

Aplicação direta do lodo primário da Bahia Sul Celulose no solo

MFN -2540

N CHAMADA:

TITULO: Aplicação direta do lodo primário da Bahia Sul
Celulose no solo

AUTOR(ES): SOUZA, C.M.QUAGLIA, L.J.C.SOUZA, A.J.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 08. Meio Ambiente

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual de Celulose e Papel, 28

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 06-10.11.1995

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1995, ABTCP

PAG/VOLUME: p.549-559,

FONTE: Congresso Anual de Celulose e Papel, 28, 1995, São
Paulo, p.549-559

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR: amostragem, solo, lodo, tratamento primário,
incubação, compostagem, metais pesados

RESUMO: Foi investigado a utilização do lodo primário como fonte de nutrientes, identificando as alterações físico-químicas do solo decorrente da sua aplicação direta na superfície, bem como a previsão dos possíveis efeitos ambientais. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com um delineamento inteiramente casualizado, constituído de um fatorial com posto de seis tempos de incubação, nove doses do lodo primário e seis repetições

APLICAÇÃO DIRETA DO LODO PRIMÁRIO DA BAHIA SUL CELULOSE NO SOLO

Caetano Marciano de Souza
Universidade Federal de Viçosa

Luiz Juvêncio Cardoso Quaglia
Agnaldo José de Souza
Bahia Sul Celulose S.A.

1 - Introdução

Para fazer uma correta aplicação de despejos no solo é necessário o conhecimento prévio das características do resíduo, do solo local e das técnicas mais adequadas para a sua disposição final.

O efluente geral de uma fábrica de celulose e papel gera dois tipos de lodo: o primário, originado nos decantadores, espessadores e prensas desaguadoras e o secundário, proveniente do sistema biológico de tratamento. O volume do lodo primário representa, aproximadamente, 18% de todos os resíduos produzidos numa fábrica de celulose e papel enquanto que o lodo biológico representa apenas 7% [1]. A aplicação de resíduos provenientes da fabricação de celulose e papel, além de servir como fonte de nutrientes às árvores e como condicionador dos solos, soluciona o problema de descartes, comuns a todas as empresas do setor de papel e celulose em todo o mundo[2,3,7-11].

Entretanto, utilizando-se o lodo de forma não adequada, sem estudos e avaliações prévias da sua viabilidade ambiental, pode ocasionar sérios prejuízos aos ecossistemas terrestres e aquáticos. A avaliação dos efeitos ambientais em consequência de sua aplicação direta no campo deve ser considerada, da mesma forma como são avaliados os efeitos diretos na floresta e na relação de custos e benefícios.

O principal mecanismo de contaminação ambiental que ocorre quando da disposição final de resíduos no solo é a possibilidade de contaminação de água subterrânea ou freática. Os resíduos possuidores de compostos orgânicos sintéticos e de metais pesados são os mais preocupantes, principalmente porque esses vêm aumentando de forma significativa nos últimos anos em função da expansão das atividades industriais.

Em agosto/93 iniciou-se o estudo do lodo industrial primário da Bahia Sul Celulose proveniente da E.T.E. (estação de tratamento de efluentes). Este trabalho apresenta os resultados obtidos durante a realização dos ensaios de campo e a nível laboratorial, desenvolvido em conjunto com o Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Os objetivos principais do trabalho foram investigar o potencial do lodo em fornecer nutrientes para as plantações de eucalipto, identificando as possíveis alterações físicas e químicas do solo, decorrentes de sua aplicação direta sobre a superfície do solo e finalmente os possíveis efeitos ambientais oriundos dessa disposição direta.

"Trabalho apresentado no 28º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo - SP - Brasil, de 06 a 10 de novembro de 1995".

2. Experimental

2.1. Amostragem dos solos

Foram coletadas amostras em trincheiras de 11 talhões "sites" diferentes, representativos da área cultivada pela Bahia Sul Celulose. As análises físico-químicas do solos foram amostradas em trincheiras às profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Os talhões foram selecionados pela empresa procurando cobrir todas as etapas da cultura do eucalipto.

Para a realização do experimental em Viçosa-MG, foram coletadas 3,0 toneladas de um solo Podzólico Amarelo, distrófico, à profundidade de 0-20 cm, em um dos talhões amostrados de interesse da empresa.

