cr(III) tem maior correlação com a quantidade de hidroquinona reduzida por manganês no solo (Bartlett e James, 1979), mas não ocorre em solos secos. A secagem do solo altera o manganês, diminuindo a sua capacidade de oxidar Cr(III). A oxidação de Cr(III) para Cr(VI) é também limitada pela concentração de Cr solúvel em água, pH, área superficial disponível e força iônica (Eary e Rai, 1987; Fendorf e Zasoski, 1992). Grande parte do Cr(III) no solo não será oxidado a Cr(VI), mesmo na presença de óxidos de manganês e condições favoráveis de pH, devido à indisponibilidade de Cr(III) móvel (Bartlett, 1991).

A oxidação de Cr(III) para Cr(VI) é, geralmente, um processo muito lento em pH maior que 5 (Eary e Rai, 1987). O processo de oxidação é ainda mais lento quando o Cr(III) é oriundo de lodo de curtume aplicado ao solo, em comparação com a forma química pura de Cr(III) (Chuan e Liu, 1996; James e Bartlett, 1983a). Em contraste, a taxa de oxidação de Cr(III) pode ser aumentada por outros produtos químicos que são introduzidos nos solos contaminados, como apoio à biorremediação. Recentemente, tem sido usado o peróxido de hidrogênio (Rock et al., 2001); entretanto, o seu uso é preocupante pois podem ocorrer reações colaterais com contaminantes, tais como Cr. Sob condições adequada, o  $H_2O_2$  pode atuar como um oxidante e oxidar Cr(III) para Cr(VI), bem como um agente redutor, reduzindo Cr(VI) para Cr(III) (Pettine e Millero, 1990; Rock et al., 2001). Não há provas de que o  $H_2O_2$  pode reduzir o Cr(VI) para Cr(III) em condições de campo, embora isso poderia ocorrer termodinamicamente (Rock et al., 2001).

Conforme Cary et al. (1977), o Cr solúvel é convertido em formas insolúveis quando adicionado ao solo, como, por exemplo, o Cr(VI) é reduzido para Cr(III). Esta redução é mais rápida em solos ácidos do que em solos alcalinos. Na faixa de pH de solos agrícolas, o Cr(III) é considerado em grande parte insolúvel e menos móvel, enquanto o Cr(VI) é muito solúvel e móvel, facilmente disponível para as plantas (Cary, 1982).

### **Reações de precipitação/dissolução**

Compostos de Cr(III) são estáveis em solos, enquanto os de Cr(VI) são instáveis e mais facilmente mobilizados em solos ácidos e alcalinos

(Adriano, 1986). O Cr(VI) existe em solução como íons hidrocromato, cromato e dicromato. Em soluções fortemente básicas, predomina a forma cromato, e em pH baixo predomina a forma hidrocromato (Rai et al., 1989). Alguns compostos de Cr hexavalente, tais como óxido de Cr(VI), sais de metais alcalinos (sódio e potássio), são muito solúveis em água, já os de cálcio e estrôncio são menos solúveis (Syracuse Research Corporation, 1993).

A solubilidade do Cr(III) é limitada pela formação de vários óxidos ou hidróxidos insolúveis. Em soluções neutras, o Cr(III) pode formar compostos polinucleares que eventualmente precipitam como hidróxido de cromo (Saleh et al., 1989). Nos solos, a maior parte do Cr ocorre na forma de Cr(III) e dentro das estruturas minerais em formas mistas de óxidos de Cr(III) e Fe(III) (Adriano, 1986). De acordo com a Rai et al. (1987),  $(Cr_xFe_{1-x})(OH)_3$  é uma fase sólida de Cr(III), cuja solubilidade é ainda menor do que  $Cr(OH)_3$ . Portanto, em ambientes naturais líquidos, os teores totais de Cr(III) situam-se em níveis muito menores que o limite para a água potável, em uma ampla faixa de valores de pH (4 a 12), devido à precipitação de  $(Cr_xFe_{1-x})(OH)_3$  (Rai et al., 1989).

A solubilidade do cromo no solo pode ser alterada em algumas condições, como pela presença de exsudatos liberados pelas raízes na rizosfera, tais como ácidos orgânicos, que reagem fortemente com íons do metal nas fases líquida e sólida (Jones e Darrah, 1994). A adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (carboxílicos e aminoácidos) em solo cultivado com plantas de tomateiro aumentou significativamente a acumulação de Cr(III), sugerindo a existência de uma interação entre Cr(III) e ligantes orgânicos, levando à formação de compostos orgânicos móveis de Cr(III) (Srivastava et al., 1999). Os aminoácidos são menos eficazes na mobilização de Cr em comparação aos ácidos carboxílicos pela limitada capacidade de mobilização de nutrientes (Jones et al., 1994; Srivastava et al., 1999).

### Reações adsorção/dessorção

A presença de Cr(VI) na solução do solo em condições ácidas até pH levemente alcalino é principalmente controlada por reações de adsorção/dessorção. O cromo hexavalente é adsorvido por minerais que têm grupos hidroxilas expostos nas suas superfícies, principalmente óxidos de ferro e alumínio, caulinita e, em menor quantidade, montmorilonita (Rai et al., 1989). Em materiais sólidos, a adsorção de Cr(VI) aumenta com a diminuição pH (Rai et al., 1989). No ambiente, os óxidos de ferro são os principais adsorventes de cromato em solos oxidados ácidos a neutros e águas subterrâneas, com ocasionais contribuições significativas de grupos adsorventes Al-OH (Rai et al., 1988). O Cr(VI) é adsorvido mais fortemente aos óxidos e partículas de argila em comparação com outros ânions como cloreto, nitrato e sulfato, mas pode ser dessorvido pela presença de altas quantidades de fosfato, devido à concorrência de fosfato com cromato para os mesmos sítios de adsorção (Adriano, 1986; Bartlett e Kimble, 1976). O Cr(III) é adsorvido de 30 a 300 vezes mais fortemente no solo com argilominerais que o Cr(VI) (Griffin et al., 1977). Com o aumento do pH, a adsorção de Cr(III) em solo com argilominerais aumenta, enquanto a do Cr(VI) diminui, até pH 8,5. A maior adsorção de Cr(III) em pH alto é atribuída à troca de cátions de espécies hidrolisadas de Cr(III) (Griffin et al., 1977).

Os mecanismos de adsorção de Cr(III) em óxidos de Mn, a competição com outros cátions, tais como Al e Fe por sítios de adsorção, o mecanismo de transferência de elétrons e a dessorção e readsorção de Cr(III) produzindo Cr(VI) e Mn(II) têm sido relatados como fatores de controle da cinética e da capacidade de oxidação por óxidos de Mn (Amacher e Baker, 1982; Eary e Rai, 1987; Fendorf et al., 1993; Fendorf et al., 1992; Fendorf e Zasoski, 1992; Johnson e Xyla, 1991; Manceau e Charlet, 1992; Silvester et al., 1995). Além desses fatores, o pH, a concentração inicial de Cr(III) e a proporção da área superficial de óxido de Mn também determinam a cinética e a capacidade de oxidação (Eary e Rai, 1987; Fendorf et al., 1993).

A adsorção de cromo afeta significativamente o transporte de cromo no solo e em águas subterrâneas. Minerais de superfícies protonados, nomeadamente óxidos de ferro e alumínio, podem adsorver  $\text{CrO}_4^{2-}$  em pH 2-7 (Zachara et al., 1987). Apesar da forte afinidade de adsorção, o cromo é móvel

no solo porque outros ânions concorrentes reduzem a adsorção. A alta concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  e  $\text{HCO}_3^-$  pode reduzir a adsorção de cromo nos solos. A adsorção de Cr(VI) em óxidos de metais hidratados decresce com o aumento da pH; como resultado, o cromo é frequentemente móvel em ambientes neutros de águas subterrâneas (Zachara et al., 1989).

### 2.10.3. Trabalhos com uso de cromo no solo

Em estudo da dinâmica de Cr(III) no solo, Bartlett e Kimble (1976) não observaram a oxidação do Cr(III) a Cr(VI), mesmo em condições de máxima aeração e altos valores de pH. Ácidos orgânicos solúveis adicionados aos solos por resíduos ou por exsudatos radiculares podem, ao formar complexos com o cromo, manter o elemento solúvel, em altos valores de pH; neste caso há condições para que parte do cromo complexado seja oxidado a Cr(VI) (James e Bartlett, 1983b). Resultados obtidos por Bartlett e Kimble (1976) mostram que a presença de altos teores de matéria orgânica pode reduzir a Cr(III) praticamente todo o Cr(VI) adicionado, durante um período de incubação de cinco semanas.

A complexação do Cr(III) com ácidos orgânicos solúveis pode ser responsável pela permanência do Cr na solução do solo em valores de pH maiores de 7,0, na qual se espera ocorrer a precipitação do Cr (Bartlett e Kimble, 1976). O ácido cítrico, o ácido fúlvico e a matéria orgânica solúvel do solo são alguns ligantes que podem reter o Cr(III) na solução do solo em valores de pH de 7,5 (James e Bartlett, 1983a).

Em trabalho avaliando os efeitos da matéria orgânica e de plantas sobre a mobilidade do cromo no solo, Banks et al. (2006) observaram que: a) a presença de plantas não afetou o estado de oxidação do cromo; b) a *Festuca arundinacea* acumulou cromo na biomassa, mas em quantidade menor que 1% da quantidade total do solo; c) o maior enraizamento foi determinado na parte inferior do solo contaminado, sugerindo fitotoxicidade de Cr na parte superior; d) a matéria orgânica afetou a mobilidade do cromo no solo devido à redução do Cr(VI) a Cr(III); e, e) o cromo foi menos móvel nos solos que apresentaram altas concentrações de matéria orgânica.

A indústria do couro gera resíduos sólidos provenientes das operações de rebaixamento e lixamento de couro curtido ao cromo, os quais contêm, em



média, 2 a 5,5% de Cr(III) na forma de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Covington, 1985). A Environmental Protection Agency (EPA), em estudo de avaliação de risco do Cr(III) contido em resíduos utilizados para a aplicação em solos agrícolas, não determinou nenhum efeito adverso para qualquer via de exposição (USEPA, 1992). O cromo em solos bem drenados é normalmente reduzido a Cr(III) (Shivas, 1979). Os autores Bartlett e Kimble (1976), Blomfield e Pruden (1980) e Lollar (1982), observaram que, na prática, a oxidação de Cr(III) a Cr(VI) não ocorre em solos, mesmo sob condições experimentais combinando máxima aeração e pH alto.

O lodo de curtume, devido à sua reação alcalina, pode ser utilizado para a correção do pH de solos ácidos, além de ser uma boa fonte de nitrogênio de liberação lenta para as culturas (Ferreira et al., 2003). A frequência de aplicação e as doses a utilizar dependem do valor de neutralização da acidez, concentração de sais (principalmente de sódio) e quantidades de metais pesados presentes no lodo. Em geral, o metal pesado presente nos lodos de curtume (utilizado no processo de curtimento) é o cromo, com concentrações consideradas altas (0,5 a 2,0%). Trebien (1994), em estudo com vários solos do estado do Rio Grande do Sul, não observou a oxidação do Cr(III) presente no lodo de curtume a Cr(VI), provavelmente devido à formação de complexos de esfera interna com compostos orgânicos presentes.

Em trabalho com aplicação de lodo de curtume e cromo hexavalente com a finalidade de verificar as alterações químicas e a magnitude das reações de redução do cromo hexavalente na presença de carbono orgânico e manganês divalente, com ênfase na participação da microbiota do solo, Castilhos et al. (1999) observaram que: a) a adição de agentes redutores como esterco bovino e sal de manganês divalente ( $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) aumenta a velocidade das reações de redução do Cr(VI) a Cr(III) em Argissolo; b) não foi observada a ocorrência de Cr(VI) no solo pela oxidação do Cr(III) presente no lodo de curtume; c) a redução do Cr(VI) a Cr(III) é estimulada pela atividade microbiana, sendo 16% maior em amostras de solo não esterilizadas contendo esterco bovino, em comparação com amostras esterilizadas em autoclave; d) a esterilização do solo em autoclave diminuiu o pH e assim, aumentou as reações de redução do Cr(VI) a Cr(III).

Apesar dos vários estudos destinados ao esclarecimento da dinâmica do cromo no solo, em nenhum deles foi obtida a recuperação total do cromo contido no material descartado no solo. Ferreira et al. (1998), após a adição de lodo de curtume e serragem cromada ao solo, obtiveram recuperações de cromo entre 23 a 43% do aplicado. De modo semelhante, Castilhos (1998), num estudo do efeito do lodo de curtume aplicado ao solo sobre as plantas, recuperou 52, 67 e 88% do cromo aplicado em três solos do estado do Rio Grande do Sul, após 70 dias da aplicação.

A recuperação parcial do cromo adicionado ao solo indica que parte dele é fortemente retido nas frações matéria orgânica e óxidos, não sendo recuperado pela extração com ácidos fortes concentrados. A separação da fração de partículas com diâmetro maior que 2,0 mm, para as determinações analíticas, pode retirar da amostra analisada resíduos de couro (serragem cromada) ou grumos de lodo. Este fato foi observado mesmo após 10 anos da aplicação destes resíduos (M.J.Tedesco – informação pessoal).

Vários autores (Bartlett e Kimble, 1976; Bartlett e James, 1979; Ciavatta e Sequi, 1989) têm mostrado que os riscos de poluição do ambiente devido à presença de Cr(III) em solos são muito baixos. O Cr(III) adicionado ao solo pelos resíduos não é solubilizado em condições de pH alto devido à formação de hidróxido. Embora a oxidação no solo de Cr(III), contido em material orgânico, a Cr(VI) seja possível, a probabilidade de que isso ocorra é muito baixa (Bartlett e James, 1979; Fuller, 1978). Com efeito, na presença de carbono orgânico, a mais provável reação no solo, quando o metal é adicionado na forma oxidada, é a redução do Cr(VI) para Cr(III) (EL-Bassam et al., 1975; Bartlett e Kimble, 1976; Cary et al., 1977;).

Em trabalho realizado por Ciavatta e Sequi (1989), com incubação do solo com hidrolisado de couro em grânulos e em pó no solo com o objetivo de verificar quantidades de Cr(III) e Cr(VI) liberados, foi observado que: a) o cromo extraível por EDTA e solúvel em água diminuiu acentuadamente e imediatamente após a incorporação de fertilizantes no solo; b) o cromo é continuamente liberado a partir de couro durante a decomposição de matéria orgânica, mas fica insolubilizado; c) não foi detectado Cr(VI) durante todo o período de incubação; d) o Cr(VI) foi rapidamente reduzido a Cr(III); e, e) a

liberação de Cr do couro quando é utilizado como fertilizante não tem significância agrônômica ou ambiental.

Em trabalho conduzido por Govi et al. (1996), foi observado que o Cr contido no hidrolisado de couro e liberado durante humificação não aumentou a concentração de Cr na solução do solo, sendo precipitado em formas insolúveis. Conforme esses autores, após um ano de incubação, aproximadamente 74% do C orgânico foi mineralizado por processos de humificação, transformando o hidrolisado de couro em novos compostos orgânicos semelhantes aos da matéria orgânica do solo.

### **2.11. Cromo nas plantas**

Os metais pesados Zn, Fe, Cu e Mn são essenciais para o crescimento das plantas, participando do metabolismo de muitas enzimas. Outros metais como Pb, Cd, As, Se, Cr e Al são biologicamente não-essenciais e tóxicos em altas concentrações (Dixit et al., 2002). A absorção de Cr em excesso pelas plantas pode reduzir o crescimento, induzir clorose em folhas jovens, reduzir pigmentos, alterar funções enzimáticas, danificar células radiculares e causar alterações em ultra-estruturas da membrana celular e cloroplasto (McGrath e Cunliffe, 1985; Panda e Patra, 1997, 1998, 2000; Panda e Dash, 1999; Panda et al., 2002, 2003; Choudhury e Panda, 2004). A toxicidade de Cr pode ser manifestada na redução da germinação e no crescimento radicular das plantas (Atta-Aly et al., 1991; Corradi et al., 1993; Liu et al., 1993; Nayari et al., 1997; Panda et al., 2002). A redução do crescimento das plantas pode ser devida à inibição da divisão celular por induzir aberrações cromossômicas (Liu et al., 1993). No entanto, em muitas plantas o aumento no conteúdo de DNA tem sido observado com o aumento da concentração de Cr (Bishnoi et al., 1993; Zeid, 2001). Durante a germinação das sementes, ocorre a hidrólise de proteínas e do amido, formando aminoácidos e açúcares. Com teores altos de Cr, foi observada a diminuição de  $\alpha$  e  $\beta$ -amilases, o que é um dos fatores para a inibição da germinação de muitas plantas, tendo em conta a insuficiência de abastecimento de açúcar para o desenvolvimento dos eixos embrionários. Em concentrações baixas de Cr, porém, foi observado o aumento de atividade da  $\alpha$  amilase (Zeid, 2001).

Em testes com culturas purificadas e técnicas analíticas sensíveis, Huffman e Allaway (1973) confirmaram a não essencialidade de Cr para as plantas. Seus resultados mostraram que o Cr não é prejudicial para o crescimento normal das plantas, se as concentrações nos tecidos vegetais forem muito mais baixas do que os níveis de qualquer nutriente essencial.

### 2.11.1. Concentrações de Cr nas plantas e solo

Em geral, é observada baixa correlação entre as concentrações de Cr em tecidos vegetais e os teores nos solos. Isto é mostrado na Tabela 4, relacionando as concentrações de Cr em plantas crescendo em solos com concentrações naturais baixas ou altas de Cr.

**Tabela 4.** Concentração de cromo em algumas plantas cultivadas em solos com alto ou baixo Cr natural

Espécies de plantas	Baixo Cr no solo (20-180 mg kg <sup>-1</sup> )	Alto Cr no solo (190-10.680 mg kg <sup>-1</sup> )
Espécies de gramíneas	0,003-0,5	0,09-1,73
Árvores e arbustos	0,07-0,5	0,07-2,5
Verduras	0,02-1,01	0,04-9,6
Legumes	0,14-0,99	0,14

Fonte: Cary e Kubota (1990).

Carry e Kubota (1990), em trabalho determinando a concentração de Cr em algumas espécies de plantas crescendo em solos com baixo ou alto teores de Cr, observaram que a concentração de Cr em grãos de trigo (*Triticum sp.*) ou de aveia (*Avena sp.*), não foram influenciados pela concentração do Cr no solo.

A Tabela 5 mostra as concentrações de Cr em plantas comestíveis cultivadas em solos não contaminados. As folhas normalmente apresentam maiores concentrações de Cr do que os grãos. Porém, algumas espécies de plantas podem acumular grandes quantidades de Cr nos tecidos. Estas espécies são denominadas hiperacumuladoras de Cr. Lyon et al. (1969) determinaram teores de até 20.000 mg kg<sup>-1</sup> de Cr na espécie *Leptospermum scoparium*. Peterson (1975) determinou os teores de 48.000 mg kg<sup>-1</sup> na matéria seca de *Sutera fodina*; 30.000 para *Dicoma niccolifera* e 2.470 para *Leptospermum scoparium*.

**Tabela 5.** Concentração de cromo em plantas comestíveis cultivadas em solos não contaminados

Cultura	Cromo (mg kg <sup>-1</sup> )
Beterraba	0,05
Couve de Bruxelas	0,14
Repolho	0,15
Cenoura	0,08
Milho	0,37
Feijão verde	0,04
Couve	0,04
Feijão	0,10
Cebola	0,19
Batata	0,21
Tomilho	10,0
Pimenta preta	3,70
Cravinho	1,50
Gengibre	1,71
Cominho	1,61
Feno grego	1,01

Fonte: Katz e Salem (1994).

### 2.11.2. Germinação de sementes e crescimento das plantas

Altos níveis de Cr(VI) podem inibir a germinação das sementes e o crescimento das plantas. O efeito prejudicial do Cr é menos observado na germinação de sementes do que sobre o crescimento das plantas. Rediske (1956) observou que a germinação e o crescimento de cevada em teores de Cr(VI) a níveis de até 100 mg kg<sup>-1</sup> no solo foram lentos, possivelmente devido ao fato do Cr inibir a diastase (enzima), que é responsável pela mobilização do amido de reserva, necessário para o crescimento inicial. Já na concentração de 500 mg kg<sup>-1</sup> de Cr(VI) a germinação de sementes de cevada não ocorreu.

Bishnoi et al. (1993), em outro estudo observaram que o Cr(VI) adicionado ao solo na forma de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (588 mg kg<sup>-1</sup> de Cr) não afetou significativamente a germinação de sementes de ervilha. No entanto, em concentrações de 147 mg kg<sup>-1</sup> de Cr não foi observado crescimento da radícula e da plúmula de ervilha. Na concentração de Cr(VI) de 59 mg kg<sup>-1</sup> de Cr no solo o rendimento de sementes foi reduzido em 75 a 80% e mesmo com 29 mg kg<sup>-1</sup> de Cr, o rendimento das sementes foi reduzido em aproximadamente 70%. Estudo de Parr e Taylor (1982) demonstrou que com níveis altos de Cr(VI) no solo (500 mg kg<sup>-1</sup> de Cr) a germinação e o crescimento de feijão foram

significativamente afetados. Contudo, altos níveis de matéria orgânica (5%) e baixo pH do solo reduziram significativamente a toxicidade de Cr na germinação, devido à muito baixa biodisponibilidade de Cr sob estas condições.

### **2.11.3. Absorção de cromo pelas plantas**

O Cr pode ser absorvido pelas plantas tanto nas formas tri como hexavalente; entretanto, a toxicidade às plantas é rara, provavelmente devido à maior ocorrência natural do cromo na forma trivalente, caracterizada como de baixa mobilidade no solo e por restrito movimento através da membrana celular. A reação do Cr(III) com proteínas e outros colóides forma compostos com alto peso molecular, que possuem baixa permeabilidade em membranas, razão pela qual quantidades maiores que 85% do Cr(III) permanece na camada externa de 1 mm da superfície da raiz (Shivas, 1978).

As formas de Cr(III) e Cr(VI) não compartilham o mesmo mecanismo de absorção: a absorção de Cr(III) é um processo passivo, enquanto a absorção de Cr(VI) é mediada por transportador de sulfato, mas com menor afinidade (Skeffington et al., 1976). Isto é baseado no fato de que inibidores metabólicos inibem a absorção de Cr(VI) pelas plantas de cevada, mas não a de Cr(III) (Skeffington et al., 1976). A absorção de cromo também é inibida por  $\text{SO}_4^{2-}$  e por outros ânions VI, mas estimulada por  $\text{Ca}^{2+}$  (Shewry e Peterson, 1974). A inibição da absorção do Cr(VI), especialmente pelo sulfato, implica em inibição competitiva devido à similaridade química, enquanto a presença de Ca aumenta a absorção de Cr(VI), demonstrando o papel essencial que o Ca desempenha na absorção de metais pelas plantas. Terry (1981) observou que em concentrações tóxicas de Cr(VI) ( $> 2 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cr), plantas de beterraba açucareira absorveram muito pouco e foram deficientes em Ca.

Na maioria das plantas, o Cr absorvido é acumulado nas raízes juntamente com o Fe(III), sendo pouco translocado para a parte aérea, o que torna ineficiente a adição de cromo ao solo como forma de aumentar o teor de Cr na dieta humana (Cary et al., 1977). Mortvedt e Giordano (1975) observaram que o efeito tóxico dos metais é mais acentuado quando estes são aplicados ao solo na forma de sais, sendo seu efeito nocivo mais prolongado do que na aplicação por resíduos orgânicos. Em relação à quantidade aplicada,

a absorção de Cr pelas plantas é menor do que de outros metais pesados, devido à adsorção de Cr pelos minerais do solo, à complexação pela MO e à formação de complexos orgânicos insolúveis nas raízes das plantas.

O aumento da concentração de ácidos orgânicos favorece a absorção de cromo pelas plantas, evidenciando que a absorção deste na forma complexada por moléculas de baixo peso molecular é um mecanismo importante de suprimento do metal para as plantas (James e Bartlett, 1984; Srivastava et al., 1999). A afinidade do cromo por vários ácidos orgânicos liberados por plantas segue a seguinte ordem: cítrico  $\approx$  oxálico > aspártico  $\approx$  glutâmico. Pickrell e Ellis (1980), estudando a translocação de cromo nas plantas, aplicaram cromo em solução nas folhas de soja e observaram, através da determinação de  $^{51}\text{Cr}$  radioativo, que ocorreu absorção semelhante à do  $^{59}\text{Fe}$ , mas a translocação do ponto de absorção para outras partes da folha foi de aproximadamente 4% para o cromo.

Em trabalho com hortaliças, Zayed et al. (1998a) demonstraram que diferentes espécies podem acumular diferentes quantidades de Cr em seus tecidos. Concentrações de Cr mais altas foram determinadas em plantas da família *Brassicaceae* (couve-flor, couve-folha, repolho). Estudos realizados por Kumar et al. (1995) demonstraram claramente que espécies do gênero *Brassica* como a mostarda indiana, têm maior capacidade de absorver metais pesados (Pb, Cr, Cd, Ni, Zn e Cu) e concentrá-los em seus tecidos.

#### **2.11.4. Transporte de cromo nas plantas**

O Cr(III) ou o Cr(VI), após serem absorvidos pelas raízes de soluções ou do solo, são pouco translocados para outras partes das plantas (Zayed et al., 1998a). A concentração de Cr na parte aérea das plantas em muitos casos é cem vezes menor que nas raízes, independentemente da espécie de Cr utilizada. Há também, a possibilidade de ocorrer redução do Cr(VI) para Cr(III), preferencialmente na raiz. Skeffington et al. (1976) observaram que o Cr(III) e o Cr(VI) são absorvidos no tecido vascular lentamente; no entanto, uma vez no xilema, o movimento do Cr(VI) é maior.

O Cr(III) e o Fe(III) têm propriedades químicas semelhantes, embora as plantas apresentam muito mais Fe que Cr. Em sistemas solo-planta, o cromo é

menos móvel em comparação ao Fe. Esta diferença pode ser devida à relativa facilidade de redução de Fe(III) para Fe(II) o qual é mais móvel, sendo que a redução do Cr(III) para Cr(II) dificilmente pode ocorrer em condições naturais (Cary et al., 1977). Chaney et al. (1972) indicaram que o processo essencial para a acumulação de Fe nas plantas é pela redução de Fe(III) a Fe(II), seguido pela absorção de Fe(II) pelas raízes.

