

# Monitoramento dos Atributos Químicos de Solos Utilizados para o Descarte de Resíduo Sólido da Indústria Têxtil

## Introdução

O destino das diversas formas de resíduos urbanos, agrícolas e industriais produzidos pela sociedade moderna deixou de ser um problema futuro, para se estabelecer, de forma imperativa, entre as questões prioritárias da administração pública, privada e da própria sociedade. A questão tem abrangência ambiental sanitária e econômica, porque o destino comum desses resíduos (rios, lagos, solos, aterros, oceanos) acarreta riscos ao meio ambiente e à população, além de dispêndios financeiros acentuados com transporte e estocagem dos resíduos. No Brasil, a prevenção da contaminação, bem como a limpeza de áreas contaminadas, tornou-se, nos últimos anos, uma prioridade ambiental. As indústrias estão cada vez mais sendo pressionadas a introduzirem novas tecnologias de purificação e reciclagem que venham reduzir a contaminação dos ecossistemas. Assim, tem havido grande empenho para o desenvolvimento de novas técnicas de utilização desses resíduos, dentre os quais está o lodo (biossólido) produzido na Estação de Tratamento (ETE) da Cia de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira, localizada em Sete Lagoas, MG.

## Solo Como Meio de Descarte de Resíduos

A escolha de ambientes de solo como meio de descarte final de resíduos, quer sejam eles orgânicos ou industriais, sólidos ou líquidos, é vantajosa, dada a característica de “filtro” ou “tampão” dos solos, quando comparados a outros ecossistemas mais frágeis, como os aquáticos, por exemplo. Entretanto, essa capacidade do solo de atuar como filtro ou de funcionar como tampão contra alterações antrópicas é bastante variável não somente em função dos atributos do meio (solo) e do ambiente, mas também de atributos dos resíduos. Exemplos de alguns atributos importantes a serem considerados nesse contexto incluem: a) no caso do solo – quantidade e tipo de argila e matéria orgânica, pH, capacidade de infiltração de água, profundidade do perfil; b) no caso do resíduo – presença de nutrientes, matéria orgânica, amenizantes e contaminantes orgânicos e/ou inorgânicos.

Os solos podem ser considerados meios inertes para descarte de resíduos, como ocorre no caso dos aterros controlados – ou meios interativos, onde os atributos do meio (solo) e do resíduo, bem como suas interações, são avaliadas visando à maximização de possíveis benefícios e/ou a minimização de eventuais riscos. No caso específico de aterros controlados, o meio “solo” funciona apenas como um espaço físico para o descarte.

Assumindo-se que, em aterros controlados, as condições técnicas requeridas para construção são seguidas a rigor, o que inclui mecanismos para a coleta e o tratamento do lixiviado, então um atributo essencial do solo, nesse caso, é que o mesmo possua uma pequena capacidade de infiltração de água, o que pode ser natural ou, então, ser

### Autor

Antônio Marcos Coelho

Eng. Agr., Ph.D, Embrapa Milho  
e Sorgo, Caixa Postal 151 CEP  
35701-970 Sete Lagoas, MG.  
amcoelho@cnpmis.embrapa.br

produzido por meio de práticas mecânicas ou simplesmente pelo uso de barreiras físicas. Sabe-se, porém, que muitos aterros hoje existentes são, na verdade, “lixões” a céu aberto, os quais foram construídos sem critérios técnicos adequados. Nesse caso, outros atributos do solo importantes para que ele funcione como um bom “filtro” ou “tampão” (p. ex.: capacidade de adsorver ou de degradar contaminantes) passam a ser relevantes, dada a possibilidade de escorrimento e/ou de lixiviação de compostos indesejáveis ou perigosos desses locais para áreas adjacentes e para corpos d’água.

## Interatividade do Meio (Solo) Com os Resíduos

Os conceitos discutidos acima, com enfoque de uso do solo apenas como um meio de descarte físico, não interativo, restringe a aplicação de resíduos a condições muito específicas. Uma abordagem para o uso do solo como meio de descarte de resíduos orgânicos e industriais que leve em consideração a interatividade do meio (solo) com o resíduo amplia as possibilidades de uso, as quais devem seguir critérios técnicos para a maximização da relação benefício/custo. Essa abordagem está ilustrada através do diagrama conceitual sugerido na Figura 1.

primeira etapa para a utilização do solo como meio de descarte de resíduo envolve o adequado conhecimento das características dos resíduos. Para isso, pode-se lançar mão de legislações ou métodos padrões vigentes sobre caracterização do resíduo, devendo-se estar atento também para o processo e as matérias-primas que resultaram no resíduo, já que, em muitas ocasiões, determinados procedimentos podem ser sugeridos ou descartados durante a caracterização, através do simples conhecimento de “como” e “a partir de que” o resíduo foi gerado. Nessa fase, devem ser identificadas e quantificadas, da melhor maneira possível, todas as vantagens e desvantagens decorrentes da aplicação do resíduo em questão no solo. Passíveis vantagens incluem a presença de nutrientes, matéria orgânica e substâncias amenizantes da acidez, por exemplo. Como desvantagem, pode-se citar a presença de contaminantes orgânicos e inorgânicos.

Após a caracterização inicial, se ficar comprovado que as desvantagens do resíduo sobrepujam as vantagens, então a melhor opção de deposição do mesmo no solo seria em aterros controlados e, nesse caso, o solo tem papel apenas de espaço físico. Caso não possam ser identificadas e quantificadas as vantagens e desvantagens do resíduo em questão, quer seja por deficiências na caracterização, quer seja pelo desconhecimento das matérias primas e dos processos utilizados, então seria aconselhável seu uso inicial apenas em condições experimentais, em ambientes controlados. Se, durante essa fase experimental, as vantagens (benefícios) e desvantagens (riscos) do resíduo puderem ser caracterizadas e os benefícios ficarem comprovados como sendo superiores aos riscos, então o resíduo poderá ser tratado como um “subproduto” com utilização potencial no solo, visando finalidades as mais diversas (p. ex.: uso agrícola e remediação de áreas degradadas). Por outro lado, se a fase experimental não puder comprovar que os benefícios do uso do resíduo são maiores que seus riscos, então o mesmo deve ser colocado em aterros controlados.

