

# Eficiência agronômica de fertilizante de couro bovino hidrolisado como fonte de nitrogênio e teores de cromo em solo, água e planta<sup>1</sup>

André Dabdab Abichequer<sup>2</sup>, Bruno Brito Lisboa<sup>3</sup>, Bernadete Radin<sup>3</sup>,  
Evelyn Penedo Dorneles<sup>4</sup>, Luciano Kayser Vargas<sup>3</sup>, Fábio Almeida Iranço<sup>5</sup>,  
Maico Paulo Alflen<sup>6</sup>, Rafael Lorscheiter<sup>7</sup>, Vitor Hugo Zanotelli<sup>6</sup>,  
Viviane Reginaldo de Oliveira<sup>6</sup> e Monique Presser Cigolini<sup>6</sup>

**Resumo** – O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência agronômica de um fertilizante de couro bovino hidrolisado (FCH) como fonte de N e o impacto ambiental decorrente do aporte de cromo ao solo com o uso deste fertilizante. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Fepagro em Viamão (RS), com o cultivo de milho e de rabanete em vasos com três camadas separadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade) de dois solos: Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro. Os tratamentos consistiram de duas doses de FCH, calculadas com base no seu teor de N: quantidade necessária para suprir o N para as culturas em estudo; metade das doses anteriores, complementadas com ureia para igualar as quantidades de N; e ureia como fonte padrão de N. Foram determinados nas plantas o rendimento de grãos ou bulbos, a massa seca da parte aérea e o teor de N na folha, além do teor de cromo na parte aérea, grãos e raízes. Após os cultivos, foi coletada água percolada pelo solo e amostras de solo das três camadas, para determinação de cromo. A eficiência agronômica do FCH foi semelhante à da ureia como fonte de N para o milho e o rabanete em ambos os solos, observando-se equivalência de rendimento de grãos e de bulbos e de teor de N na folha. Os teores de cromo nas partes comestíveis (grãos e bulbos) das plantas fertilizadas com o FCH não se diferenciaram dos teores das plantas cultivadas com ureia. O cromo, encontrado apenas na forma trivalente, ficou retido na camada superficial (0-20 cm) dos solos, onde houve aumento do seu teor com a aplicação de FCH, o que se refletiu na não-detecção de cromo na água percolada pelos vasos.

**Palavras-chave:** adubação orgânica, descarte de resíduos, adubação nitrogenada, farinha de couro, *Zea mays* L., *Raphanus sativus* L.

## Agronomic efficiency of hidrolized cattle leather fertilizer as Nitrogen source and Chromium content in soil, water and plant

**Summary** – The objective of this work was to evaluate the agronomic efficiency of a hidrolized leather fertilizer (HLF) as N source and environmental impact resulting from addition of chromium to soil using this fertilizer. The work was conducted in a greenhouse from Fepagro, Viamão, RS, Brazil, with growing of corn and radish in pots with three separate layers (0-20, 20-40 and 40-60 cm of depth) of two soils: Ultisol and Oxisol. Treatments were two doses of HLF, calculated based on its N content: necessary dose to supply N to corn or radish; half of previous doses, complemented with urea to equate the amount of N applied; and urea as standard N source. In plants were determined grain or bulb yield, shoot dry mass and N content in leaves, besides chromium content in shoot, grains and roots. After cultivation, percolated water through the soil and soil samples from the three layers were collected for chromium determination. Agronomic efficiency of HLF was similar to urea as N source to corn and radish in both soils, resulting in similar grain or bulb yield and N leaf content. Chromium contents in edible parts (grains and bulbs) of plants fertilized with HLF were

<sup>1</sup> Trabalho financiado pela empresa JGB Equipamentos de Segurança S.A. Manuscrito submetido em 25/07/2011 e aceito para publicação em 05/01/1012.

<sup>2</sup> Eng. Agr., Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro). Rua Gonçalves Dias 570, Porto Alegre, RS, CEP 90130-060. E-mail: andre-abichequer@fepagro.rs.gov.br.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Pesquisador(a) da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro). Rua Gonçalves Dias 570, Porto Alegre, RS, CEP 90130-060.

<sup>4</sup> Química, Técnica em Pesquisa do Laboratório de Química Agrícola da Fepagro.

<sup>5</sup> Biólogo, Técnico em Pesquisa do Laboratório de Química Agrícola da Fepagro.

<sup>6</sup> Estagiário(a) do Laboratório de Química Agrícola da Fepagro.

<sup>7</sup> Estagiário do Laboratório de Agrometeorologia da Fepagro.

not different to contents of plants fertilized with urea. Chromium, only in trivalent form, was retained in superficial layer (0-20 cm) of soils, where chromium content increased with HLF application, which resulted in no detection of chromium in percolated water through pots.

**Key words:** organic fertilization, residue discard, nitrogen fertilization, leather meal, *Zea mays* L., *Raphanus sativus* L.