#### **2.11.5. Cromo nas raízes de plantas**

Nas raízes, o Cr em altas concentrações apresenta efeito tóxico direto. Os pêlos radiculares e células epidérmicas são danificados (Maleci et al., 2001). O Cr(VI) têm efeito degenerativo sobre as células, causado pela reação com ácidos nucleicos de compostos instáveis, formados durante a redução do Cr, dentro das células. O Cr(III) pode formar complexos com grupo fosfórico de nucleotídeos, alterando a capacidade de reprodução das células. Estes efeitos, além da evidência microscópica, em nível macroscópico provocam sintomas de estresse (Barcelo e Poschenrieder, 1997), inibição da germinação, inibição do alongamento radicular, inibição do desenvolvimento lateral das raízes e clorose nas folhas jovens.

Srivastava et al. (1999), estudando a distribuição de Cr nos tecidos vegetais do tomateiro (raiz, parte aérea e frutos), observaram que 80 a 85% do mesmo é retido nas raízes e somente uma pequena fração é translocada para a parte aérea. Huffman e Allaway (1973) também observaram que mais de 90% do Cr absorvido em plantas de cevada e de trigo fica retido nas raízes.

Os estudos da interação entre plantas e cromo na rizosfera são relativamente limitados (Cary e Kubota, 1990; Chang et al., 1992; Bishnoi et al., 1993; Corradi et al., 1993; Han et al., 2004; Weis e Weis, 2004). No entanto, as condições ambientais da rizosfera podem afetar o potencial do impacto das raízes na mobilidade do cromo (Chen e Cutright, 2003; Zayed e Terry, 2003). A presença de exsudatos radiculares pode favorecer condições de redução do solo, imobilizando o cromo (Srivastava et al., 1999). Por outro lado, raízes podem liberar agentes complexantes, facilitando a absorção e a translocação do cromo para a parte aérea de plantas ou o aumento da mobilidade do Cr no solo. Os ácidos carboxílicos e aminoácidos em exsudatos radiculares de plantas podem aumentar a absorção de cromo (Mishra et al., 1997). Uma vez



assimilado pelas plantas, o Cr(VI) é facilmente reduzido para Cr(III) (Lytle et al., 1998; Aldrich et al., 2003).

#### **2.11.6. Toxidez de cromo em plantas**

O Cr(III) é tóxico para as plantas, em concentração maior que 5 mg kg<sup>-1</sup>, podendo causar graves danos oxidativos a células vegetais. Ele pode afetar o crescimento, o balanço hídrico e o conteúdo de pigmento e iniciar peroxidação lipídica, causando danos oxidativos às plantas (Bonet et al., 1991; Barcelo e Poschenrieder, 1997; Panda e Patra, 2000). O Cr(VI), por outro lado, é mais fitotóxico do que o Cr(III), (Han et al., 2004) pois retarda o crescimento, reduz o parênquima paliçádico de células das folhas e aumenta o número de vacúolos ao longo das paredes do xilema e floema (Han et al., 2004).

#### **2.11.7. O cromo aplicado ao solo na forma de sais**

Zayed et al. (1998) conduziram estudos com diversas hortaliças com o objetivo de verificar a absorção e o acúmulo de Cr(III) e de CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nas raízes e na parte aérea e a diferença das formas químicas de Cr nos tecidos. Neste trabalho, foram conduzidos dois experimentos em hidroponia, com circulação de nutrientes, possibilitando que todas as plantas recebessem Cr igualmente. No primeiro experimento, foi utilizada uma solução contendo 1 mg L<sup>-1</sup> de Cr em 11 espécies de plantas hortícolas, na forma Cr(III) ou CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, sendo comparada a acumulação de Cr nas raízes e na parte aérea. No segundo experimento, foi feita a análise espectroscópica de absorção de raios X em raízes e parte aérea, nas diversas espécies hortícolas supridas com CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, nas concentrações de 2 mg de Cr L<sup>-1</sup> aos 7 dias e 10 mg de Cr L<sup>-1</sup> aos 2, 4 ou 7 dias. A análise de especiação por raios X indicou que o CrO<sub>4</sub><sup>2+</sup> é convertido nas raízes para Cr(III) em todas as plantas testadas. A translocação de Cr em ambas as formas, das raízes para a parte aérea, foi limitada e a acumulação de Cr nas raízes foi 100 vezes maior em relação à parte aérea, independentemente da espécie química de Cr suprido. Nas plantas estudadas, as concentrações de Cr foram maiores em espécies da família *Brassicaceae*, como a couve-flor, couve folha e repolho.

Yu e Gu (2007), em trabalho com salgueiros (*Salix matsudana* x *Koidz alba* L.) híbridos jovens pré-enraizados expostos em solução hidropônica

enriquecida com  $\text{CrCl}_3$  em várias concentrações (2,5, 5,0, 7,5, 15 e 30 mg  $\text{Cr L}^{-1}$ ), a 24,0 C°, por 192 horas e monitorando diversos parâmetros fisiológicos das plantas para determinar a toxicidade à exposição de Cr, observaram que: a) houve remoção do Cr da solução hidropônica pelo salgueiro, mesmo em altas doses de Cr; b) as concentrações de Cr(III) utilizadas não prejudicaram as funções fisiológicas das plantas durante o período de exposição; c) a atividade da catalase (CAT) foi muito mais suscetível às mudanças nas doses de Cr(III) do que as outras atividades; d) a quantidade de Cr acumulado na biomassa do salgueiro foi variável, aumentando com as adições de Cr(III); e) a cinética de bioacumulação de Cr pelas plantas apresentou uma curva típica de saturação; f) a distribuição de Cr nos tecidos vegetais variou de acordo com as concentrações iniciais de Cr(III) a que as plantas foram expostas; e, g) em baixas concentrações, as raízes foram o principal órgão de acumulação do Cr e a translocação do mesmo para a parte aérea foi limitada.

Otabbong (1989), em trabalho com cultivo de azevém (*Lolium perenne*) em câmara de crescimento em dois solos, um com pH 5,2 e outro com pH 6,9 e aplicações de 200 mg P  $\text{kg}^{-1}$  solo, e 50 e 500 mg  $\text{CrO}_3$   $\text{kg}^{-1}$  solo, observou que: a) a toxidez do Cr depende da quantidade aplicada e é mais acentuada no solo neutro do que no solo ácido; b) quando o Cr foi aplicado isoladamente, provocou deficiência de P nas plantas; c) a maior quantidade de Cr permaneceu nas raízes, mas o P foi distribuído uniformemente na planta; d) a toxicidade de Cr pode ser atribuída ao baixo transporte de Cr, aliada à alta relação Cr/P nas raízes; e) a aplicação de P diminuiu o Cr no solo ácido e reduziu acentuadamente a toxicidade do Cr(VI) no solo neutro; e, f) a interação Cr x P aparentemente ocorreu em ambos os solos e na planta.

Zhang et al. (2007) em trabalho com *Leersia hexandra*, uma espécie de planta hiperacumuladora de cromo que ocorre na China, observaram acúmulo de até 5.608 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Cr nas folhas podendo ser considerada como uma espécie com potencial de utilização na biorremediação de solos ou águas residuais contaminados com  $\text{CrCl}_3$ . Em outro trabalho, Zhang et al. (2009), avaliando a capacidade de bioacumulação de Cr por *Leersia hexandra* e a distribuição em diferentes formas químicas nos tecidos vegetais, observaram que: a) a maior concentração de cromo na matéria seca da folha de *Leersia hexandra* foi de 4.302 mg  $\text{kg}^{-1}$ ; e, b) a alta concentração de cromo pode

umentar significativamente o oxalato de cromo nas folhas e nas raízes, o que pode estar relacionado à alta resistência e capacidade de bioacumulação de cromo nesta espécie de planta.

#### **2.11.8. O cromo aplicado ao solo na forma de resíduos**

Muitos estudos têm sido realizados para determinar o impacto da aplicação no solo de resíduos contendo Cr(III) sobre as culturas de chicória, trigo, ervilha, tomate, funcho e outras, particularmente no que diz respeito à aplicação de lodo em solos agrícolas (Sykes et al. 1981; Katz e Salem, 1993; Martinetti, 1994; Nickolaus, 1995). Em geral, esses estudos concluíram que resíduos orgânicos contendo Cr(III) podem ser considerados como não-tóxicos em quantidades de até 500 mg de Cr kg<sup>-1</sup> (Sykes et al. 1981).

Selbach et al. (1991) observaram que a adição de 60 t ha<sup>-1</sup> de lodo de curtume (com pH 9,4 e 0,8 % de Cr) em solo arenoso proporcionou maior aumento nos teores de cromo nos raízes do que no tecido foliar de rabanete. Também observaram que o crescimento das plantas foi prejudicado nos tratamentos com a aplicação das doses de lodo mais altas, devido ao aumento excessivo do pH (> 7,6) e, conseqüentemente, à deficiência de fósforo.

Cavallet et al. (2007), em trabalho verificando a concentração de cromo no solo, na planta e no percolado em função da aplicação de dois tipos de lodo (lodo com tanino e lodo com cromo com 34 e 8.040 mg kg<sup>-1</sup> de Cr, respectivamente), do tratamento primário de água residuária de curtume, em solo arenoso, observaram que: a) houve ausência de Cr(VI) em todo o experimento; b) as concentrações de Cr no tecido do rabanete (*Raphanus sativus*), nos tratamentos com as adições de 30 e 60 t ha<sup>-1</sup> de lodo de curtimento com cromo, foram de 41 mg kg<sup>-1</sup> e 2,6 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente; c) quando comparada à adubação mineral, a concentração de cromo nos grãos de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers) diminuiu para a utilização de ambos os lodos; e, d) os teores de cromo no solo e na água percolada foram menores que o limite máximo permitido pela legislação ambiental brasileira que é de 500 mg kg<sup>-1</sup> de solo e 0,05 mg L<sup>-1</sup> de água, conforme a Resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005).

Em estudo realizado por Teixeira (1981), com a aplicação de lodo no solo em quantidades de até 5.760 kg ha<sup>-1</sup> de cromo, foi observada pequena

translocação de Cr para a parte aérea na cultura do azevém. Silva (1989) não observou diferença significativa no teor de cromo em grãos de milho, trigo e arroz cultivados em solos onde foram aplicados  $15.320 \text{ kg ha}^{-1}$  de lodo contendo 1,75% de cromo, em relação ao tratamento testemunha. Castilhos (1998) também observou que a aplicação de lodo de curtume, resíduo de rebaixadeira e aparas de couro correspondendo à quantidade de  $37,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de cromo ao solo não provocou alterações nos teores de cromo no tecido e nos grãos de trigo, tecido de alface e em raízes e tecido foliar de rabanete, quando comparados com a testemunha. Este autor observou baixa translocação de Cr da parte vegetativa do trigo para os grãos, cujos teores foram em média 22,5 vezes menores que no tecido foliar. Essa constatação é importante para a utilização alimentar de grãos, como o trigo, cultivados em solos onde foram adicionados resíduos contendo metais pesados pouco móveis nas plantas.

Nogueira et al. (2008) avaliaram os teores de Cr e outros metais no solo, o acúmulo destes elementos em partes de plantas de milho cultivadas em solo tratado com lodo de esgoto por nove anos consecutivos e seus efeitos na produção de matéria seca e na produtividade de grãos de milho e observaram que: a) as doses de lodo de esgoto aplicadas por nove anos consecutivos não afetaram os teores de Cr no solo; b) os teores e os acúmulos de Cr nas partes das plantas de milho aumentaram pelas sucessivas aplicações de lodo de esgoto ao solo; c) os teores de Cr nos grãos, quando detectados, foram inferiores aos limites máximos estabelecidos para o consumo humano conforme a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA, 1985); e, d) a aplicação sucessiva do lodo foi tão efetiva quanto a adubação mineral na produção de matéria seca e de grãos de milho.

Em resultados de experimento em arroz com a utilização de grandes quantidades de lodo contendo cromo, Ju et al. (2005) mostraram que os maiores teores de cromo no caule e nas folhas atingiram 13 a  $18 \text{ mg kg}^{-1}$ ; entretanto, estes valores foram inferiores a  $23,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cr, que foi determinado em trigo quando o experimento foi irrigado com solução contendo Cr(III). Os resultados obtidos no cultivo de plantas a campo indicam que o teor de Cr no solo deve ser mantido em valores menores que  $350 \text{ mg kg}^{-1}$  para que o teor deste metal no grão de arroz esteja em níveis adequados para consumo.

O hidrolisado obtido a partir de resíduos da indústria de curtume tem sido utilizado devido à boa resposta das culturas, pois apresenta altos teores de N orgânico (10 a 13%) e de C (40 a 50%). Na Itália, o hidrolisado de couro é classificado como um adubo orgânico, sendo uma importante fonte de nitrogênio. A presença de Cr(III) (1 a 3,5%) no produto, entretanto, tem preocupado alguns cientistas, pela possibilidade de ocorrer poluição das águas e contaminação das culturas. Santoprete (1980) e Sequi et al. (1986) observaram que os resíduos de couro aplicados no solo apresentaram quantidade insignificante de cromo solúvel, como também de Cr lixiviado no solo ou absorvido pelas culturas. Os constituintes orgânicos do couro mantêm o Cr na forma reduzida e complexada, diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

No hidrolisado de couro ou nos resíduos orgânicos de curtume, o Cr está ligado à proteína, sendo não solúvel e não disponível até a liberação para o ambiente pela mineralização microbiana. Esta, no entanto, ocorre de modo a liberar o Cr lentamente no ambiente e, quando a taxa de liberação se assemelha à taxa de formação do hidróxido de cromo (a forma mais comum de precipitado) ou à taxa de retenção por adsorção aos óxidos e à matéria orgânica, não há efeito negativo sobre o ambiente. Por este motivo, as aplicações de doses adequadas de hidrolisado de couro ou lodo de curtume contendo cromo são, em geral, benéficas às plantas, não afetando a absorção de cromo por essas. A quantidade de Cr no solo acumulado no tempo parece ter menos importância do que a dose aplicada por cultura, uma vez que o cromo das adições anteriores estará na forma de hidróxido (precipitado), ou adsorvido, não disponível para as plantas. Assim, poderia ser mais prejudicial uma única dose do fertilizante hidrolisado de couro ou resíduo de curtume, por exemplo, de  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , aplicada de uma só vez, do que doses de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  aplicadas a cada ciclo de cultura. O que importa é que a taxa de transformação do Cr(III) solúvel para hidróxido de cromo seja maior do que a taxa de cromo que entra em contato com a raiz. Isso explica, em parte, a possibilidade do Cr(III) aplicado na forma de sal, em doses às vezes consideradas baixas, causar danos às plantas.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Coleta e caracterização dos solos**

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia - UFRGS, em Porto Alegre, RS. Foram utilizados dois solos, classificados como: Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1), e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2), (Embrapa, 2006). O PVd-1, da unidade de mapeamento Bom Retiro, foi coletado no município de Estância Velha e o PVd-2, da unidade de mapeamento São Jerônimo, foi coletado na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, no município de Eldorado do Sul, ambos no estado do Rio Grande do Sul. Os dois solos foram coletados da camada superficial (0-20 cm de profundidade).

Após a coleta, uma fração de aproximadamente 500 g de cada solo foi retirada, seca em estufa a 45°C e moída até passar em peneira de 2 mm de diâmetro de orifícios para a caracterização físico-química, realizada no Laboratório de Análises do Departamento de Solos da UFRGS, em Porto Alegre, RS. Os solos utilizados são ácidos, com baixos teores de fósforo, potássio e matéria orgânica (Tabela 6).

#### **3.2. Resíduos utilizados**

Foram utilizados no experimento: a) resíduo hidrolisado de couro curtido ao cromo (HC), elaborado com restos de peles após tratamento térmico (160 a 165°C) e sob pressão (500-600 mil Pa) por no mínimo 10 minutos (Ciavatta e Gessa, 1997), apresentado em forma granular (partículas de 1-3 mm de diâmetro); e, b) resíduo do lodo de estação de tratamento (ETE) de curtume dedicado ao recurtimento de peles, localizado no Município de Estância Velha,

RS (RRc). A caracterização físico-química destes materiais é apresentada na Tabela 7.

**Tabela 6.** Caracterização físico-química dos solos utilizados no experimento

Atributos	Solo <sup>(1)</sup>	
	PVd-1	PVd-2
pH (H <sub>2</sub> O)	5,7	5,0
Índice SMP	6,8	5,7
P disponível (mg dm <sup>-3</sup> )	3,6	1,8
K disponível (mg dm <sup>-3</sup> )	29	55
Al trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,9
Ca trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,8	0,7
Mg trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,3	0,4
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,7	6,2
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,9	7,4
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	10	23
Argila (g dm <sup>-3</sup> )	70	220

<sup>(1)</sup> PVd-1: Argissolo Vermelho distrófico arênico.  
PVd-2: Argissolo Vermelho distrófico típico.

### 3.3. Tratamentos

Os tratamentos utilizados nos dois solos, com e sem correção da acidez para atingir valores de pH em água próximos a 6,0, foram: aplicação de doses crescentes do HC, para suprir de 100 a 800 kg ha<sup>-1</sup> de N total (na forma orgânica, correspondendo de 50 a 400 mg kg<sup>-1</sup> de solo) com adição de fósforo e potássio (como superfosfato triplo e KCl, respectivamente); uma dose do RRc (com P e K minerais); adubação mineral com adição de N (uréia), P (superfosfato triplo) e K (KCl); e, testemunha (sem adubação). A dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de HC é considerada dose agrônômica, e assim referenciada em todo o texto, por atender aproximadamente à necessidade média de nitrogênio para grande parte das culturas comerciais. Nos tratamentos em que, mesmo com adição de corretivo da acidez, os teores de Ca e Mg trocáveis estavam abaixo de 2,0 e 0,5 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>, respectivamente, foram adicionados gesso agrícola

(fonte de Ca) e  $MgSO_4$  (fonte de Mg) para atingir esses níveis considerados adequados pela SBCS/NRS (2004).

Como corretivo de acidez foi utilizada a mistura de  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$  (produtos comerciais) na proporção de 3:1 em peso, com PRNT = 100.

**Tabela 7.** Caracterização físico-química do hidrolisado de couro (HC) e do resíduo de recurtimento de couros (RRc)

Atributo <sup>(1)</sup>	HC	RRc
Umidade ( $g\ kg^{-1}$ )	74	520
pH em água	4,1	3,8
Carbono orgânico ( $g\ kg^{-1}$ )	430	-
Nitrogênio (TKN) ( $g\ kg^{-1}$ )	99	14
Fósforo total ( $g\ kg^{-1}$ )	1,3	3,2
Potássio total ( $g\ kg^{-1}$ )	0,2	0,6
Cálcio ( $g\ kg^{-1}$ )	2,9	10
Magnésio total ( $g\ kg^{-1}$ )	0,6	4,0
Enxofre total ( $g\ kg^{-1}$ )	12	15
Cobre total ( $mg\ kg^{-1}$ )	20	7
Zinco ( $mg\ kg^{-1}$ )	115	247
Ferro ( $g\ kg^{-1}$ )	1,2	4,7
Manganês ( $mg\ kg^{-1}$ )	8	-
Sódio ( $g\ kg^{-1}$ )	6,6	5,0
Cádmio ( $mg\ kg^{-1}$ )	< 0,2	-
Cromo ( $g\ kg^{-1}$ )	21	14
Níquel ( $mg\ kg^{-1}$ )	10	10
Chumbo ( $mg\ kg^{-1}$ )	7	-
Boro ( $mg\ kg^{-1}$ )	2	-

<sup>(1)</sup> Determinações conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Os tratamentos e quantidades de insumos/resíduos adicionados são dados nas Tabelas 8 e 9, para os solos PVd-1 e PVd-2, respectivamente.



**Tabela 8.** Tratamentos e quantidades de insumos adicionados no solo PVd-1 (u.m. Bom Retiro), antes do cultivo do feijoeiro

Tratamentos		Adubos minerais			N orgânico		Calc	Gesso	MgSO <sub>4</sub>
Nº	Denominação	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	HC	RRc			
		----- kg ha <sup>-1(1)</sup> -----					t ha <sup>-1</sup>	---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---	
Sem correção de acidez									
1	Testemunha	-	-	-	-	-	-	1,2	0,2
2	N mineral	80	190	110	-	-	-	1,2	0,2
3	HC-1	-	190	110	100	-	-	1,2	0,2
4	HC-2	-	190	110	200	-	-	1,2	0,2
5	HC-3	-	190	110	400	-	-	1,2	0,2
6	HC-4	-	190	110	800	-	-	1,2	0,2
7	HC-3+0,5N	40	190	110	400	-	-	1,2	0,2
8	RRc	-	190	110	-	510	-	-	0,2
Com correção de acidez									
9	Testemunha	-	-	-	-	-	1,0	0,75	-
10	N mineral	80	190	110	-	-	1,0	0,75	-
11	HC-1	-	190	110	100	-	1,0	0,75	-
12	HC-2	-	190	110	200	-	1,0	0,75	-
13	HC-3	-	190	110	400	-	1,0	0,75	-
14	HC-4	-	190	110	800	-	1,0	0,75	-
15	HC-3+0,5N	40	190	110	400	-	1,0	0,75	-
16	RRc	-	190	110	-	510	1,0	-	-

<sup>(1)</sup>Base de cálculo: 1 ha = 2,5 x 10<sup>6</sup> kg.

**Tabela 9.** Tratamento e quantidades de adubos/resíduos adicionados no solo PVd-2 (u.m. São Jerônimo), antes do cultivo do feijoeiro

Tratamentos		Adubos minerais			N orgânico		Calc	Gesso	MgSO <sub>4</sub>
Nº	Denominação	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	HC	RRc			
		-----kg ha <sup>-1(1)</sup> -----					t ha <sup>-1</sup>	---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---	
Sem correção de acidez									
17	Testemunha	-	-	-	-	-	-	1,3	-
18	N mineral	80	190	110	-	-	-	1,3	-
19	HC-1	-	190	110	100	-	-	1,3	-
20	HC-2	-	190	110	200	-	-	1,3	-
21	HC-3	-	190	110	400	-	-	1,3	-
22	HC-4	-	190	110	800	-	-	1,3	-
23	HC-3+0,5N	40	190	110	400	-	-	1,3	-
24	RRc	-	190	110	-	510	-	-	-
Com correção de acidez									
25	Testemunha	-	-	-	-	-	4,5	-	-
26	N mineral	80	190	110	-	-	4,5	-	-
27	HC-1	-	190	110	100	-	4,5	-	-
28	HC-2	-	190	110	200	-	4,5	-	-
29	HC-3	-	190	110	400	-	4,5	-	-
30	HC-4	-	190	110	800	-	4,5	-	-
31	HC-3+0,5N	40	190	110	400	-	4,5	-	-
32	RRc	-	190	110	-	510	4,5	-	-

<sup>(1)</sup>Base de cálculo: 1 ha = 2,5 x 10<sup>6</sup> kg.

### 3.4. Instalação do experimento

Os solos utilizados nas unidades experimentais foram secos ao ar até a umidade de 5,2% para o PVd-1 e 5,7% para o PVd-2. Após a tamização em peneira de 4 mm de diâmetro de orifícios, porções de 11,7 kg do solo PVd-1 e 10,4 kg do solo PVd-2 (em base seca) foram acondicionadas em vasos. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de PVC com capacidade de 12 L de solo, (15 cm de diâmetro por 33 cm de altura) com um dreno a 0,5 cm do fundo por tubo de silicone de 0,5 cm de diâmetro. Internamente, o fundo dos vasos foi coberto por uma tela de PVC com orifícios de 2 mm de lado. Foi também colocada no fundo dos vasos uma divisória de chapa de Eucatex (com 5x15 cm) com a finalidade de reduzir o crescimento em círculo das raízes das plantas.

Nos dias 18 e 19/08/2008, os materiais dos tratamentos foram misturados com o solo, sendo colocados a seguir nos vasos.

As unidades experimentais foram mantidas em bancadas, em área cercada e a céu aberto, em delineamento completamente casualizado, com quatro repetições, para o cultivo do feijoeiro.

### 3.5. Cultivo do feijoeiro

A uma semana após a aplicação dos tratamentos, foram semeadas sete sementes de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*) em cada vaso, em 25/08/2008. A emergência das plântulas foi observada em 02/09/2008 e em 22/09/2008 foi feito o desbaste, mantendo-se cinco plantas por vaso.

Nos tratamentos com nitrogênio mineral, a dose aplicada foi dividida em duas partes, sendo a metade aplicada no dia do desbaste e a fração restante a nove dias após, utilizando-se  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  em solução. As plantas foram irrigadas com água potável, de acordo com as necessidades hídricas.

A colheita das plantas de feijoeiro para fins de avaliação de massa seca produzida foi feita em 27/10/2008 (56 dias após a germinação), cortando-se a parte aérea de três plantas a dois centímetros do solo (as duas plantas restantes foram cultivadas até o final do ciclo para a obtenção de grãos). O material coletado foi separado em ramos e e folhas. A colheita das plantas

restantes (duas plantas) foi feita em 12.12.2008. O material coletado foi separado em ramos, folhas e grãos. Todo o material coletado, tanto aos 56 como aos 102 dias (colheita dos grãos) foi seco por 72 horas em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 55°C, para determinação da massa seca. Após secas, as diferentes partes das plantas foram quantificadas e moídas em moinho de facas tipo Willey, com peneira de 2 mm de diâmetro de orifícios, para as determinações de nitrogênio, cromo e outros nutrientes.

Após a colheita do feijoeiro, foi coletada uma porção de solo em duas repetições de cada tratamento. Parte do solo coletado foi armazenado em refrigerador em umidade natural para determinação de CrVI e a outra metade foi seca em estufa a 45 °C para as determinações de CrIII, pH e metais.

### **3.6. Cultivo do rabanete**

Após a colheita do feijoeiro, os solos foram removidos dos vasos para a reaplicação dos tratamentos em 50% das repetições. Em duas das quatro repetições, foi reaplicada metade da dose inicial do hidrolisado de couro (HC) e do resíduo de recurtimento (RRc) e em todos os tratamentos, menos na testemunha, foram adicionados os nutrientes P e K aplicando-se o dobro das quantidades recomendadas para a cultura do rabanete (*Raphanus sativus*) (SBCS/NRS, 2004) (Tabela 10). Nas outras duas repetições não foi feita a reaplicação dos resíduos, com o objetivo de verificar o efeito residual dos mesmos. Após a adição dos tratamentos, todas as unidades experimentais (inclusive as que não receberam qualquer tratamento) foram revolvidas, homogeneizadas e recolocadas em seus respectivos vasos.