Caracterizadas as vantagens do resíduo e decidindo-se pelo uso do solo como meio de descarte, através da opção de se agregar valor ao resíduo, transformando-o em um subproduto com efeitos benéficos e com restrições mínimas (baixo risco), passa-se então para uma segunda etapa, em que o solo é considerado um meio interativo. Nessa etapa, como passo inicial, devem ser identificados e quantificados os atributos do solo que são relevantes para o adequado entendimento de como o subproduto (e seus componentes) pode interagir com o meio. Para isso, são utilizados métodos padrões de análises químicas, físicas, mineralógicas e biológicas do solo. O passo seguinte é a identificação e quantificação das restrições locais para aplicação do subproduto no solo (p. ex.: distância de edificações e fontes de água superficiais e subterrâneas, declividade, profundidade do perfil). A adequada identificação/quantificação dos atributos do solo e das restrições locais ajudam a definir a taxa de aplicação (em kg/ha ou t/ha), bem como a melhor forma (p. ex.: sólido ou líquido, se pertinente) e o melhor modo de aplicação

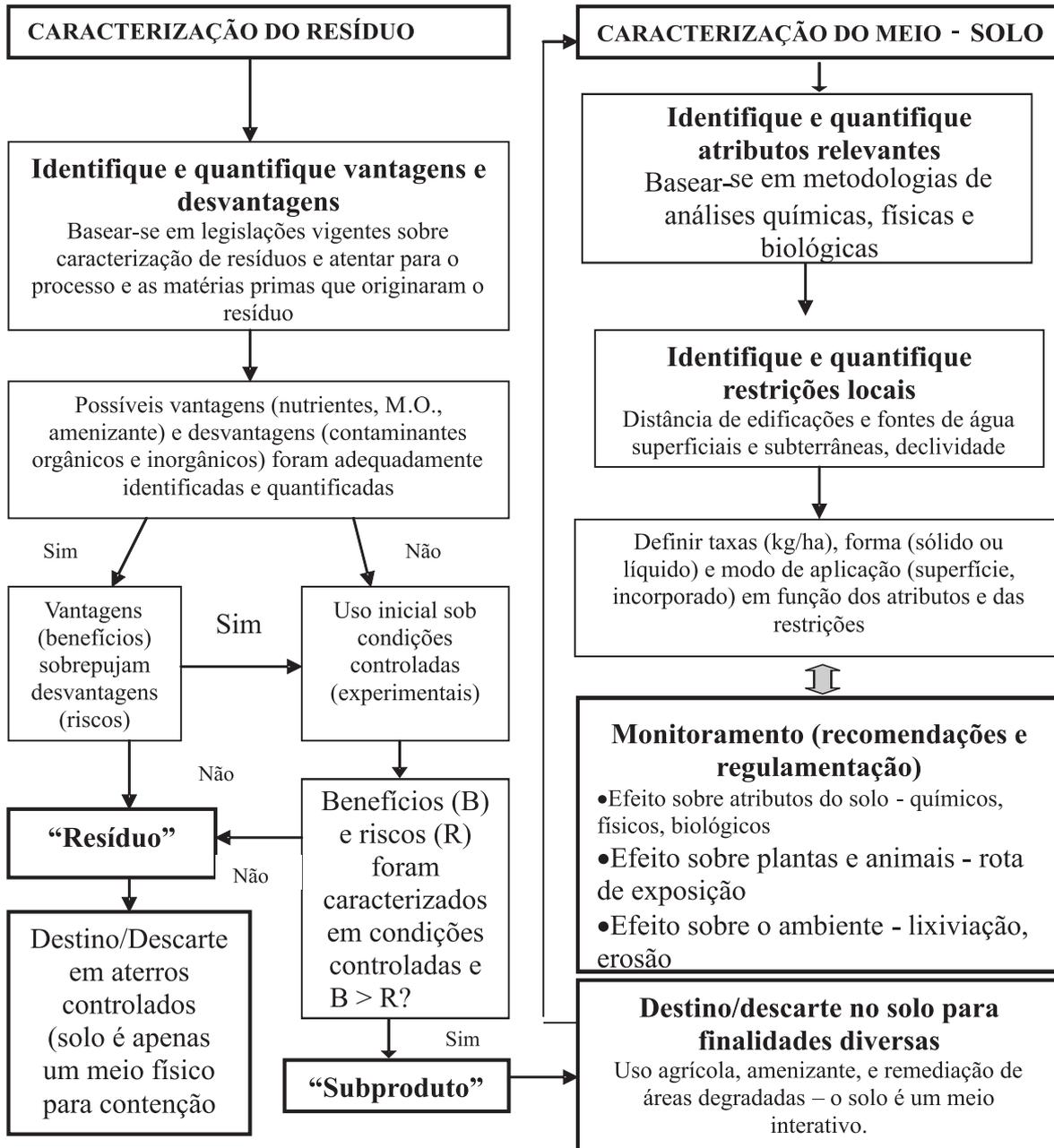


Figura 1. Diagrama conceitual para a tomada de decisão sobre o uso de resíduos orgânicos e industriais em solos.

(superfície, incorporado) de utilização do subproduto no solo. No caso de uso agrícola, também as exigências das plantas cultivadas devem ser levadas em consideração.

Finalmente, depois de estabelecidas as condições iniciais propostas e uma vez efetivada a utilização do subproduto no solo, deve-se proceder a um programa de monitoramento dos efeitos dessa prática sobre os atributos do solo (através de análises periódicas),

sobre o desenvolvimento de plantas e animais (através da identificação de possíveis rotas de exposição) e sobre o ambiente (avaliando a possibilidade de lixiviação e escoamento superficial, por exemplo). Esse acompanhamento é fundamental para respaldar as decisões tomadas e serve de retroalimentação para o aperfeiçoamento de ações regulatórias. Somente através desse monitoramento contínuo é que se pode ter certeza dos benefícios e dos riscos advindo da aplicação do “resíduo” no solo.

## Objetivos

O presente trabalho teve por objetivo proceder a uma análise e interpretação dos atributos químicos do solo monitorados em uma área utilizada como descarte de resíduos (biossólido) da Cia de Fiação e Tecido Cedro e Cachoeira (Figura 2).

Com base nos resultados obtidos e nos conceitos discutidos anteriormente, apresentar sugestões para futuras ações no descarte e aproveitamento desse resíduo.

## Material e Métodos

As atividades de coleta de amostras do resíduo e do solo, assim como o envio aos respectivos laboratórios, para análises, foram realizadas por técnicos da Cia de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira S/A. Assim, os resultados apresentados neste trabalho são provenientes dessas análises. Os resultados das análises de caracterização dos atributos químicos e físicos do solo referem-se a uma área localizada no Município de Caetanópolis, MG, utilizada no descarte do resíduo (Figura 3).

## Caracterização do Resíduo (Biossólido)

O biossólido usado na área é um resíduo gerado pela unidade da Cia de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira S/A, localizada no Município de Sete Lagoas, MG.

Estima-se uma capacidade anual de produção de 1.300 toneladas de material seco (65 °C).

Esse resíduo foi previamente caracterizado pela Ambiental Laboratório e Equipamentos Ltda. - SP, através de análises em amostras brutas (lodo) e extratos obtidos em ensaios de lixiviação. De acordo com os resultados dessas análises e com base na Norma Técnica 10004 da ABNT, não foram constatados valores acima dos limites que atribuem periculosidade ao resíduo, pertencendo, portanto, à classe II, sendo os compostos orgânicos presentes degradáveis no solo (eficiência de biodegradação de 66 % e relação C/N < 30) (Projeto NEOTEX, 1996). Os resultados da composição química das análises de amostras do resíduo coletadas no período de 2003/04 são mostrados na Tabela 1.

Embora as amostras tenham sido analisadas em dois laboratórios, os quais, possivelmente, utilizam metodologias diferentes, verifica-se, pela Tabela 1, uma grande variação nos valores dos elementos analisados dentro e entre cada amostra, indicando, assim, a necessidade de análises periódicas do resíduo. Nesse aspecto, é importante ressaltar a necessidade de padronizar os elementos a serem analisados e enviar as amostras apenas para um Laboratório previamente escolhido.



Figura 2. Aspecto do resíduo (biossólido) após desaguado no “belt-press” e colocado em “hamper” fechado e na carreta, para transporte até a área de aplicação.