## Introdução

A manufatura do couro é uma importante atividade econômica para o Rio Grande do Sul, sendo geradora de renda e empregos. Porém, o curtimento do couro gera resíduos com alto potencial poluidor, principalmente quando é utilizado cromo como agente curtiente. Na região do Vale dos Sinos, são geradas pela indústria do couro cerca de 120000 t ano<sup>-1</sup> de resíduos sólidos Classe I (perigosos) (Fepam-RS, 2002). Entre as alternativas para o descarte e aproveitamento de resíduos de couro encontra-se sua disposição no solo como fertilizante orgânico, a qual pode, além de resolver o incômodo descarte desse resíduo, também tornar-se uma fonte de rendimento econômico para a cadeia produtiva do couro. Quanto ao agricultor, esse fertilizante pode tornar-se uma fonte alternativa de nutrientes para realizar a adubação das culturas a um custo mais acessível, quando a análise do solo demonstrar deficiência de nutrientes.

Fertilizante orgânico produzido a partir de resíduos de couro hidrolisados, também chamado de farinha de couro, é utilizado como fonte de N há muitos anos em países como Itália, Estados Unidos, Coreia e Polônia (CIAVATTA e GESSA, 1997; DELL'ABATE et al., 2003). Na Itália é o mais importante fertilizante nitrogenado orgânico, sendo aplicadas cerca de 60000 t ano<sup>-1</sup> (CIAVATTA e SEQUI, 1989; GOVI et al., 1996). O fertilizante de couro hidrolisado (FCH) é obtido através de hidrólise de resíduos de couro curtido (aparas de couro, farelo e pó resultantes do processamento do couro) em temperatura de cerca de 160° C, submetidos à pressão de vapor d'água, sendo que, após, a massa gelatinosa obtida é seca e transformada em fertilizante granulado (GOVI et al., 1996; RIBEIRO, 2006). Porém, o principal problema para a utilização de resíduos de couro hidrolisado como fertilizante são os teores elevados de cromo, que atingem cerca de 10000 a 30000 mg kg<sup>-1</sup> (GOVI et al., 1996), sendo que a legislação brasileira permite apenas 200 mg kg<sup>-1</sup> em fertilizantes orgânicos (MAPA, 2006). O resíduo de couro é composto predominantemente por materiais orgânicos de origem animal e sais inorgânicos usados no curtimento, principalmente o sulfato de cromo (RIBEIRO, 2006). Entre os nutrientes

fornechos pelo resíduo, o N é o que está presente em maior quantidade, devido à natureza proteica de grande parte dos constituintes. O P e o K são encontrados em baixas concentrações, enquanto o S aparece em concentrações altas, pelo uso de sais de S no curtimento e por ser um componente de proteínas (SELBACH et al., 1991).

A forma mais nociva de cromo para as plantas, animais e para a saúde humana é o cromo hexavalente, Cr<sup>6+</sup>, que é altamente solúvel no solo (CHANEY et al, 1997). No solo ocorrem as formas Cr<sup>6+</sup> ou Cr<sup>3+</sup>, com predominância da segunda, que forma compostos estáveis com substâncias orgânicas, hidróxidos ou fosfatos ou é adsorvida pelas argilas. Por causa dessas reações, o Cr<sup>3+</sup> é pouco móvel no solo na faixa de pH que ocorre normalmente (4,5 a 8,0) (SELBACH et al., 1991), o que reduz o risco de contaminação de água subsuperficial. A oxidação de Cr<sup>3+</sup> a Cr<sup>6+</sup> pode ocorrer, no entanto, em solos com baixos teores de matéria orgânica ou com matéria orgânica estabilizada (que não complexa o cromo), levemente ácidos e com presença de óxidos de Mn, que são reduzidos e permitem a oxidação do cromo (BARTLETT e KIMBLE, 1976; CHANEY et al, 1997; KOZUH et al., 2000). Assim, solos com diferentes teores de argila, matéria orgânica e óxidos de Mn podem responder de forma diferenciada à aplicação de resíduos de couro, proporcionando maior ou menor mobilidade do cromo.

Ribeiro (2006), em experimento em casa de vegetação em Campinas (SP), observou que a adubação de milho cultivado em um Latossolo Férrico e em um Latossolo Vermelho Amarelo com aplicação de FCH como fonte de N resultou na produção de massa seca da parte aérea, aos 45 dias após a semeadura, semelhante à adubação convencional com sulfato de amônio. Com relação ao cromo no solo, Ciavatta e Sequi (1989), em pesquisa em solo da Itália, observaram que a aplicação de FCH, que contém cromo na forma trivalente, não resultou em oxidação para a forma hexavalente e que o cromo permaneceu insolúvel no solo. Os mesmos autores verificaram que adições de Cr<sup>6+</sup> resultaram em imediata redução para Cr<sup>3+</sup> no solo. Selbach et al. (1991) cultivaram rabanete e sorgo fertilizados com lodo de curtume, resíduo da indústria do couro que também é fonte de N e apresenta teor elevado de

cromo, em vasos com um Argissolo Vermelho Amarelo. Quando foi realizada a suplementação com P e K, o rendimento de bulbos de rabanete com aplicação de lodo de curtume foi semelhante ao da adubação mineral. Quanto aos teores de cromo na parte aérea, no caso do rabanete houve aumento nas maiores doses de lodo de curtume; isto não ocorreu com o sorgo, cujos teores na parte aérea não diferiram da testemunha sem adubação. Os autores também analisaram a água de percolação pela coluna de solo no vaso, sendo que a mesma permaneceu abaixo dos limites de cromo para água potável. Ferreira et al. (2003) e Kray et al. (2008), em experimentos de campo, e Konrad e Castilhos (2002), em casa de vegetação, observaram que os rendimentos de grãos das culturas de soja e de milho nos tratamentos com 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.