A semeadura do rabanete foi feita em 23/01/2009 com sete sementes por vaso; a emergência das plântulas foi observada no terceiro dia após a semeadura, tendo sido mantidas quatro plantas por vaso. Nos tratamentos com adição de nitrogênio mineral, o fertilizante (uréia) foi adicionado, em uma única vez, na dose indicada para a cultura do rabanete. A irrigação das plantas foi feita com água potável conforme as necessidades hídricas da planta.

**Tabela 10.** Quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O minerais e N orgânico, adicionadas na cultura do rabanete (kg ha<sup>-1</sup>) nas repetições com reaplicação dos resíduos

Tratamentos		Adubos minerais			N orgânico	
Nº	Denominações	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	HC	RRc
1	Testemunha	-	-	-	-	-
2	N mineral	40	180	170	-	-
3	HC-1	-	180	170	50	-
4	HC-2	-	180	170	100	-
5	HC-3	-	180	170	200	-
6	HC-4	-	180	170	400	-
7	HC-3+0,5N	20	180	170	200	-
8	RRc	-	180	170	-	255
9	Testemunha	-	-	-	-	-
10	N mineral	40	180	170	-	-
11	HC-1	-	180	170	50	-
12	HC-2	-	180	170	100	-
13	HC-3	-	180	170	200	-
14	HC-4	-	180	170	400	-
15	HC-3+0,5N	20	180	170	200	-
16	RRc	-	180	170	-	255
17	Testemunha	-	-	-	-	-
18	N mineral	40	180	170	-	-
19	HC-1	-	180	170	50	-
20	HC-2	-	180	170	100	-
21	HC-3	-	180	170	200	-
22	HC-4	-	180	170	400	-
23	HC-3+0,5N	20	180	170	200	-
24	RRc	-	180	170	-	255
25	Testemunha	-	-	-	-	-
26	N mineral	40	180	170	-	-
27	HC-1	-	180	170	50	-
28	HC-2	-	180	170	100	-
29	HC-3	-	180	170	200	-
30	HC-4	-	180	170	400	-
31	HC-3+0,5N	20	180	170	200	-
32	RRc	-	180	170	-	255

A colheita do rabanete foi feita 32 dias após a semeadura, separando-se a parte aérea das raízes. Estas foram cuidadosamente lavadas a fim de

retirar todo o resíduo de solo aderido e foram pesadas “in natura”. Após, foi retirada uma película de aproximadamente 1mm de cada raiz, obtendo-se duas frações: a parte externa (casca) e a parte interna. A parte aérea (folhas) e as raízes (casca e parte interna) foram secas por 72 horas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 55°C, para determinação da massa seca. Após este período, as diferentes partes das plantas foram quantificadas e moídas em moinho de facas tipo Willey, com peneiras de 2 mm de diâmetro de orifícios, para determinação de nitrogênio, cromo e outros nutrientes.

Após a colheita do rabanete, foi coletada uma porção de solo de todos os vasos; parte do solo coletado foi armazenada em refrigerador em umidade natural para determinação de Cr(VI) e a outra metade foi seca em estufa a 55°C para determinação de Cr(III), pH e metais.

### **3.7. Análises do tecido vegetal**

Os teores de Cr e de nutrientes (P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe e Mn) na matéria seca do feijão e do rabanete foram determinados em extratos de ácidos nítrico-perclórico e o nitrogênio por digestão sulfúrica, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A determinação do nitrogênio foi feita por destilação (método micro-Kjeldahl), e as dos outros nutrientes por espectrofotometria de emissão ótica (ICP-OES).

### **3.8. Análises do solo**

Nas amostras de solo secas, foram determinados o pH em água e os teores de cromo total extraído com solução de  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$  (método 3050 - USEPA, 1986), sendo determinado por espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES); o cromo (VI) foi determinado nas amostras de solo mantidas úmidas, conforme metodologia descrita por Ciavatta e Gessa (1997). O cromo (III) foi calculado por diferença entre os teores de cromo total e de Cr(VI).

O procedimento de extração de Cr(VI) foi o seguinte: foram pesados 2,5 g de solo úmido em tubos de centrifuga de 50 mL e adicionados 25 mL de água deionizada. As amostras foram agitadas por 2 horas em agitador

horizontal com 100 oscilações por minuto e, em seguida, centrifugadas a 2500 rpm durante 15 minutos. Para a determinação, foram pipetados 5 mL do extrato para frascos de PVC e adicionando-se 0,5 mL de solução com difenilcarbazida. Após 40 minutos (tempo necessário para a reação), a absorvância da solução colorida resultante foi determinada em colorímetro com comprimento de onda de 540 nm. Como o extrato apresentou ligeira coloração, foi feita também a leitura de cada amostra, porém sem adição do reagente cromogênico, para subtrair a absorvância devida aos interferentes. A curva analítica foi preparada com soluções-padrão com  $K_2Cr_2O_7$ .

### **3.9. Análise Estatística**

Os valores obtidos de massa seca e de nutrientes no solo e absorvidos pelas plantas com a utilização dos fertilizantes orgânico e mineral e do resíduo de recurtimento do couro e a eficiência do nitrogênio orgânico aplicado na dose agrônômica foram estudados pela análise de variância com comparação entre médias pelo teste de Tukey (5%) com a utilização do programa SANEST (Zonta e Machado, 1991). As equações de regressão das doses crescentes do hidrolisado de couro foram obtidas com a utilização do programa SigmaPlot 11.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados separadamente para as culturas do feijoeiro e do rabanete, e a discussão dos dados é feita para cada cultura nos itens 4.1 (feijoeiro) e 4.2 (rabanete). Os efeitos da aplicação dos tratamentos sobre o pH e o teor de cromo (III) e (VI) nos solos após o período de cultivo das duas espécies são tratados no item 4.3. Para facilitar a leitura, o fertilizante hidrolisado de couro será indicado como HC e o resíduo de recurtimento de couro como RRc.

### 4.1 Experimento com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)

A apresentação dos resultados será feita por gráficos de resposta à aplicação de doses de fertilizante orgânico e por tabelas comparando o fornecimento de N pela aplicação da dose agronômica do fertilizante orgânico com o N fornecido na forma mineral ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Ambas as formas de N serão comparadas ao tratamento testemunha para as diferentes partes da planta (ramos, folhas e grãos, quando couber). Também serão comparados os tratamentos HC-3 (200 mg  $\text{kg}^{-1}$  de N na forma orgânica), HC-3+0,5 N (com a adição de metade da dose de N mineral) e o RRc entre si e com o N mineral e a testemunha.

#### 4.1.1 Rendimento de massa seca total

Os resultados de rendimento de massa seca total (MSt) da parte aérea do feijoeiro são apresentados na tabela 11. Os valores correspondem à soma da massa seca produzida por parte das plantas aos 56 dias após a semeadura e a massa seca produzida pela demais plantas na época da colheita (ramos, folhas e grãos). A massa seca total produzida foi maior, em média, para os tratamentos cuja acidez dos solos foi corrigida com calcário. Os solos



**Tabela 11.** Rendimento de massa seca total<sup>1</sup> de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro em diferentes doses e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>2</sup>		Solo PVd-2 <sup>2</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>3</sup>	Com correção de acidez <sup>3</sup>	Sem correção de acidez <sup>3</sup>	Com correção de acidez <sup>3</sup>	
	----- g vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	2,7 aB	2,9 aC	3,5 bC	5,6 aB	3,7 B
N mineral	10,9 bA	18,1 aA	11,9 bB	17,0 aA	14,5 A
HC-1 <sup>4</sup>	13,4 aA	18,1 aA	14,2 bAB	17,9 aA	15,9 A
HC-2	12,0 aA	16,3 aA	15,5 aAB	17,1 aA	15,2 A
HC-3	10,8 aA	13,5 aAB	14,5 aAB	18,2 aA	14,2 A
HC-4	11,1 aA	7,8 aBC	20,6 aA	18,7 aA	14,5 A
HC-3+0,5N <sup>5</sup>	9,0 bAB	16,1 aA	16,7 aAB	17,0 aA	14,7 A
RRc	9,9 aAB	13,9 aAB	19,4 aAB	16,1 aA	14,8 A
Média dos tratamentos	10,0 b	13,3 a	14,5 a	16,0 a	
Média de solo	11,7 b		15,3 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Incluída a massa seca da parte aérea avaliada aos 56 dias da emergência e massa seca (incluindo grãos) da colheita;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>3</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>4</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo;

<sup>5</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral.

utilizados têm baixa fertilidade, principalmente em relação aos nutrientes fósforo e nitrogênio. Sem a aplicação desses nutrientes, observa-se que o rendimento obtido foi muito baixo em ambos os solos (Tabela 11). O PVd-1 é um solo muito arenoso (+80% de areia) com baixo teor de matéria orgânica e potencial produtivo. Assim, as altas doses de fertilizante hidrolisado de couro aplicadas neste solo podem ter sido excessivas. Na equivalência em kg ha<sup>-1</sup>, as doses HC-3 e HC-4 correspondem a aproximadamente 4.000 e 8.000 kg de fertilizante. Essas doses não são indicadas agronomicamente e foram incluídas com o propósito de forçar um “stress” tanto no solo quanto na planta. Independente do fertilizante adicionado ao solo, doses que ultrapassem 10 a 15 vezes àquela recomendada agronomicamente causarão algum tipo de “stress” às plantas ou ao ambiente. Essa mesma quantidade distribuída

parceladamente no tempo possivelmente não apresentará efeito negativo para o solo ou para a planta. Pode se observar, no entanto, que o solo PVd-1, com ou sem correção de acidez, os maiores rendimentos de MSt foram obtidos com a dose agronômica (HC-1) de N orgânico, embora não tenha havido diferença estatística do obtido com N mineral. Em todas as doses de HC e RRc, o rendimento de MSt de feijoeiro foi superior ao da testemunha e semelhante ao obtido com o N mineral (Tabela 11). Com correção da acidez, nos tratamentos HC-1 (dose agronômica) e HC-2, o rendimento foi superior ao da testemunha e semelhante ao fertilizante mineral. No entanto, verifica-se a tendência de diminuição a partir da dose HC-2, sendo o menor rendimento obtido na dose HC-4 (maior dose).

No solo PVd-2, sem correção de acidez, o rendimento de MSt em todos os tratamentos foi superior ao da testemunha, sendo os maiores rendimentos obtidos com a dose HC-4. No entanto, as doses HC-1, HC-2, HC-3, HC-3+0,5 N e RRc foram semelhantes entre si diferindo somente do rendimento do tratamento testemunha. Com correção de acidez, todos os rendimentos foram semelhantes entre si diferindo apenas do da testemunha. Isso se deve, provavelmente, à variabilidade experimental, pois o mesmo comportamento não foi observado no solo PVd-1 nem no solo PVd-2 sem calcário (Tabela 11). O maior rendimento médio obtido com a aplicação de doses maiores de fertilizante orgânico e resíduo no PVd-2 é devido aos maiores teores de argila e matéria orgânica deste solo, conseqüentemente maior CTC e maior potencial produtivo. Em solos com maiores teores de argila e matéria orgânica, podem ser aplicadas doses maiores de fertilizantes, tanto orgânico quanto mineral, sem causar “stress” ou toxidez, obtendo-se, assim, maiores rendimentos das culturas.

O efeito da correção de acidez do solo foi mais pronunciado na testemunha, do solo PVd-2, no fertilizante mineral e na dose agronômica do fertilizante hidrolisado de couro (HC-1). A partir das doses HC-2, não houve incremento no rendimento em função da correção de acidez (solo PVd-1) ou esse foi menor devido ao excesso de fertilizante orgânico aplicado (solo PVd-1). Observa-se, entretanto, que em média, o rendimento em ambos os solos foi maior quando houve correção da acidez, mesmo sem diferenças estatísticas no solo PVd-2, demonstrando a resposta da cultura à correção de pH (Tabela 11).

Para estimar a liberação do nitrogênio ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro, a matéria seca das plantas foi avaliada aos 56 dias após a emergência das plântulas e na colheita dos grãos. Em relação à correção ou não da acidez, aos 56 dias se observaram diferenças no rendimento de MS no tratamento HC-3+0,5N no solo PVd-1 e no HC-2 no PVd-2. Entretanto, na colheita no PVd-1, o tratamento N mineral e o fertilizante orgânico na dose HC-1, o rendimento foi estatisticamente maior com correção de acidez. No PVd-2, os tratamentos N mineral, HC-1 e HC-2 apresentaram rendimentos maiores quando a acidez do solo foi corrigida (Tabela 12 e 13). O menor rendimento com o RRc no solo PVd-2 com correção de acidez pode estar associado ao pH do solo muito elevado no início e durante o cultivo, pois este resíduo tem alto poder de neutralização da acidez.

**Tabela 12.** Rendimento de massa seca de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), aos 56 dias após a emergência, em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro em diferentes doses e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>2</sup>		Solo PVd-2 <sup>2</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>3</sup>	Com correção de acidez <sup>3</sup>	Sem correção de acidez <sup>3</sup>	Com correção de acidez <sup>3</sup>	
----- g vaso <sup>-1</sup> -----					
Testemunha	0,8 aD	0,9 aC	0,5 aB	0,8 aB	0,8 E
N mineral	6,4 aAB	8,6 aA	4,3 aA	4,1 aAB	5,9 AB
HC-1 <sup>4</sup>	6,9 aA	7,1 aAB	6,0 aA	4,8 aA	6,2 A
HC-2	5,2 aABC	5,8 aAB	5,4 aA	2,7 bAB	4,8 ABC
HC-3	3,4 aABCD	3,7 aBC	3,6 aAB	4,8 aA	3,9 CD
HC-4	1,8 aCD	1,2 aC	4,2 aA	2,3 aAB	2,4 DE
HC-3+0,5N <sup>5</sup>	2,8 bBCD	6,2 aAB	4,2 aA	3,6 aAB	4,2 BC
RRc	1,5 aD	2,1 aC	2,5 aAB	3,4 aAB	2,4 DE
Média dos tratamentos	3,6 b	4,4 a	3,9 a	3,3 a	
Média de solo	4,0*		3,6		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

**Tabela 13.** Rendimento de massa seca na colheita<sup>1</sup> de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>2</sup>		Solo PVd-2 <sup>2</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>3</sup>	Com correção de acidez <sup>3</sup>	Sem correção de acidez <sup>3</sup>	Com correção de acidez <sup>3</sup>	
	----- g vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	1,9 aB	2,0 aB	3,0 aD	4,8 aB	2,9 C
N mineral	4,5 bAB	9,4 aA	7,6 bCD	12,9 aA	8,6 B
HC-1 <sup>4</sup>	6,5 bAB	11,1 aA	8,2 bCD	13,1 aA	9,7 AB
HC-2	6,8 aAB	10,6 aA	10,2 bC	14,4 aA	10,5 AB
HC-3	7,5 aA	9,8 aA	10,9 aBC	13,4 aA	10,4 AB
HC-4	9,3 aA	6,6 aAB	16,4 aAB	16,5 aA	12,2 A
HC-3+0,5N <sup>5</sup>	6,2 aAB	10,0 aA	12,4 aABC	13,4 aA	10,5 AB
RRc	8,4 aA	11,8 aA	16,9 aA	12,7 bA	12,4 A
Média dos tratamentos	6,4 b	8,9 a	10,7 b	12,6 a	
Média de solo	7,7 b		11,7 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Ramos + folhas + vagens e grãos;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>3</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

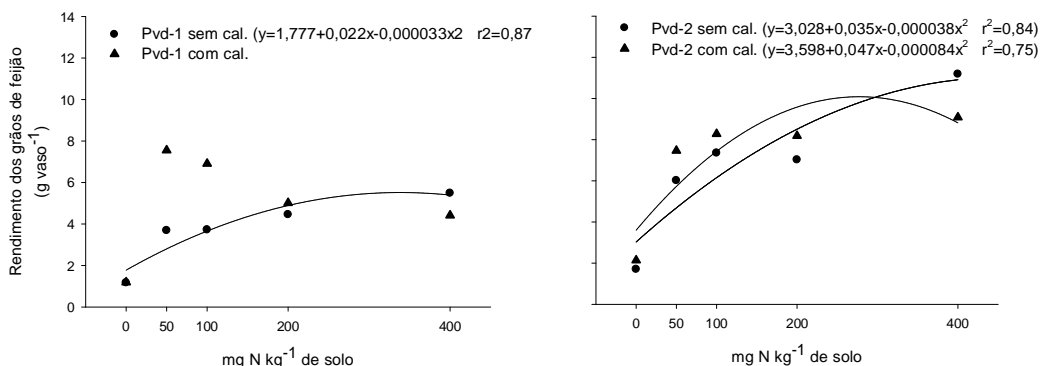
<sup>4</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo;

<sup>5</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral.

O rendimento de matéria seca, aos 56 dias após a emergência das plântulas, na dose agrônômica do fertilizante hidrolisado de couro (HC-1), nos dois solos com e sem a correção de acidez, foi semelhante ao rendimento do tratamento N mineral (NPK) e muito superior ao tratamento testemunha. Observa-se, no entanto, que nas doses mais elevadas de HC, houve uma tendência de decréscimo nos rendimentos de MS de feijoeiro (Tabela 12). Isso pode ter ocorrido devido às quantidades excessivas aplicadas nestes tratamentos, principalmente no HC-4 e no RRc, causando um forte “stress” no início do ciclo da cultura em ambos os solos. Esse “stress”, entre outras possibilidades, pode ser devido à presença de grandes quantidades de sódio nos materiais aplicados e/ou, por consequência”, a elevadas quantidades de sal.

O rendimento de MS do feijoeiro, no final do ciclo da cultura (folhas, ramos e grãos), na média dos dois solos, foi superior à da testemunha para todos os tratamentos testados. Nos tratamentos HC-1, HC-2 e HC-3+0,5N, o rendimento foi superior ao do N mineral, porém não diferiu estatisticamente. O

efeito negativo das doses excessivamente altas não foi mais observado no final do ciclo da cultura, à exceção da dose HC-4 no solo PVd-1 com calcário. Pelo fato dos vasos estarem sob condições de tempo natural, com o passar do tempo, parte do sódio ou dos sais presentes foram lixiviados.



**Figura 1.** Rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos, com e sem correção da acidez, e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N.

#### 4.1.2 Rendimento de grãos de feijoeiro

Os resultados de rendimentos de grãos de feijoeiro são apresentados na Figura 1 e nas tabelas 14 e 15. O rendimento de grãos do solo PVd-2, com e sem correção da acidez, aumentou proporcionalmente com o aumento das doses do fertilizante hidrolisado (Figura 1). No PVd-1 sem correção da acidez, o rendimento de grãos de feijão aumentou até a dose 50 mg kg<sup>-1</sup> de N (HC-1), mantendo-se semelhante nas demais doses. Com o solo corrigido, o aumento foi até a dose de 100 mg kg<sup>-1</sup> de N, com decréscimo nas duas doses maiores que foram semelhantes entre si. A correção da acidez neste solo propiciou melhores condições de desenvolvimento das plantas e resultou em maior eficiência de utilização do fertilizante hidrolisado de couro. No solo PVd-2, sem correção da acidez, o incremento no rendimento de grãos foi proporcional às doses aplicadas. Com correção da acidez, a partir da dose de 50 mg kg<sup>-1</sup> de N, os incrementos foram menores, se comparados aos obtidos sem correção do solo. A correção da acidez neste solo, somada às altas doses de fertilizante

orgânico, possivelmente, proporcionou uma intensa atividade microbiana com a liberação de uma quantidade de sais muito elevada, que interferiram na absorção de nutrientes (Figura 1).

A comparação feita entre a dose agronômica do hidrolisado de couro (HC-1) e o N mineral ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) indica que a eficiência agronômica do nitrogênio oriundo do HC foi semelhante ao do uréia. Em condições de acidez elevada, o fertilizante orgânico promove uma melhoria nas condições químicas do solo propiciando um maior desenvolvimento das plantas de feijoeiro (Tabela 14). Resultados semelhantes foram obtidos em trabalho realizado na Itália com os mesmos tratamentos por Silva et al. (1997).

**Tabela 14.** Rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro aplicados em dose agronômica (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>1</sup>		Solo PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- g vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	1,2 aB	1,2 aB	1,7 aB	2,1 aB	1,6 B
N mineral	2,7 bAB	5,8 aA	5,1 bA	7,3 aA	5,2 A
HC-1 <sup>3</sup>	3,7 bA	7,6 aA	6,0 aA	7,5 aA	6,2 A
Média	3,7 b		5,0 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1 equivale a 50 mg de N por kg de solo.

Com correção de acidez, o rendimento de grãos foi maior no PVd-1 na aplicação do fertilizante hidrolisado quanto para o N mineral, e no PVd-2 apenas com aplicação do N mineral. Na média dos solos com e sem correção de acidez, o rendimento de grãos foi maior no solo PVd-2 devido ao maior potencial produtivo deste solo.

Na média dos tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro nos dois tipos de solos com e sem correção da acidez o rendimento de grãos foi maior no RRC (Tabela 15).

**Tabela 15.** Rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Pvd-1 <sup>1</sup>		Pvd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	1,2 aB	1,2 aB	1,7 aC	2,1 aB	1,6 C
N mineral	2,7 bAB	5,8 aA	5,1 bB	7,3 aA	5,2 B
HC-3 <sup>3</sup>	4,5 aA	5,0 aA	7,0 aAB	8,2 aA	6,2 AB
HC-3+0,5 N <sup>4</sup>	3,4 bAB	6,1 aA	8,7 aA	7,5 aA	6,4 AB
RRc	5,3 aA	6,7 aA	9,1 aA	7,8 aA	7,2 A
Média	4,2 b		6,5 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (Pvd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (Pvd-2);

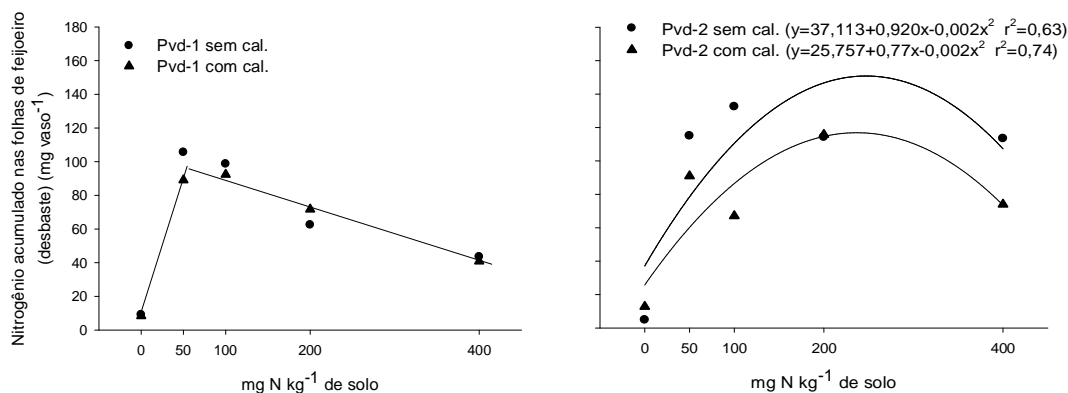
<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-3 equivale a 200 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

#### 4.1.3 Absorção de nitrogênio por plantas de feijoeiro

A quantidade de nitrogênio acumulado nas folhas no período de 56 dias, em função das doses crescentes de N adicionado na forma de fertilizante orgânico, foi maior na dose agronômica (HC-1) e diminuiu à medida que aumentaram as doses no solo PVD-1 sem e com correção de acidez (Figura 2). No solo PVD-2, sem correção de acidez, o nitrogênio acumulado nas plantas



**Figura 2.** Nitrogênio acumulado nas folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), no período de 56 dias, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N.

até 30 dias após a semeadura foi proporcional à dose de fertilizante orgânico aplicada até a dose de 100 mg N kg<sup>-1</sup> de solo e com correção de acidez até a dose de 200 mg N kg<sup>-1</sup> de solo. Neste solo com mais matéria orgânica e argila, são possíveis adições mais elevadas de fertilizante orgânico do que no solo PVd-1. Verifica-se, também, que o acúmulo de nitrogênio nos tratamentos foi proporcional à massa seca produzida no período de 56 dias de cultivo (Tabela 12).

A eficiência agronômica do fertilizante hidrolisado de couro no tratamento HC-1 (dose agronômica) foi semelhante à do fertilizante mineral. A quantidade absorvida de nitrogênio até os 30 dias após a semeadura variou entre 89 e 115 mg por vaso nos tratamentos de HC e de 86 a 104 para a forma N mineral (Tabela 16).

**Tabela 16.** Nitrogênio acumulado em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>1</sup>		Solo PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	9,1 *B	8,4 B	4,9 aC	12,8 aB	8,8 B
N mineral	86 A	104 A	88 aB	87 aA	91 A
HC-1 <sup>3</sup>	106 A	89 A	115 aA	91 bA	100 A
<b>Média</b>	<b>67*</b>		<b>66</b>		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1 equivale a 50 mg de N por kg de solo;

\* Não tem diferenças significativas.

A comparação das demais doses do fertilizante hidrolisado de couro com a testemunha, N mineral e RRc (Tabela 17) mostra que o acúmulo de nitrogênio nas folhas aos 56 dias após a emergência das plântulas foi, em média, maior no solo PVd-2 que no PVd-1. Entre os tratamentos, na média, o N mineral, HC-3 e HC-3+0,5N propiciaram maiores valores de N absorvido e não diferiram entre si. O RRc foi o que propiciou o menor acúmulo entre os tratamentos, porém, junto aos demais, muito maior do que o acúmulo no tratamento testemunha (Tabela 17).