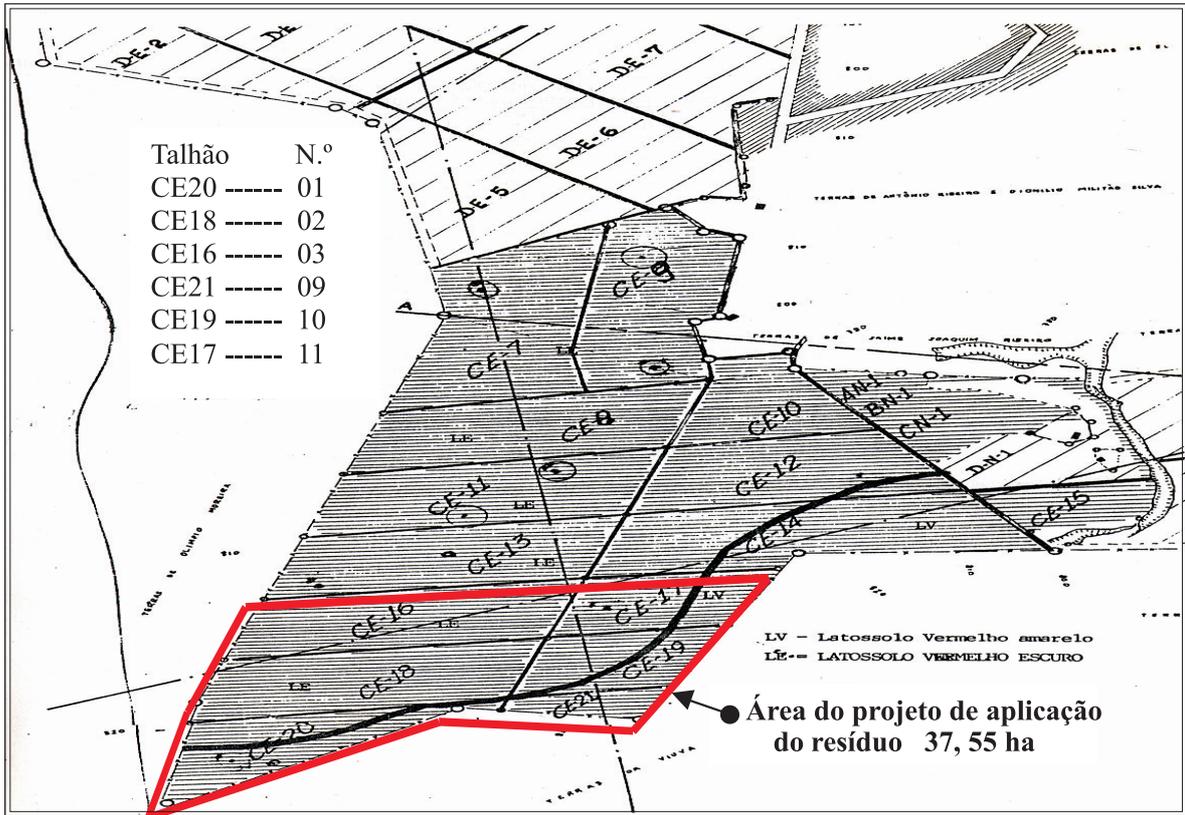


Figura 3. Mapa da área do projeto de aplicação do lodo industrial da Cia de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira, Município de Caetanópolis, MG.

Uma das utilizações potenciais do biossólido é o seu aproveitamento como condicionador físico e químico dos solos usados em cultivos agrícolas, florestais e pastagens. Assim, com base nos dados de caracterização do resíduo apresentados na Tabela 1, pode-se dizer que este apresenta-se com algum potencial de fornecimento de nutrientes, o que sugere que sua aplicação em áreas agrícolas (Figura 4) resolveria dois grandes problemas: um destino para o biossólido e a economia com fertilizantes minerais.

Considerando que, nos últimos quatro anos (2001, 2002, 2003 e 2004), o resíduo vem sendo aplicado no solo a uma taxa de 175 t/ha (base úmida), correspondendo, em média, a 21 t/ha (base seca), e com base nas variações dos teores dos elementos contidos no resíduo e apresentados na Tabela 1, a aplicação no solo dessa quantidade de resíduo fornece: N = 7,00 a 585 kg/ha; P = 0,45 a 12,30 kg/ha; K = 7,43 a 93,45 kg/ha; Ca = 0,50 a 1.000 kg/ha; Mg = 39,00 a 360 kg/ha; Na = 37,55 a 580,00 kg/ha; Zn = 2,50 a 5,40 kg/ha e, Cu = 0,70 a 1,10 kg/ha.

Desde que o resíduo é facilmente degradado no solo (relação C:N < 30), pode-se dizer que esses nutrientes são disponíveis para as plantas em curto espaço de tempo.

Embora o resíduo apresente altos valores de pH, este não tem efeito amenizante da acidez do solo. Os altos valores de pH observados nas amostras podem ser devido aos altos teores de amônio ( $N-NH_4$ ) e sódio contidos no resíduo (Tabela 1). Os baixos teores de C-orgânico observados no resíduo permitem classificá-lo com um produto com poucas possibilidades, a curto prazo, de melhoria de atributos físicos do solo, como por exemplo, a matéria orgânica.

Verifica-se, pela Tabela 1, que o N no biossólido é encontrado nas formas de nitrato ( $NO_3$ ), amônio ( $NH_4$ ) e nitrogênio orgânico. A quantidade de N disponível para as plantas varia para cada forma de nitrogênio. O  $N-NO_3$  é prontamente disponível para as plantas, mas não é encontrado em altas concentrações. O  $N-NH_4$  é também disponível para as plantas, mas pode ser perdido para a atmosfera como amônia ( $N-NH_3$ ), após a

Tabela 1. Composição química (elementos totais, base seca a 65 °C) do biossólido, classe II, da Estação de Tratamento da Cia de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira S/A, Sete Lagoas, MG.

Parâmetros	Datas das análises de amostras do biossólido <sup>1</sup>				
	26/02/03 <sup>1</sup>	29/05/03 <sup>1</sup>	08/09/03 <sup>2</sup>	05/03/04 <sup>2</sup>	06/06/04 <sup>1</sup>
Carbono orgânico (%)	21,31	13,84	0,38	0,0019	0,021
Nitrogênio - N (mg/kg)	* <sup>3</sup>	790,00	*	27.850,00	345,00
N-NO <sub>3</sub> (mg/kg)	1,36	4,90	83,30	12,80	0,56
N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)	444,50	459,00	*	102,00	412,00
N-NO <sub>2</sub> (mg/kg)	2,50	0,61	nd <sup>4</sup>	0,60	0,43
Fósforo - P (mg/kg)	44,40	5,20	9,00	52,00	587,00
Potássio - K (mg/kg)	4.450,00	4.200,00	971,00	354,00	2.600,00
Cálcio - Ca (mg/kg)	*	*	*	48.092,00	21,60
Magnésio - Mg (mg/kg)	*	*	*	1.848,00	17.165,00
Sódio - Na (mg/kg)	12.600,00	14.600,00	1.788,00	2.524,00	27.600,00
Alumínio - Al (mg/kg)	0,50	3.600,00	290,00	*	*
Zinco - Zn (mg/kg)	248,00	257,00	120,00	*	*
Cobre - Cu (mg/kg)	*	52,50	34,40	*	*
Molibdênio - Mo (mg/kg)	0,42	0,39	nd	*	*
Chumbo - Pb (mg/kg)	<0,01	30,40	nd	*	*
Cádmio - Cd (mg/kg)	2,20	5,43	nd	*	*
Selênio - Se (mg/kg)	0,015	0,05	19,98	*	*
Níquel - Ni (mg/kg)	15,80	72,60	nd	*	*
Mercúrio - Hg (mg/kg)	0,75	0,18	0,20	*	*
Arsênio - As (mg/kg)	0,29	0,31	nd	*	*
pH	12,44	6,28	8,04	12,0	12,01
Umidade (%)	82,3	82,0	87,5	81,69	94,0

<sup>1</sup>Análises realizadas pelo Laboratório ECOLAB, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup>Análises realizadas pelo Laboratório TCA – Empresa de Apoio Tecnológico, Consultoria Ambiental e Comércio LT DA, São Paulo, SP.