A amostragem do lodo industrial foi feita retirando alíquotas diárias de 5,0 kg de peso úmido, durante aproximadamente 30 dias para uma caracterização generalizada no aspecto físico-químico, e de 8,0 toneladas de lodo úmido, em um único dia de produção da fábrica operando em condições normais. Este foi, então, utilizado para as incubações lodo-solo.

Para as análises físicas do solo foram determinados os seguintes parâmetros:

- Textura;
- Argila Dispersa em Água;
- Equivalente de Umidade;
- Densidade Aparente;
- Ponto de Murcha Permanente;

As determinações químicas foram efetuadas em amostras de TFSA (terra fina seca ao ar), para todas as camadas amostradas. As seguintes características foram determinadas:

- Carbono Orgânico;
- pH em água em KCl N, numa relação solo/líquido de, aproximadamente, 1:2,5;
- Cálcio, Magnésio e Alumínio Trocáveis;
- Potássio e Fósforo Disponíveis;
- Enxofre;
- Manganês, Zinco, Ferro, Cromo, Chumbo e Cobre (metais pesados);
- Sódio;
- Soma de Bases ($SB = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+}$);
- CTC Efetiva (Capacidade de Troca Catiônica) ($CTCe = SB + Al^{+3}$);
- Porcentagem de Saturação de Alumínio na CTC Efetiva ($m = 100 \cdot Al^{+3} / Al^{+3} + SB$).

2.2. Características do Lodo Primário

As determinações foram efetuadas no lodo primário seco em estufa, a 65° C, e peneirado em telas de 2 mm. Os macronutrientes foram determinados utilizando-se extração nitroperclórica em 0,2 g do lodo, enquanto que para os micronutrientes e metais pesados utilizou-se digestão nitroperclórica, em 1,0g de lodo. Foram determinados os seguintes parâmetros:

- pH em água;
- Capacidade de retenção de água;
- Nitrogênio Total;
- Fósforo;
- Potássio e Sódio;
- Cálcio e Magnésio;
- Silício;
- Ferro, Manganês, Cobre, Zinco, Cromo, Chumbo e Níquel.

2.3. Experimento de Incubação

Em uma casa de vegetação da U.F.V. foram estudadas nove doses de lodo primário, equivalentes a 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, e 40 t/ha, em seis tempos de incubação (0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias). Dessa maneira, o fatorial 9 x 6 constitui 54 tratamentos que foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições.

O solo, após ter recebido a dose do lodo, foi incubado em sacolas plásticas, e a umidade foi mantida entre os limites de 60 e 90% da capacidade de campo. As sacolas plásticas eram permutadas diariamente, ao acaso, para uniformizar as condições ambientais.

Ao término de cada período de incubação, secou-se o material e realizaram-se as análises de argila dispersa em água, equivalente de umidade, ponto de murcha permanente e todos os outros parâmetros químicos citados anteriormente.

2.4. Compostagem

Com 4,0 t do lodo primário foi dimensionada e construída uma meda de compostagem, usando o esterco fresco bovino, com a finalidade de ajustar a relação C/N do material a ser compostado.

A meda foi construída, colocando uma camada de 25 cm do lodo primário e, sobre ela, uma camada de 8 cm de esterco fresco bovino. A espessura das camadas foi em função da natureza e do volume dos materiais usados. Essa seqüência de camadas foi repetida até atingir a altura de 1,7 m. A meda foi construída em formato trapezoidal, com as dimensões de 2,5 m de largura na base inferior, 2,0 m na parte superior e 3,0 m de comprimento.

Procedeu-se a revirada da meda, manualmente, de 15 em 15 dias, quando, também, ocorria sua irrigação. A compostagem estendeu-se por 75 dias, quando o processo de compostagem foi considerado finalizado.

3. Resultados e discussões

3.1. Solo

As trincheiras abertas revelaram solos predominantes do tipo Podzólicos Amarelos, relacionados, principalmente, com os sedimentos do Grupo Barreiras. São solos de argila de baixa atividade, muito ou moderadamente drenados. Segundo RADAMBRASIL^[4], os Podzólicos Amarelos da região ocorrem associados, geralmente, aos Latossolos Amarelos e aos Podzóis Hidromórficos. Encontram-se em relevo plano e suave ondulado, sendo, porém, álicos e distróficos, o que limita o seu uso agrícola, fazendo com que se apresentem utilizados com reflorestamento e com pastagens.