**Tabela 17.** Nitrogênio acumulado em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com N mineral, hidrolisado de couro com e sem N mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	PVd-1 <sup>1</sup>		PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	9,1 aC	8,4 aC	4,9 *C	12,8 B	8,8 C
N mineral	86 aA	104 aA	88 AB	87 A	91 A
HC-3 <sup>3</sup>	62 aAB	72 aAB	114 A	116 A	91 A
HC-3 + 0,5 N <sup>4</sup>	66 bAB	104 aA	111 A	87 A	92 A
RRc	37 aBC	52 aB	62 B	79 A	58 B
Média	60 b		76 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-3 equivale a 200 mg de N por kg de solo;

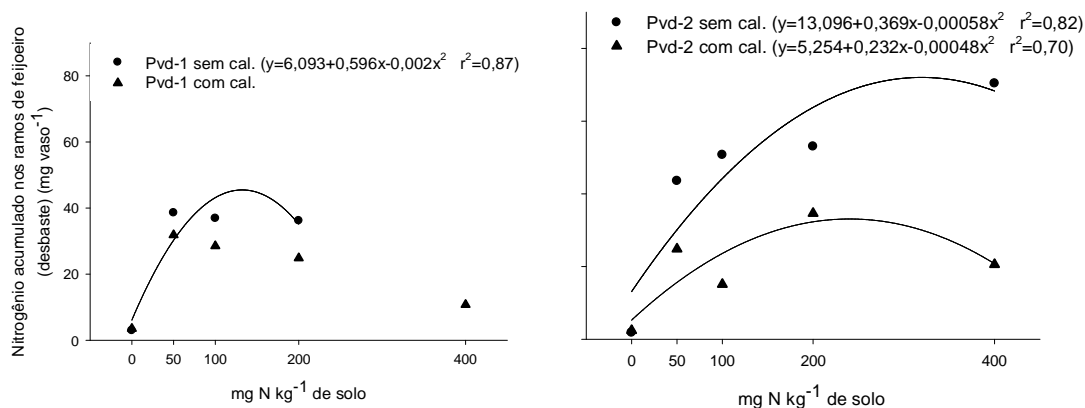
<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

A adição de N mineral ao fertilizante orgânico na dose 200 mg kg<sup>-1</sup> de N (HC-3) foi para verificar se havia contribuição de N suficiente por parte do hidrolisado de couro. Os resultados mostram que não houve diferença na quantidade absorvida pelas plantas neste período, indicando que a taxa de mineralização foi alta e houve disponibilização de nutriente suficiente para atender às necessidades da cultura.

O maior acúmulo de nitrogênio nos ramos de feijão no período de 56 dias ocorreu sem a correção de acidez em ambos os solos (Figura 3). Com correção de acidez, houve um incremento na absorção de N até a primeira dose de fertilizante orgânico (HC-1) no solo PV-1 e no PVd-2 no tratamento HC-3. Para as demais doses, o acúmulo foi semelhante. No solo PVd-1 na maior dose, devido à pouca quantidade de ramos, não foi determinado o nitrogênio para possibilitar a análise do elemento cromo.

Na comparação do acúmulo de nitrogênio da dose agrônômica do fertilizante orgânico com o N mineral, observou-se semelhança entre os valores com e sem correção da acidez do solo no PVd-1 e no PVd-2 com correção de acidez (Tabela 18).



**Figura 3.** Nitrogênio acumulado nos ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), em 56 dias após a emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N.

**Tabela 18.** Nitrogênio acumulado em ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 4 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>1</sup>		Solo PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	3,0 *B	3,5 B	1,8 aC	2,4 aB	2,7 B
N mineral	38,6 A	32,9 A	28,0 aB	24,5 aA	31,0 A
HC-1 <sup>3</sup>	38,6 A	31,8 A	43,5 aA	24,8 bA	34,7 A
Média	24,7 a		20,8 b		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1 equivale a 50 mg de N por kg de solo;

\* Não tem diferenças significativas.

O nitrogênio acumulado nos ramos de feijoeiro no período de 56 dias, nos tratamentos HC-3, HC-3+0,5N, N mineral e RRc (Tabela 19), seguiu a mesma tendência do que ocorreu com as folhas (Tabela 17). Não houve, em média, diferença entre o N mineral, HC-3 e HC-3+0,5N, porém estes diferiram significativamente da testemunha e do RRc.

**Tabela 19.** Nitrogênio acumulado em ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), no período de 56 dias da emergência, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com adição de N mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>1</sup>		Solo PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	3,0 *B	3,5 B	1,8 aD	2,4 aB	2,7 B
N mineral	38,6 A	32,9 A	28,0 aBC	24,5 aAB	31,0 A
HC-3 <sup>3</sup>	36,2 A	24,9 AB	53,0 aA	34,6 bA	37,2 A
HC-3+0,5 N <sup>4</sup>	22,2 AB	36,2 A	43,6 aAB	21,7 bAB	30,9 A
RRc	-	-	18,4 aCD	16,8 aAB	8,8 B
<b>Média</b>	<b>19,8*</b>		<b>24,5</b>		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

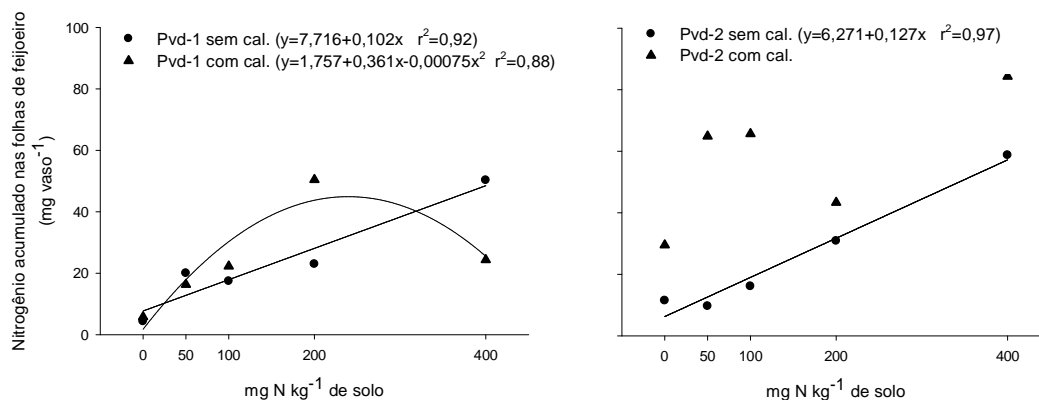
<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-3 equivale a 200 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

O acúmulo de nitrogênio nas folhas de feijoeiro na colheita aumentou com aumento das doses de fertilizante hidrolisado em ambos os solos com e sem correção de acidez, à exceção do solo PVd-1 com correção de acidez, na dose 400 mg kg<sup>-1</sup> de N em que incremento foi menor que a dose 200 mg kg<sup>-1</sup> e semelhante à dose 100 mg kg<sup>-1</sup> de N (Figura 4).



**Figura 4.** Nitrogênio acumulado nas folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), da semeadura à colheita, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N.

A quantidade de nitrogênio acumulado nas folhas de feijoeiro (Tabela 20), da semeadura até a colheita, não diferiu entre os tratamentos N mineral e fertilizante orgânico (HC-1) no solo PVd-2 com correção da acidez. Houve diferença também entre as quantidades de N absorvido pelas folhas de feijoeiro nos diferentes solos, indicando a diferença, entre esses, de potencial produtivo.

**Tabela 20.** Nitrogênio acumulado, da semeadura à colheita, nas folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>1</sup>		Solo PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	4,3 *	5,8	11,5 a*	29,5 aB	12,8*
N mineral	7,6	29,5	12,5 b	58,0 aAB	26,9
HC-1 <sup>3</sup>	20,0	16,3	9,7 b	64,9 aA	27,7
<b>Média</b>	<b>13,9 b</b>		<b>31,0 a</b>		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1 equivale a 50 mg de N por kg de solo;

\* Não tem diferenças significativas.

O acúmulo de nitrogênio nas folhas de feijoeiro, da semeadura até a colheita, foi maior nos tratamentos HC-3, HC-3+0,5 N e RRc (Tabela 21). Isso indica que o menor acúmulo observado no período de 30 dias para esses tratamentos ocorreu devido ao “stress” inicial das plantas pelas altas doses adicionadas. Após esse período, a quantidade de N fornecido pelo fertilizante orgânico e pelo RRc foi superior à do tratamento N mineral, fazendo com que houvesse um elevado acúmulo de N nas folhas.

A tendência de acúmulo de nitrogênio nos ramos, da semeadura à colheita, foi semelhante à das folhas para o mesmo período. No entanto, no solo PVd-1 houve menor acúmulo de N nas doses maiores de fertilizante orgânico (HC-3 e HC-4) também no tratamento com correção da acidez (Figura 5).

O acúmulo de N nos ramos, na média, foi semelhante para o tratamento N mineral e fertilizante hidrolisado de couro em quantidades agrônômicas. Em ambos os tratamentos, o acúmulo de N foi superior ao tratamento testemunha (Tabela 22).

**Tabela 21.** Nitrogênio acumulado, da semeadura à colheita, nas folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com adição de N mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Solo PVd-1 <sup>1</sup>		Solo PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	4,3 *	5,8 *B	11,5 aB	29,5 a*	12,8 C
N mineral	7,6	29,5 AB	12,5 bB	58,0 a	26,9 BC
HC-3 <sup>3</sup>	23,0	50,5 A	30,9 aB	43,3 a	36,9 B
HC-3+0,5 N <sup>4</sup>	25,0	32,1 AB	30,6 aB	60,3 a	37,0 B
RRc	36,4	63,8 A	113,5 aA	65,7 b	69,9 A
<b>Média</b>	<b>27,8 b</b>		<b>45,6 a</b>		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

HC = hidrolisado de couro; RRc = resíduo de recurtimento de couro

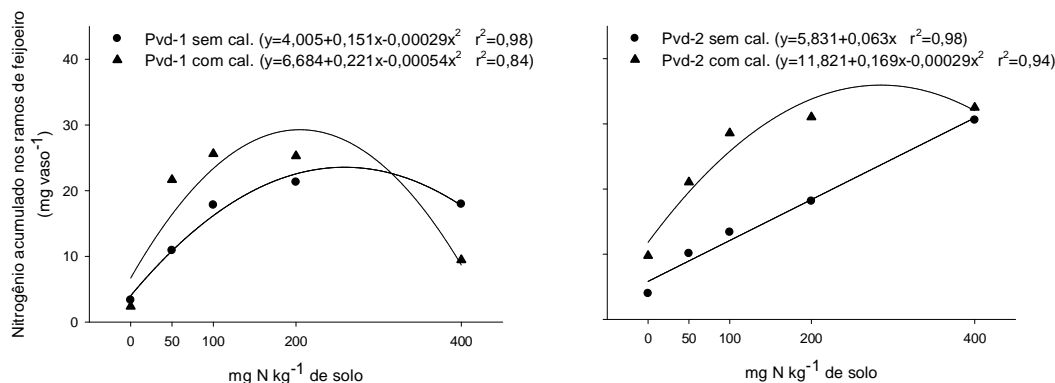
<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-3 equivale a 200 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.



**Figura 5.** Nitrogênio acumulado, da semeadura à colheita, nos ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N.

**Tabela 22.** Nitrogênio acumulado da semeadura à colheita nos ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 3 repetições)

Tratamentos	PVd-1 <sup>1</sup>		PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	3,4 *	2,4 B	4,0 a*	9,8 aB	4,9 B
N mineral	6,9	14,9 AB	9,6 b	34,6 aA	16,5 A
HC-1 <sup>3</sup>	10,9	21,7 A	10,1 a	21,1 aAB	15,9 A
Média	10,0 b		14,9 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1 equivale a 50 mg de N por kg de solo;

\* Não tem diferenças significativas.

Nos tratamentos N mineral, HC-3, HC-3+0,5N e RRc (Tabela 23), os valores de N acumulado são menores do que os valores obtidos para os mesmos tratamentos nas folhas. A quantidade absorvida de N foi maior nos tratamentos com fertilizante orgânico e RRc do que no tratamento N mineral, indicando maior disponibilidade de N para as culturas nesses tratamentos.

**Tabela 23.** Nitrogênio acumulado nos ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com adição de N mineral, e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	PVd-1 <sup>1</sup>		PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	3,4 *B	2,4 *B	4,0 aB	9,8 aB	4,9 C
N mineral	6,9 AB	14,9 AB	9,6 bB	34,6 aA	16,5 B
HC-3 <sup>3</sup>	21,3 A	25,3 A	18,1 bB	31,0 aA	23,9 AB
HC-3+0,5 N <sup>4</sup>	16,0 AB	23,6 A	20,1 aB	29,5 aA	22,3 AB
RRc	18,6 AB	28,3 A	43,0 aA	28,6 bA	29,6 A
Média	16,1 b		22,8 a		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

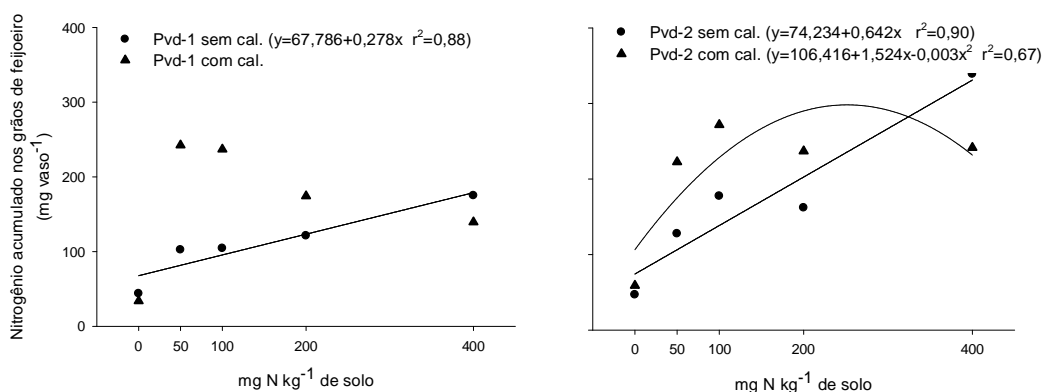
<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-3 equivale a 200 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

O nitrogênio acumulado em grãos de feijoeiro aumentou com a aplicação de fertilizante orgânico, com correção da acidez do solo, até a dose de 100 mg kg<sup>-1</sup> de N aplicado, no solo PVd-1, e até a dose de 200 mg kg<sup>-1</sup> de N no PVd-2. Entretanto, sem correção da acidez, o N acumulado foi crescente com as doses aplicadas no solo PVd-1 e PVd-2 (Figura 6). Nas doses mais elevadas do fertilizante orgânico, a adição de calcário propiciou menor acúmulo de nitrogênio nos grãos, principalmente no PVd-1, por ser um solo mais arenoso, de baixo potencial produtivo; e para essa condição, as doses de fertilizante orgânico adicionadas foram excessivamente altas.



**Figura 6.** Nitrogênio acumulado em grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com doses crescentes de nitrogênio, utilizando fertilizante hidrolisado de couro como fonte de N.

A comparação entre o acúmulo de nitrogênio nos grãos de feijoeiro na dose agrônômica do fertilizante orgânico e o tratamento N mineral mostra semelhança no comportamento de ambos, mas com a tendência de menor acúmulo no tratamento com N mineral (Tabela 24). Isso ocorreu, provavelmente, devido à maior perda de N da fonte mineral. Enquanto o N

mineral é todo disponibilizado na aplicação, o N do fertilizante orgânico é disponibilizado lentamente (“slow release”) via degradação microbiana da matéria orgânica evitando, em parte, perdas tanto por lixiviação como por volatilização. Resultados semelhantes a este estudo foram obtidos em experimento conduzido na Itália com os mesmos tratamentos em que o acúmulo de N foi semelhante nos tratamentos N mineral e hidrolisado de couro com 152 e 139 g vaso<sup>-1</sup> de N, respectivamente, comparado à testemunha em que o acúmulo foi de apenas 76 g vaso<sup>-1</sup> de N (Silva et al., 1997).

**Tabela 24.** Nitrogênio acumulado nos grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral e hidrolisado de couro na dose agronômica (média de 3 repetições)

Tratamentos	PVd-1 <sup>1</sup>		PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	Sem correção de acidez <sup>2</sup>	Com correção de acidez <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	44 a*	34 aB	47 a*	59 aB	46 B
N mineral	73 b	196 aA	105 b	218 aA	148 A
HC-1 <sup>3</sup>	102 b	242 aA	128 b	223 aA	174 A
<b>Média</b>	<b>115</b>		<b>130</b>		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-1 equivale a 50 mg de N por kg de solo;

\* Não tem diferenças significativas;

- Sem desenvolvimento de grãos.

Na comparação entre os N mineral, HC-3 e HC-3+0,5N e RRc (Tabela 25), o acúmulo de N por grãos de feijoeiro diferiu estatisticamente entre alguns tratamentos. Sem a correção do solo, os tratamentos com fertilizante orgânico e com RRc foram mais eficientes em suprir nitrogênio para as plantas em relação ao tratamento N mineral. Conseqüentemente, houve maior acúmulo de N nos grãos de feijoeiro.

#### 4.1.4 Absorção de cromo por plantas de feijoeiro

A concentração de cromo nas folhas e ramos após 56 dias da emergência das plântulas de feijoeiro foi maior no solo PVd-1 sem correção de acidez (Tabela 26). Isso ocorre devido ao efeito concentração, em que a quantidade de massa produzida, em função da não correção de acidez, ser menor para a mesma quantidade de nutriente ou elemento absorvido. Já no solo PVd-2, não se observaram diferenças na concentração do cromo pela correção ou não da acidez, embora haja a tendência de os valores serem menores no solo quando essa foi corrigida.

Nas folhas, sem correção de acidez no solo PVd-1, a maior concentração de cromo foi obtida nos tratamentos HC-4 e RRc que diferiram dos outros tratamentos apresentando menor concentração. Houve a mesma tendência com correção de acidez. Esses valores são coerentes com a MS seca



**Tabela 25.** Nitrogênio acumulado nos grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro sem e com aplicação de N mineral e resíduo de recurtimento de couro.(média de 3 repetições)

Tratamentos	PVd-1 <sup>1</sup>		PVd-2 <sup>1</sup>		Média
	Sem correção de acidez. <sup>2</sup>	Com correção de acidez. <sup>2</sup>	Sem correção de acidez. <sup>2</sup>	Com correção de acidez. <sup>2</sup>	
	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	44 aB	34 aB	47 aC	59 aB	46 C
N mineral	73 bB	196 aA	105 bBC	218 aA	148 B
HC-3 <sup>3</sup>	121 aAB	174 aA	162 bAB	237 aA	174 AB
HC-3+0,5 N <sup>4</sup>	108 bAB	201 aA	230 aA	220 aA	190 AB
RRc	171 aA	192 aA	245 aA	225 aA	208 A
<b>Média</b>	<b>131 b</b>		<b>175 a</b>		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> HC-3 equivale a 200 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

- Sem desenvolvimento de grãos.

produzida no mesmo período (Tabela 12) em que o rendimento diminui à medida que a dose de fertilizante orgânico ou resíduo aumentou. Essa diminuição de MS produzida foi mais acentuada no solo PVd-1 do que no PVd-2, e isso se refletiu também na concentração de cromo nas folhas e ramos de feijoeiro cultivado em ambos os solos (Tabela 26).

O componente a mais, na época da colheita, foram os grãos de feijoeiro. Nestes, o teor de cromo não apresentou diferenças significativas entre todos os tratamentos testados, assim como não houve diferenças para a correção da acidez do solo (Tabela 27). O teor de cromo nas folhas e nos ramos não apresenta nenhuma tendência. Em alguns tratamentos, com quantidades menores de cromo adicionado, houve maior teor de cromo na MS da folha do que em outros cuja quantidade adicionada ao solo foi bem maior. A quantidade de cromo adicionado variou de 10,4 a 84 mg kg<sup>-1</sup> de solo com o fertilizante hidrolisado de couro e aproximadamente 190 mg kg<sup>-1</sup> com o RRc. Isso pode estar associado ao modo de coleta das folhas no final do ciclo da cultura. Muitas folhas já se encontravam sobre o solo, quando da colheita, por ter havido a queda natural das que já haviam completado o ciclo. Embora tenha sido feita a

**Tabela 26.** Teor de cromo em folhas e ramos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), após 56 da emergência das plântula, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Sem correção de acidez <sup>1</sup>		Com correção de acidez <sup>1</sup>	
	Folhas	Ramos	Folhas	Ramos
----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
PVd-1 <sup>2</sup>				
Testemunha	2,0 aB	0,9 b*	1,7 aB	0,6 b*
N mineral	1,2 aB	0,9 a	1,0 aB	0,5 a
HC-1 <sup>3</sup>	1,1 aB	0,8 a	1,3 aB	0,7 a
HC-2	1,3 aB	0,8 a	1,5 aB	0,8 a
HC-3	1,7 aB	0,7 b	1,6 aB	0,7 b
HC-4	3,3 aA	1,4 b	1,9 aB	0,9 b
HC-3+0,5N <sup>4</sup>	1,9 aB	1,2 a	1,6 aB	1,1 a
RRc	3,5 aA	0,8 b	4,1 aA	0,6 b
Média de tratamentos	2,0 a	0,9 b	1,8 a	0,7 b
Méd. de correção de acidez	1,5		1,3	
-----				
PVd-2 <sup>2</sup>				
Testemunha	1,0 *	0,6	1,6 a*	0,8 b*
N mineral	0,8	0,6	0,8 a	0,5 a
HC-1	0,7	0,6	1,0 a	0,4 a
HC-2	1,1	0,7	1,0 a	0,5 a
HC-3	1,1	0,7	1,0 a	0,5 a
HC-4	1,3	0,8	1,3 a	0,5 b
HC-3+0,5N	1,1	0,5	1,1 a	0,5 a
RRc	1,2	0,6	0,9 a	0,6 a
Média dos tratamentos	1,0 A	0,6 b	1,1 a	0,5 b
Méd. de correção de acidez	0,8		0,8	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

higienização das folhas, pode ter ocorrido contaminação destas por poeira ou resíduo de solo, por se tratar de concentrações muito baixas de cromo. Sintomas de toxidez de cromo, na forma de clorose acentuada em folhas, foram

**Tabela 27.** Teor de cromo em folhas, ramos e grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante mineral, hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 3 repetições)

Tratamentos	Sem correção de acidez <sup>1</sup>			Com correção de acidez <sup>1</sup>		
	Folha	Ramo	Grão	Folha	Ramo	Grão
-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
PVD-1 <sup>2</sup>						
Testemunha	3,5 b*	6,8 aA	0,6 c*	0,7 aB	1,3 a*	0,61 a*
N mineral	2,6 a	2,3 aB	3,5 a	0,8 aB	1,8 a	0,76 a
HC-1 <sup>3</sup>	2,8 a	2,9 aB	1,7 a	4,4 aA	1,5 b	0,89 b
HC-2	2,7 a	1,8 aB	1,7 a	1,4 aAB	1,9 a	0,65 a
HC-3	1,8 a	2,8 aB	1,8 a	2,7 aAB	1,6 a	0,75 a
HC-4	1,8 a	1,7 aB	1,4 a	4,2 aA	3,2 a	0,63 b
HC-3+0,5N <sup>4</sup>	2,4 a	2,0 aB	1,0 a	2,2 aAB	1,6 a	0,74 a
RRc	2,5 a	1,4 aB	0,9 b	3,5 aAB	2,7 ab	0,69 b
Méd. de tratamentos	2,5 a	2,7 a	1,6 b	2,5 a	2,0 a	0,7 b
Méd. de correção de acidez		2,3 a			1,7 b	
-----						
PVD-2 <sup>2</sup>						
Testemunha	1,7 bA	6,0 aA	0,58 b*	0,5 aB	1,2 a*	0,64 a*
N mineral	4,5 aA	2,2 abB	0,90 b	0,7 aB	1,1 a	0,84 a
HC-1	2,6 aA	1,6 aB	0,72 a	0,9 aB	1,6 a	0,67 a
HC-2	2,4 aA	1,9 aB	0,68 a	0,5 aB	1,1 a	0,86 a
HC-3	2,3 aA	1,6 aB	0,73 a	1,1 aB	1,7 a	0,64 a
HC-4	2,8 aA	2,8 aB	0,91 a	1,2 aB	1,1 a	0,83 a
HC-3+0,5N	2,0 aA	2,5 aB	0,61 a	1,0 aB	1,4 a	0,61 a
RRc	1,0 aB	1,4 aB	1,12 a	4,7 aA	3,1 ab	0,88 b
Méd. de tratamentos	2,4 a	2,5 a	0,8 b	1,3 a	1,5 a	0,7 b
Méd. de correção de acidez		1,9 a			1,2 b	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVD-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVD-2);

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

relatados por Gunsé et al. (1992) com a adição 160 mg kg<sup>-1</sup> de cromo, quando o resíduo contendo este elemento foi aplicado na forma de lodo.

A dúvida, que comumente surge, é se essas plantas e/ou o que por elas é produzido podem ser utilizados para o consumo animal. O cromo é um mineral essencial para os mamíferos (Mertz, 1969), participando como co-fator

na atividade da insulina, no metabolismo dos carboidratos e reduzindo o colesterol e os triglicerídeos. A “Internacional Union of Nutritional Sciences” (1993) recomenda a ingestão diária de 0,05 a 0,2 mg de cromo por pessoa adulta (apud Silva, 1989). Pela média dos teores de cromo determinados nos grãos de feijoeiro dos tratamentos com hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento, neste trabalho, uma pessoa adulta poderia consumir até 200 g de feijão por dia para obter o suprimento de 0,1 mg de Cr.