<sup>3</sup>Valores não fornecido nas análises.

<sup>4</sup>nd = Abaixo do limite de detecção.



Figura 4. Aspecto da aplicação do lodo industrial (biossólido) no solo sem cultura e em capineira de Capim Elefante.

aplicação do resíduo sem incorporação ao solo. O N orgânico deve ser mineralizado para  $N-NO_3$  e  $N-NH_4$  pelos microorganismos do solo antes de essa forma de N estar disponível para as plantas. Assim, o N orgânico pode ser considerado uma forma de liberação lenta. Estima-se que, dependendo da relação C:N do biossólido, cerca de 30 a 50 % do N orgânico é liberado no primeiro ano, após sua aplicação no solo. Para o fósforo, esse valor é de 50 % e, para o potássio, de 100 %.

### Caracterização dos Solos da Área Utilizada para Deposição do Resíduo (Biossólido)

Uma área de 32,55 ha, dividida em 5 talhões, que variam de 1,75 a 9,60 ha, vem sendo utilizada para

aplicação do resíduo (Figura 3). Um talhão adicional de 5,0 ha, em que o resíduo não é aplicado, é utilizado como tratamento controle. Nessa área, encontram-se duas classes de solo, classificadas como Latossolo Vermelho, textura argilosa (LE), classe dominante e, Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa (LV), cujas características iniciais, quantificadas em 1996, são apresentadas na Tabela 2.

De acordo com a caracterização química dos solos da área, realizada em 1996 (Tabela 2), os solos possuem valores de pH em torno de 5,0, considerado como limite superior para classificá-los como de elevada acidez. A acidez potencial ( $H + Al$ ) é alta ( $> 5,0$ ), assim como os teores de  $Al$ -trocável ( $1,50$  a  $2,25$   $cmol_c/dm^3$ ), resultando em elevada saturação de  $Al$  da CTC

Tabela 2. Características químicas e físicas iniciais, determinadas em 1996, das áreas utilizadas para descarte do resíduo. (Projeto 17/96, Vol. 3)

Parâmetros <sup>1</sup>	Profund. (cm)	Talhões				
		01	02	03	10	11
pH-água	0-20	5,10	5,0	4,90	5,00	5,00
	20-40	5,10	5,1	5,00	5,00	5,10
$H + Al$ ( $cmol_c/dm^3$ )	0-20	7,50	10,17	10,38	8,58	7,92
	20-40	5,88	7,92	7,90	7,92	7,75
$Al$ ( $cmol_c/dm^3$ )	0-20	1,50	1,90	2,25	2,10	2,00
	20-40	1,30	1,65	1,70	1,85	1,70
$Ca$ ( $cmol_c/dm^3$ )	0-20	0,41	0,31	0,06	0,10	0,05
	20-40	0,10	0,04	0,03	0,06	0,03
$Mg$ ( $cmol_c/dm^3$ )	0-20	0,02	0,05	0,06	0,04	0,04
	20-40	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02
$K$ (mg/kg)	0-20	36,0	51,0	51,0	40,0	49,0
	20-40	23,0	31,0	26,0	26,0	36,0
$P$ (mg/kg)	0-20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	20-40	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
M.O. (%)	0-20	2,24	3,26	3,27	2,89	2,24
	20-40	1,49	1,90	2,10	2,10	1,96
CTC ( $cmol_c/dm^3$ ) <sup>2</sup>	0-20	8,04	10,68	10,65	8,84	8,16
	20-40	6,05	8,05	8,03	8,08	7,91
Sat. $Al$ (%) <sup>3</sup>	0-20	74,0	79,0	90,0	89,0	90,0
	20-40	89,0	93,0	93,0	92,0	92,0
Sat. Bases (%) <sup>4</sup>	0-20	6,70	4,80	2,50	2,90	2,90
	20-40	2,80	1,60	1,60	2,00	2,00

<sup>1</sup> Análises realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas, MG.

<sup>2</sup> Capacidade de troca catiônica.

<sup>3</sup> Saturação por alumínio.

<sup>4</sup> Saturação por bases.

efetiva (74 a 90 %), o que classifica os solos como álico. Os teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo são muito baixos. A matéria orgânica encontra-se em quantidades médias a altas (> 3,0 %). A CTC a pH 7,0 é média, sendo os índices de saturação por bases extremamente baixos (2,50 a 6,70 %). Assim, conclui-se que os solos que ocupam a área apresentam nível de fertilidade muito baixo, necessitando, para o desenvolvimento de qualquer cultura, a melhoria de sua qualidade.

Posteriormente, para o monitoramento do atributos químicos e físicos dos solos dos talhões com (talhões 1, 2, 3, 9 e 10) e sem aplicação do lodo industrial (talhão 11) (Figura 3), amostras de material de solo foram coletadas anualmente no período de 2001 a 2004, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Foram coletadas dez amostras simples por talhão, misturadas e formada uma amostra composta. Essas amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises de Solo da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, processadas e analisadas de acordo com as metodologias preconizadas pela Embrapa (1997). Foram avaliados: pH em água, acidez potencial (H + Al), acidez trocável (Al), Ca e Mg trocáveis, P e K disponíveis, matéria orgânica e micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe). Foram também determinados, para algumas amostras, os teores de N-total, N-mineral ( $\text{NO}_3$  e  $\text{NH}_4$ ), condutividade eletrolítica (CE), sódio trocável e metais pesados (chumbo, cromo e níquel).

## Resultados e Discussão

A seguir, serão apresentadas e discutidas as alterações nos atributos químicos e físicos do solo em função da aplicação do resíduo. Esses atributos serão discutidos de acordo com os seguintes tópicos: a) indicadores da fertilidade do solo; b) movimentação de nitrogênio no solo ;c) metais pesados/micronutrientes.

### Indicadores da Fertilidade do Solo

As alterações anuais nos indicadores da fertilidade dos solos das áreas fertilizadas com o biossólido (talhões 01, 02, 03, 09, 10) comparadas ao tratamento controle (talhão 11), durante o período de 2002 e 2003, são apresentadas nas Figuras 5 e 6. Uma

grande variação nos valores desses parâmetros foi verificada, tanto dentro de cada talhão como entre eles, ao longo do período analisado. Essas variações podem ser devido à variabilidade natural das propriedades dos solos, bem como causadas pela variação na composição (Tabela 1) do biossólido aplicado.