Os dados obtidos também mostraram que os solos dos talhões apresentaram baixa capacidade de armazenamento de água, alta densidade aparente e baixa floculação de argilas, características que os tornam de pequena aptidão agrícola, pois são frágeis, necessitando de manejo adequado para a sua conservação (tabela 1 e tabela 2) .

3.2. Lodo Primário

O lodo primário assemelha-se a uma pasta de celulose, de cor cinza escura quando úmido e cinza clara quando seco. Mesmo quando prensado, ao ser encaminhado ao aterro sanitário, apresenta elevada umidade (75%). Os resultados das análises físico-químicas estão resumidos na tabela 3. Observa-se que o lodo apresenta elevado teor de cinzas, o que diferencia sobremaneira de "papel molhado".

Tabela 1 - Composição Física dos Solos da BSC Utilizados nos Ensaio
(Média de 11 repetições).

CARACTERÍSTICA	PROFUNDIDADE			
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm
A.G. %	70	65	60	52
A.F. %	18	19	20	20
Si %	2	3	5	6
Ar %	10	13	15	22
ADA %	5	7	8	10
DA g/cm ³	1,28	1,39	1,32	1,27
EqU %	5,64	7,32	8,86	12,2

Tabela 2 - Composição Química Aproximada dos Solos da BSC
Utilizados nos Ensaio (média de 11 repetições).

CARACTERÍSTICA	PROFUNDIDADE (cm)			
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40
C. O. %	1,13	1,07	1,02	0,98
pH em Água	4,91	4,85	4,87	4,81
pH em KCl	4,22	4,25	3,95	4,3
P ppm	3,41	1,9	1,14	1
K ppm	20,64	22,91	14,63	10,73
Al meq/100 cc	0,28	0,43	0,41	0,47
Ca meq/100 cc	1,11	1,11	1,02	0,81
Ma meq/100 cc	0,2	0,17	0,16	0,13
CTC meq/100cc	1,63	1,76	1,63	1,44
Zn ppm	0,73	0,27	0,24	0,43
Fe ppm	80,94	110,75	141,65	138,44
Mn ppm	0,81	0,96	1,49	0,31
S ppm	0,42	0,58	0,8	0,85
Na ppm	20,13	20,21	20,28	20,42
Ni ppm	0,42	0,36	0,42	0,35
Cd ppm	0,04	0,04	0,05	0,05
Cu ppm	0,09	0,14	0,12	0,13
Cr ppm	0,49	0,49	0,66	0,49
Pb ppm	0,72	0,75	0,92	0,71

No resíduo mineral do lodo encontram-se os nutrientes essenciais às plantas, bem como elementos não-desejáveis, como os metais pesados e o sódio. Após a decomposição do lodo, os nutrientes poderão ser absorvidos pelas plantas. Os metais pesados, ao contrário, podem vir a dificultar o uso e a disposição final do lodo diretamente na superfície do solo, pois são muito estáveis na natureza.

Um ponto positivo apresentado pelo lodo primário da BSC é a sua elevada capacidade de retenção de umidade, o que é uma vantagem, em se tratando de sua aplicação em solos de baixa capacidade de retenção de umidade, como é o caso dos solos da região em estudo.

O lodo primário apresenta pH elevado, decorrente, principalmente, dos cátions presentes em sua composição e dos reagentes químicos utilizados na produção da polpa celulósica e do papel.

Os elementos encontrados em maior quantidade no lodo industrial foram o silício e o cálcio. Especificamente para o silício, salvo algumas informações que indicam sua importância para cultivos de cana-de-açúcar, arroz, beterraba, cereais, bem com seu efeito na adsorção de fósforo, pouco se conhece sobre as vantagens ou desvantagens da sua aplicação e suas conseqüências para os solos e o ambiente.

Tabela 3 - Composição Química do Lodo Industrial Primário da BSC (média de 40 repetições).

Resíduo Mineral	.....48,81%
Material Volátil	.....51,19%
pH em Água	.....10,25
Capacidade de Reter Água	.....424,75%
Fósforo	.....0,13 dag/kg
Nitrogênio Total	.....1,06 dag/kg
Potássio	.....0,04 dag/kg
Cálcio	.....7,10 dag/kg
Magnésio	.....0,73 dag/kg
Silício	.....6,80 dag/kg
Ferro	.....5.886,05 mg/dm ³
Zinco	.....265,55 mg/dm ³
Manganês	.....392,10 mg/dm ³
Cobre	.....332,00 mg/dm ³
Sódio	.....1,295,55 mg/dm ³
Cromo	.....31,15 mg/dm ³
Chumbo	.....27,40 mg/dm ³
Níquel	.....16,93 mg/dm ³

3.3. Incubação

A adição do lodo primário na superfície do solo promoveu um acréscimo na quantidade do carbono orgânico, em virtude do mesmo apresentar material orgânico. Ao aumentar a dose aplicada do lodo, incrementa-se o teor de carbono orgânico do solo. Porém, no decorrer da incubação, ocorreu decréscimo no teor de carbono orgânico, em qualquer dose estudada, em virtude da ação dos microrganismos do solo, que passaram a ter uma fonte de energia disponível extra para sua respiração.