## **4.2 Experimento com rabanete (*Raphanus sativus*)**

### **4.2.1 Rendimento de matéria seca de rabanete**

Após a colheita dos grãos de feijoeiro, reaplicou-se meia dose de fertilizante hidrolisado de couro e RRC em metade dos tratamentos e noutra metade não houve qualquer aplicação com a finalidade de verificar o efeito residual do fertilizante orgânico e do resíduo de recurtimento de couro. A cultura utilizada foi o rabanete (*Raphanus sativus*), e os resultados de rendimento da matéria seca de folhas e de raízes são apresentados na tabelas 28 e 29, respectivamente. Entre os tratamentos, em ambos os solos, na média com e sem correção de acidez, a maior quantidade de matéria seca de folhas foi obtida com o tratamento HC-4, com 6,4 e 6,0 gramas por vaso para os solos PVd-1 e PVd-2, respectivamente. A menor quantidade MS de folhas foi obtida na testemunha com 0,5 e 0,3 gramas por vasos, em média, PVd-1 e PVd-2, respectivamente (Tabela 28). No solo PVd-1, os tratamentos de efeito residual sem e com corretivo de acidez não apresentaram diferença no rendimento de massa seca de folhas. Com meia dose, independente da correção ou não da acidez, o maior rendimento de MS foi obtido com o tratamento HC-4, diferindo estatisticamente do tratamento N mineral (Tabela 28). Em efeito residual, no solo PVd-1, não foi semelhante ao efeito imediato com aplicação de meia dose nos tratamentos HC-3, HC-4 e HC-3+0,5N, indicando que as doses mais baixas (agronômicas) suprem a quantidade necessária de N para a quantidade produzida, entretanto nas doses mais elevadas a quantidade de N adicionado na meia dose reflete em maior produção. No PVd-2 a correção do solo teve

**Tabela 28.** Rendimento de massa seca de folhas de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e com fertilizante hidrolisado de couro<sup>1</sup> e resíduo de recurtimento de couro (efeitos imediato e residual) (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem correção de acidez <sup>2</sup>		Com correção de acidez <sup>2</sup>		Média
	Residual	Imediato ½ dose	Residual	Imediato ½ dose	
----- g vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd -1 <sup>3</sup>					
Testemunha	0,2 aB	0,2 aC	0,8 aB	0,9 aC	0,5 C
N mineral		4,2 B		4,6 BC	4,4 AB
HC-1 <sup>4</sup>	1,9 aAB	3,2 aBC	3,0 aAB	4,0 aBC	3,0 B
HC-2	2,6 aAB	4,6 aB	2,6 aAB	4,2 aBC	3,5 B
HC-3	3,1 bAB	6,5 aAB	2,7 bAB	6,5 aAB	4,7 AB
HC-4	2,8 bAB	9,9 aA	2,8 bAB	10,2 aA	6,4 A
HC-3+0,5 N <sup>5</sup>	3,6 bAB	6,6 aAB	3,1 bAB	6,8 aAB	5,0 AB
RRc	4,4 aA	4,2 aB	4,9 aA	5,0 aBC	4,6 AB
Média de tratamentos	2,7 b	4,9 a	2,8 b	5,3 a	
Méd de correção de acidez		3,8*		4,1	
----- PVd-2 <sup>3</sup> -----					
Testemunha	0,1 aB	0,1 aC	1,0 aB	0,1 aC	0,3 C
N mineral		2,9 BC		3,8 BC	3,4 B
HC-1	1,4 aAB	2,2 aBC	3,1 aAB	4,0 aBC	2,7 B
HC-2	1,5 aAB	2,8 aBC	2,9 bAB	5,8 aAB	3,2 B
HC-3	1,9 aAB	4,3 aB	3,2 bAB	5,9 aAB	3,8 B
HC-4	3,2 bAB	8,7 aA	3,6 bAB	8,5 aA	6,0 A
HC-3+0,5 N	2,7 bAB	5,8 aAB	4,7 aAB	6,8 aAB	5,0 AB
RRc	4,7 aA	5,1 aAB	5,4 aA	5,9 aAB	5,3 AB
Média de tratamentos	2,2 b	4,0 a	3,4 b	5,1 a	
Méd de correção de acidez		3,1 b		4,3 a	

Médias seguidas de letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Não houve aplicação de fertilizante orgânico ou resíduo (residual) e houve aplicação de metade da dose inicial (efeito imediato)

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arenico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>3</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>4</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo;

<sup>5</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral;

\* Não tem diferenças significativas.

influência maior na produção de MS das folhas quando adicionado meia dose em relação aos tratamento residuais.

Os resultados de rendimento de raízes de rabanete são apresentados na tabela 29. Houve diferença entre o rendimento do tratamento testemunha e os

**Tabela 29.** Rendimento de massa seca de raízes de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem corretivo de acidez <sup>2</sup>		Com corretivo de acidez <sup>2</sup>		Média
	Residual	Imediato (½ dose)	Residual	Imediato (½ dose)	
----- g vaso <sup>-1</sup> ----- PVd -1 <sup>3</sup>					
Testemunha	-	-	0,1 aB	0,3 aC	0,1 B
N mineral		3,9 *		4,9 AB	4,4 A
HC-1 <sup>4</sup>	2,9 a*	4,9 a	2,8 aAB	4,3 aB	3,7 A
HC-2	2,4 b	5,6 a	3,2 aAB	4,7 aAB	4,0 A
HC-3	3,3 b	6,2 a	2,6 bAB	6,0 aAB	4,5 A
HC-4	3,4 b	6,3 a	3,9 aA	6,1 aAB	4,9 A
HC-3+0,5 N <sup>5</sup>	3,1 b	6,2 a	3,4 aAB	4,7 aAB	4,3 A
RRc	3,3 a	5,3 a	4,3 bA	8,1 aA	5,2 A
Média de tratamentos	2,6 b	4,8 a	2,9 b	4,9 a	
Méd de correção de acidez	3,7*		3,9		
----- PVd-2 <sup>3</sup> -----					
Testemunha	-	-	0,2 *B	0,3 *B	0,1 C
N mineral		3,0 AB		4,1 A	3,5 B
HC-1	1,2 bB	3,6 aAB	4,4 A	5,3 A	3,6 B
HC-2	2,0 aAB	2,8 aB	3,8 A	5,8 A	3,6 B
HC-3	2,0 aAB	3,4 aAB	3,9 A	5,4 A	3,6 B
HC-4		aAB aAB	A	A	5,2
HC-3+0,5 N	4,0	5,3	4,7	6,7	AB
RRc	3,5 aAB	5,2 aAB	5,9 A	7,4 A	5,5 A
Média de tratamentos	5,4 aA	6,4 aA	4,5 A	6,4 A	5,7 A
Méd de correção de acidez	2,6 b	3,7 a	3,9 b	5,2 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup>25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup>Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>4</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro;

<sup>5</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicadas antes da cultura do feijoeiro;

\* Não tem diferenças significativas;

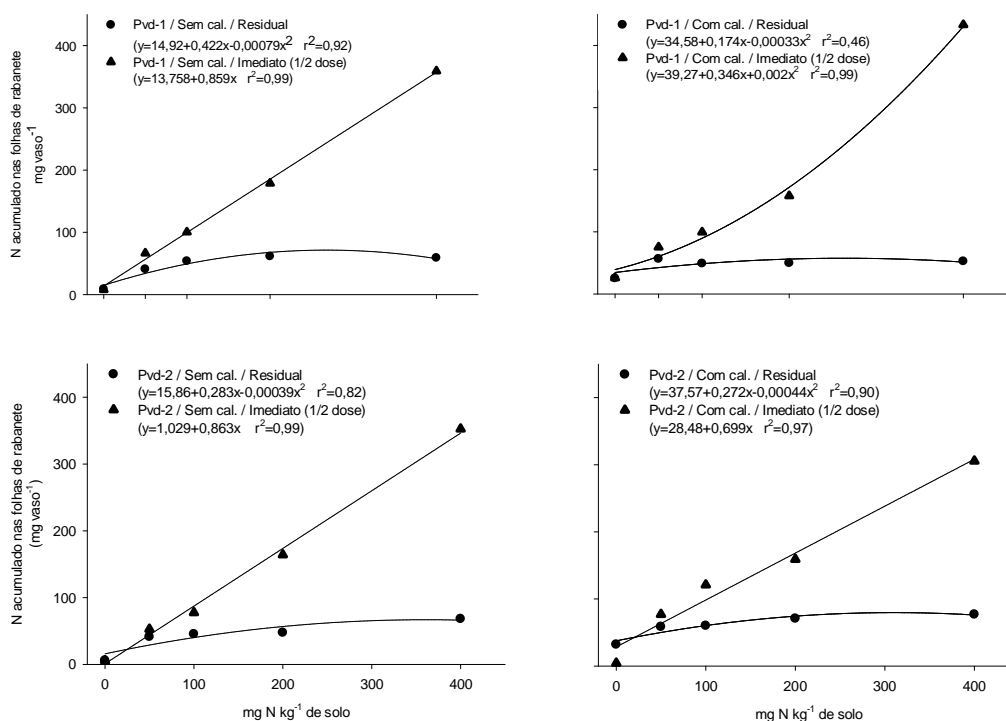
- Sem desenvolvimento de raízes.

demais. Não houve, porém, diferença estatística de rendimento de raízes entre tratamentos com diferentes doses de hidrolisado de couro, RRc e N mineral no solo PVd-1, entretanto no solo PVd-2 os tratamentos HC-3+0,5N e RRc foram superior aos demais. À semelhança do observado para a MS de folhas, a contribuição do N do hidrolisado de couro em efeito residual, principalmente na dose agrônômica (HC-1), foi inferior à do N mineral e à do resíduo RRc. A comparação entre os efeitos imediato do N mineral e residual do N do fertilizante orgânico evidencia uma baixa capacidade de fornecimento de N após um primeiro cultivo, quando a quantidade aplicada é pequena. Este efeito foi mais pronunciado no solo PVd-2. Observa-se, porém, que a adição de meia dose de fertilizante orgânico ou RRc sobre o residual propiciou rendimentos maiores de raízes em todos os tratamentos no solo PVd-2 com correção de acidez. Neste solo, a reposição de apenas meia dose agrônômica (1/2 HC-1) foi suficiente para suprir a quantidade necessária de N para a cultura do rabanete para cada tratamento. No tratamento RRc, os resultados não diferiram estatisticamente nos dois solos, com e sem correção de acidez. Este resíduo é alcalino e a quantidade aplicada para suprir a dose aproximada de 200 kg/ha de N foi muito elevada. Isso pode ter contribuído para a obtenção altos rendimentos de raiz em todos os tratamentos.

#### **4.2.2. Absorção de nitrogênio por plantas de rabanete**

Os resultados de N acumulado nas folhas de rabanete são apresentados na figura 7. Nos dois solos sem e com adição de calcário, o N acumulado para todos os tratamentos HC (efeito residual) foi menor ou semelhante ao acumulado com 25 mg kg<sup>-1</sup> aplicados na meia dose HC-1 (efeito imediato). Com a aplicação de meia dose, o acúmulo foi crescente e proporcional à dose aplicada, exceção feita ao solo PVd-2 sem correção de acidez, em que o acúmulo foi semelhante entre as doses 100 e 400 mg kg<sup>-1</sup> de N residual. Na comparação entre os dois solos, o acúmulo foi maior no solo mais arenoso, com CTC e MO mais baixas.

A comparação do N acumulado nas folhas de rabanete nos tratamentos N mineral (efeito imediato) e N do hidrolisado de couro na dose agrônômica (HC-1 efeito residual) indica pequeno efeito residual deste. Os valores obtidos variaram de 41-59 a 68-86 mg vaso<sup>-1</sup> para o tratamento HC-1 e N mineral, respectivamente, nos dois solos sem e com correção da acidez (Tabela 30). Houve diferença estatística de rendimento entre os efeitos residual e imediato da dose agrônômica do hidrolisado de couro (HC-1) no solo Pvd-1 sem correção de acidez. Para os demais tratamentos HC-1, mesmo sem diferença estatística, os rendimentos foram sempre superiores com a aplicação de meia dose (25 mg/kg de N) (Tabela 30).



**Figura 7.** Nitrogênio acumulado nas folhas de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e doses crescentes de nitrogênio, utilizando como fonte de N fertilizante hidrolisado de couro em efeito residual e imediato (meia dose) (média de 2 repetições).



**Tabela 30.** Nitrogênio acumulado nas folhas de rabanete (*Raphanus sativus*) (miligramas por vaso) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) da aplicação de fertilizante hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem corretivo de acidez <sup>2</sup>		Com corretivo de acidez <sup>2</sup>		Média
	Residual	Imediato (½ dose)	Residual	Imediato (½ dose)	
----- mg vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd -1 <sup>3</sup>					
Testemunha	8,7 aB	7,9 aB	25 *B	26 *B	17 B
N mineral		77 A		86 A	82 A
HC-1	41 bA	67 aA	57 A	75 A	60 A
Média de tratamentos	25 b	51a	41	62	
Méd de correção de acidez	38*		52		
-----					
PVd-2 <sup>3</sup>					
Testemunha	5,8 *B	5,6 *B	32 *	4,3 *B	12 B
N mineral		68 A		73 A	70 A
HC-1	41 A	53 A	59	77 A	57 A
Média de tratamentos	24 b	42 a	45 a	51 a	
Méd de correção de acidez	33*		48		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ );

<sup>1</sup> 25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

\* Não tem diferenças significativas.

Nos demais tratamentos testados para efeito residual, o acúmulo de N nas folhas foi superior ao da testemunha, mesmo sem diferença estatística (Tabela 31). O acúmulo de N na meia dose em relação ao residual foi superior no HC-3 e HC-3+0,5N e RRc nos dois solos sem e com correção de acidez (Tabela 31).

**Tabela 31.** Nitrogênio acumulado nas folhas de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) de hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem corretivo de acidez <sup>2</sup>		Com corretivo de acidez <sup>2</sup>		Média
	Residual	Imediato (½ dose)	Residual	Imediato (½ dose)	
----- mg vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd -1 <sup>3</sup>					
Testemunha	8,7 aB	7,9 aD	25 aB	26 aC	17 B
N mineral		77 CD		86 BC	82 A
HC-3 <sup>4</sup>	61 bAB	179 aAB	50 bAB	158 aAB	112 A
HC-3+0,5 N <sup>5</sup>	73 bAB	192 aA	61 bAB	199 aA	131 A
RRc	86 bA	105 aBC	102 bA	141 aAB	108 A
Média de tratamentos	57 b	112 a	59 b	122 a	
Méd de correção de acidez	85*		91		
----- mg vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd-2 <sup>3</sup>					
Testemunha	5,8 aC	5,6 aC	32 aB	4,3 aC	12 C
N mineral		68 BC		73 BC	70 B
HC-3	48 bB	164 aA	71 bAB	159 aA	110 A
HC-3+0,5 N	81 bAB	201 aA	101 bA	158 aA	135 A
RRc	102 bA	143 aAB	108 bA	137 aAB	123 A
Média de tratamentos	59 b	116 a	78 b	106 a	
Méd de correção de acidez	88*		92		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> 25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

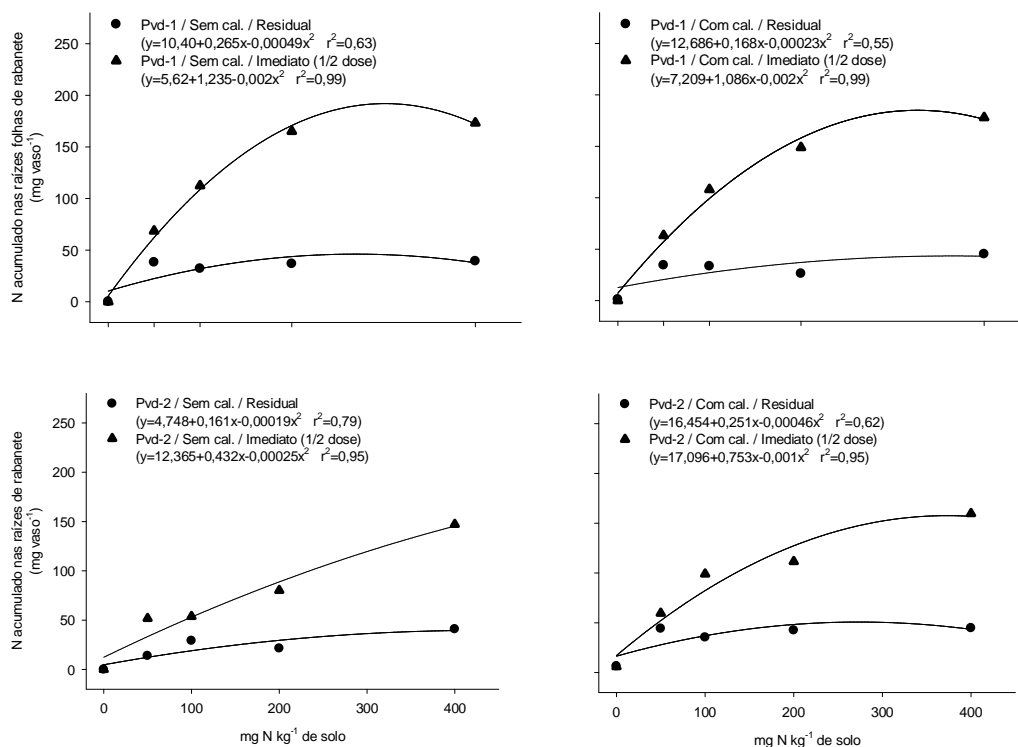
<sup>4</sup> 200 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro;

<sup>5</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicadas antes da cultura do feijoeiro;

No tratamento N-mineral, a dose aplicada foi a recomendada para a adubação da cultura.

O acúmulo de N nas raízes do rabanete, com doses crescentes do fertilizante hidrolisado em efeito residual, foi semelhante para todas as doses de N orgânico (Figura 8). Com a aplicação de meia dose sobre a aplicação anterior, o acúmulo aumentou com a dose aplicada. À semelhança do

observado para as folhas de rabanete, o acúmulo de N nos raízes foi menor no solo PVD-2 do que no PVD-1.



**Figura 8.** Nitrogênio acumulado em raízes de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e doses crescentes de nitrogênio, utilizando como fonte fertilizante hidrolisado de couro em efeito residual e imediato (meia dose) (média de 2 repetições).

Na testemunha no PVD-1 e no PVD-2 sem adição de calcário, as plantas não produziram raiz, já no PVD-1 com calcário a produção não foi suficiente para obter material para análise, sendo assim a resposta da dose agrônômica no efeito residual foi positiva quanto ao acúmulo de N nos raízes. No PVD-2 com calcário o acúmulo de N foi de 37,6 mg vaso<sup>-1</sup> em relação à testemunha no efeito residual (Tabela 32). A meia dose foi maior ao efeito residual sem a adição de calcário nos dois solos e com adição de calcário no PVD-1, no entanto, com adição de calcário no PVD-2 a meia dose foi semelhante ao residual. Na meia dose com calcário o efeito do N mineral e da dose agrônômica do fertilizante hidrolisado foram superior à testemunha (Tabela 32).

**Tabela 32.** Nitrogênio acumulado nas raízes de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro na dose agrônômica (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem corretivo de acidez <sup>2</sup>		Com corretivo de acidez <sup>2</sup>		Média
	Residual	Imediato (½ dose)	Residual	Imediato (½ dose)	
----- mg vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd -1 <sup>3</sup>					
Testemunha	-	-	1,2 B	-	1,2 C
N mineral		65 *		80 A	73 A
HC-1	38 b*	69 a	34 bA	63 aA	51 B
Média de tratamentos	38 b	67 a	18 b	72 a	
Méd de correção de acidez	53*		45		
----- mg vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd-2 <sup>3</sup>					
Testemunha	-	-	6,4 *B	5,9 *B	6,0 C
N mineral		38 *		66 A	52 A
HC-1	14 b	52 a	44 A	60 A	42 B
Média de tratamentos	14 b	45 a	25	44	
Méd de correção de acidez	30*		35		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> 25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

\* Não tem diferenças significativas.

- Sem desenvolvimento de grãos.

O acúmulo de nitrogênio nos raízes nos demais tratamentos testados, na média nos dois solos foi superior à testemunha (Tabela 33). No efeito residual não se observou diferenças de acúmulo de nitrogênio entre os tratamentos no PVd-1 sem correção de acidez. Na meia dose no PVd-1 sem e com calcário o HC-3 e o HC-3 + 0,5N foram superior que a testemunha o N mineral e o RRC, entretanto no PVd-2 sem e com calcário, no efeito residual e na meia dose o N mineral e a testemunha apresentaram menor acúmulo (Tabela 33). A não diferença entre o efeito residual e o meia dose no RRC nos dois solos sem e com calcário pode ser devido o elevado pH no residual que pode ter favorecido a absorção de N necessária para o desenvolvimento da planta.

**Tabela 33.** Nitrogênio acumulado nos raízes de rabanete (*Raphanus sativus*) (miligramas por vaso) cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) de hidrolisado de couro, hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem corretivo de acidez <sup>2</sup>		Com corretivo de acidez <sup>2</sup>		Média
	Residual	Imediato (½ dose)	Residual	Imediato (½ dose)	
----- mg vaso <sup>-1</sup> -----					
PVd -1 <sup>3</sup>					
Testemunha	-	-	1,2 B	-	1,2 B
N mineral		65 B		80 aB	73 A
HC-3 <sup>4</sup>	37 b*	165 aA	26 bAB	149 aA	94 A
HC-3+0,5 N <sup>5</sup>	36 b	175 aA	53 bA	137 aA	100 A
RRc	40 a	77 aB	47 aA	98 aB	65 A
Média de tratamentos	38 b	120 a	32 b	116 a	
Méd de correção de acidez	79*		74		
-----					
PVd-2 <sup>3</sup>					
Testemunha	-	-	6,4 aB	5,9 aC	6,2 B
N mineral		38 B		66 BC	52 A
HC-3	21 bB	80 aAB	42 bA	112 aAB	64 A
HC-3+0,5 N	52 bAB	120 aA	69 bA	145 aA	97 A
RRc	75 aA	95 aAB	65 aA	83 aAB	80 A
Média de tratamentos	49 b	83 a	46 b	82 a	
Méd de correção de acidez	66*		64		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> 25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>3</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>4</sup> 200 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro;

<sup>5</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicadas antes da cultura do feijoeiro;

\* Não tem diferenças significativas;

- Sem desenvolvimento de grãos.

### 4.2.3. Cromo na planta de rabanete

Os resultados de teor de cromo em folhas e raízes de rabanete são apresentados nas tabelas 34 e 35. As concentrações são consideradas normais em plantas de raízes e raízes comestíveis, como beterraba e cenoura e semelhantes aos valores obtidos por Houba e Uittenbogaard (1994) que variaram de 0,68 a 2,25 mg kg<sup>-1</sup> no tecido foliar e de 1,13 a 2,71 mg kg<sup>-1</sup> nas raízes ou raízes.

A concentração de cromo, em geral, foi menor na parte interna da raiz. A tendência é de retenção do cromo na camada externa de aproximadamente 1 mm de espessura (casca) ou de ser translocado para a parte aérea. Nas doses mais elevadas de fertilizante orgânico e no RRc, a tendência de aumento na concentração da parte externa e nas folhas, porém não se observou aumento na parte interna do raiz (Tabela 34 e 35). A semelhança na concentração observada no tratamento N mineral, em relação aos tratamentos com adição de cromo, pode estar relacionada a outros fatores. Em geral, isso pode estar associado ao efeito concentração. Contudo, o rendimento de MS de rabanete neste tratamento foi superior ao obtido no tratamento HC-1. Porém, neste tratamento, a concentração tanto na folha quanto no raiz foi menor. Domszak (2000), em experimento com tratamentos de resíduos de couro, observou que o teor de cromo da parte aérea do rabanete foi semelhante ou superior ao do tratamento com adubação mineral mais calagem.

Em geral, de acordo com a literatura, o cromo é retido na sua maior parte nas raízes. Em algumas culturas, entre elas a do rabanete e da cenoura, o cromo se acumula preferentemente nas folhas e na película externa que recobre a raiz (Sykes et al., 1981; Cary e Kubota, 1990; Fisch, 1992; Castilhos, 1998; Fernandes et al., 1998). Cary e Kubota (1990), em levantamento de teores de cromo em várias espécies de plantas cultivadas em diversos tipos de solos, obtiveram o valor médio de 0,84 mg kg<sup>-1</sup> de cromo nos raízes do rabanete e 2,03 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea. Essa cultura, portanto apresenta um comportamento diferenciado em termos de concentração de cromo no tecido.

**Tabela 34.** Teor de cromo em folha, raiz e casca de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos sem correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições)

Tratamentos	Residual			1/2 dose		
	Folha	Raiz	Casca	Folha	Raiz	Casca
-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
PVd-1 <sup>2</sup>						
Testemunha	-	-	-	-	-	-
N mineral				1,4 a*	1,4 a	1,7 aB
HC-1 <sup>3</sup>	2,2 a*	2,0 a	1,6 aB	1,2 a	1,1 a	1,3 aB
HC-2	1,3 a	2,0 a	1,6 aB	1,3 a	0,7 a	1,3 aB
HC-3	2,0 a	1,4 a	1,6 aB	1,3 a	0,9 a	2,3 aB
HC-4	2,1 a	1,3 a	2,8 aAB	1,3 b	0,8 b	4,4 aA
HC-3+0,5N <sup>4</sup>	1,5 a	1,8 a	1,4 aB	2,3 b	0,8 b	4,7 aA
RRc	2,8 ab	1,7 b	3,9 aA	1,6 b	1,9 b	4,5 aA
	1,5*	1,3	1,6	1,3 b	1,0 b	2,5 a
Média		1,5*			1,6	
-----PVd-2 <sup>2</sup> -----						
Testemunha	-	-	-	-	-	-
N mineral				1,2 a*	0,2 a	0,8 a
HC-1	1,0 *	0,5	1,1	1,4 a	0,2 a	1,0 a
HC-2	1,3	0,5	1,0	1,6 ab	0,3 b	1,8 a
HC-3	1,5	0,8	1,3	1,0 ab	0,4 b	2,0 a
HC-4	1,1	0,7	1,1	1,0 a	0,4 a	1,5 a
HC-3+0,5N	1,4	0,8	1,4	0,7 b	0,3 b	2,3 a
RRc	1,1	0,5	1,4	1,4 ab	0,5 b	2,2 a
	0,9*	0,5	0,9	1,0 a	0,3 b	1,4 a
Média		0,8*			0,9	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> 25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicados antes da cultura do feijoeiro;

\* Não tem diferenças significativas;

- Sem desenvolvimento de raízes.

Um estudo conduzido por Quadro (2008) com aplicação de resíduos de couro mostrou que o teor de cromo na raiz de cenoura sem casca (parte comestível), foi menor que o da parte aérea e/ou da película externa (casca com 1mm de espessura) e situou-se na faixa de teores considerados normais

(não tóxicos) para consumo. Devido a isso, as raízes comestíveis de qualquer planta devem ser bem limpas se consumidas com casca. Se o objetivo é aumentar ingestão de cromo na dieta alimentar de mamíferos, a casca não deve ser retirada da raiz antes do consumo. A permanência do cromo na parte externa da raiz pode chegar a 85% do absorvido (Shivas, 1978) devido à reação com proteínas e outros colóides, formando compostos com alto peso molecular, que possuem baixa permeabilidade em membranas.

