

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 202

Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel

Shizuo Maeda

Epitágoras Rodson Oliveira Costa

Helton Damin da Silva

Embrapa Florestas

Colombo, PR

2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.cnpf.embrapa.br

sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Antonio Aparecido Carpanezi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Cristiane Vieira Helm, Elenice Fritzsos, Jorge Ribaski, José Alfredo Sturion, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Roskamp Câmara

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Foto da capa: Shizuo Maeda

1ª edição

1ª impressão (2010): sob demanda

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Maeda, Shizuo.

Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel [recurso eletrônico] / Shizuo Maeda, Epitágoras Rodson Oliveira Costa, Helton Damin da Silva. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2010.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 202)

1. Indústria de papel e celulose. 2. Resíduo industrial. 3. Fertilidade do solo. Nutrição de planta. I. Costa, Epitágoras Rodson Oliveira. II. Silva, Helton Damin da. III. Título. IV. Série.

CDD 676.042 (21. ed.)

Autores

Shizuo Maeda

Engenheiro agrônomo, Doutor,
Pesquisador da Embrapa Florestas,
maeda@cnpf.embrapa.br

Epitágoras Rodson Oliveira Costa

Engenheiro Agrônomo, Mestre,
Gerente Florestal da Volta Grande
Reflorestamento Ltda.,
epitágoras@cvg.ind.br

Helton Damin da Silva

Engenheiro florestal, Doutor,
Pesquisador da Embrapa Florestas,
helton@cnpf.embrapa.br

Apresentação

O aproveitamento de resíduos industriais é um tema relevante do momento, tanto no aspecto ambiental quanto no econômico. As preocupações decorrentes da disposição inadequada de resíduos, com conseqüente contaminação dos recursos hídricos e do solo, concomitante com o aproveitamento daqueles como insumo para a produção de bens de consumo, têm demandado a ação das instituições de pesquisa no sentido de viabilizar o aproveitamento desses resíduos, solucionando o problema ambiental de descarte e dando um destino nobre para os mesmos.

Desde 1995, a Embrapa Florestas vem estudando o uso de resíduos gerados na fabricação de celulose e papel como insumo para aplicação em plantios florestais, em parceria com as empresas geradoras dos resíduos. Os trabalhos têm sido conduzidos em parceria com empresas produtoras de celulose e papel e empresas recicladoras de papel.

Relatam-se nessa publicação os resultados de pesquisas realizadas pela Embrapa Florestas sobre o tema.

Ivar Wendling

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Fontes geradoras de resíduos	10
Mecânicos	10
Semiquímicos	10
Químicos	10
Identificação e caracterização de resíduos do processo kraft para extração de celulose	12
Resíduos do manuseio da madeira e da preparação dos cavacos ..	12
Resíduos da clarificação do licor verde (dregs)	13
Resíduos do apagamento da cal virgem (grits).....	14
Lama de cal	14
Resíduos da caldeira para geração de energia – cinzas	15
Resíduos da estação de tratamento de efluentes (ETE e lodo de ETE ou celulósico)	16
Resíduos da estação de tratamento de efluentes (ETE) (lodo de ETE ou celulósico) da reciclagem de papel.....	18
Diplomas Legais	20
Resultados de pesquisas	22
Resultados de trabalhos com lama de cal	30

Resultados da aplicação de lodo celulósico obtido em estação de tratamento de efluentes da extração de celulose	31
Resultados da aplicação de lodo celulósico obtido em estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel.....	34
Resultados de trabalhos conduzidos para avaliar o efeito de cinzas de madeira em <i>Pinus taeda</i>: conduzidos em condições de vaso e campo.....	38
Conclusões e considerações	46
Referências	47

Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel

Shizuo Maeda

Epitágoras Rodson Oliveira Costa

Helton Damin da Silva

Introdução

Resíduos são materiais de qualquer natureza, descartados nos processos de produção, transformação, utilização ou consumo, sem valor de mercado estabelecido, podendo, contudo, ser reciclado imediata ou posteriormente.

A atividade industrial para produção de papel, a partir da extração da celulose da madeira ou da reciclagem, está associada à geração de resíduos em diferentes quantidades e composições química.

Os resíduos gerados necessitam ser adequadamente dispostos em aterros industriais ou podem ser aplicados em áreas agrícolas ou florestais, ou mesmo usados em outros processos industriais. A disposição em aterros, além do custo de construção, gera altos e prolongados custos de manutenção. A utilização dos resíduos como insumo agrícola ou florestal, além do problema ambiental, evitado com a sua armazenagem e guarda, resolve o problema da correção e manutenção da fertilidade dos solos onde são aplicados. Porém, estudos para encontrar técnicas para seu uso seguro são necessários, uma vez que alguns componentes presentes nestes resíduos podem ser prejudiciais ao ambiente e ao homem.

Relata-se nesse documento resultados obtidos pela Embrapa Florestas em parceria com empresas do setor de celulose e papel sobre a avaliação de resíduos de fábricas de celulose e papel e da reciclagem de papel.

Fontes geradoras de resíduos

São três os principais processos para fabricação de polpa celulósica (GERENCIAMENTO ..., 1989):

Mecânicos

Nesse processo, as fibras de celulose, de madeira normalmente duras, são liberadas por processos físicos com pequena ou sem a extração de componentes secundários da fibra, tais como hemicelulose, lignina, carboidratos e resinas. A extração mecânica caracteriza-se pelo alto rendimento operacional (90% a 95% em polpa), sendo as fibras extraídas curtas e de baixa estabilidade e resistência. Em decorrência disso, o material obtido é utilizado na produção de papéis, nos quais a opacidade é importante, como nos casos de jornal, papel de parede e papelões.

Semiquímicos

Trata-se de um processo misto em que cavacos, normalmente de madeira dura, são submetidos ao cozimento em meio neutro ou alcalino, complementado por processo físico para extração das fibras celulósicas. O rendimento operacional é médio (70% a 80% em polpa) e as fibras extraídas são utilizadas na fabricação de papéis corrugados.

Químicos

Nos processos químicos, a extração das fibras é feita em meio ácido ou alcalino. Normalmente são utilizadas madeiras macias e o rendimento operacional é baixo (46% a 56%). As fibras obtidas são longas e utilizadas para a produção de papéis de alta qualidade. O processo mais conhecido de extração inteiramente

química é o *kraft*, palavra do idioma alemão que, em português, significa forte.

No Brasil, o processo kraft é utilizado em cerca de 90% das fábricas de celulose e papel, o que se deve à economicidade do processo em razão da possibilidade de recuperação dos produtos químicos utilizados na digestão da matéria-prima empregada. Um diagrama representativo da natureza cíclica do processo de recuperação é apresentado nas Figuras 1 e 2.

O enfoque desse texto foi concentrado em resíduos gerados por indústrias que utilizam o processo kraft para extração da celulose, por ser esse processo o mais utilizado no Brasil. Na Figura 1 é mostrado um exemplo de diagrama do fluxo do processo kraft de produção de celulose e papel e na Figura 2 é mostrado o processo cíclico de recuperação dos licores do processo de digestão da madeira do processo kraft.