Assim, a disposição de resíduos de couro processados na forma de fertilizante pode tornar-se uma alternativa viável, ambientalmente correta e que proporcione retorno econômico. Porém, há necessidade de pesquisa para avaliar tanto a sua eficiência agronômica quanto a sua adequação ambiental em solo e clima brasileiros.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agronômica de um fertilizante de couro bovino hidrolisado como fonte de N e verificar se ocorre contaminação de solo, água e planta decorrente do aporte de cromo ao solo.

## Material e Métodos

O trabalho foi realizado em casa de vegetação, no Centro de Pesquisa da Fepagro em Viamão

(RS), em um delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. Foram usados dois solos: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (Embrapa, 2006), solo arenoso e com baixo teor de matéria orgânica, coletado no Centro de Pesquisa da Fepagro em Viamão (RS); e Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), solo mais argiloso e com maiores teores de óxidos de Fe e Al e matéria orgânica, coletado no Centro de Pesquisa de Sementes da Fepagro em Júlio de Castilhos (RS). Os solos foram coletados em três camadas: de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm de profundidade, sendo a seguir secos ao ar e peneirados em malha de 5 mm. Os solos foram colocados em vasos de PVC de 30 cm de diâmetro e 70 cm de altura, com dreno para água percolada na parte inferior, conforme realizado por Selbach et al. (1991). Os solos foram dispostos no vaso em camadas de 20 cm separadas por tela plástica, conforme a sua sequência natural de campo. Foram retiradas amostras das três camadas de solo para análise dos teores de cromo antes da aplicação dos tratamentos, pelos seguintes métodos: Cr total, digestão nítrico-perclórica, com determinação por ICP-OES; Cr<sup>6+</sup>, digestão úmida/difenilcarbazida/colorimetria; Cr<sup>3+</sup>, por cálculo (diferença do cromo total e hexavalente). Os demais atributos químicos dos solos na camada de 0 a 20 cm foram analisados conforme Tedesco et al. (1995) e estão apresentados na Tabela 1.

Foram realizados dois cultivos: milho, por ser uma cultura de grande importância no Brasil; e rabanete, por desenvolver a parte comestível em contato com o solo, havendo maior risco de contaminação com cromo. O FCH avaliado no experimento foi produzido pela empresa JGB Equipamentos de Segurança S.A. O fertilizante é obtido pela hidrólise de resíduos de couro, sob temperatura de 130

**Tabela 1 - Atributos químicos do solo Argissolo Vermelho-Amarelo e do solo Latossolo Vermelho na camada de 0 a 20 cm de profundidade.**

	P	K	argila	MO	pH	SMP	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC pH 7	CTC efetiva
	-- mg dm <sup>-3</sup> --		--- g kg <sup>-1</sup> ---				----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Argissolo	4,0	33	170	16	5,0	6,4	0,5	0,9	0,6	2,8	4,4	2,2
Latossolo	5,7	27	420	30	4,4	5,0	2,3	1,4	0,6	13,7	16,0	4,6
	S	B	Zn	Cu	Mn	Na	Fe	Saturação CTC efetiva		Saturação bases		
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----						g dm <sup>-3</sup>		----- % -----		%	
Argissolo	7,6	0,96	0,7	0,8	25,3	3,0	1,4	0,6	22,8	36,0		
Latossolo	12,6	1,03	1,0	2,4	65,2	3,0	2,0	0,3	49,8	13,0		

a 160 °C e pressão de 700 a 800 kPa (RIBEIRO, 2006), e é apresentado na forma granulada. O FCH foi analisado conforme Tedesco et al. (1995), sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Os tratamentos consistiram de duas doses de FCH como fonte de N, sendo uma integral e outra complementada com ureia, além de ureia como fonte padrão:

- a) T1 (FCH) = quantidade necessária para suprir o N para a cultura: milho (expectativa de rendimento de 7 t ha<sup>-1</sup>): 1132 kg ha<sup>-1</sup> de FCH (base seca) no Latossolo e 1445 kg ha<sup>-1</sup> no Argissolo; rabanete: 431 kg ha<sup>-1</sup> de FCH no Latossolo e 462 kg ha<sup>-1</sup> no Argissolo.
- b) T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) = metade do T1, complementada com ureia: milho: 566 kg ha<sup>-1</sup> de FCH + 52,5 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia no Latossolo; 722,5 kg ha<sup>-1</sup> de FCH + 62,5 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia no Argissolo; rabanete: 215,5 kg ha<sup>-1</sup> de FCH + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia no Latossolo; 231 kg ha<sup>-1</sup> de FCH + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia no Argissolo.
- c) T3 (ureia como fonte de N) = milho: 105 kg ha<sup>-1</sup> de N no Latossolo e 125 kg ha<sup>-1</sup> de N no Argissolo; rabanete: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no Latossolo e 40 kg ha<sup>-1</sup> no Argissolo.

Em todos os tratamentos os demais nutrientes (P e K) foram fornecidos na forma mineral e os solos foram corrigidos para pH 6,0, conforme recomendação de CQFS-RS/SC (2004): milho: 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo), 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 12,53 t ha<sup>-1</sup> de calcário filler com PRNT de 79 % no Latossolo; 170 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo), 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 1,77 t ha<sup>-1</sup> de calcário filler no Argissolo; rabanete: 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) e 170 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) no Latossolo; 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) e 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) no Argissolo.