**Tabela 35.** Teor de cromo em folha, raiz e casca de rabanete (*Raphanus sativus*) cultivado em dois tipos de solos com correção da acidez e efeito residual e imediato<sup>1</sup> (meia dose) da aplicação do fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro (média de 2 repetições)

Tratamentos	Residual			Imediato (1/2 dose)		
	Folha	Raiz	Casca	Folha	Raiz	Casca
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
	Pvd-1 <sup>2</sup>					
Testemunha	0,5 *B	-	-	0,9 aBC	0,7 a*	1,0 aC
N mineral				0,8 aC	0,4 a	1,2 aC
HC-1 <sup>3</sup>	0,9 aB	0,8 a	1,0 aC	1,2 abBC	0,4 b	1,8 aBC
HC-2	1,3 aAB	0,3 a	1,2 aBC	1,3 bBC	1,0 b	2,6 aAB
HC-3	1,8 aAB	0,6 b	1,8 aABC	3,1 aA	0,9 b	2,1 aABC
HC-4	2,4 aA	0,8 b	2,8 aA	1,5 abBC	1,0 b	2,3 aABC
HC-3+0,5N <sup>4</sup>	1,2 aAB	0,4 a	1,4 aBC	1,5 aBC	1,0 a	2,0 aABC
RRc	1,6 abAB	0,8 b	2,5 aAB	2,2 abAB	1,5 b	3,3 aA
Média tratamentos	1,2 a	0,5 b	1,3 a	1,6 b	0,9 c	2,0 a
Média resid. e imediato		1,0 b			1,5 a	
	-----Pvd-2 <sup>2</sup> -----					
Testemunha	0,5 a*	-	1,2 a*	0,6 *	-	-
N mineral				0,8 a	0,5 a*	1,0 aB
HC-1 <sup>4</sup>	1,3 ab	0,3 b	1,8 a	0,6 a	0,2 a	0,8 aAB
HC-2	0,7 a	0,4 a	0,9 a	0,8 a	0,3 a	1,3 aB
HC-3	1,1 a	0,5 a	1,0 a	1,1 a	0,6 a	1,1 aB
HC-4	1,0 ab	0,6 b	1,8 a	1,0 b	0,5 b	2,5 aA
HC-3+0,5N	0,5 a	0,5 a	0,8 a	0,8 a	0,7 a	0,9 aB
RRc	0,6 a	0,9 a	1,1 a	1,2 a	0,9 a	0,8 aB
Média tratamentos	0,7 b	0,4 b	1,1 a	0,9 a	0,4 b	1,3 a
Média resid. e imediato		0,7*			0,9*	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> 25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose originalmente aplicada antes da cultura do feijoeiro;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (Pvd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (Pvd-2);

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro;

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicados antes da cultura do feijoeiro;

\* Não tem diferenças significativas;

- Sem desenvolvimento de raízes.



A adição de meia dose sobre a quantidade anteriormente adicionada de hidrolisado de couro e RRc na cultura do feijoeiro, conseqüentemente maior aporte de cromo ao solo, não promoveu maior acúmulo de Cr na planta em relação aos tratamentos sem meia dose, apenas no solo pVd-1 com adição de calcário a meia dose na média apresentou maior concentração de Cr em relação a residual (Tabela 34 e 35). Quadro (2008) observou que os teores de cromo na parte aérea de plantas de mamona em efeito residual e/ou com reaplicação de resíduos de curtume não apresentaram níveis de contaminação.

Os teores de Cr, tanto nos grãos de feijoeiro como nos raízes do rabanete cultivados em solos em que foram adicionados resíduo e fertilizante orgânico contendo Cr(III), estão dentro dos limites estabelecidos para consumo alimentar. Esses dados são coerentes com os obtidos por outros autores, entre eles, Castilhos (1998) que aplicou no solo o equivalente a  $37,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de cromo através de lodo de curtume, resíduo de rebaixadeira e aparas de couro e não observou alteração significativa nos teores de cromo no tecido e nos grãos de trigo, tecido de alface e em raízes e tecido foliar de rabanete quando comparados com os da testemunha. Este autor observou baixa translocação de Cr da parte vegetativa do trigo para os grãos, o mesmo observado nos grãos de feijoeiro no presente estudo.

#### **4.3. Teor de cromo e pH do solo após cultivo do feijão e do rabanete**

Os valores de pH após a cultura do feijoeiro (1ª coleta) e após a cultura do rabanete em efeito residual (2ª coleta residual) e imediato (2ª coleta ½ dose) são apresentados na tabela 36. O valor de pH no tratamento com o RRc foi maior do que todos os outros tratamentos. Isso é devido ao seu alto poder de neutralização de acidez. Quadro (2008), em estudo com aplicação de lodo de curtume em solos observou que os valores de pH foram semelhantes aos tratamentos com calcário. Kray et al. (2007) também observaram que após quase 3 anos da aplicação de lodo de curtume no solo, os valores de pH, permaneciam iguais ou superiores ao do tratamento com adição de calcário. Estes resultados evidenciam que esse tipo de resíduo tem capacidade de corrigir a acidez do solo e possui efeito residual semelhante ao do calcário.

A diminuição do pH no tratamento RRc da primeira para segunda coleta, principalmente no PVd-1, pode ter ocorrido pela grande quantidade de resíduo aplicado, conseqüentemente elevada quantidade de cátions que não ficou retida no solo devido à baixa CTC deste. Com o tempo houve lixiviação acentuada de bases fazendo com que o pH também diminuísse.

**Tabela 36.** Valores de pH em dois tipos de solos sem e com correção de acidez com aplicação de fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro, após o cultivo de feijoeiro (1ª coleta) e após o cultivo do rabanete em efeito residual (2ª coleta residual) e imediato (2ª coleta ½ dose) (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem calcário					
	PVd-1 <sup>1</sup>			PVd-2		
	1ºcoleta	2ºcoleta residual	2ºcoleta ½ dose	1ºcoleta	2ºcoleta residual	2º coleta ½ dose
Testemunha	5,1 aB	5,0 aB	4,7 aB	4,4 *B	4,5 *B	4,6 *B
N mineral	5,0 aB	5,0 aB	4,7 aB	4,4 B	4,4 B	4,6 B
HC-1	5,0 aB	5,1 aB	4,8 aB	4,4 B	4,4 B	4,4 B
HC-2	5,0 aB	5,0 aB	4,9 aB	4,3 B	4,4 B	4,3 B
HC-3	5,1 aB	5,1 aB	4,9 aB	4,3 B	4,4 B	4,2 B
HC-4	5,2 aB	5,3 aB	4,8 aB	4,4 B	4,5 B	4,2 B
HC-3+0,5N	5,3 aB	5,3 aB	5,0 aB	4,3 B	4,4 B	4,5 B
RRc	7,8 aA	6,9 bA	6,9 bA	7,0 A	6,3 A	6,5 A
Com calcário						
Testemunha	6,0 aB	6,0 aB	6,0 aAB	6,2 aB	6,0 aB	5,5 aB
N mineral	5,6 aB	5,7 aB	5,7 aBC	6,2 aB	5,9 aB	5,7 aB
HC-1	5,7 aB	5,7 aB	5,6 aBC	6,0 aB	5,6 aB	5,8 aB
HC-2	5,7 aB	5,7 aB	5,4 aBC	5,9 aB	5,9 aB	5,6 aB
HC-3	5,5 aB	5,7 aB	5,6 aBC	5,8 aB	5,9 aB	5,5 aB
HC-4	5,8 aB	5,7 aB	5,4 aBC	5,6 aB	5,7 aB	5,6 aB
HC-3+0,5N	5,6 aB	5,6 aB	4,9 aC	5,7 aB	5,7 aB	5,6 aB
RRc	8,1 aA	7,1 bA	7,0 bA	7,8 aA	6,8 bA	7,0 abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd-2);

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro (efeito residual) e mais <sup>1</sup>25, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose inicial (efeito imediato);

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicados antes da cultura do feijoeiro;

\* Não tem diferenças significativas;

- Sem desenvolvimento de raízes.

A adição de hidrolisado couro não alterou significativamente o pH do solo em todos os tratamentos testados. Observou-se, no entanto, uma tendência de diminuição à medida que as doses aumentaram no solo arenoso com correção da acidez (Tabela 36). Isso no entanto não teve qualquer influência no rendimento de raízes e MS de folhas que aumentou proporcionalmente às doses aplicadas.

A quantidade adicionada de cromo com o hidrolisado de couro antes do primeiro cultivo (feijoeiro) nos tratamentos HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 foi de 21, 42, 84 e 168 kg ha<sup>-1</sup> de Cr(III) respectivamente. No segundo cultivo (rabanete) foi aportada mais metade dessas quantidades (efeito imediato ½ dose). Com o resíduo de recurtimento de couro (RRc) foram aplicados aproximadamente 190 mg kg<sup>-1</sup> de Cr(III) antes do cultivo de feijoeiro mais 90 mg kg<sup>-1</sup> no cultivo do rabanete (efeito imediato 1/2 meia dose) totalizando 280 mg kg<sup>-1</sup> de Cr(III). A quantidade aplicada neste estudo foi muito inferior àquela aplicada por Kray (2001), de 1.296 kg ha<sup>-1</sup> em duas aplicações de Cr(III) mineral mais o Cr(III) contido no lodo, quantidade esta, superior à taxa máxima de aplicação recomendada por Shivas (1978) e Rodrigues et al. (1993) que é de 1000 kg de Cr(III) ha<sup>-1</sup>. No entanto, pela legislação americana (USEPA, 1993), a quantidade aceita é de até 3.000 kg de Cr(III) ha<sup>-1</sup>, como quantidade segura para aplicação no solo. Para USEPA esta elevada quantidade pode ser aplicada pelo fato de que o Cr(III) é muito pouco móvel, formando compostos insolúveis com os constituintes minerais e/ou orgânicos do solo. Na legislação recente, não há mais restrição à quantidade de cromo(III) que pode ser adicionada em solos dos Estados Unidos.

Comparando as três coletas, com exceção do tratamento RRc, não foram observadas diferenças estatísticas nos teores de Cr(III). Houve, no entanto, uma tendência de diminuição na segunda coleta, sem reaplicação de HC ou RRc, em relação à primeira coleta (Tabela 37), indicando a estabilidade dos compostos de cromo formados após a adição dos fertilizantes em estudo. A recuperação parcial do cromo adicionado, pelos métodos utilizados, foi verificada também na primeira coleta (Tabela 37). À medida que passa o tempo após a aplicação inicial, o cromo tende, pelos processos descritos, à maior insolubilização. Isso explica porque a aplicação de doses pequenas (agronômicas) de fertilizante hidrolisado de couro ou resíduo cromado de

curtume, além de não se observar danos ao ambiente, propicia um desenvolvimento melhor e maior para os microorganismos do solo com conseqüente benefício às plantas (Ferreira, 1998; Fortes et al., 1991; Kray, 2001).

**Tabela 37.** Teor de Cr(III) em dois tipos de solos sem e com correção de acidez com aplicação de fertilizante hidrolisado de couro e resíduo de recurtimento de couro, após o cultivo de feijoeiro (1ª coleta) e após o cultivo do rabanete em efeito residual (2ª coleta residual) e imediato (2ª coleta ½ dose) (média de 2 repetições)

Tratamentos	Sem correção de acidez <sup>1</sup>					
	Pvd-1 <sup>2</sup>			Pvd-2 <sup>2</sup>		
	1ª coleta	2ª coleta residual	2ª coleta ½ dose	1ª coleta	2ª coleta residual	2ª coleta ½ dose
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Testemunha	4,8 aB	3,8 a*	5,5 aB	15 aB	13 aB	14 aB
N mineral	4,7 aB	5,5 a	4,2 aB	12 aB	9,7 aB	12 aB
HC-1 <sup>3</sup>	7,7 aB	5,2 a	6,6 aB	21 aB	12 aB	21 aB
HC-2	19 aB	6,5 a	10 aB	26 aB	16 aB	22 aB
HC-3	54 aB	13 a	18 aB	32 aB	20 aB	47 aB
HC-4	57 aB	46 a	52 aB	69 aB	53 aAB	71 aB
HC-3+0,5N <sup>4</sup>	26 aB	16 a	26 aB	49 aB	24 aB	68 aB
RRc	209 aA	81 b	140 bA	210 aA	119 bA	263 aA
	-----					
	Com correção de acidez <sup>1</sup>					
Testemunha	6,0 *B	4,4 B	5,9 B	10 aB	12 a*	20 aB
N mineral	4,1 B	4,5 B	4,7 B	20 aB	9,4 a	12 aB
HC-1	17 B	7,9 B	8,8 B	27 aB	16 a	18 aB
HC-2	25 B	14 B	24 B	30 aB	18 a	23 aB
HC-3	40 B	37 AB	24 B	37 aB	26 a	41 aB
HC-4	74 AB	50 AB	53 AB	87 aB	46 a	95 aB
HC-3+0,5N	25 B	17 B	46 AB	49 aB	30 a	34 aB
RRc	129 A	116 A	117 A	303 aA	94 c	203 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05);

<sup>1</sup> Sem corretivo de acidez (pH natural) e com aplicação de corretivo de acidez para elevar a pH 6,0;

<sup>2</sup> Argissolo Vermelho distrófico arênico (Pvd-1) e Argissolo Vermelho distrófico típico (Pvd-2);

<sup>3</sup> HC-1, HC-2, HC-3 e HC-4 equivalem, respectivamente, a 50, 100, 200 e 400 mg de N por kg de solo aplicados antes da cultura do feijoeiro (efeito residual) e mais 125, 50, 100 e 200 mg de N por kg de solo sobre a dose inicial (efeito imediato);

<sup>4</sup> HC-3 + metade da dose de N-mineral, aplicados antes da cultura do feijoeiro;

\* Não tem diferenças significativas;

- Sem desenvolvimento de raízes.

A quantidade aplicada de Cr(III) com RRc foi maior, pela baixa concentração de nitrogênio e pela necessidade de suprir o nitrogênio requerido no tratamento. Assim, o aporte de Cr ao solo também foi proporcionalmente maior (Tabela 37). Ao contrário do observado com hidrolisado de couro, que para todos os tratamentos a recuperação do cromo adicionado foi sempre inferior ao aplicado, no RRc sem correção da acidez, a recuperação foi de aproximadamente 100% após o 1º cultivo em ambos os solos. Com correção de acidez, ocorreu uma recuperação de aproximadamente 50% no solo PVd-1 e 100% no solo PVd-2. Na segunda coleta (efeito residual), os valores de recuperação ficaram aproximadamente na faixa de 50%.

O teor de Cr(VI) obtido em todos os tratamentos e em ambos os solos nas três amostragens feitas em diferentes épocas foi menor que o limite de detecção do método utilizado ( $<0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciavatta e Sequi (1989) utilizando hidrolisado de couro com Cr(III) e Cr(VI) mineral no solo. Os autores não detectaram Cr(VI) durante todo o período de incubação, proveniente da não oxidação do Cr(III) presente, obtidos por Ciavatta e Sequi (1989) utilizando hidrolisado de couro com Cr(III) e Cr(VI) mineral no solo. Os autores não detectaram Cr(VI) durante todo o período de incubação, proveniente de possível oxidação do Cr(III) presente no fertilizante. Verificaram também que a adição de Cr(VI) de fonte mineral resultou na transformação imediata para a forma reduzida [Cr(III)]. Em presença de carbono orgânico do solo, essa será sempre a transformação mais provável do cromo adicionado na forma oxidada (Cr VI) (Bartlett & Kimble, 1976a, b; Cary et al., 1977; E1-Bassam et al., 1975).

## 5 CONCLUSÕES

O fertilizante orgânico hidrolisado de couro (HC) aplicado em dose recomendada (50 a 100 mg de N total kg<sup>-1</sup> de solo) no plantio do feijoeiro apresentou efeito semelhante à utilização de uréia adicionada em cobertura, em relação ao rendimento e teores de N nas plantas nos dois solos estudados.

O hidrolisado de couro apresentou efeito residual equivalente à aplicação inicial de meia dose, na cultura do rabanete.

Os teores de Cr nas plantas situaram-se na faixa adequada para consumo, tanto nos grãos e na parte aérea do feijoeiro, como nas folhas e raízes do rabante. Nas raízes, a concentração mais elevada desse metal foi observada na camada externa.

Não foi detectado Cr(VI) no solo, em qualquer dos tratamentos com hidrolisado de couro e resíduo de curtimento de peles.

O hidrolisado de couro não apresentou efeito corretivo de acidez do solo; este efeito entretanto, foi observado no tratamento com a adição do resíduo de curtimento das peles.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, M. T. D.; BENEDETTI, A.; TRINCHERA, A.; GALLUZZO, D. Nitrogen and carbon mineralisation of leather meal in soil as affected by particle size of fertiliser and microbiological activity of soil. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 37, p. 124–129, 2003.

ABICHEQUER, A. D.; LISBOA, B. B.; RADIN, B.; DORNELES, E. P.; VARGAS, L. K.; ALFLEN, M. P.; LORSCHTEITER, R.; ESTERES, L. F. da R.; IRANÇO, F. A.; ZANOTELLI, V. H. Rendimento de grãos, crescimento e teor de N na folha de milho fertilizado com adubo orgânico de resíduos de couro In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Santa Maria, 2008. **Anais...** Santa Maria, 2008. 4 CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO – ABIA. **Compêndio da legislação dos alimentos**. São Paulo, 1985.

ADRIANO, D. C. **Trace Elements in the Environment**. Chapter 5: Chromium. New York : Springer-Verlag, 1986.

AUBERT, H.; PINTA, M. **Trace Elements in Soils**. NewYork : Elsevier, 1977

ALDRICH, M. V.; GARDEA-TORRESDEY, J. L.; PERALTA-VIDEA, J. R.; PARSONS, J. G. Uptake and reduction of Cr(VI) to Cr(III) by mesquite (*Prosopis* spp.): Chromate–plant interaction in hydroponics and solid media studied using XAS. **Environmental Science and Technology**, Washington. v. 37, n. 9, p. 1859–1864, 2003.

ALEXANDER, K. T. W.; DONOHUE, V. J.; CORY, N. J.; SYKES, R. L. Environmental and safety issues-clean technology and environmental auditing. **Journal of the Society of Leather Technologies and Chemists**, Pietermarisbug, v. 76, p. 17-23, 1992.

AMACHER, M. C.; BAKER, D. A. **Redox reactions involving chromium, plutonium, and manganese in soils**. Final Report DE- ASO8-77DPO4515. International Conference on Land and Water Resources. PA : Pennsylvania State University, 1982.

ARNFALK, P.; WASAY, A.; TOKUNAGA, S. A comparative study of Cd, Cr(III), Cr(VI), Hg, and Pb uptake by minerals and soil materials. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 87, n. 1-4, p. 131-148, 1996.

ATTA-ALY, M. A.; SHEHATA, N. G.; KOBBI, T. M. Effect of cobalt on tomato plant growth and mineral content. **Annals of Agricultural Science**, Cairo, n. 1, v. 36, p. 617-624, 1991.

BANKS, M. K.; SCHWAB, A. P.; HENDERSON, C. Leaching and reduction of chromium in soil as affected by soil organic content and plants. **Chemosphere**, California, v. 62, n. 2, p. 255-264, 2006.

BARCELO, J.; POSCHENRIEDER, C. Chromium in plants. In: CANALI, S.; TITTARELLI, F.; SEQUI, P. **Chromium Environmental Issues**. Milano : Franco Angeli, 1997. p. 101-130.

BARCELONA, M. J.; HOLM, T. R. Oxidation-reduction capacities of aquifer solids. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 25, n. 9, p. 1565-1571, 1991.

BARTLETT, R. J. Oxidation-reduction status of aerobic soils. In: CHEMISTRY In The Soil Environment. New York : Wiley and Sons, 1991. p. 90-94.

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Behavior of chromium in soils. III. Oxidation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 8, n. 11, p. 31-35, 1979.

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 : Wiley and Sons, 1988. p. 267-304.

BARTLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. Behavior of chromium in soils. I. Trivalent forms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 5, n. 4, p. 379-383, 1976.

BECQUER, T.; QUANTIN, C.; SICOT, M.; BOUDOT, J. P. Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 301, n. 11, p. 251-261, 2003.

BENEDETTI, A. Soil biological fertility and slow-release fertilizers. In: ISTITUTO SPERIMENTALE PER LA NUTRIZIONE DELLE PIANTE, 12., 1983, Roma. **Annais...** Roma, 1983.

BENEDETTI, A.; CIAVATTA, C. Alcuni aspetti relativi alla produzione ed all'impiego agronomico di concimi a base di cuoio idrolizzato ed al cromo in essi contenuto, **Agricoltura e Ricerca**, Bologna, v. 167, p. 71-84, 1996.

BENEDETTI, A.; FIGLIOLIA, A.; IZZA, A.; BIONDI, F. A effetto del cuoio torrefatto sul turnover microbico e sul metabolismo delle piante: interazione cromo-fosforo. **Agrochimica**, Pisa, v. 35, p. 1-3, 1991.



BISHNOI, N. R.; DUA, A.; GUPTA, V. K.; SAWHNEY, S. K. Effect of chromium on seed germination, seedling growth and yield of peas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 47, n. 1, p. 47–57, 1993.

BLOMFIELD, C.; PRUDEN, G. The behaviour of chrome VI in soil under aerobic conditions, **Environmental Pollution**, Oxford, v. 23, n. 2A, p. 103-114, 1980.

BNDES. **Complexo coureiro-calçadista nacional**: uma avaliação do programa de apoio do bndes. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set904.pdf>> Acesso em: 23 jun. 2008.

BONET, A.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELO, J. Chromium III–iron interaction in Fe-deficient and Fe-sufficient bean plants: I. Growth and nutrient content. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 14, p. 403-414, 1991.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União de 18/03/2005, seção 1, páginas 58 a 65. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conoma/res/res357/res35705.html>, Acesso em: 25 set 2009.

BUERGE, I. J.; HUG, S. J. Kinetics and pH dependence of chromium(VI) reduction by iron (II). **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 31, n. 5, p. 1426–1432, 1997.

CABEZA, L. F.; TAYLOR, M. M.; CARRIO, R.; DIMAIO, G. L.; BROWN, E. M.; CELMA, P. J.; COT, J.; MARMER, W. N. Processing of leather waste: pilot scale studies on chrome shavings. Part II. Purification of chrome cake and tanning trials. **Journal of American Leather Chemistry Association**, Cincinnati, v. 83, p. 93, 1998.

CARY, E. E. Chromium in air, soil and natural waters. In: **BIOLOGICAL and environmental aspects of chromium**. Amsterdam: Elsevier Biomedical Press, 1982. p. 49-64.

CARY, E. E.; ALLAWAY, W. H.; OLSON, O. E. Control of chromium concentrations in food plants. II Chemistry of chromium in soils and its availability to plants. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 25, n. 2, p. 305-309, 1977.

CARY, E. E.; KUBOTA, J. Chromium concentration in plants: effects of soil chromium concentration and tissue contamination by soil. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 38, n. 1, p. 108-114, 1990.

CASTILHOS, D. D. **Alterações químicas e biológicas devidas à adição de resíduos de curtume e de cromo hexavalente ao solo**. 1998. 160 f. Tese

(Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. J. Redução do cromo em solo suprido com lodo de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 5, n. 3, p. 228-232, 1999.

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

CHANEY, R. L.; BROWN, J. C.; TIFFIN, L.O. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. **Plant Physiology**, Wadsworth Belmont, v. 50, n. 2, p. 208-213, 1972.

CHANG, A. C.; GRANATO, T. C.; PAGE, A. L. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludges. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 21, p. 521-536, 1992.

CHEN, H.; CUTRIGHT, T. J. Preliminary evaluation of microbially mediated precipitation of cadmium, chromium and nickel by rhizosphere consortium. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 129, n. 1, p. 4-9, 2003.

CHEN, J. M.; HAO, O. J.; Environmental factors and modeling in microbial chromium (VI) reduction. **Water Environmental Research**, Chicago, v. 68, p. 1156–1164, nov./dez., 1996.

CHOUDHURY, S.; PANDA, S. K. Toxic effects, oxidatives stress and ultrastructural change in moss *Taxithelium nepalense* (Schwaegr.) Broth. Under chromium and lead phytotoxicity. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, (Submitted) (2004).

CHUAN, M. C.; LIU, J. C. Release behavior of chromium from tannery sludge. **Water Research**, Oxford, v. 30, n. 4, p. 932-938, 1996.

CIAVATTA, C.; GESSA, C. Chromium-containing fertilizers and their production, In: CANALI, S.; TITTARELLI, F.; SEQUI, P. (Ed.) **Chromium Environmental Issues**. Milano, Italy : Franco Angeli s.r.l., 1997. p. 61-82,

CIAVATTA, C.; SEQUI, P. Evaluation of chromium release during the decomposition of leather meal fertilizers applied to the soil. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 19, p. 7-11, 1989.

CIAVATTA, C.; VITORI, A. L.; SEQUI, P. Caratteristiche chimiche dei principali concimi a base di cuoio torrefatto disponibili in Italia. **Agricoltura Mediterranea**, Bologna, v. 119, p. 66-73, 1989.

COMTE, P. Valorização de Subprodutos de Curtumes. **Revista Tecnicouro**, Novo Hamburgo, p. 36-43, 1982.

CORRADI, M. G.; BIANCHI, A.; ALBASINI, A. Chromium toxicity in Salvia sclarea: I Effects of hexavalent chromium on seed germination and seedling development. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 33, p. 405-413, 1993.

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

COSTA, C. N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 207-237.

COVELO, E. F.; VEGA, F. A.; ANDRADE, M. L. Competitive sorption and desorption of heavy metals by individual soil components. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 140, n. 1-2, p. 308-315, 2007.

COVINGTON A. D. Chromium in the leather industry. **Chromium Review**, Berlin, n. 5, p. 2-9, 1985.

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

DIXIT, V.; PANDEY, V.; SHYAM, R. Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation in vivo in pea (*Pisum sativum* L.cv. *Azad*) root mitochondria. **Plant Cell and Environment**, New York v. 25, p. 687-90, 2002.

DOMASZAK, S. C. **Efeitos imediato e residual da aplicação de resíduo de curtumes em plantas e solos**. 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EARY, L. E.; RAI, D. Chromate reduction by subsurface soils under acidic conditions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, p. 676-683, 1991.