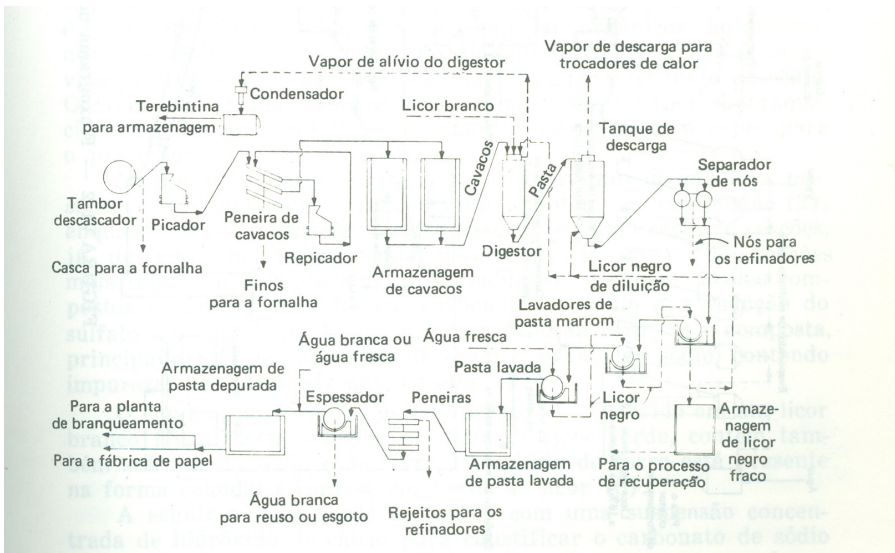


Figura 1. Diagrama do fluxo do processo kraft de obtenção de celulose. Fonte: Pinho e Cahen (1981).

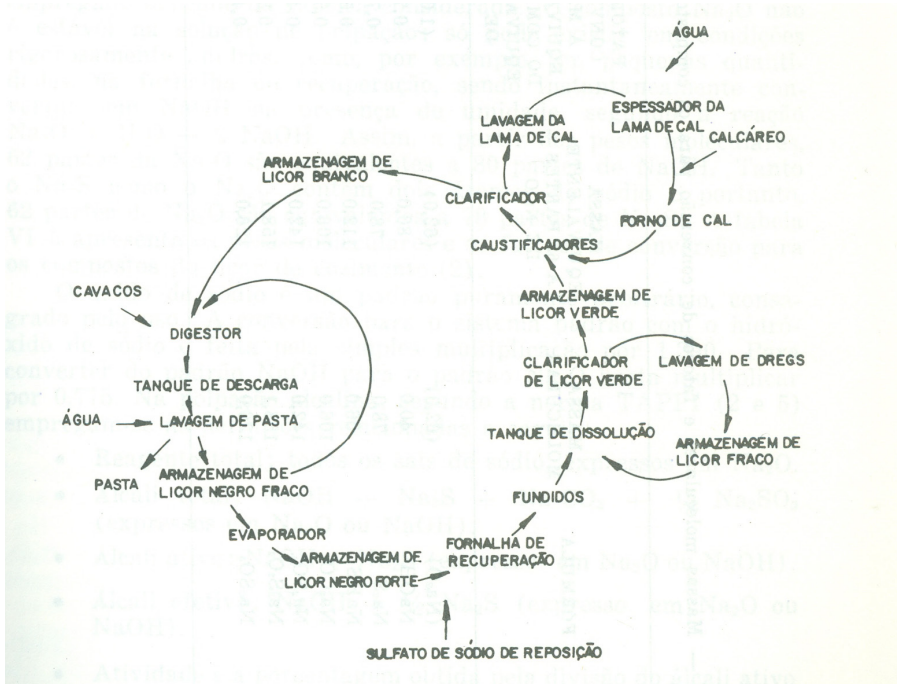


Figura 2. Diagrama da natureza cíclica de recuperação dos produtos do processo kraft.
Fonte: Pinho e Cahen (1981).

Além dos resíduos gerados no processo de recuperação do licor de digestão da madeira, outros resíduos gerados na planta industrial kraft são as cascas de tronco, a cinza de biomassa vegetal, o lodo celulósico e lixos não relacionados com os processos industriais.

Identificação e caracterização de resíduos do processo kraft para extração de celulose

Resíduos do manuseio da madeira e da preparação dos cavacos

As toras de madeira que são utilizadas para extração de celulose são, inicialmente, descascadas em tambores rotativos, sendo, em seguida, trituradas em picador para obtenção dos

cavacos que são digeridos para obtenção da celulose. Antes da colocação dos cavacos nos digestores, é feito um peneiramento dos cavacos para sua padronização por tamanho, para que a digestão seja realizada de forma uniforme. Portanto, na etapa de preparação dos cavacos, os resíduos gerados são casca, serragem, areia, pequenos cavacos e outros materiais que não são utilizados para obtenção da celulose (GERENCIAMENTO..., 1989).

Resíduos da clarificação do licor verde (dregs)

O “dregs” é um resíduo alcalino, sólido, de cor escura e de baixa granulometria, formado de impureza do processo de combustão do licor negro concentrado na caldeira de recuperação do licor de cozimento (licor branco). É um material insolúvel no licor verde, removido na etapa de clarificação desse licor antes da caustificação. Óxidos de cálcio oriundos dos licores do processo, matéria orgânica e compostos de enxofre, sódio e magnésio, são os componentes predominantes no dregs. A composição química típica do dregs é apresentada na Tabela 1. Os metais presentes no dregs podem ser oriundos do desgaste dos equipamentos utilizados no processo e da matéria-prima utilizada para extração de celulose.

Tabela 1. Características químicas de dregs.

Parâmetro	Valor ⁽¹⁾	Parâmetro	Valor
CaO - %	35,7	Pb - mg kg ⁻¹	50
MgO - %	3,62	Cu - mg kg ⁻¹	100
Sulfitos - %	1,6	As - mg kg ⁻¹	3
N-NH ₃ - %	< 0,005	Fe - mg kg ⁻¹	4800
N-total - %	< 0,01	Mg - mg kg ⁻¹	16000
C (fixo a 105 °C) - %	20,8	Mn - mg kg ⁻¹	5800
Compostos de sódio - %	4,7	Ni - mg kg ⁻¹	100
Metais - %	3,2	Ti - mg kg ⁻¹	500
Silicatos (balanço) - %	30,4	Zn - mg kg ⁻¹	400
Sb - mg kg ⁻¹	20	Al - mg kg ⁻¹	4800
Cd - mg kg ⁻¹	5	PN - %	72 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Gerenciamento ... (1989); ⁽²⁾ Nolasco et al. (2005).

Resíduos do apagamento da cal virgem (grits)

São resíduos sólidos, alcalinos, de natureza granular, de cor amarelada e sem cheiro característico que resultam do processo de calcinação da lama de cal e do calcário nos fornos de cal. Nos grits predominam óxidos de cálcio, de magnésio e de potássio, resultantes da sinterização da lama de cal. Os teores de metais são menores que os apresentados pelos dregs. A composição típica do grits é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Característica química de grits.

Parâmetro	Valor ⁽¹⁾	Parâmetro	Valor
CaO - %	53,0	Al - mg kg ⁻¹	3100
MgO - %	183	Sb - mg kg ⁻¹	20
K ₂ O - %	1,2	Cd - mg kg ⁻¹	50
Sulfitos - %	0,7	Pb - mg kg ⁻¹	50
Hidróxidos - %	0,4	Cu - mg kg ⁻¹	20
Sílica solúvel - %	0,4	As - mg kg ⁻¹	2
N-NH ₃ - %	< 0,005	Fe - mg kg ⁻¹	1600
N-total - %	< 0,01	Mg - mg kg ⁻¹	2800
Compostos de sódio - %	0,13	Mn - mg kg ⁻¹	200
Metais - %	0,84	Ni - mg kg ⁻¹	40
Silicatos (balanço) - %	41,5	Ti - mg kg ⁻¹	500
PN - %	100 ⁽²⁾	Zn - mg kg ⁻¹	10

⁽¹⁾ Gerenciamento ... (1989); ⁽²⁾ Nolasco et al. (2005).