O delineamento experimental foi completamente casualizado, com quatro repetições. Para a definição das doses de FCH, foi considerado o teor de N total no fertilizante e a proporção do N mineralizado e disponível às plantas do FCH, que foi avaliada em teste antes da instalação do experimento. Para tal, foram incubadas duas amostras de 200 g para cada um dos dois solos em câmara de crescimento, adicionando-se 1 g de FCH em uma delas. Após um período de 89 dias, analisou-se o N mineral nos solos com e sem aplicação de FCH, conforme Tedesco et al. (1995), e calculou-se a mineralização do N do FCH por diferença.

O FCH e o calcário foram misturados à camada de 0-20 cm dos solos 21 dias antes da sementeira do milho, no momento da instalação do experimento. A sementeira do milho foi realizada em 13/02/2008, utilizando-se o híbrido simples Pioneer P30R50, sendo semeadas três sementes por vaso, a 3 cm de profundidade. A adubação mineral foi aplicada na forma líquida, juntamente com a sementeira. No tratamento com ureia como fonte de N, em ambos os solos foi aplicada uma dose equivalente a 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na sementeira. A emergência das plantas ocorreu em 19/02/2008, sendo que dois dias após foi realizado o desbaste, deixando-se somente uma planta por vaso. Durante o cultivo do milho, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, com cerca de três irrigações manuais por semana. As adubações de cobertura com N mineral nos tratamentos com ureia e com meia dose de FCH + meia dose de ureia foram realizadas em duas vezes: no estádio de seis folhas (V6, segundo RITCHIE et al., 1993) e 30 dias após a primeira aplicação, conforme indicado por CQFS-RS/SC (2004). Na fase de pendramento (VT) do milho, foram retiradas amostras da folha oposta e abaixo da espiga, conforme CQFS-RS/SC (2004). Após secagem em estufa a 65° C, as amostras foram moídas e analisadas para determinação do teor de N e S na folha, conforme Tedesco et al. (1995). Quando o milho atingiu a maturação fisiológica (R6), foi suspensa a irrigação. A colheita da parte aérea foi realizada cerca de 45 dias após. Foi realizado o corte do colmo a cerca de 1 cm acima do solo. A parte aérea do milho, contendo as espigas, foi colocada em estufa a 65° C e determinada sua massa seca. Após, as espigas foram debulhadas e foi medido o rendimento de grãos secos. Também foram coletadas raízes da camada de 0-20 cm, que foram lavadas em água corrente, secas a 65 °C e encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para análise de cromo total, juntamente com a parte aérea (colmo e folhas) e os grãos. Todas as análises de cromo deste trabalho, em plantas, solo e água, foram realizadas naquele laboratório. A análise de cromo total foi realizada por digestão nítrico-perclórica, com determinação por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

O FCH para o cultivo do rabanete foi incorporado à camada de 0-20 cm dos solos 22 dias antes da sementeira do rabanete. A sementeira ocorreu no dia 17/10/2008 e foram utilizadas nove sementes da variedade Sparkler por vaso, a 1 cm de profundidade. A adubação mineral foi aplicada no mesmo

dia, na forma líquida, inclusive a dose total de ureia nos tratamentos com ureia e com meia dose de FCH + meia dose de ureia, conforme recomendado por CQFS-RS/SC (2004). A emergência ocorreu em 21/10/2008 e três dias após realizou-se o desbaste, permanecendo três plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo durante o desenvolvimento do rabanete. Para a análise dos teores de N e S na folha, foram coletadas três folhas recentemente desenvolvidas por vaso (uma por planta) aos 27 dias após a emergência das plantas. A seguir as amostras foram secas em estufa a 65° C, moídas e analisadas conforme Tedesco et al. (1995). A colheita foi realizada 36 dias após a emergência. As raízes (bulbos) foram lavadas em água corrente e tiveram a sua massa fresca determinada. A parte aérea foi colocada para secar em estufa a 65° C, sendo após determinada sua massa seca. As raízes também foram secas e encaminhadas, juntamente com a parte aérea, para análise do teor de Cr total.

A coleta da água percolada pelo solo para análise do teor de cromo foi realizada 14 dias após a colheita do rabanete, através do dreno instalado no fundo dos vasos. Foram aplicados volumes crescentes de água até atingir quantidade suficiente para ocorrer a percolação, que foi de 7 dm<sup>3</sup> no Argissolo e 8 dm<sup>3</sup> no Latossolo. Foram analisados os teores de Cr total, trivalente e hexavalente da água percolada, sendo posteriormente comparados aos limites aceitos pela Fepam-RS (Conama, 2005). A análise de cromo na água foi realizada pelos métodos descritos em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et al., 1995).

Ao final do experimento, foram coletadas amostras de solo nas três camadas do vaso e determinados os teores de Cr total, trivalente e hexavalente, comparando-os com os limites de tolerância adotados pela Fepam-RS (RODRIGUES et al., 1993).

Foi realizada a análise da variância dos resultados, separadamente para cada classe de solo, com a comparação das médias pelo teste de Tukey (p<0,05).