Em condições de umidade e aeração favoráveis e na presença de microrganismos, os resíduos orgânicos são rapidamente decompostos. À medida que o tempo passa, a taxa de decomposição vai reduzindo. Participam dessa decomposição vários organismos como as bactérias, as algas, os fungos, os actinomicetes, os protozoários e os insetos. Dessa digestão, há liberação de elementos químicos constituintes do material orgânico adicionado, que deixam a forma imobilizada, passando para a forma mineralizada e, portanto, disponível às plantas.

Com relação ao sódio, a medida que aumentaram as doses aplicadas, aumentou-se também a sua disponibilidade no solo. Segundo a literatura consultada, acreditava-se que o sódio fosse essencial para a planta. Em 1955, Allen e Arnon, citados por BROWNELL^[5] mostraram ser o sódio indispensável para a alga cianofíceia *Anabaena cilíndrica*. O mesmo autor verificou o mesmo efeito para o vegetal superior *Atriplex vesicaria*, da família Chenopodiaceae. Dependendo da espécie vegetal, o sódio pode substituir algumas vezes o potássio em reações enzimáticas. Isso tem motivado a tendência, de alguns pesquisadores, em classificar o sódio com sendo um elemento útil para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Tal efeito pode ocorrer nos plantações de eucalipto da Bahia Sul.

A ação do sódio com relação as alterações físicas no solo, vários pesquisadores têm comentado o efeito prejudicial dos seus íons, incluindo também o potássio. Sugerem que, grandes aplicações de fontes desses íons podem deteriorar a estrutura do solo. Raciocínio semelhante pode ser feito para a estabilidade dos agregados do solo. Ao diminuir a estabilidade dos agregados, ocorre dispersão de argilas que, ao migrarem verticalmente, provocarão o enchimento de poros subsuperficiais, prejudicando a permeabilidade do solo. Dependendo da forma aplicada do íon, haverá mudanças ou não no pH do solo, o que é importante para a dispersão de argilas.

A acidez é comum em todas as regiões onde a precipitação é suficientemente elevada para lixiviar quantidades de bases trocáveis das camadas mais superficiais do solo. A sua influência nos vegetais é uma das mais discutidas propriedades dos solos.

A alcalinidade sobrevém quando há grau comparativamente elevado de saturação de bases. A presença de sais, principalmente carbonato de cálcio, magnésio e sódio, provoca a dominância da hidroxila sobre o íon hidrogênio, o que resulta em aumento do pH.

Em decorrência da aplicação do lodo primário, observou-se aumento do pH no solo, pois o mesmo apresenta bases como cálcio, magnésio, potássio e sódio em sua composição. O pH respondeu de forma positiva e assintótica, tanto para a dose quanto para o tempo de incubação ($B_0 - B_1 \cdot (e^{-(B_3 \cdot \text{dose})}) - B_4 \cdot (e^{-(B_5 \cdot 1/\text{tempo})})$).

Muitas vezes, um aumento do pH até certos limites é favorável à exploração agrícola. Geralmente o crescimento vegetal é influenciado negativamente, nos casos em que o pH for excessivamente elevado ou houver predominância de íons de sódio. Contudo, as plantas apresentam grande diversidade e variedades entre espécies, com uma maior ou menor tolerância, tanto a pH quanto a elevado teor de sódio no solo.

A elevação dos níveis do pH poderá, também, deteriorar as condições ambientais do solo por meio da dispersão de argila, que possibilita a sua migração vertical e horizontal e a predisposição à erosão e ao encrostamento.

No nosso experimento, a elevação do pH ocorreu em conseqüência do aumento da dose de cálcio, sódio e, até mesmo, do magnésio aplicados e da decomposição do lodo durante o tempo de incubação. A elevação do pH a valores maiores que 7,0 pode ocasionar deficiência de nutrientes para as plantas, bem com reverter, aliado à presença dessas bases, o processo de dispersão de argilas.