Embora o dregs e o grits sejam coletados separadamente na indústria, ambos acabam misturados e dispostos em aterros industriais e outras formas de destinação.

Lama de cal

É um resíduo sólido de coloração cinza claro, homogêneo e sem odor característico, gerado no processo de clarificação do licor verde, conforme descrito a seguir:



A lama de cal é processada para a recuperação da cal hidratada, o que se dá por meio de combustão e hidratação. Esse resíduo é gerado quando o forno de caustificação tem capacidade limitada ou quando necessita de manutenção e parte da lama de cal necessita ser descartada (NOLASCO et al., 2005; BERGAMIN et al., 1994). A composição química da lama de cal típica encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Composição de lama de cal.

Parâmetro	Valor⁽¹⁾
pH em água	12,8
N (%)	0,09
P ₂ O ₅ (%)	0,32
K ₂ O (%)	0,09
CaO (%)	33,59
MgO (%)	0,79
S (%)	0,13
Na (%)	1,54
Matéria orgânica (%)	3,47
Densidade (kg m ⁻³)	950
PRNT (%)	72

⁽¹⁾ Benedetti (1994).

Resíduos da caldeira para geração de energia – cinzas

Em geral, parte da energia necessária nas indústrias de celulose e papel é transformada em caldeiras de forças auxiliares, nas quais são geradas cinzas residuais da combustão, principalmente da madeira ou de carvão mineral. A composição é variável de acordo com o material utilizado e da intensidade da queima. No caso da utilização de biomassa florestal, a composição média típica é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Característica química de cinza de biomassa florestal.

Parâmetro	Valor⁽¹⁾
SiO ₂ - %	18 – 25 ⁽¹⁾
CaO - %	25 – 35 ⁽¹⁾
MgO - %	6 – 7 ⁽¹⁾
Fe - %	3 – 5 ⁽¹⁾
Al ₂ O ₃ - %	2 – 4 ⁽¹⁾
P ₂ O ₅ - %	1,6 – 3,4 ⁽¹⁾
Na ₂ O - %	0,5 – 0,9 ⁽¹⁾
Mn - %	0,5 ⁽¹⁾
K ₂ O - %	10 – 15 ⁽¹⁾
Perda de fogo - %	6 – 20 ⁽¹⁾
pH em água ⁽²⁾	10,3 ⁽²⁾
N - %	0,36 ⁽²⁾
P ₂ O ₅ - %	0,98 ⁽²⁾
K ₂ O - %	2,39 ⁽²⁾
CaO - %	6,65 ⁽²⁾
MgO - %	1,01 ⁽²⁾
S - %	0,18 ⁽²⁾
Matéria orgânica - %	64,1 ⁽²⁾
Densidade – kg m ⁻³	193 ⁽²⁾
PRNT - %	25

⁽¹⁾ Gerenciamento ... (1989); ⁽²⁾ Benedetti (1994).

Resíduos da estação de tratamento de efluentes (ETE e lodo de ETE ou celulósico)

Dos resíduos gerados em uma fábrica de celulose e papel, os lodos orgânicos ou celulósicos podem corresponder a mais de 50% da massa total, em razão da elevada carga de poluentes dos efluentes líquidos. Esses efluentes resultam dos processos de extração e branqueamento da celulose.

Embora os efluentes sejam submetidos a mais de uma etapa de tratamento, por questões financeiras, os lodos normalmente são prensados e desaguados conjuntamente. Normalmente,

são duas a três as etapas de tratamento dos efluentes, sendo o lodo primário composto basicamente por impurezas como areia e fibras não recuperáveis; o lodo secundário é composto basicamente por matéria orgânica, uma vez que resulta da atividade de microorganismos no tratamento biológico e o lodo terciário é resultado da adição de floculante, como o hidróxido de alumínio para reduzir a turbidez do efluente.

O lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de fábrica de papel e celulose é um material pastoso, com aspecto homogêneo, cor marrom escuro, com odor característico e com elevado teor de umidade (cerca de 80%).

Na Tabela 5 é apresentada a composição média de um lodo celulósico.

Tabela 5. Características químicas de um lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes da extração e branqueamento de celulose.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Índice salino - %	0,1	Pb - mg kg ⁻¹	< 1,0
PRNT- % CaCO ₃	47,6	Cr - mg kg ⁻¹	11,6
Umidade a 60 - 65° C - %	85,1	Cu - mg kg ⁻¹	13,7
pH	8,3	S - mg kg ⁻¹	9,2
Sólidos totais - %	91,5	Fe - mg kg ⁻¹	3.534
Sólidos voláteis - %	73,7	P - g kg ⁻¹	1,7
Carbono orgânico - g/kg	352	Mg - g kg ⁻¹	1,5
Nitrogênio Kjeldahl - g/kg	14,6	Mn - mg kg ⁻¹	251
Nitrogênio nitrato-nitrito - mg kg ⁻¹	23,4	Hg - mg kg ⁻¹	< 1,0
Al - mg kg ⁻¹	58.896	Mo - mg kg ⁻¹	1,4
As - mg kg ⁻¹	2,7	Ni - mg kg ⁻¹	1,5
Ba - mg kg ⁻¹	127	K - mg kg ⁻¹	382
B - mg kg ⁻¹	3,6	Se - mg kg ⁻¹	6,2
Cd - mg kg ⁻¹	< 1,0	Na - mg kg ⁻¹	3631
Ca - g kg ⁻¹	6,0	Zn - mg kg ⁻¹	43,7

Para uma produção anual de 300 mil t de celulose podem ser geradas cerca de 60 mil t de lodo.

Resíduos da estação de tratamento de efluentes (ETE) (lodo de ETE ou celulósico) da reciclagem de papel

No caso específico do lodo resultante do tratamento de efluentes da reciclagem de papel, o resíduo apresenta-se com cor cinza, consistência mais rígida que o lodo da extração de celulose, com odor característico e teor de umidade em torno de 60%. Outras características são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados analíticos da caracterização química realizada na amostra do lodo celulósico obtido em estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Caracterização química da amostra bruta			
pH em água	8,60	Ca - g kg ⁻¹	150,04
Umidade a 65 °C - %	0,90	Pb - mg kg ⁻¹	10,99
Umidade a 105 °C - %	1,55	Co - mg kg ⁻¹	< 9,99
Cinzas - %	55,54	Cu - mg kg ⁻¹	49,14
Matéria Orgânica - %	42,92	Cr total - mg kg ⁻¹	7,09
C total - %	23,84	Fe - g kg ⁻¹	2,48
N total - %	0,03	Mg - g kg ⁻¹	1,76
S total - %	0,04	Mn - mg kg ⁻¹	44,35
P total - %	0,23	Hg - mg kg ⁻¹	0,18
Fenóis totais - mg/kg	5,35	Mo - mg kg ⁻¹	< 9,99
Al - g kg ⁻¹	13,30	Ni - mg kg ⁻¹	< 9,99
As - mg kg ⁻¹	< 49,94	K - mg kg ⁻¹	136,79
Ba - mg kg ⁻¹	94,76	Ag - mg kg ⁻¹	< 4,99
Be - mg kg ⁻¹	< 1,00	Se - mg kg ⁻¹	< 49,94
B - mg kg ⁻¹	< 499,45	Na - mg kg ⁻¹	171,54
Cd - mg kg ⁻¹	< 9,99	Zn - mg kg ⁻¹	265,22
Caracterização química do lixiviado			
As - mg L ⁻¹	< 0,0025	Cr total - mg L ⁻¹	0,05
Ba - mg L ⁻¹	2,13	Hg - mg L ⁻¹	< 0,001
Cd - mg L ⁻¹	< 0,10	Ag - mg L ⁻¹	< 0,05
Pb - mg L ⁻¹	< 0,05	Se - mg L ⁻¹	< 0,005

continua...