EARY, L. E.; RAI, D. Chromate removal from aqueous wastes by reduction with ferrous iron. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 22, p. 972-977, 1988.

EARY, L. E.; RAI, D. Kinetics of chromate reduction. **American Journal of Science**, Madison, v. 289, p. 180-213, 1989.

EARY, L. E.; RAI, D. Kinetics of Cr(III) oxidation by manganese dioxide. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 21, p. 1187-1193, 1987.

EI-BASSAM, N.; POELSTRA, P.; FRISSEL, M. J. Chromium and mercury in a soil after 80 years of treatment with urban sewage water. **Z. Pflanzenernahrung und Bodenkund**, New York, v. 3, p. 309-316, 1975.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço de Produção de Informação - SPI. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília, 2006. 412p.

FATHIMA, N. N.; ARAVINDHAN, R.; RAO, J. R.; NAIR, B. U. Solid waste removes toxic liquid waste: adsorption of chromium(VI) by iron complexed protein waste. **Environmental Science Research**, Washington, v. 39, p. 2804-2810, 2005.

FENDORF, S. E.; FENDORF, M.; SPARKS, D. L.; GRONSKY, R. Inhibitory mechanism of Cr(III) oxidation by  $\delta$ -MnO<sub>2</sub>. **Journal Of Colloid And Interface Science**, Oxford, v. 153, p. 37-54, 1992.

FENDORF, S. E.; ZASOSKI, R. J. Chromium(III) oxidation by delta-MnO<sub>2</sub>. I. Characterization. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 26, p. 79-85, 1992.

FENDORF, S. E.; ZASOSKI, R. J.; BURAU, R. G. Competing metal ion influences on chromium (III) oxidation by birnessite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 1508-1515, 1993.

FERREIRA, A. S. **Efeitos da adição de resíduos de curtume e carbonífero nas plantas e no solo**. 1998. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

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, n. 4, p. 755-763, 2003.

FISCH, J. Lodo cromado: projeto demonstra viabilidade de utilização em solo agrícola. **Setor couro**, São Leopoldo, v. 8, n. 43, p. 6-15, 1992.

FLOGEAC, K.; GUILLON, E.; APLINCOURT, M. Competitive sorption of metal ions onto a north-eastern France soil. Isotherms and XAFS studies. **Geoderma**, Moscow, v. 139, p. 180-189, 2007.

FORTES, P. N.; SELBACH, P. A.; CAVALLET, L. E. Avaliação de microrganismos do solo em função da incorporação de lodo de curtume com cromo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 1991, Porto Alegre. **Resumos ...** Porto Alegre, 1991. p. 321.

FULLER, W. H. The importance of soil attenuation for leachate control. In: Waste Management Technology and Resource and Energy Recovery, 5., 1978, Washington, USA. **Anais...** Washington: NSWMA and USEPA, 1976. p. 297-320.

GOVI, M.; CIAVATTA, C.; SITTI, L.; BONORETTI, G.; GESSA, C. Influence of leather meal fertilizer on soil organic matter: a laboratory study. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 44, p. 65-72. 1996.

GRIFFIN, R. A.; AU, A. K.; FROST, R. R. Effect of pH [hydrogen-ion concentration] on adsorption of chromium from landfill-leachate 155 by clay minerals. **Journal Environmental Society Health**, New York, v. 12, n. 8, p. 431-449, 1977.

GUNSE, B.; LLUGANY, M.; POSCHENRIEDER, C.H.; BARCELÓ, J. Growth, cell wall elasticity and plasticity in *Zea mays* L. coleoptiles exposed to cadmium. In: Contaminación: efectos fisiológicos y mecanismos de actuación de contaminantes. ISBN 84-7908-049-3, **Alicante University Publishers**, Alicante (Spain). p. 179-188, 1992.

GUTTERRES, M. Alternativas para destinação do resíduo do rebaixamento do couro wet-blue. **Revista do couro**, Estância Velha, v. 113, n. 22, p. 49-54, 1996.

HAN, F. X.; SRIDHAR, B. B.; MONTS, D. L. Phytoavailability and toxicity of trivalent and hexavalent chromium to *Brassica juncea*. **New Phytologist**, Baltimore, v. 162, p. 489-499, 2004.

HANSON, A. T.; DWYER, B. D.; SAMANI, Z. A.; YORK, D. Remediation of chromium containing soils by heap leaching: a column study. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 119, p. 824-841, 1993.

HOUBA, V. J. G.; UITTENBOGAARD, J. **Chemical composition of various plant species**. Wageningen : Wageningen Agricultural University. Department of Soil Science and Plant Nutrition, 1994. 225p.

HUFFMAN Jr, E. W. D.; ALLAWAY, H. W. Chromium in plants: distribution in tissues, organelles, and extracts and availability of bean leaf Cr to animals. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 21, p. 982-986, 1973.

JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. Behavior of chromium in soils. V. Fate of organically complexed Cr(III) added to soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 12, n. 2, p. 169-172, 1983a.

JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. Behavior of Chromium in soils. VI. Interactions between oxidation-reduction and organic complexation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 12, n. 2, p. 173-176, 1983b.

JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. Nitrification in soil suspensions treated with chromium (III, VI) salts or tannery wastes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 16, n. 3, p. 293-295, 1984.

JAMES, B. R. The challenge of remediating chromium-contaminated soil. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 30, n. 6, p. 248-251, 1996.

JAMES, B. R.; Hexavalent chromium solubility and reduction in alkaline soils enriched with chromate ore processing residue. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 23, p. 227–233, 1994.

JOHNSON, C. A.; XYLA, A. G. The oxidation of chromium(III) to chromium(VI) on the surface of manganite (γ-MnOOH). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 55, p. 2861-2866, 1991.

JONES, D. L.; EDWARDS, A. C.; DONACHIE, K.; DARRAH, P. R. Role of proteinaceous amino acids released in root exudates in nutrient acquisition from the rhizosphere. **Plant and Soil**, Dordrecht v. 156, n. 2, p. 183–192, 1994.

JU, L. G.; BO, Z. C.; JING, Z.; FENG, W. Chrome sludge compost - effects on crops and soils. **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, Pietermarisbug, v. 90, p. 10, 2005.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed. Flórida : CRC Press, 2001. p. 413

KATZ, S. A.; SALEM, H. **The Biological and Environmental Chemistry of Chromium**. New York: VCH Publishers, 1994.

KATZ, S. A.; SALEM, H. The toxicology of chromium with respect to its chemical speciation: A review. **Journal of Applied Toxicology**, Camden, v. 13, p. 217-224, 1993.

KRAY, C. H. **Efeitos de duas aplicações de resíduo de curtume e carbonífero no solo e nas plantas**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

KRAY, C. H.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A.; SILVA, K. J. Alterações de Atributos Químicos de Solo e Rendimentos de Milho e de Soja pela Aplicação e Reaplicação de Resíduos Carbonífero e de Curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Gramado, 2007. **Anais...** Gramado, 2007. 1 CD ROM.

KUMAR, P.; DUSHENKOV, V.; MOTTO, H.; RASKIN, I. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 29, p. 1232-1238, 1995.

LISBOA, C. C. **Nitrogênio e adubação orgânica: lixiviação, efeito homeopático, mineralização e métodos de determinação de nitrato**. 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

LIU, D. H.; JAING, W. S.; LI, M. X. Effects of trivalent and hexavalent chromium on root growth and cell division of *Allium cepa*. **Journal compilation Hereditas**, Washington, v. 42, p. 235-243, 1993.

LOLLAR, R. M. Cr III or Cr VI: bases for delisting solid wastes containing trivalent chromium. **The Leather Manufacturer**, London, v. 100, n. 11, p. 16-22, 1982.

LOSI, M. E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER JR, W. T. Environmental biochemistry of chromium. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 136, p. 91-121, 1994.

LYON, G. L.; BROOKS, R. R.; PETERSON, P. J.; BUTLER, G. W. Some trace elements in plants for Serpentine soils. **New Zealand Journal of Science**, Milano – Italy, v. 13, p. 133–139, 1969.

LYTLE, C. M.; LYTLE, F. W.; YANG, N.; QIAN, J. H.; HANSEN, D.; ZAYED, A.; TERRY, N. Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by wetland plants: Potential for *in situ* heavy metal detoxification. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 32, n. 20, p. 3087–3093, 1998.

MALECI, L.; PAOLILLO, A.; BINI, C. Chromium III uptake by *Calendula arvensis* L. and related phytotoxicity. **ICOBTE**, 6., Guelph (Canada). **Proceedings...** [Guelph], 2001. v. 29, n. 8, p. 7-2, 2001.

MANCEAU, A.; CHARLET, L. X-ray absorption spectroscopic study of the sorption of Cr(III) at the oxide-water interface: I. Molecular mechanism of Cr(III) oxidation on Mn oxides. **Journal of Colloid and Interface Science**, Oxford, v. 148, n. 2, p. 425-442, 1992.

MARTINETTI, R. «**Contribution à la labellisation 'écoproduit' de cuirs tannés aux sels de Chrome**: étude de la mobilité du Chrome». Thèse - Centre Technique Cuir Chaussure Maroquinerie (CTC), Lyon-France, 1994.

McGRATH, S. P.; CUNLIFFE, C. H. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Madison, v. 36, n. 9, p. 794-798, 1985.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 109-141.

MERTZ, W. Chromium occurrence and function in biological systems. **Physiological Reviews**, Baltimore, v. 49, n. 2, p. 163-239, 1969.

MILACIC, R.; STUPAR, J. Fractionation and oxidation of chromium in tannery waste and sewage sludge-amended soils. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 29, n. 2, p. 506-514, 1995.

MISHRA, S. K. **A study on uptake of chromium by groundnut (*Arachis hypogaea* L.):** possible role of chemical modifications in the rhizosphere. 1997. (Doutorado) - Dayalbagh Educational Institute, Índia, 1997.

MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M. Response of corn to zinc and chromium in municipal wastes applied to soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 4, n. 2, p. 170-174, 1975.

MULHOLLAND, K. L.; DYER, J. A. **Pollution prevention:** methodology, technologies and practices. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1999.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (NAS). **Chromium.** Washington, D.C. : National Research Council. Committee on Biological Effects of Atmospheric Pollutants, 1974.

NAYARI, H. F.; SZALAI, T.; KADAR, I.; CASTHO, P. Germination characteristics of pea seed originating from a field trial treated with different levels of harmful elements. **Acta Agriculturae Hungaricae**, Oxford, v. 45, p. 147-154, 1997.

NICKOLAUS, G. Does leather contain chromium (VI)? In: INTERNATIONAL UNION OF LEATHER TECHNOLOGISTS AND CHEMISTS SOCIETIES CONGRESS, 22., 1995, Friedrichshafen. **Abstracts.** Friedrichshafen, 1995. CD-ROM.

NIEBOER, E.; JUSYS, A. A. Biologic chemistry of Cr. In: CHROMIUM in the Natural and Human Environments. New York : [s.n.], 1988. p. 21-80.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2195-2207, 2008.

OLIVEIRA, D. Q. L.; CARVALHO, K. T. G.; NASCIMENTO, R. S. M. P.; MARQUES, J. J. G. S. M.; BASTOS, A. R. R.; OLIVEIRA, L. C. A. Utilização de resíduos da indústria do couro como fonte nitrogenada para o capim-elefante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 417-424, 2008.

OLIVEIRA, L. C. A.; DALLAGO, R. M.; FILHO, I. N. **Processo de reciclagem dos resíduos sólidos de curtumes por extração do cromo e recuperação do couro descontaminado.** [S.l. : s.n.], 2004. BR n. PI 0402905-4, 12 jul. 2004.

OLIVEIRA, L. C. A.; GONÇALVES, M.; OLIVEIRA, D. Q. L.; GUERREIRO, M. C.; GUILHERME, L. R. G.; DALLAGO, R. M. Solid waste from leather industry as adsorbent of organic dyes in aqueous-medium. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 141, n. 1, p. 344-347, 2007.



OTABBONG, E. Chemistry of Cr in some Swedish soils. 3. Assessment of Cr toxicity and Cr x P interactions in rye grass (*Lolium perenne*). **Acta Agriculturae Scandinavica**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 138-146, 1989.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes**. São Paulo: CETESB, 2005.

PALMER, C. D.; PULS, W. R. **Environmental Protection Agency Report: EPA Ground Water Issues. Natural Attenuation of Hexavalent Chromium in Groundwater and Soils**. Washington D.C., 1994.

PANDA, S. K. Heavy metal phytotoxicity induces oxidative stress in *Taxithelium* sp. **Curriculum Science**, Florida, v. 84, p. 631-633, 2003.

PANDA, S. K.; CHAUDHURY, I.; KHAN, M. H. Heavy metals induce lipid peroxidation and affects antioxidants in wheat leaves. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 46, n. 2, p. 289-294, 2003.

PANDA, S. K.; DASH, M. Regulation of senescence by Cr (VI) ions excised wheat leaves. **Journal of Natural Botanical Society**, Madison, v. 53, p. 35-37, 1999.

PANDA, S. K.; MAHAPATRA, S.; PATRA, H. K. Chromium toxicity and water stress simulation effects in intact senescing leaves of greengram (*Vigna radiata* L. var Wilckzeck K 851). In: PANDA, S. K. **Advances in stress physiology of plants**. [S.l.]: Scientific Publishers, 2002. p.129-136.

PANDA, S. K.; PATRA, H. K. Alteration of nitrate reductase activity by chromium ions in excised wheat leaves. **Indian Journal of Agricultural Biochemistry**, Silchar, v. 2, n. 2, p. 56-57, 1998.

PANDA, S. K.; PATRA, H. K. Nitrate and ammonium ions effect on the chromium toxicity in developing wheat seedlings. **Proceedings of Indian National Science Academy**, Silchar, v. 70, p. 75- 80, 2000.

PANDA, S. K.; PATRA, H. K. Physiology of chromium toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Madison, v. 24, n.1, p.10-17, 1997.

PARR, P. D.; TAYLOR Jr., F. G. Germination and growth effects of hexavalent chromium in Orocol TL (a corrosion inhibitor) on *Phaseolus vulgaris*. **Environment International**, Oxford, v. 7, p. 197-202, 1982.

PATTERSON, R. R.; FENDORF, S.; FENDORF, M. Reduction of hexavalent chromium by amorphous iron sulfide. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 31, p. 2039-2044, 1997.

PAWLISZ, A. V. Canadian water quality guidelines for Cr. **Environmental Toxicology Water Quality**, Berlin, v. 12, n. 2, p. 123-161, 1997.

PETERSON, P. J. Element accumulation by plants and their tolerance of toxic mineral soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT, 2., 1975, Toronto. **Abstracts**. Toronto, 1975. p. 39–54.

PETTINE, M.; MILLERO, F. J. Chromium speciation in seawater – the probable role of hydrogen peroxide. **Limnology and Oceanography**, Pietermarisbug, v. 35, p. 730-736, 1990.

PICKRELL, D. J.; ELLIS, B. G. Absorption and translocation of chromium through the surface of a soybean leaf. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 5, p. 854-855, 1980.

POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. Co-disposal of Municipal Refuse and Industrial Waste Sludge in Landfills. **Waste Science and Technology**, New York, v. 18, n. 12, p. 177-192, 1986.

QUADRO, M. S. **Crescimento de plantas e modificações de propriedades do solo após várias aplicações de resíduos de curtume e carbonífero**. 2008. 178 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAI, D.; EARY, L.; ZACHARA, E. Environmental chemistry of chromium. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 86, n. 1-2, p. 15-23, 1989.

RAI, D.; SASS, B. M.; MOORE, D. A. Cr(III) hydrolysis constants and solubility of Cr(III) hydroxide. **Inorganic Chemistry**, Easton, v.26, p. 345–349,1987.

RAI, D.; ZACHARA, J. M.; EARY, L. E.; AINSWORTH, C. C.; AMONETTE, J. E.; COWAN, C. E.; SZELMECZKA, R. W.; RESCH, C. T.; SCHMIDT, R. L.; GRIVIN, D. C.; SMITH, S. C. **Chromium reactions in geologic materials**. Rep. EA-5741. Palo Alto, CA, 1988.

REDISKE, J. H. Chromium toxicity in plants. In: BIOLOGY research: annual report. Richland, Washington : Hamford Atomic Products Operations, 1956. p. 48-52.

RIBEIRO, E. M. P. **Produção e análise físico-química do adubo de descarte de couro bovino com ênfase no impacto ambiental e energético**. 2006. 149 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ROCK, M. L.; JAMES, B.; HELZ, G. R. Hydrogen peroxide effects on Cr oxidation state and solubility in four diverse, Cr-enriched soils. **Environmental and Science Technology**, Washington, v. 35, n. 20, p. 4054-4059, 2001.

RODRIGUES, A. L. M.; ANGHINONI, M. C. M.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Critérios técnicos para a disposição de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO DA REUNIÃO INTERNACIONAL DOS QUÍMICOS E

TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22., Porto Alegre, 1993. **Boletim...** Porto Alegre, 1993. 14p.

RUPPENTHAL, J. E. **Perspectivas do setor couro do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Curso de Pós-graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SALEH, F.; PARKERTON, T. F.; LEWIS, R. V.; HUANG, J. H.; DICKSON, K. L. Kinetics of chromium transformations in the environment. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 86, p. 25-41, 1989.

SANTOPRETE, G. Il contenuto di cromo in mele fertilizzate con residui di cuoio (concia al cromo). **Riv di Merceologia**, Pisa, v. 19, p. 203-213, 1980.

SBCS/NRS (Sociedade Brasileira de Ciência do solo/Núcleo Regional Sul). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

SELBACH, P. A.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALLET, L. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. **Revista do Couro**, Estância Velha, v. 17, n.79, p. 51-62, 1991.

SEQUI, P.; NOBOLI, D. E. M.; LEITA, L.; CERCIGNANI, G. A new index of humification. **Agrochimica**, Pisa, v. 30, p. 175-179, 1986.

SHACKLETTE, H.; HAMILTON, J. C.; BOERNGEN, J. G.; BOWLES, J. M. **US Geological Survey Paper 574-D**. Washington, DC., 1971. p.71.

SHEWRY, P. R.; PETERSON, J. P. The uptake of chromium by barley seedlings (*Hordeum vulgare* L). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 25, p. 785-97, 1974.

SHIVAS, S. A. J. The environmental effects of chromium in tannery effluents. **The Journal of American Leather Chemistry Association**, Cincinnati, v. 73, n. 73, p. 370-377, 1978.

SHIVAS, S. A. J. The field disposal of tannery sludge. **The Journal of American Leather Chemistry Association**, Cincinnati, v. 74, n. 3, p. 70-81, 1979.

SILVA, S. **Agricultural use of leather working residues as means of energy saving and environmental protection**. Milão: UNIC, 1989. 60p.

SILVA, S.; BAFFI, C.; BEONE, G. M. Agronomical trials with the use of Chromium-containing fertilizers. In: ANGEL, F. **Chromium Environmental Issues**. Milano : [s.n.], 1997. p. 83-100.

SILVESTER, E.; CHARLET, L.; MANCEAU, A. Mechanism of chromium(III) oxidation by Na-buserite. **The Journal of Physical Chemistry**, Easton, v. 99, p. 162-169, 1995.

SKEFFINGTON, R. A.; SHEWRY, P. R.; PETERSEN, P. J. Chromium uptake and transport in barley seedlings *Hordeum vulgare*. **Planta**, Berlin, v. 14, p. 132-209, 1976.

SMITH, S.; PETERSON, P. J.; KWAN, K. H. Chromium accumulation, transport and toxicity in plants. **Environmental Chemistry and Toxicology**, Oxford, v. 24, p. 241-251, 1989.

SOUZA, S. M.; CHAVES, L. H. G.; SOUZA, A. P. Efeito da aplicação de lodo de curtume sobre a condutividade elétrica e reação de solo ácido. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 27, n. 2, p. 77-84, 2006.

SPIER, K. F.; WESTHAUSER, J. B. Aproveitamento de resíduos sólidos curtidos ao cromo. **Revista do Couro**, Estância Velha, p. 32-33, 1994.

SRIVASTAVA, S.; PRAKASH, S.; SRIVASTAVA, M. M. Chromium mobilization and plant availability - the impact of organic complexing ligands. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 212, n. 2, p. 203-208, 1999.

STEWART, M. A.; JARDINE, P. M.; BARNETT, M. O.; MEHLHORN, T. L.; HYDER, L. K.; MCKAY, L. D. Influence of soil geochemical and physical properties on the sorption and bioaccessibility of chromium(III). **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, p. 129-137, 2003.

SYKES, R. L.; CORNING, D. R.; EARL, N. J. The effect of soil chromium (III) on the growth and chromium absorption of various plants. **Journal of American Leather Chemistry Association**, Cincinnati, v. 76, n. 3, p. 102-125, 1981.

SYRACUSE RESEARCH CORPORATION. **Toxicological profile for chromium**. Prepared for U.S. Dept. Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, under Contract No. 205-88-0608. [Washington] : U.S. Dept. Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1993.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, J. A. **Descarte de resíduo de curtume no solo**. 1981. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

TEIXEIRA, K. R. G.; GONÇALVES FILHO, L. A. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, 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.

TERRY, N. **An analysis of the growth responses of *Beta vulgaris* L. to phtotoxic trace elements**. II. Chromium. Final report to the Kearney Foundation of Soil Science. July, 1975. Cincinnati, 1981.

TREBIEN, D. O. P. **Influência dos teores de matéria orgânica, óxidos de manganês facilmente reduzíveis e umidade na oxidação de cromo no solo**. 1994. 81 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Standards for use and disposal of sewage sludge**: Final rule, 40 CFR part 503, Federal Register. Washington, 1993. p. 9248-9415.

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Use and disposal of municipal wastewater sludge**. Washington, 1984. (Report n. EPA 625/10-84-003).

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Test method for evaluating solid wast**. Washington, 1986. p.152,

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Technical support document for the surface disposal of severage sludge**. Washington, 1992.

VERRY, E. S.; VERMETTE, S. J. The deposition and fate of trace metals in our environment. In: NATIONAL ATMOSPHERIC DEPOSITION PROGRAM, NATIONAL TRENDS NETWORK, 8., 1991, Philadelphia, Pennsylvania. **Proceedings...** [S.l.] : USDA-Forest Service, North Central Forest Experiment Station, [1991].

VINOGRADOV, A. P. The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils, 2nd edn. **Consultants Bureau**, New York, p. 209, 1959.

VIEIRA, R. F. Sewage sludge effects on soybean growth and nitrogen fixation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 34, p. 196-200, 2001.

VLYSSIDES, A. G.; ISRAILIDES, J. Detoxification of tannery waste liquors with an electrolysis system. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 97, n. 1-2, p. 147-152, 1997.

WEIS, J. S.; WEIS, P. Metal uptake, transport, and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. **Environment International**, Oxford, v. 30, p. 685-700, 2004.

WITTBRODT, T.; PALMER, C. D. Reduction of Cr(VI) in the presence of excess soil fulvic acid. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 29, p. 1-25, 1995.

YU, X. Z.; GU, J. D. Accumulation and Distribution of Trivalent Chromium and Effects on Hybrid Willow (*Salix matsudana* Koidz x *alba* L.) **Metabolism. Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, Madison, v. 52, n. 4, p. 503-511, 2007.

ZACHARA, J. M.; AINSWORTH, C. C.; COWAN, C. E.; RESCH, C. T. Adsorption of chromate by subsurface soil horizons. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 53, p. 418-428, 1989.

ZACHARA, J. M.; GIRVIN, D. C.; SCHMIDT, R. L.; RESCH, C. T. Chromate adsorption on amorphous iron oxyhydroxide in the presence of major groundwater ions. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 21, p. 589-594, 1987.

ZAYED, A. M.; TERRY, N. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 249, p. 139-156, 2003.

ZAYED, A.; LYTLE, C. M.; QIAN, J. H.; TERRY, N. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. **Planta**, Berlin, v. 206, p. 293-299, 1998a.

ZAYED, A.; LYTLE, C. M.; JIN-HONG, Q.; TERRY, N.; QIAN, J. H. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. **Planta**, Berlin, v. 9, p. 206-293, 1998.

ZEID, I. M. Responses of *Phaseolus vulgaris* to chromium and cobalt treatments. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 44, n. 1, p. 111-115, 2001.

ZHANG, X. H.; LIU, J.; HUANG, H. T.; CHEN, J.; ZHU, Y. N.; WANG, D. Q. Chromium accumulation by the hyperaccumulator plant *Leersia hexandra* Swartz. **Chemosphere**, California, v. 67, n. 6, p. 1138-1143, 2007.

ZHANG, X.; LIU, J.; WANG, D.; ZHU, Y.; HU, C.; SUN, J. Bioaccumulation and Chemical Form of Chromium in *Leersia hexandra* Swartz. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, Washington, v. 82, p. 358-362, 2009.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A. **SANEST**: sistema de análise estatística para microcomputadores. Piracicaba: CIAGRUESALQ, 1993. 138p.

## 7 APÊNDICES

Apêndice 1- Teores de P em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc.