A disponibilidade de fósforo, potássio e enxofre também foi aumentada, bem como de cálcio e magnésio trocáveis, já que o lodo industrial apresenta esses nutrientes em sua composição química. Desse modo, quanto maior a quantidade de nutrientes em resíduos, dentro de determinados limites, melhor qualidade apresentariam, no que diz respeito à substituição de adubações. Todos esses nutrientes responderam de forma positiva e assintótica, quando analisado o efeito da dose e do tempo de incubação, indicando que à medida que o lodo vai se decompondo, ocorre a liberação desses nutrientes para o solo.

A CTC (Capacidade de Troca Catiônica) é proveniente da matriz mineral e orgânica do solo. Os solos de textura mais fina apresentam tendência de possuir maior CTC que os solos arenosos. Dentro de um mesmo grupo textural, o conteúdo de matéria orgânica, assim como a quantidade e o tipo de argila, exerce influência sobre a CTC.

A CTC aumentou com a dose e o tempo de incubação. Isso pode ter ocorrido porque a CTC é função do pH. Nos valores baixos de pH, apenas as cargas permanentes das argilas e a pequena porção das cargas dos colóides orgânicos retêm cátions, o que resulta em baixa CTC. Nossos estudos evidenciaram que a CTC apresentou resposta positiva e assintótica para doses e tempos, decorrentes da aplicação do lodo.

3.4 Metais Pesados

Recentemente, a opinião pública tem sido informada acerca do perigo da contaminação do meio ambiente por determinado número de substâncias inorgânicas, inclusive as que contêm mercúrio, cádmio, chumbo, arsênio, níquel, cobre, zinco, manganês, flúor e boro. Em maior ou menor proporção, todos esses elementos são tóxicos ao homem e a outros animais. O cádmio e o arsênio são muito tóxicos; o mercúrio, o chumbo, o níquel e o flúor são moderadamente; o manganês e o zinco possuem toxicidade menor.

Desconsiderando suas origens, os elementos tóxicos podem atingir o terreno e, a partir daí, passariam a fazer parte da vida cíclica do solo (solo-planta-animal-homem). Lamentavelmente, ao participarem desse ciclo, poderão acumular-se nos tecidos animais e humanos e alcançar níveis tóxicos.

No nosso experimental, verificamos que a disponibilidade de ferro, manganês, chumbo e cromo aumentou quando se incrementou a dose do lodo, seguindo o padrão assintótico, e diminuiu com o aumento do tempo de incubação, seguindo o padrão de decréscimo exponencial $B_0 - B_1 (e^{(-B_2 \cdot dose)} + e^{(-B_3 \cdot 1/tempo)})$.

O ferro e o manganês são nutrientes requeridos em pequenas quantidades, mas são essenciais às plantas. A adição do lodo, ao aumentar o pH, diminuiu a disponibilidade desses nutrientes, o que pode provocar deficiências em dosagens elevadas de aplicação.

A solubilidade do ferro diminui à medida que se aumentam a aeração e o pH. A elevação de uma unidade do pH faz com que a concentração do ferro em solução caia 1.000 vezes. Observou-se que, pelo fato do lodo industrial promover aumento do pH do solo, houve rápida diminuição na disponibilidade de ferro.

As condições de carência do manganês são: pH elevado, excesso de matéria orgânica ou altos teores de fósforo, cobre e zinco.

Como para o ferro, a resposta do manganês à aplicação do lodo no solo é, provavelmente, decorrente da elevação do pH.

Analisando os dados obtidos no experimento, observou-se que a disponibilidade do manganês, inicialmente, não se alterou, diminuindo exponencialmente em seguida.

O chumbo e o cromo são considerados como elementos tóxicos às plantas. Ao terem a sua disponibilidade reduzida, podem ter sua concentração no meio suficientemente diminuída, de modo que a quantidade absorvida não atinja, nos tecidos vivos das plantas, a concentração prejudicial à vida. No nosso caso, as concentrações de chumbo encontradas no lodo industrial primário teve sua disponibilidade reduzida, em decorrência da elevação do pH.

Com relação ao cromo, existem menções na literatura sobre um possível efeito benéfico do cromo, como sulfato crômico, na concentração de 0,5 mg/dm³, na cultura do milho^[12].