## Resultados e Discussão

### Análise do fertilizante de couro hidrolisado

A análise do FCH encontra-se na Tabela 2. Em termos de nutrientes, o FCH é uma fonte rica em N, com teor muito superior aos fertilizantes orgânicos mais utilizados (CQFS-RS/SC, 2004) e, secundariamente, é fonte de S. O teor de N obtido está dentro da faixa que normalmente é encontrada no FCH utilizado na Itália, de 10 % a 13 % (CIAVATTA e SEQUI, 1989). Os teores de P e K são muito baixos, necessitando serem fornecidos com outras fontes minerais ou orgânicas. Os teores de micronutrientes também são muito baixos, com exceção do Fe. Um aspecto que merece cuidado na utilização do fertilizante é a alta concentração de Na, que pode ser prejudicial às plantas e ao solo em caso de aplicação de doses muito elevadas. A taxa de mineralização do N do FCH aos 89 dias após a incubação foi de 78 % no Latossolo Vermelho e de 72 % no Argissolo Vermelho-Amarelo. A mineralização do N, portanto, é mais rápida do que a média indicada para fertilizantes orgânicos em CQFS-RS/SC (2004), que é de 50 % no primeiro cultivo. Um dos fatores que contribuem para esta alta taxa de mineralização do N é a baixa relação C/N do FCH. Quanto ao teor de cromo, o FCH apresentou um valor de 2,4 % (24000 mg kg<sup>-1</sup>), todo detectado na forma trivalente, que apresenta baixa mobilidade no solo (BARTLETT e KIMBLE, 1976).

### Cultivo do milho

Em ambos os solos, os tratamentos não se diferenciaram quanto ao rendimento de grãos secos (Tabela 3). Portanto, o FCH mostrou-se tão eficiente quanto a ureia no fornecimento de N para a produção de grãos. Como neste trabalho, Konrad e Castilhos (2002) obtiveram rendimento de grãos de milho

**Tabela 2 - Teores de macro e micronutrientes observados no fertilizante de couro hidrolisado.**

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	pH	CE 1:5	Umidade			
----- % -----						mS cm <sup>-1</sup>	%			
11,96	0,10	0,033	0,54	0,48	3,62	18,2	10,93			
S	B	Zn	Cu	Mn	Na	Fe	Cr <sup>3+</sup>	Cr <sup>6+</sup>	C	Rel
----- mg kg <sup>-1</sup> -----									%	C/N
2,61	17	20	8,9	46	24203	5648	24000	<1,0	33,3	2,78

**Tabela 3 - Rendimento de grãos secos, teor de N e de S na folha e massa seca da parte aérea (MSPA) de milho cultivado em dois solos com três fontes de N: T1 (fertilizante de couro hidrolisado - FCH), T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) e T3 (ureia).**

	Latossolo				Argissolo			
	Grãos	N	S	MSPA	Grãos	N	S	MSPA
	g planta <sup>-1</sup>	%	%	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	%	%	g planta <sup>-1</sup>
T1	78 a	2,16 a	0,15 a	160 b	94 a	2,00 a	0,17 a	201 a
T2	79 a	2,04 a	0,15 a	175 a	88 a	2,09 a	0,15 a	188 a
T3	82 a	2,07 a	0,17 a	175 a	93 a	1,95 a	0,15 a	203 a

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

semelhante à adubação mineral com a aplicação de lodo de curtume a um Planossolo Hidromórfico, com suplementação de P, K e calcário. Ferreira et al. (2003) e Kray et al. (2008) também observaram que o rendimento de grãos de milho com a adição de lodo de curtume acrescido de adubação fosfatada e potássica na forma mineral foi semelhante ao obtido com calagem e adubação mineral, em experimentos de campo em um Argissolo Vermelho de Eldorado do Sul (RS). Quanto ao teor de N na folha no pendoamento (Tabela 3), igualmente não houve diferenças entre os tratamentos, mostrando que o suprimento de N pelo FCH foi semelhante ao obtido com a aplicação de ureia. Ferreira et al. (2003) também não observaram diferença no teor de N na parte aérea de milho fertilizado com lodo de curtume e com adubação mineral, na forma de ureia. Foi ainda analisado o teor de S na folha do milho, por ser o FCH secundariamente fonte do nutriente (Tabela 3). Os resultados mostraram que não houve diferenças entre os tratamentos, ou seja, a utilização de FCH não aumentou o teor de S nas folhas de milho.

O crescimento das plantas foi avaliado através da massa seca da parte aérea (incluindo colmos, folhas e espigas) (Tabela 3). No Latossolo Vermelho, a dose integral de FCH (T1) resultou em menor massa seca da parte aérea do que os tratamentos com meia dose de FCH + meia dose de ureia (T2) e com ureia (T3), que não se diferenciaram. No Argissolo Vermelho-Amarelo, não houve diferenças entre os tratamentos quanto à massa seca da parte aérea. De forma semelhante ao ocorrido no Argissolo, Ribeiro (2006) observou que a produção de massa seca da parte aérea de milho fertilizado com FCH aos 45 dias após a semeadura foi semelhante à adubação nitrogenada convencional com sulfato de amônio, em experimento em casa de vegetação com Latossolos de Campinas (SP). Konrad e Castilhos (2002) observaram que a adição de lodo de curtume a um Planossolo Hidromórfico, com su-

plementação de P, K e calcário, resultou em massa seca da parte aérea de milho semelhante à adubação mineral.