Tratamento	Feijão					Rabanete		
	Folha desbaste	amo desbaste	colha ta	ramo colha ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	1,8	1,3	1,2	1,0	2,9	-	-	-
N mineral	4,3	2,4	4,6	2,8	6,3	3,1	7,4	6,2
HC -1 + PK	4,4	2,6	4,9	2,5	5,9	2,7	6,5	5,5
HC -2 + PK	4,1	2,5	6,1	3,2	5,6	2,7	6,0	5,5
HC -3 + PK	4,3	3,0	5,9	3,1	5,0	3,1	6,4	5,7
HC-4 + PK	3,9	2,1	3,9	2,4	5,0	3,4	8,0	5,2
HC-3+½N+PK	5,2	2,6	5,4	3,3	5,6	3,4	7,2	5,5
RRc + PK	3,1	1,7	5,0	3,4	5,0	2,8	6,1	5,4
Testemunha + calc	1,9	1,1	1,2	1,2	3,0	0,9	2,0	0,9
N mineral + calc.	3,2	2,1	2,9	1,9	4,5	2,8	7,8	5,9
HC + PK + calc.	3,3	1,9	2,9	1,8	5,0	2,7	6,3	5,1
HC -2 + PK + calc.	3,5	2,2	3,7	2,1	4,9	3,0	6,2	5,4
HC-3 + PK + calc.	5,3	3,1	6,6	3,0	5,0	3,3	7,8	6,3
HC-4 + PK + calc.	4,2	2,8	4,6	2,0	4,8	3,2	6,1	5,4
HC-3+½N+PK+calc.	4,1	2,1	7,5	2,8	5,1	2,9	5,7	6,1
RRc + PK+ calc	3,3	1,2	9,7	4,6	5,5	3,5	6,1	4,3
	PVd-2							
Testemunha	2,0	1,3	1,8	1,1	2,5	-	-	-
N mineral	2,5	1,5	6,0	2,2	5,1	3,0	4,3	3,3
HC -1 + PK	2,6	1,8	8,1	2,1	5,4	2,6	4,0	3,1
HC -2 + PK	2,6	1,6	5,0	1,8	5,0	2,5	4,1	3,6
HC -3 + PK	2,4	1,7	5,1	2,1	4,5	3,3	4,1	3,3
HC-4 + PK	2,5	1,3	3,4	1,8	4,6	2,8	4,5	3,4
HC-3+½N+PK	2,5	2,0	5,2	2,3	4,7	3,2	5,4	4,2
RRc + PK	2,7	1,3	5,9	3,2	5,4	3,2	4,9	3,9
Testemunha + calc	2,7	1,0	2,1	1,4	4,3	1,0	2,0	-
N mineral + calc.	3,1	1,7	5,2	2,8	5,0	3,0	6,3	5,2
HC + PK + calc.	3,5	2,0	5,4	2,5	5,4	2,4	4,8	4,1
HC -2 + PK + calc.	3,1	1,6	4,8	2,4	4,8	2,7	5,2	5,3
HC-3 + PK + calc.	3,6	2,1	5,5	2,7	4,6	2,9	5,5	5,4
HC-4 + PK + calc.	2,6	1,5	4,1	2,1	4,2	2,7	4,2	4,3
HC-3+½N+PK+calc.	3,6	1,8	4,8	2,7	5,2	2,5	4,6	4,9
RRc + PK+ calc	2,6	1,3	5,1	2,8	5,4	2,4	5,5	4,6

Apêndice 2- Teores de K em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	10,0	13,7	8,2	7,1	10,6	-	-	-
N mineral	6,8	7,0	5,5	6,6	11,6	26,0	32,3	31,9
HC -1 + PK	5,9	6,2	4,1	5,1	8,8	21,5	30,6	33,8
HC -2 + PK	6,1	6,6	4,4	4,5	9,1	19,5	29,8	27,4
HC -3 + PK	6,3	7,4	4,3	4,9	8,7	18,3	29,1	26,4
HC -4 + PK	6,2	8,2	2,9	3,0	9,7	15,8	32,4	28,2
HC -3 + ½N + PK	6,8	8,4	4,0	4,1	9,2	14,5	35,8	29,8
RRc + PK	18,8	21,2	3,9	5,8	9,6	10,8	36,5	29,2
Testemunha + calc	11,4	13,9	5,5	7,0	7,7	9,0	18,0	14,1
N mineral + calc.	8,2	9,7	3,7	4,7	7,8	16,1	38,5	30,8
HC + PK + calc.	6,8	7,4	4,5	4,1	8,2	15,8	28,8	26,5
HC -2 + PK + calc.	7,2	8,4	3,5	3,7	9,6	15,5	31,3	31,2
HC -3 + PK + calc.	9,8	11,6	6,0	4,7	7,4	13,9	36,1	32,4
HC -4 + PK + calc.	6,5	11,2	3,2	2,5	8,0	11,1	33,4	28,2
HC -3 + ½N + PK + calc.	7,3	7,7	4,3	3,7	11,4	13,5	32,4	34,0
RRc + PK + calc	16,0	18,0	5,7	5,8	-	12,1	34,8	27,3
	PVd-2							
Testemunha	16,0	21,1	26,8	15,9	10,2	-	-	-
N mineral	17,6	18,6	11,2	9,3	12,7	25,1	34,3	30,4
HC -1 + PK	15,6	16,1	9,5	7,8	13,9	22,6	34,2	32,5
HC -2 + PK	15,7	14,1	6,9	5,7	11,6	21,5	36,3	32,2
HC -3 + PK	13,7	14,9	8,5	6,3	12,2	22,4	30,8	29,3
HC -4 + PK	12,2	13,6	7,6	5,5	9,7	18,7	30,1	26,7
HC -3 + ½N + PK	13,4	14,8	9,6	7,3	10,8	22,0	40,3	36,7
RRc + PK	18,5	18,6	8,7	9,1	15,9	15,8	34,6	32,3
Testemunha + calc	19,2	20,8	10,1	10,8	13,0	12,4	21,0	-
N mineral + calc.	17,4	15,8	9,1	10,0	13,9	14,7	34,6	34,3
HC + PK + calc.	14,9	21,2	8,0	8,3	14,0	11,4	30,0	29,9
HC -2 + PK + calc.	17,4	21,4	8,3	9,1	13,0	14,0	35,6	33,5
HC -3 + PK + calc.	16,5	23,3	8,0	8,2	10,7	12,3	35,9	36,3
HC -4 + PK + calc.	15,6	19,3	7,0	7,7	12,4	14,2	31,6	33,4
HC -3 + ½N + PK + calc.	16,8	20,4	8,5	9,8	12,4	12,3	29,0	33,6
RRc + PK + calc	20,4	22,2	7,9	8,2	12,7	11,1	37,4	29,4



Apêndice 3- Teores de Ca em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	13,3	11,1	25,6	21,4	3,0	-	-	-
N mineral	21,5	13,1	27,9	19,0	2,9	15,4	6,3	5,3
HC -1 + PK	23,3	13,7	34,5	20,1	2,2	20,4	6,3	5,7
HC -2 + PK	22,5	13,9	37,4	22,4	2,4	18,3	5,2	5,0
HC -3 + PK	23,1	16,9	42,4	24,6	1,8	21,1	5,1	4,5
HC-4 + PK	20,2	14,0	38,9	23,8	1,5	21,9	6,8	4,9
HC-3+½N+PK	20,8	16,6	34,8	23,1	1,9	22,7	6,5	6,0
RRc + PK	19,6	19,1	43,3	30,5	2,2	38,7	6,6	4,8
Testemunha + calc	13,8	12,8	34,5	23,0	2,2	32,0	7,0	4,3
N mineral + calc.	20,3	13,7	33,3	20,7	1,5	20,9	7,2	5,9
HC +PK+ calc.	22,3	14,4	24,3	17,3	1,1	22,0	5,5	4,4
HC -2 + PK + calc.	22,1	14,5	33,4	19,9	1,2	24,9	6,1	5,2
HC-3 + PK + calc.	18,4	15,5	44,7	19,8	1,3	25,1	7,0	5,5
HC-4 + PK + calc.	20,9	15,5	53,4	24,0	1,2	23,3	5,6	5,6
HC-3+½N+PK+calc.	24,5	15,3	50,5	20,1	1,8	22,9	6,0	6,4
RRc + PK+ calc	17,0	16,2	64,7	31,4	2,2	35,2	6,0	4,1
	PVd-2							
Testemunha	8,6	8,6	29,4	13,5	2,0	-	-	-
N mineral	11,7	11,2	42,2	13,9	2,1	19,0	4,5	3,7
HC -1 + PK	12,0	10,8	51,3	14,0	2,2	15,3	4,9	3,9
HC -2 + PK	12,2	11,8	35,5	12,8	1,6	13,4	4,9	4,7
HC -3 + PK	12,8	11,5	47,1	18,2	1,5	17,8	4,7	3,8
HC-4 + PK	13,1	10,2	43,6	19,3	1,3	22,8	5,0	4,5
HC-3+½N+PK	12,9	11,6	37,7	15,3	1,3	19,4	5,5	5,2
RRc + PK	20,8	16,6	52,2	27,5	2,0	38,1	5,3	4,4
Testemunha + calc	14,0	11,8	45,8	22,0	2,1	26,6	5,0	-
N mineral + calc.	21,4	9,6	38,1	19,1	1,2	25,6	6,0	5,2
HC +PK+ calc.	18,6	11,6	38,0	18,1	1,7	23,0	4,6	3,9
HC -2 + PK + calc.	19,0	12,9	43,8	21,8	1,6	26,1	4,9	4,8
HC-3 + PK + calc.	20,8	13,7	42,5	19,8	1,3	26,2	5,3	5,1
HC-4 + PK + calc.	19,0	11,7	49,0	22,9	1,6	23,7	4,7	5,2
HC-3+½N+PK+calc.	19,3	12,8	41,9	21,1	2,0	24,6	4,7	4,7
RRc + PK+ calc	23,2	14,5	50,5	26,5	1,7	30,6	6,2	4,6

Apêndice 4- Teores de Mg em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	2,8	2,4	2,8	4,7	1,5	-	-	-
N mineral	1,7	1,6	2,3	2,3	1,7	2,0	1,2	1,6
HC -1 + PK	1,9	1,7	3,0	3,5	1,5	3,0	1,3	1,5
HC -2 + PK	2,2	1,8	3,1	3,3	1,5	2,4	1,2	1,6
HC -3 + PK	2,2	2,0	3,5	4,0	1,3	2,7	1,1	1,5
HC-4 + PK	2,4	2,3	4,9	5,2	1,4	2,8	1,3	1,4
HC-3+½N+PK	2,4	2,4	3,7	4,5	1,4	2,7	1,2	1,7
RRc + PK	3,0	2,8	7,3	7,5	1,7	4,9	1,5	1,6
Testemunha + calc	3,4	2,8	6,1	8,1	1,6	6,0	2,0	1,7
N mineral + calc.	2,8	2,7	5,4	6,1	1,6	3,0	1,4	1,8
HC + PK + calc.	3,1	2,8	3,7	4,7	1,6	3,3	1,1	1,4
HC -2 + PK + calc.	3,4	2,9	5,2	5,1	1,5	3,8	1,3	1,6
HC-3 + PK + calc.	3,7	3,1	7,6	6,3	1,4	4,0	1,5	1,7
HC-4 + PK + calc.	3,4	3,5	9,7	7,3	1,4	3,7	1,3	1,7
HC-3+½N+PK+calc.	3,8	3,1	9,4	6,8	1,7	3,7	1,3	2,0
RRc + PK+ calc	3,1	3,0	11,5	8,5	1,7	4,4	1,4	1,2
	PVd-2							
Testemunha	1,9	1,7	2,8	3,3	1,6	-	-	-
N mineral	1,3	1,6	5,3	3,7	2,0	2,8	1,0	1,2
HC -1 + PK	1,3	1,5	6,0	4,0	2,1	2,2	1,0	1,2
HC -2 + PK	1,4	1,6	4,0	3,5	1,7	1,7	1,1	1,4
HC -3 + PK	1,5	1,8	4,6	4,4	1,6	2,8	1,1	1,3
HC-4 + PK	1,8	1,7	3,8	4,1	1,5	3,3	1,2	1,5
HC-3+½N+PK	1,5	1,8	4,0	4,1	1,6	2,7	1,3	1,7
RRc + PK	2,2	1,9	7,8	6,7	2,0	4,3	1,2	1,3
Testemunha + calc	3,4	2,6	9,2	8,2	2,1	6,0	2,0	-
N mineral + calc.	4,1	2,5	8,8	8,3	2,0	5,8	1,6	1,9
HC + PK + calc.	4,2	3,4	8,9	7,3	2,2	4,7	1,3	1,4
HC -2 + PK + calc.	3,7	3,0	8,9	9,2	1,9	5,3	1,4	1,6
HC-3 + PK + calc.	4,0	3,2	9,4	7,7	1,8	5,8	1,6	2,2
HC-4 + PK + calc.	3,7	2,7	10,4	8,1	1,9	4,7	1,4	2,0
HC-3+½N+PK+calc.	3,8	2,8	9,3	8,6	2,1	5,3	1,4	2,0
RRc + PK+ calc	3,4	2,9	10,1	8,3	1,9	5,1	1,6	1,5

Apêndice 5- Teores de S em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
-----g kg <sup>-1</sup> -----								
PVd-1								
Testemunha	5,9	5,4	4,0	4,6	2,5	-	-	-
N mineral	4,3	3,6	7,3	4,2	2,5	5,0	8,2	6,5
HC -1 + PK	3,2	2,9	8,0	4,9	2,5	4,7	6,4	5,2
HC -2 + PK	2,7	2,4	9,1	4,9	2,6	4,8	6,6	6,0
HC -3 + PK	2,6	2,4	6,4	4,3	2,4	3,7	6,1	6,1
HC-4 + PK	2,6	2,0	3,2	2,6	2,2	4,4	8,3	5,9
HC-3+½N+PK	2,7	2,6	5,5	3,8	2,5	3,9	7,2	6,1
RRc + PK	2,5	2,7	5,5	4,5	2,2	5,8	7,3	6,5
Testemunha + calc	2,5	2,8	3,5	3,7	1,9	6,8	12,0	8,4
N mineral + calc.	1,2	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	6,9	4,8
HC +PK+ calc.	1,3	1,5	2,3	1,9	2,3	3,8	6,4	5,3
HC -2 + PK + calc.	1,6	1,5	2,2	1,7	2,0	3,8	7,2	6,1
HC-3 + PK + calc.	2,4	1,9	3,6	2,4	2,1	3,9	7,5	6,2
HC-4 + PK + calc.	2,3	1,9	2,2	1,7	1,9	3,8	6,3	6,0
HC-3+½N+PK+calc.	1,9	1,4	3,6	2,1	2,1	3,2	6,4	7,0
RRc + PK+ calc	2,3	2,7	10,0	5,1	2,1	5,9	6,3	5,7
PVd-2								
Testemunha	5,1	5,9	5,3	3,5	2,0	-	-	-
N mineral	2,8	3,4	13,5	5,3	1,8	5,0	6,7	5,3
HC -1 + PK	2,8	2,9	13,8	5,0	2,0	5,0	6,8	5,2
HC -2 + PK	2,7	2,9	9,5	4,0	2,2	4,9	7,8	5,7
HC -3 + PK	3,0	2,9	9,2	4,2	2,2	5,7	7,3	5,8
HC-4 + PK	3,1	2,2	4,3	2,7	2,4	5,2	7,2	6,3
HC-3+½N+PK	3,2	2,8	8,4	4,4	2,3	5,0	7,8	6,5
RRc + PK	2,2	2,5	8,9	5,1	2,1	6,5	7,3	6,9
Testemunha + calc	2,2	2,4	3,7	3,5	2,0	6,4	13,0	-
N mineral + calc.	1,9	1,4	3,3	2,8	1,9	3,7	6,5	4,9
HC +PK+ calc.	1,8	1,7	3,5	2,5	1,9	3,8	5,6	5,0
HC -2 + PK + calc.	2,1	1,9	3,1	2,5	1,9	4,1	6,0	5,9
HC-3 + PK + calc.	2,2	2,0	3,4	2,4	1,8	4,2	6,6	7,4
HC-4 + PK + calc.	2,4	1,7	3,1	2,4	1,7	4,0	6,0	6,7
HC-3+½N+PK+calc.	1,9	1,8	3,2	2,8	1,9	2,6	5,5	6,2
RRc + PK+ calc	2,1	2,6	6,8	4,5	2,0	4,6	7,5	7,4

Apêndice 6- Teores de Cu em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	16,0	5,3	10,1	23,3	11,1	-	-	-
N mineral	7,8	5,2	15,6	13,3	15,4	2,9	5,0	3,6
HC -1 + PK	7,9	4,8	9,5	8,3	15,7	3,2	3,8	3,7
HC -2 + PK	7,2	4,5	11,9	8,4	15,5	2,6	4,2	4,7
HC -3 + PK	6,8	4,5	9,3	7,6	13,5	3,0	4,8	10,6
HC -4 + PK	4,9	3,2	6,4	5,8	11,8	3,1	7,0	3,2
HC -3 + ½N + PK	8,5	7,4	10,2	11,9	14,6	3,2	4,3	3,7
RRc + PK	4,1	2,3	10,0	13,6	12,9	4,4	3,5	2,7
Testemunha + calc	8,4	4,1	6,1	6,9	8,9	3,4	4,0	4,4
N mineral + calc.	5,4	3,6	5,6	6,4	10,1	2,3	4,3	3,1
HC + PK + calc.	5,1	3,5	6,1	7,3	10,2	2,3	3,0	4,3
HC -2 + PK + calc.	6,4	3,3	5,4	4,6	11,2	2,6	3,4	2,3
HC -3 + PK + calc.	6,4	4,1	11,5	7,8	12,0	2,7	4,2	7,8
HC -4 + PK + calc.	5,2	3,0	7,2	7,0	9,3	2,8	3,1	3,4
HC -3 + ½N + PK + calc.	6,2	3,5	7,9	5,2	12,7	3,4	3,2	22,5
RRc + PK + calc	6,2	2,4	16,8	16,8	13,9	3,1	2,7	38,1
	PVd-2							
Testemunha	8,1	3,8	16,4	15,4	8,8	-	-	-
N mineral	6,7	3,7	19,2	18,8	12,5	3,3	2,9	12,0
HC -1 + PK	7,5	3,7	17,7	11,1	13,3	2,8	3,1	20,9
HC -2 + PK	6,5	3,8	13,0	10,7	12,2	3,5	6,9	30,1
HC -3 + PK	6,3	3,7	19,5	14,4	12,3	3,8	3,7	152,6
HC -4 + PK	7,6	3,0	17,9	13,5	12,8	3,0	3,0	5,4
HC -3 + ½N + PK	6,2	3,9	29,0	14,2	11,8	3,5	3,7	1,9
RRc + PK	5,2	2,7	17,3	17,8	13,3	3,2	2,7	3,2
Testemunha + calc	7,5	4,3	11,0	11,3	10,6	3,1	8,2	-
N mineral + calc.	5,7	3,6	14,5	11,5	10,4	3,5	4,1	5,3
HC + PK + calc.	6,7	4,5	11,5	9,7	11,9	2,3	2,6	6,7
HC -2 + PK + calc.	5,6	3,4	11,6	10,7	10,1	2,9	2,7	3,6
HC -3 + PK + calc.	6,0	4,0	12,1	9,9	9,9	2,9	3,0	6,0
HC -4 + PK + calc.	4,4	2,2	11,7	11,9	10,2	3,1	5,0	4,5
HC -3 + ½N + PK + calc.	6,3	4,1	12,4	12,7	11,8	2,1	2,5	4,9
RRc + PK + calc	4,5	2,6	15,3	15,0	12,6	2,3	3,0	5,1

Apêndice 7- Teores de Zn em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	51,1	126,9	43,1	125,0	38,3	-	-	-
N mineral	48,7	57,1	65,1	93,2	40,8	54,8	77,6	60,4
HC -1 + PK	46,4	56,7	52,2	87,8	42,5	60,2	82,2	55,1
HC -2 + PK	46,2	61,7	59,3	86,1	40,0	63,9	88,0	63,6
HC -3 + PK	44,6	66,3	53,8	81,3	40,2	67,7	77,2	57,7
HC-4 + PK	35,4	54,4	40,4	55,8	34,3	69,6	93,0	61,7
HC-3+½N+PK	48,9	72,1	55,0	85,1	39,6	73,4	86,2	79,1
RRc + PK	32,5	21,2	36,8	43,5	34,7	30,9	40,4	25,4
Testemunha + calc	41,9	47,1	27,8	38,4	31,0	56,5	60,9	30,4
N mineral + calc.	26,2	23,8	21,1	30,7	35,8	21,0	41,5	32,6
HC + PK + calc.	27,5	25,2	27,6	34,1	42,1	23,4	42,3	29,8
HC -2 + PK + calc.	30,1	28,6	22,9	28,3	36,8	26,0	50,4	29,0
HC-3 + PK + calc.	39,6	36,8	40,3	47,8	40,0	37,5	65,2	42,4
HC-4 + PK + calc.	34,8	43,0	28,0	42,4	32,7	50,4	60,0	54,3
HC-3+½N+PK+calc.	33,8	30,3	33,2	41,3	37,9	31,0	47,2	47,2
RRc + PK+ calc	31,6	21,3	47,1	56,5	38,5	30,3	40,0	22,5
	PVd-2							
Testemunha	58,6	117,5	66,7	116,3	29,3	-	-	-
N mineral	45,6	53,4	49,9	85,3	38,6	73,6	73,6	47,0
HC -1 + PK	44,3	52,8	47,4	77,9	35,4	71,8	83,0	53,5
HC -2 + PK	43,0	60,0	43,9	75,9	34,7	62,4	93,3	55,6
HC -3 + PK	47,9	61,4	52,1	82,5	33,3	80,3	93,5	84,2
HC-4 + PK	48,7	52,3	48,2	74,7	37,2	88,4	84,8	62,9
HC-3+½N+PK	48,4	56,4	53,0	80,9	36,3	82,0	103,1	69,9
RRc + PK	32,8	24,6	43,7	57,3	40,9	27,4	38,9	32,5
Testemunha + calc	36,1	32,3	31,6	41,0	35,1	59,9	44,4	-
N mineral + calc.	22,9	15,5	30,2	36,4	35,0	17,7	37,0	26,0
HC + PK + calc.	26,4	22,1	31,2	36,3	40,5	14,9	34,2	21,6
HC -2 + PK + calc.	26,7	22,4	30,8	43,2	35,9	17,1	35,4	26,8
HC-3 + PK + calc.	30,7	29,5	36,4	44,2	34,6	21,4	38,7	33,8
HC-4 + PK + calc.	36,5	24,2	36,2	48,2	33,4	31,0	39,9	39,9
HC-3+½N+PK+calc.	28,5	23,4	33,0	43,1	35,9	14,5	34,0	31,4
RRc + PK+ calc	29,4	22,0	50,1	69,4	39,4	26,4	38,2	28,6

Apêndice 8- Teores de Fe em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
	PVd-1							
Testemunha	370	160	352	336	47	-	-	-
N mineral	194	59	417	254	57	226	211	65
HC -1 + PK	198	63	457	266	58	258	207	47
HC -2 + PK	193	67	371	214	53	174	170	41
HC -3 + PK	205	63	287	192	60	199	150	39
HC-4 + PK	365	86	213	146	59	179	184	41
HC-3+½N+PK	254	76	262	177	42	210	149	391
RRc + PK	267	94	148	106	54	225	128	28
Testemunha + calc	440	168	247	193	52	208	160	34
N mineral + calc.	195	46	216	169	56	171	186	41
HC +PK+ calc.	169	50	207	145	62	183	150	33
HC -2 + PK + calc.	174	59	262	177	57	170	141	58
HC-3 + PK + calc.	184	64	218	147	60	185	226	48
HC-4 + PK + calc.	321	67	227	151	46	146	137	65
HC-3+½N+PK+calc.	171	60	226	146	58	141	142	51
RRc + PK+ calc	216	71	148	115	55	141	122	21
	PVd-2							
Testemunha	321	179	420	292	36	-	-	-
N mineral	190	62	319	273	68	303	212	34
HC -1 + PK	208	62	425	420	67	315	243	37
HC -2 + PK	210	61	407	276	55	236	298	37
HC -3 + PK	233	66	429	300	53	288	273	40
HC-4 + PK	216	68	620	432	54	218	182	37
HC-3+½N+PK	223	68	422	297	53	302	297	53
RRc + PK	255	76	218	180	75	226	169	24
Testemunha + calc	330	141	198	179	67	292	323	-
N mineral + calc.	237	66	245	166	74	274	167	36
HC +PK+ calc.	234	66	218	222	77	218	228	25
HC -2 + PK + calc.	194	63	151	116	73	299	209	34
HC-3 + PK + calc.	232	82	319	263	63	265	152	41
HC-4 + PK + calc.	223	90	239	150	70	224	262	50
HC-3+½N+PK+calc.	254	73	273	193	72	181	181	39
RRc + PK+ calc	238	71	1012	2040	66	140	120	41

Apêndice 9- Teores de Mn em folhas, ramos e grãos de feijão e em folha, casca e raiz de rabanete, cultivado em dois tipos de solos com e sem correção da acidez e tratamentos com fertilizante mineral, hidrolisado de couro (HC), hidrolisado de couro + fertilizante mineral e resíduo de recurtimento de couro RRc. (médias de 4 repetições)

Tratamento	Feijão				Rabanete			
	Folha desbas te	Ramo desbas te	Folha colhei ta	Ramo colhei ta	Grãos	Folha	Casca	Raiz
-----g kg <sup>-1</sup> -----								
PVd-1								
Testemunha	217	252	214	452	44	-	-	-
N mineral	407	217	453	417	54	695	237	205
HC -1 + PK	376	194	495	443	42	637	174	164
HC -2 + PK	347	176	524	402	37	797	225	193
HC -3 + PK	351	220	467	390	33	1003	234	232
HC-4 + PK	245	170	320	257	22	951	296	199
HC-3+½N+PK	313	201	414	373	31	1056	311	278
RRc + PK	74	50	82	72	14	71	17	11
Testemunha + calc	93	98	160	176	19	77	20	19
N mineral + calc.	119	50	226	176	20	161	64	49
HC +PK + calc.	141	61	169	157	19	144	47	37
HC -2 + PK + calc.	122	59	190	161	16	227	61	48
HC-3 + PK + calc.	168	77	363	207	21	429	123	98
HC-4 + PK + calc.	184	113	379	225	19	641	166	189
HC-3+½N+PK+calc.	144	59	312	173	20	428	108	106
RRc + PK+ calc	94	70	111	71	12	65	19	11
PVd-2								
Testemunha	199	347	432	375	45	-	-	-
N mineral	361	230	758	386	47	391	111	100
HC -1 + PK	342	211	862	423	46	329	119	101
HC -2 + PK	363	241	620	382	44	338	152	128
HC -3 + PK	305	197	690	425	37	407	141	106
HC-4 + PK	196	121	467	302	25	454	109	93
HC-3+½N+PK	293	185	545	347	33	444	157	143
RRc + PK	71	40	85	55	14	38	12	11
Testemunha + calc	51	52	68	50	14	25	10	-
N mineral + calc.	60	22	78	59	12	35	16	12
HC +PK + calc.	51	22	75	57	13	33	14	9
HC -2 + PK + calc.	64	36	110	76	14	50	15	13
HC-3 + PK + calc.	67	33	107	68	12	53	18	18
HC-4 + PK + calc.	136	72	222	111	18	137	29	33
HC-3+½N+PK+calc.	62	31	112	71	14	51	18	17
RRc + PK+ calc	77	39	80	60	13	38	13	10