No presente estudo, verificou-se que a disponibilidade do cromo diminuiu, inclusive com um rápido decréscimo inicial, o que pode isso estar relacionado a elevação do pH.

As observações anteriores indicam que os efeitos ambientais possíveis, decorrentes da aplicação do lodo industrial, no tocante ao chumbo e ao cromo, parecem não ser tão preocupantes como suposto inicialmente. Deve-se frisar que esses elementos são persistentes e que aplicações sucessivas podem promover seu aumento progressivo no solo, podendo ultrapassar a capacidade de retenção e induzir problemas ambientais no futuro.

A disponibilidade de cobre, zinco e níquel aumentou, conforme o esperado. O lodo industrial primário apresenta teores razoáveis desses elementos na sua composição. Esses três elementos apresentaram resposta assintótica tanto para doses quanto para o tempo de incubação.

O zinco e o cobre são considerados elementos micronutrientes (traços de metais) essenciais às plantas, enquanto o níquel é considerado um elemento tóxico. Porém, deve-se evitar a denominação de "elemento tóxico", pois é de difícil definição, já que qualquer elemento essencial ou útil poderá vir a ser tóxico, a depender da quantidade que é fornecido ou aplicado.

A matéria orgânica exerce grande influência na quelatação dos cátions desses elementos traços. A usual intensidade relativa de quelatação é: cobre > níquel > zinco > manganês.

Como o ferro é mais rapidamente adsorvido que qualquer um deles, a sua presença sob a forma solúvel diminui a tendência de quelatação de todos esses elementos. No entanto, elevado pH, associado à boa drenagem, reduz a possibilidade do ferro solúvel estar presente em quantidade apreciáveis.

Deve-se lembrar, novamente, que mesmo sendo nutrientes, o zinco, o cobre e os outros elementos estudados são exigidos em pequenas quantidades, de modo que acima de um determinado valor de disponibilidade no solo, as plantas podem apresentar sinais de toxicidade.

3.5 - Argila Dispersa em Água, Equivalente de Umidade e Ponto de Murcha Permanente

Com relação às alterações físicas do solo, a argila dispersa em água, apresentou decréscimo exponencial, tanto em função da dose aplicada do lodo como, também, em função do tempo de incubação.

Devido à própria característica do solo da região em estudo (Podzólico Amarelo), que naturalmente apresenta grande parte do seu conteúdo de argila dispersa, esses solos são muito frágeis e de manejo delicado. Assim, a floculação das argilas, nesses contextos, é benéfica para o solo. Essa floculação ocorre, provavelmente, pelo aumento do pH e de bases trocáveis no solo, entre as quais pode-se destacar o cálcio^[6].

A floculação das argilas, no presente estudo, pode ser explicada pelo baixo teor de argila do solo estudado e pela elevação do pH e da quantidade de bases trocáveis no solo, com destaque para o cálcio. O fenômeno físico-químico envolvido é explicado pelo aumento do poder floculante dos cátions, que aumenta dos monovalentes para os trivalentes.

Para o equivalente de umidade, verificou-se efeito assintótico, tanto na dose aplicada do lodo industrial quanto no tempo de incubação.

A adição do lodo elevou o potencial do solo de reter água. Isso pode decorrer do aumento do teor de carbono orgânico no solo, que apresentou o mesmo tipo de resposta.

Verificou-se que o teor de umidade do ponto de murcha permanente do solo estudado, aumentou assintoticamente com a elevação da quantidade do lodo e do tempo de incubação. Essa resposta pode estar relacionada ao elevado conteúdo mineral do lodo.

3.6 - Compostagem

O lodo primário não apresentou qualquer restrição química para ser compostado, apresentando, inclusive, rápida mineralização dos seus componentes. As reações pertinentes ao processo de compostagem iniciaram-se logo após a confecção da meda e foram monitoradas pelo aumento da temperatura inerente ao processo. Em condições normais de umidade para a compostagem (60 a 80% em peso), esta ocorreu satisfatoriamente. Porém, por ter sido realizada em condições de campo, a ocorrência de chuvas no período evidenciou que, fisicamente, o lodo não apresenta resistência suficiente para ser utilizado na confecção de meda, porque mostra uma excelente capacidade de reter água (450%), além de fluir como lama e apresentar problemas de anaerobiose, quando muito úmido.