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Caracterização química do solubilizado			
Cloretos - mg L ⁻¹	123,76	Cu - mg L ⁻¹	< 0,10
Fenóis totais - mg L ⁻¹	0,11 ⁽¹⁾	Cr total - mg L ⁻¹	< 0,05
Detergente - mg L ⁻¹	0,49	Fe - mg L ⁻¹	12,93 ⁽¹⁾
Nitrato - mg L ⁻¹	1,50	Mn - mg L ⁻¹	0,26 ⁽¹⁾
Sulfato - mg L ⁻¹	< 0,10	Hg - mg L ⁻¹	< 0,001
Al - mg L ⁻¹	7,74 ⁽¹⁾	Ag - mg L ⁻¹	< 0,05
As - mg L ⁻¹	< 0,0025	Se - mg L ⁻¹	< 0,005
Ba - mg L ⁻¹	0,89 ⁽¹⁾	Na - mg L ⁻¹	12,95
Cd - mg L ⁻¹	< 0,0005	Zn - mg L ⁻¹	< 0,10
Pb - mg L ⁻¹	< 0,005	-	-

⁽¹⁾ valores superiores aos limites da NBR 10.004/04.

Na Figura 3 é mostrada a participação relativa de resíduos sólidos gerados em fábricas de celulose e papel do Brasil que utilizam o processo kraft. Ressalte-se que existe variação entre as diferentes fábricas.

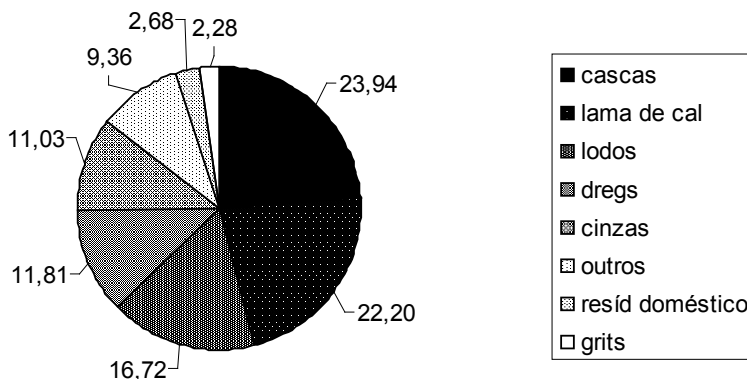


Figura 3. Participação relativa (%) dos resíduos sólidos gerados em fábricas brasileiras de celulose e papel que utilizam o processo kraft. Fonte: O. Filho et al. (1998).

Diplomas Legais

Para a utilização agrícola ou florestal dos resíduos, é necessário conhecer tanto os efeitos sobre a espécie vegetal de interesse quanto os efeitos sobre o solo, a sua fauna, a água subterrânea e a solução do solo.

Até o momento, não existe legislação específica para a utilização dos resíduos gerados pelas indústrias de celulose e papel em áreas de produção agrícola ou florestal. Na inexistência dessa legislação, outros diplomas legais são utilizados para direcionar os trabalhos de pesquisas para avaliar a viabilidade agrônômica, florestal e ambiental.

Dentre os diplomas legais, são considerados os seguintes:

1 - Normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – A ABNT publicou em 2004 um conjunto de normas técnicas com o intuito de padronizar a classificação de resíduos sólidos baseada nas suas propriedades físicas, nas suas características químicas, na presença de agentes patogênicos e na identificação de contaminantes presentes em sua composição. Fazem parte desse conjunto de normas técnicas:

ABNT NBR 10004 - o qual normatiza a classificação de resíduos sólidos;

ABNT NBR 10005 – estabelece um protocolo de procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos;

ABNT NBR 10006 – estabelece um protocolo de procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e

ABNT NBR 10007 – estabelece um protocolo para amostragem de resíduos sólidos.

A NBR 10004 define como resíduo sólido “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Conforme a norma NBR 10004, os resíduos são agrupados nas classes:

- a) Classe I – perigosos;
- b) Classe II – não perigosos;
- c) Classe II A – não inertes;
- d) Classe II B – inertes.

Resíduos Classe I – são os que apresentam riscos à saúde pública e ao ambiente, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, quando manejados de forma inadequada.

Resíduos Classe II A – são os que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe II B, nos termos da norma NBR 10004. Os resíduos dessa classe podem ter propriedades como a biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Em teste de solubilidade, segundo a NBR 10007, libera constituinte(s) em concentrações acima dos padrões de potabilidade de água, definidos pelo Anexo G, da NBR 10004. Resíduos da indústria de celulose e papel, como o lodo celulósico e lama de cal, têm se enquadrado nessa classe de resíduo.

Resíduos classe II B – são os que quando submetidos a teste de solubilização, conforme a NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores ao padrões de potabilidade de água, conforme Anexo G da NBR 10004, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2 – Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 (BRASIL, 2005)

“Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”.

3 – Decisão de Diretoria nº 195-2005-E de 23/11/2005 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005)

“Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências”.

4 – Deliberação CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006)

“Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”

Resultados de pesquisas

Trabalho de incubação foi realizado em condições de laboratório para avaliar o efeito sobre características químicas relacionadas à fertilidade do solo. Nessa atividade, amostras de um Cambissolo Húmico distrófico típico foram submetidas a doses de resíduos relacionados à reciclagem de papel e produção de celulose e

papel (lodo de ETE da reciclagem de papel - Lo1, lodo de ETE de fábrica de celulose e papel - Lo2, lama de cal - LC, cinzas de biomassa florestal de Rio Negrinho, SC - Ci1 e de Irani, SC - Ci2) e carbonato de cálcio - CC, e foram observados os seguintes efeitos (MAEDA et al, 2010):

Todas as características avaliadas foram significativamente influenciadas pela aplicação dos produtos estudados;

O pH em CaCl_2 , os teores de Ca e a saturação por bases (Figuras 4, 5 e 6, respectivamente) aumentaram com o incremento das doses em todos os produtos estudados, sendo os efeitos no pH semelhante entre os produtos; os teores de Ca foram mais expressivos com a aplicação de carbonato de cálcio e lama de cal e os efeitos sobre os valores de V% menos expressivos com a aplicação do lodo celulósico Lo2.

Todos os produtos avaliados são alcalinos, com PRNT de 100%; 23%; 18%; 89%; 23% e 2%, para os produtos CC, Ci1, Ci2, LC, Lo1 e Lo2, respectivamente, o que explica a redução da acidez e do teor de Al observada em todos os tratamentos, indicando o potencial dos resíduos das indústrias de celulose e papel como sucedâneos de calcários agrícolas, quando indicados para a correção dessas características (Figura 7). A presença de Ca (32%; 26,5%; 26,5%; 38%; 15%; 1%, respectivamente para CC, Ci1, Ci2, LC, Lo1 e Lo2) e de Mg (0; 6,8%; 6,8%; 0; 0,2%; 0,1%, respectivamente para CC, Ci1, Ci2, LC, Lo1 e Lo2) explicam os resultados observados nos teores desses elementos com a aplicação dos tratamentos.