Quanto ao teor de cromo total na planta (Tabela 4), houve diferenças significativas apenas no Argissolo. Neste solo o tratamento com ureia apresentou maior teor de cromo nos grãos do que os tratamentos com FCH (dose integral e meia dose de FCH + meia dose de ureia). Nas raízes, a dose integral de FCH resultou em maior teor de cromo do que os demais tratamentos. Os teores de cromo total nos grãos e mesmo em folhas e colmos situaram-se abaixo de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> em ambos os solos, valor que é considerado normal segundo Allen et al. (1974). Concordando com estes resultados, Ferreira et al. (2003) e Kray et al. (2008), trabalhando com milho e soja, e Selbach et al. (1991), trabalhando com sorgo, observaram que a aplicação de lodo de curtume não provocou aumento da concentração de cromo na parte aérea e grãos das plantas, em relação à testemunha sem adubação ou à adubação mineral. Como nos trabalhos de Selbach et al. (1991), com sorgo, e de Teixeira (1981), com aveia, as maiores concentrações de cromo situaram-se nas raízes das plantas, provavelmente pela formação de complexos orgânicos insolúveis nas raízes.

## Cultivo do rabanete

A produção de bulbos de rabanete, expressa pela massa fresca das raízes, apresentou diferenças apenas no Latossolo, em que o tratamento com meia dose de FCH + meia dose de ureia apresentou menor massa fresca de raízes do que os demais tratamentos (Tabela 5). Assim, em termos gerais, a eficiência do FCH como fonte de N na produção de bulbos de rabanete foi semelhante à da ureia. De modo semelhante, Selbach et al. (1991) observaram que o rendimento de bulbos do

**Tabela 4 - Teor de cromo total em grãos, folhas+colmo e raízes de milho cultivado em dois solos com três fontes de N: T1 (fertilizante de couro hidrolisado - FCH), T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) e T3 (ureia).**

	Latossolo			Argissolo		
	Grãos	Folhas + Colmo	Raízes	Grãos	Folhas + Colmo	Raízes
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
T1	0,31 a	0,48 a	9,5 a	0,16 b	0,30 a	28,3 a
T2	0,21 a	0,40 a	10,5 a	0,16 b	0,30 a	15,8 b
T3	0,18 a	0,28 a	10,0 a	0,30 a	0,34 a	9,8 b

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

**Tabela 5 - Massa fresca das raízes (MFR, total de três plantas), teor de N e de S e massa seca da parte aérea (MSPA, total de três plantas) na folha de rabanete cultivado em dois solos com três fontes de N: T1 (fertilizante de couro hidrolisado - FCH), T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) e T3 (ureia).**

	Latossolo				Argissolo			
	MFR	N	S	MSPA	MFR	N	S	MSPA
	g	%	%	g	g	%	%	g
T1	132 a	4,00 a	0,56 a	10,6 a	128 a	3,42 a	0,40 a	7,40 a
T2	99 b	3,95 a	0,44 a	12,3 a	124 a	3,42 a	0,37 a	7,93 a
T3	138 a	3,94 a	0,42 a	11,0 a	122 a	3,47 a	0,22 b	7,35 a

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

rabanete com a aplicação de lodo de curtume foi semelhante à adubação mineral, quando foi realizada a suplementação com P e K. Quanto ao teor de N na folha, não houve diferenças entre os tratamentos em ambos os solos (Tabela 5), indicando que o FCH e a ureia foram fontes semelhantes no suprimento do nutriente. Com relação ao teor de S na folha (Tabela 5), foram observadas diferenças significativas apenas no Argissolo. Neste solo, que apresenta menor concentração de S do que o Latossolo, os tratamentos com FCH (dose integral e meia dose de FCH + meia dose de ureia) apresentaram maior teor de S na folha do que o tratamento com ureia, indicando que houve efeito da aplicação desse fertilizante, que contém teor considerável do nutriente. Com relação à produção de massa seca da parte aérea, indicadora do crescimento da planta, não foram observadas diferenças entre os tratamentos nos dois solos (Tabela 5). No cultivo em que foi realizada a suplementação com P e K, Selbach et al. (1991) obtiveram maior produção de massa seca da parte aérea de rabanete com a aplicação de lodo de curtume do que com adubação mineral.

A análise do teor de cromo total no rabanete consta na Tabela 6. Nos dois solos, os tratamentos não se diferenciaram quanto ao teor de cromo

total nas raízes. Na parte aérea, houve diferenças significativas apenas no Latossolo, em que o tratamento com dose integral de FCH apresentou maior teor de cromo. Nas duas maiores doses de lodo de curtume aplicadas (30 e 60 t ha<sup>-1</sup>), Selbach et al. (1991) observaram maiores valores de cromo total nas raízes e parte aérea de rabanete do que no tratamento com adubação mineral. Os valores obtidos neste trabalho foram menores do que os encontrados por Selbach et al. (1991). Ainda assim, os teores de cromo nas raízes foram superiores ao valor considerado normal por Allen et al. (1974), que é de 0,5 mg kg<sup>-1</sup>, embora isso tenha ocorrido em todos os tratamentos, inclusive naquele com ureia como fonte de N.