Comparando-se os resultados (Figuras 5 e 6) dos indicadores da fertilidade do solo dos talhões fertilizados com o biossólido (01, 02, 03, 09, 10) com aqueles do talhão que não recebeu o resíduo (11), utilizado como tratamento controle, verifica-se que, mesmo com a aplicação do biossólido na dose anual de 21 t/ha (base seca), não foram observadas significativas alterações nos indicadores da acidez dos solos analisados (Figura 5), com pouca contribuição do biossólido na melhoria da qualidade destes. Por exemplo, verifica-se que a saturação por alumínio (m) dos solos dos talhões que receberam o biossólido praticamente não foi alterada, quando comparados ao talhão do tratamento controle (Figura 5), permanecendo, assim, os solos das áreas com alto índice de acidez, como verificado pelos valores de pH, alumínio trocável, saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V) (Figura 5). Esses resultados mostram que o resíduo não apresenta, a curto prazo, propriedades amenizantes da acidez do solo.

Com relação aos indicadores do potencial dos solos como fornecedor de nutrientes às plantas (Figura 6), em função da aplicação do biossólido, principalmente para os macronutrientes (cálcio, magnésio, potássio e fósforo), não se observa, para o período analisado, substancial aumento nos valores desses parâmetros.

Essas informações podem ser melhor visualizadas através da Figura 7, na qual são mostrados os indicadores da fertilidade do solo dos talhões antes (1996) e os dados médios de três anos (2002, 2003, 2004) após a aplicação do biossólido. Verifica-se que, embora pequenos aumentos tenham sido quantificados nos teores de bases trocáveis (Ca, Mg e K), saturação por bases e fósforo, estes ainda estão abaixo dos níveis considerados adequados para a obtenção de boas produtividades para a maiores das culturas. Para

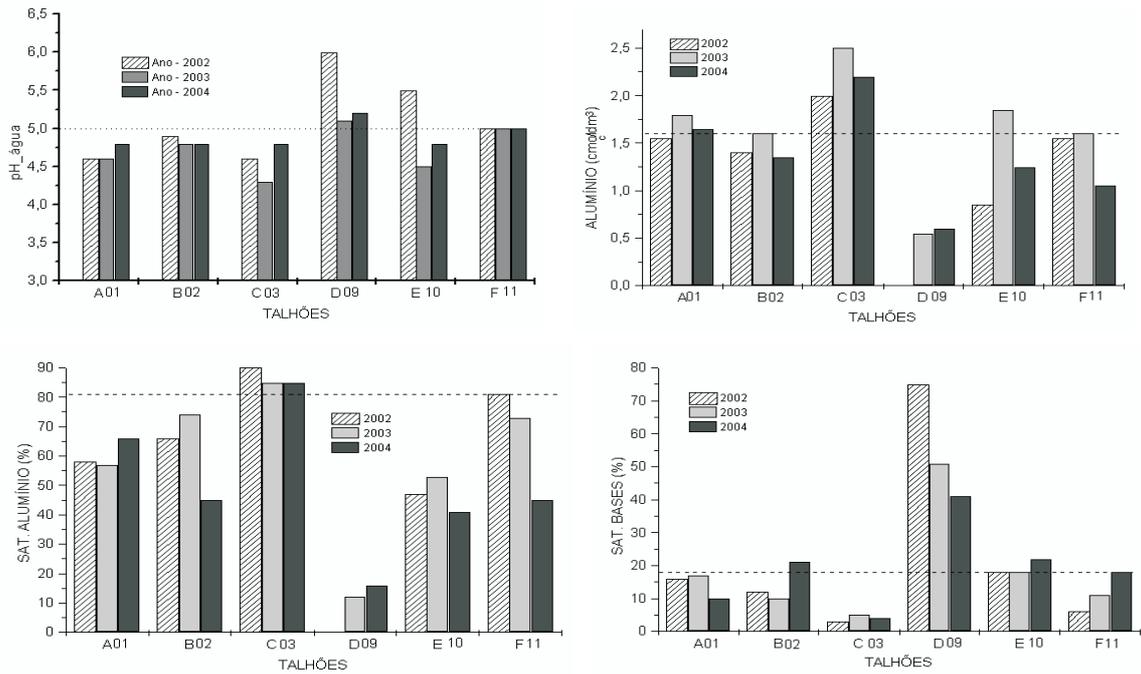


Figura 5. Parâmetros indicadores da acidez dos solos (0 a 20 cm) referente aos talhões com aplicação do biossólido (01, 02, 03, 09, 10) e ao talhão do tratamento controle. (11)

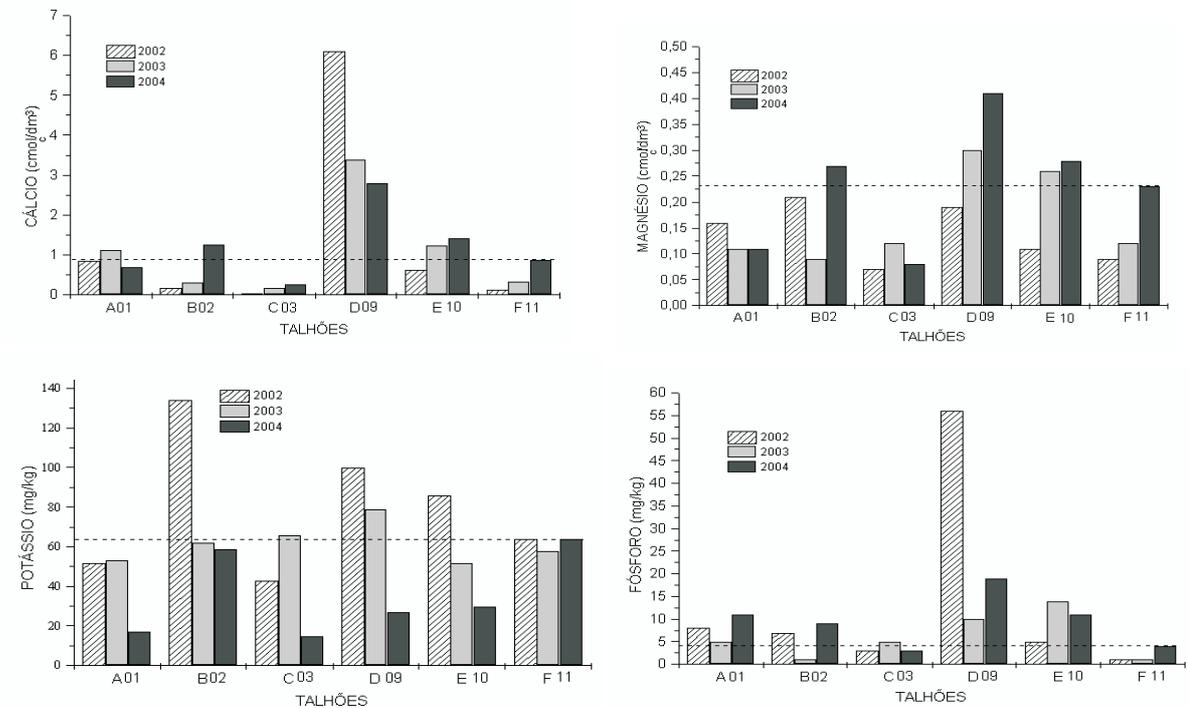


Figura 6. Parâmetros indicadores do potencial dos solos como fornecedor de nutrientes às plantas (0 a 20 cm) referente aos talhões com aplicação do biossólido (01, 02, 03, 09, 10) e ao talhão do tratamento controle. (11).