Os teores de Mg foram aumentados com a aplicação das cinzas (Figura 8) enquanto os demais materiais apresentaram reduções nos teores de Mg. Os valores observados para os teores de Mg nos demais materiais estão dentro da variação aceitável nos procedimentos analíticos dos laboratórios de fertilidade do solo. Por outro lado, os aumentos observados nos teores de Mg pela

aplicação das cinzas devem-se à presença do nutriente na sua composição.

Foram observados aumentos nos teores de K pela aplicação das cinzas e do lodo celulósico Lo2, sendo mais expressivo na cinza de caldeira Ci1; a aplicação dos demais produtos resultou em redução dos teores de K (Figura 9). As cinzas de caldeira apresentaram em sua composição teores médios de 11% de K, o que explica os expressivos resultados observados com a aplicação desses resíduos na elevação dos teores de K no solo. O carbonato de cálcio e a lama de cal não apresentam K em sua composição, enquanto os teores nos lodos celulósicos Lo1 e Lo2 são reduzidos. Os aumentos observados nos teores de K como resultado da aplicação de doses das cinzas de caldeira e do produto Lo2 resultaram na elevação da saturação de K na CTC efetiva (Figura 10). Nos casos em que a saturação de K foi reduzida, o efeito observado deveu-se ao aumento dos teores de Ca, principalmente, o que resultou em menor participação relativa do K na capacidade de troca de cátions efetiva. O valor de 2,5% para essa característica, considerado adequada por Costa e Oliveira (2001), indica a necessidade de precauções no uso, principalmente das cinzas, para evitar eventuais desequilíbrios nas relações entre os nutrientes no solo.

Os teores de P também apresentaram elevação com o aumento da dose de resíduo, à exceção do observado no lodo Lo1, sendo o efeito maior com a aplicação da cinza Ci2 seguido da Ci1 (Figura 11). Os aumentos observados nos teores de P resultantes da aplicação das cinzas de caldeira devem-se à sua presença na composição das mesmas (Ci1 = 6,2 e Ci2 = 6,2 %), exceção feita ao lodo celulósico Lo1, no qual foi observado redução nos teores de P com o aumento da dose. Com relação ao observado com a aplicação de CC e LC, pode ter ocorrido liberação de P ligados ao Al.

A relação Ca/Mg foi aumentada com a dose em todos os materiais estudados, sendo esse efeito mais expressivo com a lama de cal (LC), o carbonato de cálcio (CC) e o lodo da reciclagem de papel (Lo1) (Figura 12). Produtos com elevados teores de Ca e baixos em Mg, tais como o CC, LC e Lo1, resultaram na elevação dos valores das relações Ca/Mg com o aumento das respectivas doses, o que indica a necessidade de precauções nas suas aplicações, tendo em vista desequilíbrios nutricionais em condições de valores elevados para essa relação, principalmente quando associados a baixos valores no teor de Mg (COSTA; OLIVEIRA, 2001).

Esses resultados indicam a possibilidade de se utilizar tais resíduos como sucedâneos de calcários calcíticos e dolomíticos bem como fontes de Ca, Mg, P, K, sendo necessário realizar estudos de equivalência em fertilizantes para a sua recomendação mais precisa. Com relação à aplicação dos resíduos como corretivo da acidez do solo, os resultados indicam que, uma vez corrigidas as doses a serem aplicadas com base no PRNT dos resíduos, os resultados são equivalentes aos obtidos com a aplicação do carbonato de cálcio.

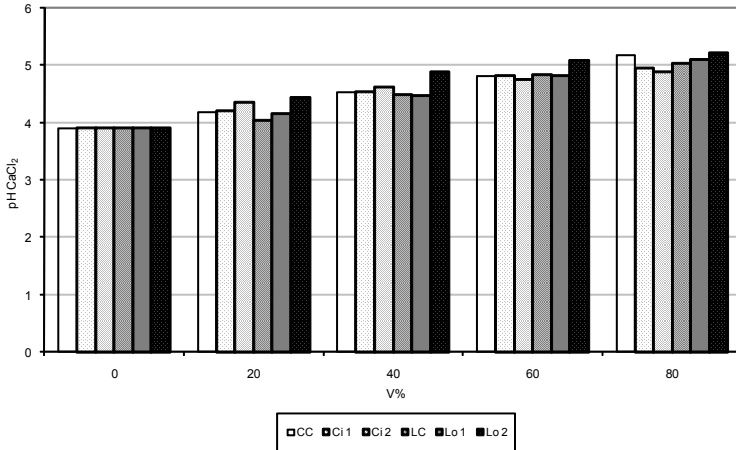


Figura 4. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Piraf do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) no pH em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

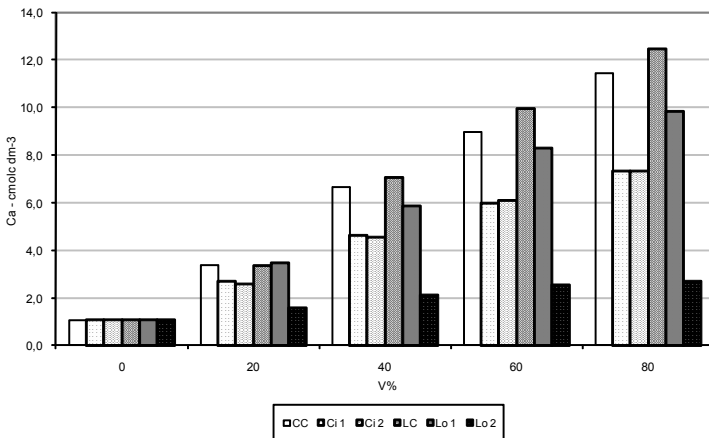


Figura 5. Efeito de doses de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Piraf do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) no teor de Ca, estabelecidas com base no método da saturação por bases em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

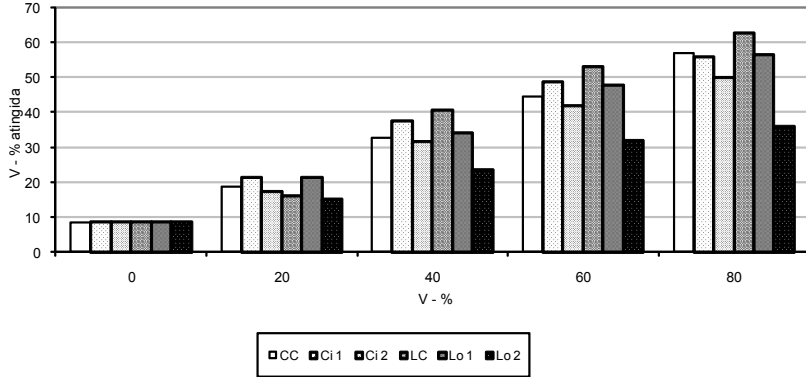


Figura 6. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci 1) e Piraf do Sul (Ci 2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo 1) e da extração de celulose (Lo 2) na saturação por bases em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