### Cromo no solo

Em ambos os solos, os teores de cromo hexavalente estiveram abaixo do limite de detecção do método (0,1 mg kg<sup>-1</sup>). Por isso, não foi realizada a análise estatística para cromo hexavalente. Ciavatta e Sequi (1989), em pesquisa em solo italiano, também observaram que não houve oxidação do cromo trivalente presente no FCH aplicado para a forma hexavalente e que o cromo foi retido no solo.

**Tabela 6 - Teor de cromo total na parte aérea e raízes de rabanete cultivado em dois solos com três fontes de N: T1 (fertilizante de couro hidrolisado - FCH), T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) e T3 (ureia).**

	Latossolo		Argissolo	
	parte aérea	raízes	parte aérea	raízes
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
T1	0,63 a	0,88 a	0,73 a	1,20 a
T2	0,45 b	0,75 a	0,50 a	0,98 a
T3	0,40 b	0,78 a	0,48 a	0,88 a

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

**Tabela 7 - Teor de cromo trivalente (Cr<sup>3+</sup>) em três profundidades de um Latossolo Vermelho adubado com três fontes de N: T1 (fertilizante de couro hidrolisado - FCH), T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) e T3 (ureia).**

	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	40-60
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
T1	42 aA	21 aB	18 aB
T2	36 aA	20 aB	18 aB
T3	19 bA	18 aA	16 aA

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

Quando foi adicionado Cr<sup>6+</sup> ao solo, os mesmos autores constataram que ocorreu imediata redução para Cr<sup>3+</sup>. No trabalho de Ferreira et al. (2003), em que foram aplicados lodo de curtume e Cr mineral (na forma Cr<sup>3+</sup>) na adubação de milho, também não foi constatada a presença de Cr<sup>6+</sup> no Argissolo Vermelho utilizado por aqueles autores.

Quanto aos teores de cromo trivalente no Latossolo (Tabela 7), houve diferenças entre os tratamentos de adubação apenas na profundidade de 0 a 20 cm, onde os tratamentos com adição de FCH (dose integral e meia dose de FCH + meia dose de ureia) apresentaram maior teor de cromo trivalente no solo do que o tratamento com ureia. Considerando as profundidades avaliadas, nos tratamentos com adição de FCH houve maior teor de cromo trivalente no solo na camada de 0 a 20 cm, mostrando que o cromo adicionado pela adubação ficou retido na camada mais superficial do solo, confirmando sua baixa mobilidade. Em relação aos teores de Cr<sup>3+</sup> no Latossolo antes da adubação (16 mg kg<sup>-1</sup> de 0 a 20 cm, 19 mg kg<sup>-1</sup> de 20 a 40 cm e 25 mg kg<sup>-1</sup> de 40 a 60 cm), observou-se um aumento consistente apenas nos tratamentos com adição de FCH e na profundidade de 0 a 20 cm.

No caso dos teores de cromo trivalente no Argissolo (Tabela 8), houve diferenças entre os trata-

mentos de adubação apenas na profundidade de 0 a 20 cm, onde o tratamento com dose integral de FCH apresentou maior teor de cromo trivalente, a meia dose de FCH + meia dose de ureia apresentou valor intermediário e a uréia resultou no menor teor. Considerando as profundidades avaliadas, nos tratamentos com adição de FCH (dose integral e meia dose de FCH + meia dose de ureia) ocorreu maior teor de cromo trivalente no solo na camada de 0 a 20 cm, mostrando novamente que o cromo adicionado pela adubação ficou retido na camada mais superficial do solo. De forma semelhante ao ocorrido no Latossolo, observou-se um aumento consistente dos teores de Cr<sup>3+</sup> em relação aos existentes no Argissolo antes da adubação (14 mg kg<sup>-1</sup> de 0 a 20 cm, 7 mg kg<sup>-1</sup> de 20 a 40 cm e 8 mg kg<sup>-1</sup> de 40 a 60 cm) apenas no tratamento com dose integral de FCH e na profundidade de 0 a 20 cm. No trabalho de Ferreira et al. (2003), o teor de cromo trivalente num Argissolo Vermelho aumentou com as aplicações de lodo de curtume e de Cr mineral (na forma Cr<sup>3+</sup>) na camada de 0 a 20 cm. Igualmente, no experimento de Selbach et al. (1991), que avaliaram cromo total nas mesmas profundidades estudadas neste trabalho, observou-se que os teores de cromo dos tratamentos adubados com lodo de curtume somente foram superiores à testemunha



**Tabela 8 - Teor de cromo trivalente ( $Cr^{3+}$ ) em três profundidades de um Argissolo Vermelho-Amarelo adubado com três fontes de N: T1 (fertilizante de couro hidrolisado - FCH), T2 (meia dose de FCH + meia dose de ureia) e T3 (ureia).**

	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	40-60
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
T1	30 aA	8,8 aB	7,5 aB
T2	17 bA	7,3 aB	7,0 aB
T3	6,3 cA	6,8 aA	7,5 aA

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

sem adubação ou à adubação mineral na camada de 0 a 20 cm, num Argissolo Vermelho-Amarelo.

Em ambos os solos, os teores de cromo detectados ficaram muito abaixo do limite aceito pela Fepam-RS, que é de 500 mg kg<sup>-1</sup> de cromo total (RODRIGUES et al., 1993).