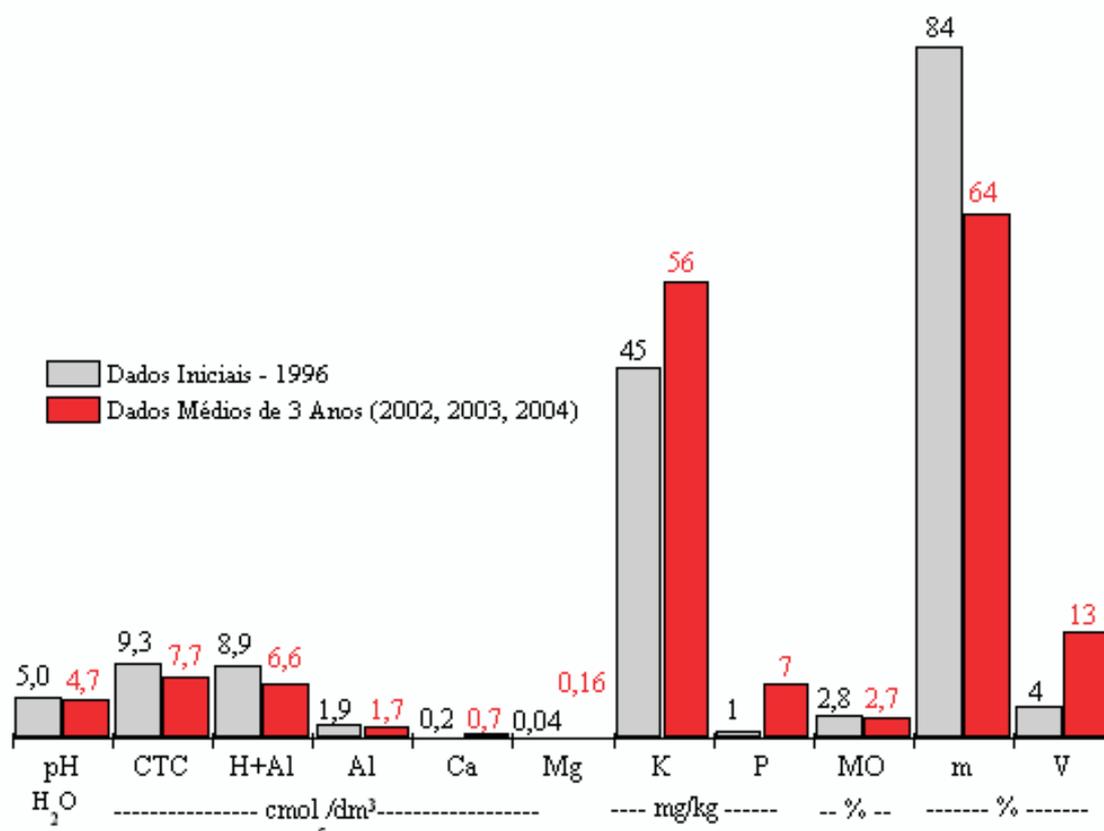


Figura 7. Indicadores médios da fertilidade dos solos dos talhões 01, 02, 03 e 10, antes (1996) e após (2004) aplicação anual do resíduo sólido, em amostras de solos coletadas a profundidade de 0 a 20 cm (m = saturação por alumínio; V = saturação por bases).

**efeito comparativo, os valores considerados adequados** para esse tipo de solo da área analisada são: pH (água) = 5,5 a 6,0; saturação por alumínio (m) = < 25 %, saturação por bases (V) = 55 a 60 %, cálcio = 3,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>; magnésio = 1,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>; potássio = > 60 mg/dm<sup>3</sup>; fósforo = > 10 mg/dm<sup>3</sup>.

No período considerado, não foi possível quantificar alterações nos teores de matéria orgânica (Figura 7). Embora o bioresíduo contenha uma quantidade relativamente alta de sódio (Tabela 1), com fornecimento de 37 a 580 kg/ha, considerando a aplicação anual de 21 t/ha, base seca, os valores de sódio e condutividade eletrolítica (CE) revelados nas análises dos solos (Tabela 3) são relativamente baixos. Devido à baixa CTC efetiva dos solos, grande parte do sódio pode ter sido lixiviado para as camadas mais profundas do perfil dos solos.

Esses resultados indicam que, somente com a aplicação do bioresíduo, não foi possível obter

melhorias significativas na fertilidade dos solos. Assim, o seu emprego em solos de baixa fertilidade, como a dos solos utilizados no presente trabalho, deve ser acompanhado da aplicação de corretivos da acidez do solo e outras fontes orgânicas ou inorgânicas de nutrientes, principalmente P e K. Assim, ao se considerar a possibilidade de uso do bioresíduo como um subproduto para a agricultura, este deve ser acompanhado de algum valor agregado, como, por exemplo, complementado com algum tipo de fertilizante. Dentro desse enfoque, é também de suma importância levar em consideração a tolerância das culturas à acidez dos solos e suas exigências nutricionais.

### Movimentação do Nitrogênio no Solo

Um das características importantes do bioresíduo é seu alto conteúdo em nitrogênio total. Embora os valores sejam bastante variáveis (Tabela 1), a aplicação anual de 21 t/ha (base seca) pode adicionar

Tabela 3. Indicadores da fertilidade dos solos da área utilizada para aplicação do resíduo (biossólido) e analisada no período de 2002 a 2004 (dados médios de 3 anos).

Parâmetros	Prof. (cm)	Talhão (n.º)					
		01	02	03	09	10	11
pH-água	0-20	4,67	4,83	4,57	5,43	4,93	5,00
	20-40	4,83	4,77	4,47	5,57	4,73	4,97
H + Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0-20	6,65	5,58	8,31	3,49	6,03	5,48
	20-40	4,31	5,56	6,32	3,64	5,01	5,08
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0-20	1,67	1,45	2,23	0,38	1,32	1,40
	20-40	1,25	2,05	1,68	0,80	1,30	1,35
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0-20	0,89	0,58	0,16	4,09	1,09	0,44
	20-40	0,19	0,22	0,15	0,51	0,19	0,08
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0-20	0,13	0,19	0,09	0,30	0,22	0,15
	20-40	0,05	0,13	0,03	0,04	0,06	0,04
K (mg/kg)	0-20	40,67	85,00	41,00	68,67	56,00	62,00
	20-40	15,67	71,00	22,00	13,67	20,33	28,00
P (mg/kg)	0-20	8,00	5,67	3,67	28,33	10,00	2,00
	20-40	1,00	2,00	1,00	1,33	1,00	1,00
M.O (%)	0-20	2,60	2,40	2,88	3,21	2,92	2,41
	20-40	1,41	2,10	1,92	1,44	1,51	1,63
CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	0-20	7,77	6,56	8,65	8,06	7,48	6,22
	20-40	4,58	7,09	6,56	4,22	5,32	5,27
Sat. Al (%) <sup>2</sup>	0-20	60,33	61,67	86,67	9,33	47,00	66,33
	20-40	81,67	79,00	88,00	58,67	81,67	88,00
Sat. Bases (%) <sup>3</sup>	0-20	14,33	14,33	4,00	55,67	19,33	11,67
	20-40	6,00	7,67	3,33	13,33	5,67	3,67
Na (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4</sup>	0-20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
	(amostras – 2004)	20-40	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01
Na (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4</sup>	0-20	1,34	1,77	1,52	0,29	0,26	0,08
	(amostras – 2001)	20-40	1,04	0,18	0,74	0,32	0,26
CE (dS/m) <sup>4</sup>	0-20	0,08	0,20	0,07	0,26	0,21	0,36
	(amostras – 2004)	20-40	0,04	0,23	0,08	0,11	0,20
CE (dS/m) <sup>4</sup>	0-20	0,18	0,11	0,23	0,36	0,36	0,14
	(amostras – 2003)	20-40	0,09	0,20	0,13	0,17	0,24