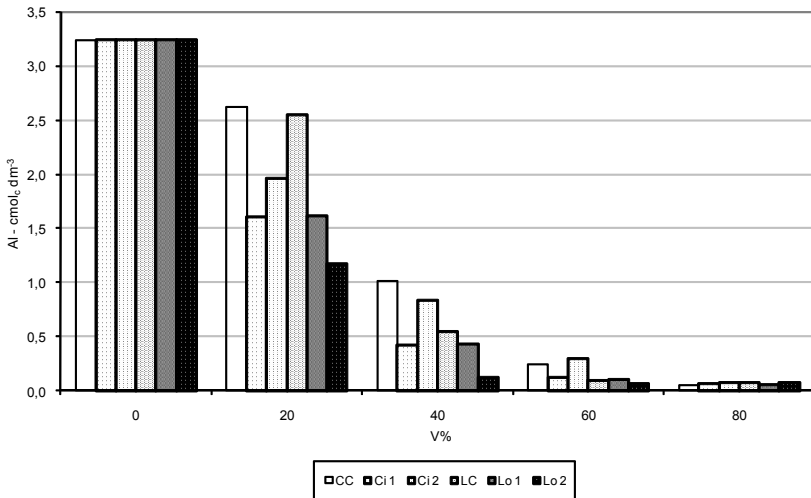


Figura 7. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Piraf do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) no teor de Al, em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

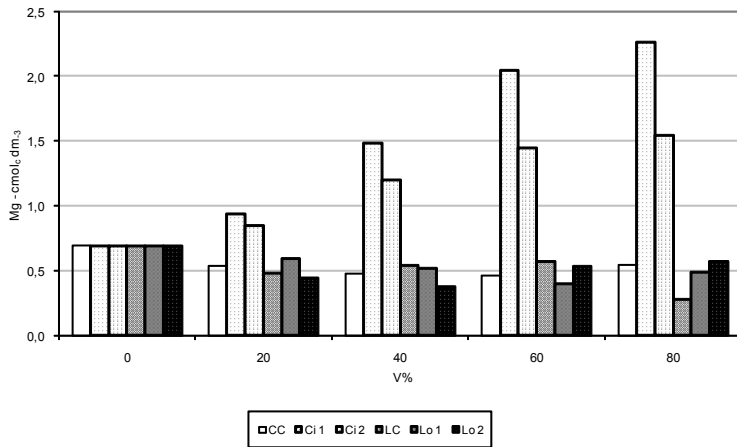


Figura 8. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Pirai do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) no teor de Mg em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

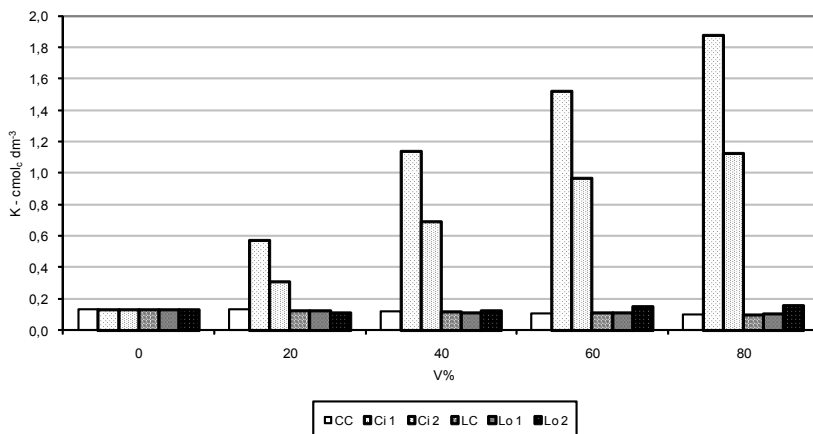


Figura 9. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Pirai do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) no teor de K em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

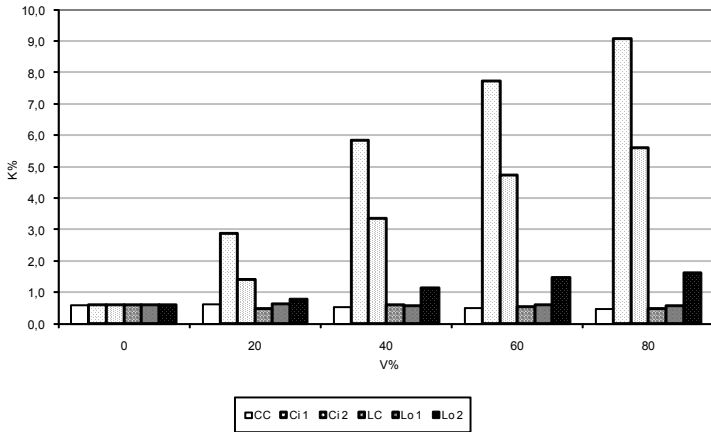


Figura 10. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Pirai do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) na saturação de K na capacidade de troca cátions a pH 7,0, em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

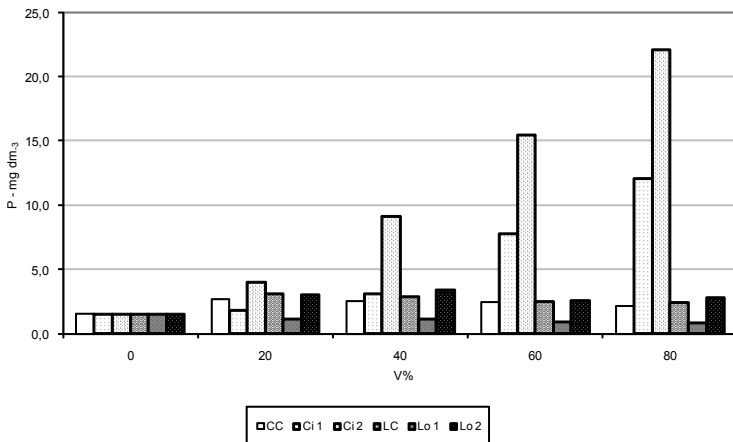


Figura 11. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Pirai do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) no teor de P em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

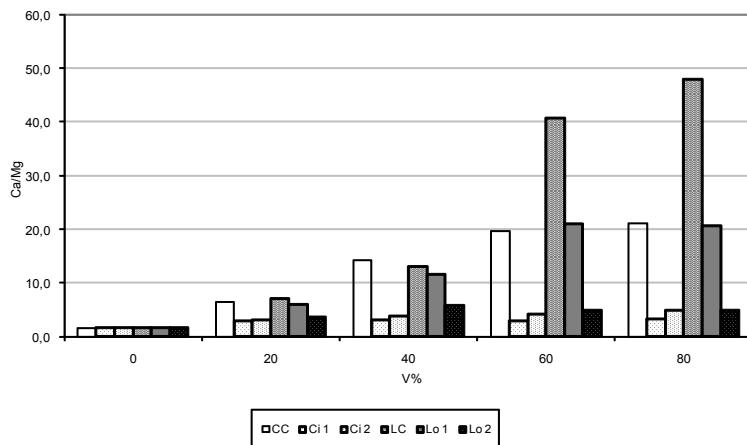


Figura 12. Efeito de doses, estabelecidas com base no método da saturação por bases, de carbonato de cálcio (CC), lama de cal (LC), cinzas de caldeira proveniente de biomassa florestal coletada em Rio Negrinho (Ci1) e Pirai do Sul (Ci2), lodo celulósico proveniente de estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel (Lo1) e da extração de celulose (Lo2) na relação Ca/Mg, em um Cambissolo Húmico distrófico típico.