A aplicação de palhadas, folhas ou cascas de árvores facilitaria a construção da meda, a manutenção de seu formato, além de propiciar melhores condições de aeração. Essas providências tornariam a compostagem tecnicamente viável em condições de campo, porém, para condições empresariais, isso seria de difícil operacionalização.

4. Conclusões

Baseando-se nas observações de campo do experimento e na análise dos dados obtidos em laboratório, chega-se às seguintes conclusões:

- o lodo primário apresenta elevado resíduo mineral e elevada capacidade de reter água, flui como lama quando saturado com água e possui nutrientes, pequena carga de metais pesados e altos teores de cálcio, sílica e sódio;

- o lodo primário não é um bom componente para se construir uma meda de compostagem, a não ser que se coloque algum material que possibilite dar formato à meda;

- as características físicas e químicas do material de solos estudados no ensaio de incubação foram afetados pela adição do lodo primário e responderam segundo o modelo básico:

$$Y = B_0 - B_1 \times (e^{-b_2 \times \text{dose}}) + B_3 \times (e^{-B_4 \times 1/\text{tempo}});$$

- a aplicação do lodo industrial resultou em elevação do pH do solo, com conseqüente diminuição da disponibilidade dos metais pesados estudados;

- o teor de argila em água diminuiu, e o equivalente de umidade e ponto de murcha permanente aumentaram; e

- o ensaio em casa de vegetação mostrou possibilidade para aplicação direta do lodo industrial sobre a superfície do solo.

6. Bibliografia

1. SPRINGER, Allan M. (1993) - **Industrial Environmental Control**. Pulp and Paper Industry. Second Edition- Tappi Press, 699p.
2. WIEGAND, P. S. and UNWIN, J. P. 1994 - **Alternative Management of Pulp and Paper Industry Solid Wastes**. In.: Tappi Journal, Vol. 77, Nº 4. 91-97p.
3. HARRISON, R. B. et al. 1993 - **Recycling of Industrial Wases antd Forest Harvesting Residues on Forest Lands**. In.: I Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal - SIF, Belo Horizonte, 11 a 14/05/1993.
4. RADAMBRASIL (1987) - **Levantamento de Recursos Naturais**. Volume 34, Folha SE. 24 Rio Doce. IBGE. Rio de Janeiro. 548p.
5. BROWNELL, P. F. (1965) - **Sodium as an Essencial Micronutrient Element for a Higher Plant (*Atriplex vesicaria*)**. Plant Physiology. 40(3): 460-68.
6. SOUZA, C. M. de, (1988) - **Efeito do Uso Contínuo de Grade Pesada sobre Algumas Características Físicas e Químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Fase Cerrado, e sobre o Desenvolvimento das Plantas e Absorção de Nutrientes pela Cultura da Soja**. (Tese de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, UFV, MG. 105p.
7. VANDERLEI, B. 1994 - **Utilização de Resíduos Industriais na Ripasa S/A. Celulose e Papel como Insumos na Produção Florestal**. In.: GERRINI, I. A. et al., eds. Seminário sobre o Uso de Resíduos Industriais e Urbanos em Florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994.
8. BELLOTE, Antonio et al. 1994 - **Implicações Ecológicas do Uso de Cinza de Caldeira e Resíduo de Celulose em Plantios de *Eucalyptus grandis***. In.: GERRINI, I. A. et al., eds. Seminário sobre o Uso de Resíduos Industriais e Urbanos em Florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994.

9. GERRINI, Iraê A. 1994 - **Influência da Aplicação de Resíduos Industriais de Fábrica de Celulose e Papel em Plantios de Eucalipto: Efeitos no Solo e na Planta.** In.: GERRINI, I. A. et al., eds. Seminário sobre o Uso de Resíduos Industriais e Urbanos em Florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994.
10. FABRES, A. S., COUTO, C. e CONCEIÇÃO, D. A. 1994 - **Uso de Resíduo Industrial de Celulose em Florestas.** In.: GERRINI, I. A. et al., eds. Seminário sobre o Uso de Resíduos Industriais e Urbanos em Florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994.
11. BERGAMIN, F. N. et al. 1994 - **Resíduo de Fábrica de Celulose e Papel: Lixo ou Produto?** In.: GERRINI, I. A. et al., eds. Seminário sobre o Uso de Resíduos Industriais e Urbanos em Florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994.
12. MALAVOLTA, E. (1980) - **Elementos de Nutrição Mineral das Plantas.** São Paulo. Agronômicas Ceres. Cap. 6, 130 - 205p.