<sup>1</sup> Capacidade de troca catiônica em pH 7,0.

<sup>2</sup> Saturação por alumínio.

<sup>3</sup> Saturação por bases.

<sup>4</sup> Análises de Na e CE (condutividade eletrolítica; dS = deciSiemens/m), realizadas apenas nas amostras de solo coletadas nas datas indicadas.

aos solos quantidades em torno de 600 kg de N/ha. Apesar de grande parte desse N estar na forma orgânica, a rápida mineralização leva à formação de N-NH<sub>4</sub> e, posteriormente, N-NO<sub>3</sub>. O N-NO<sub>3</sub>, ao contrário do N-NH<sub>4</sub> e de outros nutrientes, apresenta alta mobilidade no solo, podendo-se perder por lixiviação, com possibilidades de contaminação de corpos d'água.

As variações temporal e espacial dos teores de N-NH<sub>4</sub> e N-NO<sub>3</sub> monitorados nas áreas que receberam o biossólido e na do tratamento controle são apresentadas na Tabela 4. Verifica-se uma grande variação nos teores desses elementos, com valores muito baixos (< 1 kg/ha) a extremamente altos (> 100 kg/ha), refletindo a variação no conteúdo de N-

Tabela 4. Variação no teores de N – mineral ( $\text{NO}_3$  e  $\text{NH}_4$ ) em amostras de solos coletadas nas áreas que receberam o bioestabilizado e no tratamento controle (talhão 11).

Talhão (n.º)	Prof. solo (cm)	16/06/2004		01/12/2003		30/10/2002		20/04/2001	
		$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
----- mg/kg -----									
01	0 – 20	0,52	0,55	4,32	14,99	5,94	38,14	73,00	102,93
	20 – 40	0,37	0,39	2,62	11,22	3,29	44,35	15,96	109,58
02	0 – 20	0,44	1,48	7,71	17,90	55,35	71,81	136,79	33,04
	20 – 40	0,85	2,29	19,76	21,89	6,76	15,69	7,27	10,38
03	0 – 20	0,50	0,62	3,65	19,77	7,27	11,47	139,71	97,64
	20 – 40	0,41	1,00	6,67	19,38	1,88	24,67	23,70	89,50
09	0 – 20	0,55	0,69	7,57	26,45	4,00	44,68	9,76	48,30
	20 – 40	0,28	0,30	4,87	15,88	4,75	8,73	1,51	9,06
10	0 – 20	0,42	0,94	6,79	32,49	50,02	15,33	17,75	64,72
	20 – 40	0,41	2,44	4,92	27,29	1,94	8,56	3,65	25,56
11 (Test.)	0 – 20	0,96	2,56	7,55	17,86	16,78	5,26	10,36	7,25
	20 – 40	0,90	1,74	5,47	5,21	0,38	2,02	3,59	3,08

total no bioestabilizado (Tabela 1) e também das épocas de amostragem dos solos (Tabela 4).

Para avaliar o potencial de movimentação do N- $\text{NO}_3$  no perfil dos solos e de perdas por lixiviação em função da aplicação do bioestabilizado, foram realizadas, em 2002, amostragens de solo até a profundidade de 100 cm. Os resultados referentes aos teores de N- $\text{NO}_3$  nos perfis dos solos são apresentados na Figura 8. Verifica-se que, embora tenham-se observado grandes diferenças nos teores de N- $\text{NO}_3$  entre os talhões, houve uma grande movimentação desse elemento no perfil do solo, principalmente nas amostras de solos coletadas nos talhões 01 e 03 (Figura 8). Essa variação observada na movimentação do N- $\text{NO}_3$  no perfil dos solos pode ser devido a uma distribuição não uniforme do resíduo, com aplicação de doses maiores em determinados pontos da área.

### Metais Pesados/Micronutrientes

Esses resultados evidenciam a necessidade de cuidados especiais no manejo do resíduo, principalmente com relação à época de aplicação e presença ou ausência de culturas, as quais podem, significativamente, através da absorção, reduzir o potencial de lixiviação desse nutriente. Entretanto, chama à atenção o fato de os solos das áreas apresentarem alta saturação por

alumínio em profundidade, o que restringe o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a absorção do N, aumentando o potencial de lixiviação nesses solos.

Consideram-se metais pesados os elementos químicos pertencentes ao grupo de transição da tabela periódica e que apresentam peso atômico e densidade altos ( $> 6 \text{ kg dm}^{-3}$ ). São também denominados microelementos, elementos traços e, quando atendem aos critérios de essencialidade para as plantas, micronutrientes. Os metais pesados são muito estáveis na natureza, apresentando grande persistência, e são, conseqüentemente, acumulados no solo e/ou em sistemas biológicos.

Os teores de metais pesados no solo que podem ser considerados perigosos para as plantas e, posteriormente, transmitidos na cadeia alimentar, ainda não estão bem definidos, e uma série de estudos a respeito vem sendo conduzida, em diversos países. Ruves, citado por Braille & Cavalcanti (1979), desenvolveu uma série de experimentos, durante vários anos, envolvendo aumento nas concentrações dos elementos boro, cobre, cádmio e zinco, em solos, visando determinar os seus níveis fitotóxicos para aveia, cravo, rabanete e alface. Verificou que um efeito fitotóxico nessas plantas é possível, quando são