Resultados de trabalhos com lama de cal

Os resultados obtidos com lama de cal por Maeda et al. (2010) são semelhantes aos observados por Bognola et al. (1997), em Cambissolo distrófico de textura franco-argilosa, e Lourenço (1997), em Cambissolo álico Tb A proeminente, textura muito argilosa. Conforme Lourenço (1997), dez dias de incubação foram suficientes para a ação da lama de cal e do calcário utilizado elevar o pH a uma faixa favorável para a maioria das culturas, quando o teor de umidade foi mantido em 50% da capacidade de campo. Nesse caso, o pH (CaCl_2 0,01M) sem aplicação dos corretivos era de 3,50, com a lama de cal atingiu 6,37 e com carbonato de cálcio, 5,69. Ainda, segundo o autor, os teores de Na adicionados com a aplicação das doses de lama de cal não constitui motivo de preocupação pelos teores atingidos.

Resultados da aplicação de lodo celulósico obtido em estação de tratamento de efluentes da extração de celulose

Ferreira et al. (1995) observaram que a aplicação de lodo celulósico combinado com cinza de caldeira favorece e acelera a decomposição da serapilheira e a consequente liberação de nutrientes para as árvores de *Eucalyptus grandis*, e que a deposição de serapilheira e a sua decomposição foi responsável por 54%, 40% e 15% da acumulação anual de N, P e K na biomassa produzida, respectivamente.

Bellote et al. (1995), em trabalho avaliando o efeito de doses de cinza de madeira e de lodo celulósico, aplicados superficialmente em plantio de *Eucalyptus grandis*, num Latossolo Vermelho amarelo, em Mogi-guaçu, SP, observaram que os efeitos de resíduos aplicados ao solo no crescimento das árvores foram superiores aos observados pela aplicação de N, P e K, na forma mineral, e que a acidez do solo e os teores de Al foram reduzidos pela aplicação dos resíduos, sendo os efeitos mais evidentes na camada 0 a 5 cm.

Andrade et al. (2003) avaliaram o efeito de resíduos celulósicos combinados com doses de P, em árvores de *Eucalyptus dunnii*, plantado em Latossolo Vermelho-amarelo distrófico típico, em Ponta Grossa, PR, que apresentava as seguintes características químicas na camada 0-20 cm: pH em $\text{CaCl}_2 = 4,0$; matéria orgânica – $4,8 \text{ g dm}^{-3}$; traços de P; e os teores ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de K = 0,09; Ca = 1,00; Mg = 0,55; Al = 1,65 e H + Al = 5,76. Em avaliação realizada aos seis anos de idade, os autores concluíram que a espécie respondeu isoladamente à adubação fosfatada e à aplicação de resíduo de celulose com ganhos em volume cilíndrico arbóreo, em relação à testemunha (tratamento sem aplicação de P e de lodo), de 38% a 61%, da menor para

a maior dose de fósforo, e entre 20% e 40% para os níveis de resíduo.

Santana et al. (2006), em trabalho avaliando o efeito da aplicação de resíduo celulósico sobre a população da mesofauna do solo, observaram efeito positivo sobre a população de ácaros e colembolas.

Trabalhos conduzidos em vaso para avaliar o efeito de doses de lodo coletado em Piraí do Sul, na prensa ao final do processo de tratamento e de lodo com um ano de produção (0; 10; 20; 40 e 80 t ha⁻¹, em base seca, com moagem após a secagem) resultantes do tratamento de efluentes da extração da celulose indicaram que, a partir da dose 20 t ha⁻¹, provocam problemas de toxidez para plantas de *Pinus taeda* (caracterizada pela morte das acículas, com início a partir das basais e a partir do ápice das acículas), com efeitos crescentes com o aumento das doses do resíduo, tanto em Neossolo Litótico húmico-alumínico, quanto em Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso. A análise química da água percolada na massa de solo utilizada nos vasos dos diferentes tratamentos não indicou a presença de Ba, Pb, Cr, Cd e Cu em níveis superiores aos críticos mencionados por Brasil (2005). Na Tabela 7 são apresentados os resultados analíticos referentes aos solos utilizados no estudo sobre a aplicação de lodo de ETE da extração de celulose.

Tabela 7. Resultados analíticos dos solos (Neossolo Litólico húmico-aluminico e Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso) antes da aplicação dos tratamentos.

Solo	pH CaCl ₂	C	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Areia	Silte	Argila
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Cambissolo 0-10 cm	3,80	32,91	4,11	0,12	0,24	0,31	3,06	11,26	11,93	5,6	373	75	552
Cambissolo 11-30 cm	3,92	22,58	1,60	0,05	0,18	0,19	2,95	11,26	11,68	3,6	312	96	592
Neossolo 0-10 cm	3,83	27,18	2,41	0,06	0,11	0,25	2,63	9,70	10,12	4,1	774	49	177
Neossolo 11-30 cm	3,88	15,94	1,65	0,04	0,10	0,20	2,63	8,36	8,70	3,9	759	55	186

Extratores para K e P – Mehlich 1

Com relação às características químicas do solo relacionadas à fertilidade, o efeito mais destacado foi observado no teor de P, triplicando o teor deste elemento quando se considera a menor e a maior dose dos resíduos. Embora os efeitos para pH, matéria orgânica, teores de Ca, Mg, K e Al e a saturação por Al e por bases tenham sido estatisticamente significativos, os efeitos, em termos relativos, foram menores do que o observado com o P.

Resultados da aplicação de lodo celulósico obtido em estação de tratamento de efluentes da reciclagem de papel

Trabalho conduzido em condições de vaso com lodo do tratamento de efluentes de reciclagem de papel, coletado em Rio Negrinho, não apresentou problemas visíveis de toxidez para mudas de *Pinus taeda*, tanto em Neossolo Húmico distrófico típico quanto em Cambissolo Húmico distrófico típico. Na água percolada na massa de solo de todos os tratamentos, os teores de Ba, Cr, Na, ortofosfatos e de surfactantes não foram influenciadas pela aplicação das doses do lodo, tanto para efeito de doses quanto para efeito de solo. Foi detectada a presença de Al e Mn em teores superiores aos limites estabelecidos pela mesma resolução CONAMA 357/2005. No entanto, houve efeito apenas de solo e não de doses, o que também foi observado para fenóis, sódio e nitritos. No caso dos nitratos, houve efeito significativo para doses sem que os teores tenham sido superiores aos níveis de referência mencionados na resolução do CONAMA 357/2005 (COSTA et al., 2009).

Após a análise dos ensaios conduzidos em condições de vaso, foram instalados ensaios em nível de campo, nos quais doses do lodo (0, 10, 20, 30 e 40 t ha⁻¹, em base seca) foram aplicadas superficialmente e sem incorporação em plantios de *Pinus taeda* com três idades (no plantio, com 1 ano e 3 anos após o plantio). Nesses ensaios, previstos para condução até o primeiro

desbaste, em torno do sétimo ano após o plantio, estão sendo avaliadas características biométricas (altura e diâmetro do caule), efeitos em características relacionadas à fertilidade do solo (pH e teores de P, K, Ca, Mg, P, Cu, Fe, Mn, Zn, acidez potencial), teores de Cd, Cr, Pb e outros elementos potencialmente tóxicos (Tabelas 8 e 9), bem como efeitos em características físicas do solo. Nos três ensaios em condução, não foram observados efeitos sobre características biométricas, tampouco sobre os teores de nutrientes foliares e sobre características físicas do solo. Os efeitos observados em características químicas relacionadas à fertilidade do solo foram pouco expressivos e limitados às camadas 0 a 5 cm e 5 cm a 10 cm. A falta de resposta à aplicação do resíduo pode se dever a fatores como: falta de incorporação do produto, o que não favoreceu o contato dos nutrientes nele presente com as raízes, condições químicas do solo adequadas para o desenvolvimento das árvores e competição de plantas voluntárias pelos nutrientes liberados pelo resíduo aplicado.