### Cromo na água percolada

Os teores de cromo na água percolada pelos vasos não foram submetidos à análise estatística, pois todos os resultados de cromo hexavalente e quase todos os de cromo trivalente foram abaixo do limite de detecção do método (0,01 mg dm<sup>-3</sup> para  $Cr^{6+}$  e 0,004 mg dm<sup>-3</sup> para  $Cr^{3+}$ ). Estes resultados indicam que o cromo ficou retido nos dois solos, não havendo a contaminação da água percolada. Mesmo nos casos em que houve determinação de  $Cr^{3+}$  (0,007 mg dm<sup>-3</sup> na repetição 2 do tratamento com dose integral de FCH e 0,006 mg dm<sup>-3</sup> na repetição 1 do tratamento com meia dose de FCH + meia dose de ureia), os valores ficaram bastante abaixo do limite tolerável de 50 ppb (0,05 mg dm<sup>-3</sup>) de Cr em água potável, estipulado pela Organização Mundial da Saúde e também adotado pela resolução número 357 do Conama (CONAMA, 2005). Selbach et al. (1991) também analisaram a água de percolação pela coluna de solo em vasos com um Argissolo Vermelho-Amarelo adubado com lodo de curtume, sendo que a mesma permaneceu abaixo dos limites de Cr para água potável.

### Conclusões

1. O fertilizante de couro hidrolisado apresentou eficiência agronômica semelhante à ureia como fonte de N para o milho e para o rabanete em ambos os solos, resultando em equivalência no rendimento de grãos e de bulbos e no teor de N na folha.

2. Os teores de cromo nas partes comestíveis (grãos e bulbos) das plantas cultivadas com aplicação do fertilizante de couro hidrolisado não se diferenciaram dos teores das plantas fertilizadas com ureia.

3. Com a aplicação de fertilizante de couro hidrolisado, detectou-se aumento do cromo apenas na forma trivalente, sendo que o cromo ficou retido na camada superficial (0 a 20 cm) dos solos. Como reflexo desta retenção na camada superficial dos solos, não foi encontrado cromo na água percolada pelos vasos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa JGB Equipamentos de Segurança S.A. pelo apoio financeiro. Também agradecem ao engenheiro Robert Guirmand, pelo auxílio na confecção dos vasos utilizados.

### Referências

- ALLEN, S. E.; GRIMSHAW, H. M.; PARKINSON, J. A.; QUARM-BY, C. Chemical analysis of ecological materials. Oxford: Blackur Blackwell Scientific Publications, 1974. 595 p.
- BARLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. Behavior of chromium in soils. II. Hexavalent forms. *Journal of Environmental Quality*, v. 5, p. 383-386, 1976.
- CHANEY, R. L.; RYAN, J. A.; BROWN, S. L. Development of the USA-EPA limits for chromium in land-applied biosolids and applicability of these limits to tannery by-product serived fertilizers and other Cr-rich soil amendments. In: CANALI, S.; TITTARELI, F. e SEQUI, P. Chromium environmental issues. Milano: Franco Angeli, 1997. p. 230-294.
- CIAVATTA, C.; GESSA, C. Chromium-containing fertilizers and their production. In: CANALI, S.; TITTARELI, F.; SEQUI, P. Chromium environmental issues. Milano: Franco Angeli, 1997. p. 63-82.
- CIAVATTA, C.; SEQUI, P. Evaluation of chromium release during decomposition of leather meal fertilizers applied to the soil. *Fertilizer Research*, v. 19, p. 7-11, 1989.

- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2005.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBSC/NRS, 2004. 400 p.
- DELL'ABATE, M. T.; BENEDETTI, A.; TRINCHERA, A.; GALLUZO, D. Nitrogen and carbon mineralisation of leather meal in soil as affected by particle size of fertilizer and microbiological activity of soil. *Biology and Fertility of Soils*, v. 37, p. 124-129, 2003.
- EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GRENNBERG, A. E. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1995. 1082 p.
- EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- 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*, v. 27, n. 4, p. 755-763, 2003.
- FEPAM. Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAM, 2002.
- GOVI, M.; CIAVATTA, C.; SITTI, L.; BONORETTI, G.; GESSA, C. Influence of leather meal fertilizer on soil organic matter: a laboratory study. *Fertilizer Research*, v. 44, p. 65-72, 1996.
- KRAY, C. H.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; da SILVA, K. J. Tannery and coal mining waste disposal on soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2877-2882, 2008.
- KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 257-265, 2002.
- KOZUH, N.; STUPAR, J.; GORENC, B. Reduction and oxidation processes of chromium in soils. *Environmental Science and Technology*, v. 34, p. 112-119, 2000.
- MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2006.
- RIBEIRO, E. M. P. Produção e análise físico-química do fertilizante de descarte de couro bovino com ênfase no impacto ambiental e energético. 2006. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant developed? 1993. [Online]. Traduzido por: Potafós, Informações Agrônomicas. Nº 103. Setembro de 2003. Disponível em: <http://www.potafos.org>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2008.
- RODRIGUES, A. L. M.; ANGHINONI, M. C. M.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO DA UNIÃO INTERNACIONAL DOS QUÍMICOS E TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22., 1993, Porto Alegre. Boletim. Porto Alegre: FEPAM, 1993. 14 p.
- SELBACH, P. A.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALET, L. E. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. *Revista do Couro*, v. 6, p. 51-62, 1991.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. e VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, planta e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5)
- TEIXEIRA, J. A. O. S. Descarte de resíduos de curtume no solo. 1981. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.