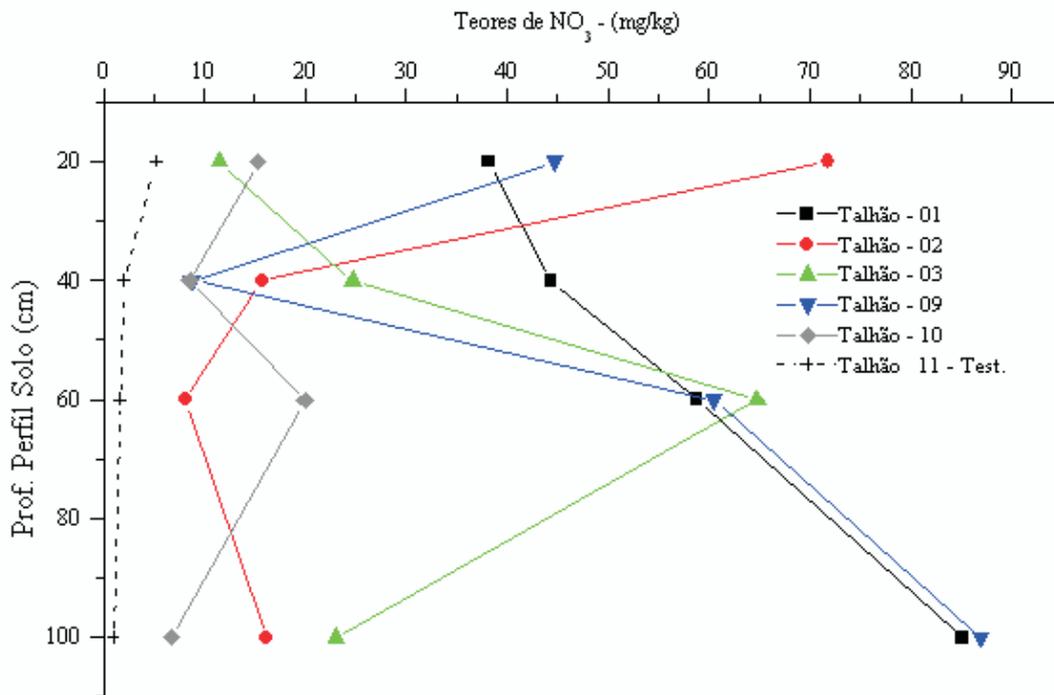


Figura 8. Movimentação de N- NO<sub>3</sub> no perfil dos solos, em função da aplicação de biofósforo da Cia de Fiação e Tecidos Cedro e Cachoeira (amostras coletadas em outubro de 2002).

encontrados, no solo, valores superiores a 3 mg/kg de boro extraído em água quente, 30 mg/kg de cobre extraído em EDTA, 200 mg/kg de zinco extraído em ácido acético e 20 mg/kg de cádmio extraído em ácido acético.

Na Tabela 5, são apresentados os teores de metais pesados/micronutrientes avaliados nos solos das áreas fertilizadas com o biofósforo, comparadas com a área do tratamento controle (talhão 11). São apresentados, também, na última coluna, para efeito comparativo, os níveis críticos acima dos quais a toxicidade é considerada possível. Verifica-se que os teores de metais pesados/micronutrientes nos solos das áreas tratadas com o biofósforo (Tabela 5) não constituem preocupações relacionadas à possíveis efeitos fitotóxicos para as plantas.

## Conclusões

1. O biofósforo gerado na Estação de Tratamento da Cia de Fiação e Tecidos Cedro Cachoeira não apresenta potencial de atuar como corretivo da acidez do solo e, conseqüentemente, na remediação de solos ácidos. Assim, o seu uso em solos ácidos deve estar

associado ao emprego de materiais corretivos da acidez do solo;

2. O biofósforo, em virtude de conter em sua composição os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg e os micronutrientes Zn e Cu, apresenta-se com alguma qualidade de fertilizante. Entretanto, dependendo do nível de fertilidade do solo e da exigência da cultura, pode ser necessária sua aplicação conjunta com outras fontes de nutrientes, principalmente para o fósforo e o potássio;

3. Embora o biofósforo apresente grandes variações no conteúdo de N-total, os altos teores que este produto pode conter (28 kg de N/t de material seco a 65 °C) sugere cuidados no seu manejo; com relação à época de aplicação e à presença de culturas altamente exigentes nesse nutriente, são aspectos importantes que devem ser observados, para evitar perdas excessivas por lixiviação;

4. Quando adequadamente utilizado, os impactos negativos provenientes de sua aplicação direta (fornecimento de alguns metais pesados) não são significativos, principalmente se analisada junto com o efeito diluidor dos solos.

Tabela 5. Teores de micronutrientes/metais pesados da área utilizada para deposição do resíduo no período de 2001 a 2003 (dados médios de três anos).

Parâmetros	Prof. Solo (cm)	Talhão (n.º)						Nível crítico <sup>3</sup>
		01	02	03	09	10	11	
Zn (mg/kg) <sup>1</sup>	0-20	43,70	5,60	1,56	2,93	1,47	16,33	70 - 400
	20-40	16,57	1,57	8,40	7,83	0,77	3,13	
Cu (mg/kg) <sup>1</sup>	0-20	6,90	1,80	1,90	1,67	1,03	2,50	60-125
	20-40	1,97	1,27	1,43	0,67	0,33	0,67	
Mn (mg/kg) <sup>1</sup>	0-20	11,13	9,47	11,33	6,77	8,33	7,73	4.000
	20-40	4,77	6,50	9,30	9,87	5,23	8,57	
Fe (mg/kg) <sup>1</sup>	0-20	77,17	52,13	54,57	45,43	64,83	64,17	400.000
	20-40	48,37	54,37	43,30	64,43	50,37	53,07	
Pb (mg/kg) <sup>2</sup>	0-20	13,10	*	17,60	19,30	*	12,90	100-400
	20-40	17,00	*	18,40	13,00	*	9,30	
Cr <sup>6</sup> (mg/kg) <sup>2</sup>	0-20	1,43	*	0,58	0,55	*	0,05	100
	20-40	2,23	*	3,54	0,44	*	0,05	
Ni (mg/kg) <sup>2</sup>	0-20	23,20	*	35,30	25,70	*	21,00	100
	20-40	24,90	*	37,00	21,40	*	18,60	

<sup>1</sup> Análises realizadas pelo Laboratório da Embrapa Milho e Sorgo em amostras coletadas em 2001, 2002 e 2003.

<sup>2</sup> Análises realizadas pelo Laboratório ECOLAB, em amostras coletadas em 2001.

<sup>3</sup> Nível crítico corresponde a faixa de concentração (total), acima da qual a toxicidade é considerada possível.

5. Visando ampliar as possibilidades de aplicação do biossólido, proceder a uma avaliação experimental, em condições de campo, de seu valor na fertilização de culturas anuais, florestas e pastagens, monitorando as propriedades químicas, físicas e biológicas (se pertinente) dos solos e a nutrição mineral das plantas e sua produtividade.

## Referências Bibliográficas

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

COMPANIA DE FIAÇÃO E TECIDOS CEDRO E CACHOEIRA S. A. **Tratamento de lodo biológico** - Projeto 17/96. v. 1, mar. 1997.

COMPANIA DE FIAÇÃO E TECIDOS CEDRO E CACHOEIRA S/A. **Solo caracterização** - Projeto 17/96. v. 3, mar. 1997.

EMBRAPA.. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos,1)

### Circular Técnica, 70

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Endereço: MG 424 Km 45 Caixa Postal 151 CEP

35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3779 1000

Fax: (31) 3779 1088

E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2005): 200 exemplares

### Comitê de publicações

**Presidente:** Antônio Carlos de Oliveira

**Secretário-Executivo:** Paulo César Magalhães

**Membros:** Camilo de Lélis Teixeira de Andrade,

Cláudia Teixeira Guimarães, Carlos Roberto Casela,

José Carlos Cruz e Márcio Antônio Rezende Monteiro

### Expediente

**Supervisor editorial:** Clenio Araujo

**Revisão de texto:** Dilermando Lúcio de Oliveira

**Editoração eletrônica:** Dilermando Lúcio de Oliveira