Com relação à contaminação do solo por metais pesados e outros elementos potencialmente tóxicos, não foram observados efeitos da aplicação das doses do lodo na camada de 0 a 20 cm, no ensaio em que o lodo foi aplicado um ano após o plantio do *Pinus taeda* (Tabela 9).

Tabela 8. Características químicas em amostras de solo coletadas em quatro profundidades, em ensaio de aplicação de lodo de ETE no plantio, em condução em Rio Negrinho, SC (médias de quatro repetições).

Dose Mg ha ⁻¹	Camada cm	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	cmolc dm ⁻³			CTC	C.O	P	V	Na	K
						H+Al	SB	Al						
0	0-5	3,74	0,19	0,23	0,31	5,53	18,60	0,76	19,35	38,18	2,17	3,79	6,33	1,00
10	0-5	3,72	0,13	0,50	0,31	5,13	17,92	0,97	18,88	30,86	1,96	5,08	5,33	0,69
20	0-5	4,13	0,14	1,73	0,50	2,97	12,40	2,40	14,80	27,68	1,81	16,46	5,00	0,99
30	0-5	3,95	0,18	1,06	0,47	4,03	13,13	1,74	14,87	25,21	1,91	11,73	5,67	1,23
40	0-5	3,96	0,15	1,50	0,45	4,03	13,81	2,12	15,93	29,22	2,35	12,47	4,67	0,89
P	-	0,005	ns	ns	ns	0,03	0,004	ns	0,01	0,10	ns	0,00	ns	ns
CV	%	2,70	39,34	66,40	22,14	19,00	10,80	46,67	9,08	15,90	32,30	44,30	22,55	36,21
0	5-10	3,9	0,13	0,24	0,26	5,23	16,27	0,65	16,91	29,49	1,39	3,78	4,33	0,78
10	5-10	3,8	0,08	0,28	0,31	5,10	15,74	0,69	16,43	30,14	1,24	4,05	4,33	0,51
20	5-10	4,0	0,06	0,29	0,41	3,73	12,13	0,78	12,92	25,53	1,43	5,92	3,33	0,49
30	5-10	4,0	0,10	0,25	0,28	3,97	13,66	0,65	14,31	25,81	1,73	4,48	3,33	0,74
40	5-10	3,9	0,09	0,37	0,39	4,60	13,24	0,87	14,11	25,51	1,42	6,05	4,00	0,63
P	-	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,01	ns	ns	0,00	ns	ns
CV	%	1,40	36,10	22,70	34,73	15,70	11,58	42,48	11,33	13,90	25,57	16,70	30,23	36,53
0	10-20	3,92	0,09	0,22	0,22	5,30	15,47	0,54	16,01	27,22	0,85	3,36	3,33	0,54
10	10-20	3,89	0,05	0,23	0,27	6,07	16,52	0,55	17,08	27,45	1,00	3,20	3,33	0,29
20	10-20	4,04	0,04	0,23	0,29	3,43	11,84	0,56	12,40	18,88	1,05	4,45	2,33	0,28
30	10-20	4,03	0,07	0,23	0,22	3,77	10,51	0,53	11,04	25,23	0,94	5,38	2,67	0,88
40	10-20	4,00	0,05	0,22	0,34	4,37	12,92	0,63	13,55	22,67	1,29	4,62	3,00	0,40
P	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	%	2,60	15,67	10,80	26,29	21,70	22,90	16,24	21,95	19,80	27,35	35,40	33,52	89,69
0	20-30	4,03	0,05	0,19	0,23	4,87	13,84	0,48	14,32	29,52	0,70	3,24	2,67	0,34
10	20-30	3,99	0,03	0,24	0,17	4,43	14,56	0,44	15,00	30,26	0,79	2,93	2,33	0,20
20	20-30	4,09	0,03	0,22	0,21	3,37	11,40	0,47	11,87	20,14	1,05	3,86	2,00	0,27
30	20-30	4,07	0,06	0,25	0,17	3,63	12,23	0,48	12,71	22,09	0,97	3,74	2,33	0,46
40	20-30	4,06	0,03	0,24	0,26	3,83	13,28	0,54	13,82	22,80	0,85	3,93	2,67	0,24
P	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	%	1,70	42,14	27,10	35,13	19,10	13,84	12,66	13,38	35,00	38,08	17,60	39,16	48,04

Tabela 9. Índices de qualidade do solo (I. qual.) e de prevenção (I. prev.) apresentados por Cetesb (2005) e teores de metais⁽¹⁾ na camada 0-20 cm, observados nos tratamentos de lodo celulósico aplicado um ano após o plantio de *Pinus taeda* e avaliados 2 anos após a aplicação do lodo.

Dose	Cu	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Mo	Ba	As	Se
t ha ⁻¹	mg kg ⁻¹									
0	5,55	26,75 a	0,20	3,50	22,50	20,00	0,20	84,25	3,25	4,00
10	8,50	25,25 a	0,20	4,75	25,25	19,50	0,20	84,00	4,00	4,00
20	10,50	25,25 a	0,20	4,25	25,25	19,25	0,20	74,00	5,00	4,00
30	9,25	22,75 ab	0,20	4,00	28,25	21,50	0,20	88,25	3,00	4,00
40	8,25	15,75 b	0,20	3,75	23,50	18,75	0,20	72,00	2,75	4,00
P	ns	0,01	na	0,05	0,30	ns	na	ns	ns	na
CV - %	32,60	16,40	na	13,30	15,00	26,30	na	50,20	53,60	na
I. qual Cetesb	35	60	0,5	13	40	17	4	75	3,5	0,25
I. prev Cetesb	60	150	1,3	30	75	72	30	150	15	5

⁽¹⁾ Valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si a 5% pelo teste de Tukey; ausência de letras indicam igualdade entre os valores pelo mesmo teste; na – não analisados estatisticamente – valores abaixo dos níveis de detecção; Análises realizadas pelo Laboratório de Análises do Solo da UFGRS – metodologia EPA 3050.

Resultados de trabalhos conduzidos para avaliar o efeito de cinzas de madeira em *Pinus taeda*: conduzidos em condições de vaso e campo.

Com relação à avaliação da cinza de madeira para uso como insumo florestal, além do trabalho de incubação de doses do resíduo, foram conduzidos ensaios em condições de vaso e campo. Em condições de vaso, doses da cinza (equivalentes a 0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹, em base seca) foram incorporadas na camada de 0 a 10 cm de um Cambissolo coletado em Vargem Bonita, SC, e Neossolo Litólico distrófico-alumínico e Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso coletados em Pirai do Sul, PR, e plantadas mudas de *Pinus taeda*. As cinzas foram coletadas em indústrias instaladas em Vargem Bonita e Pirai do Sul, PR. Na Tabela 10 são mostrados os dados analíticos referentes aos solos utilizados no estudo antes da aplicação do resíduo.

Tabela 10. Análises química e física do Neossolo Litólico húmico-alumínico e Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso coletados em Pirai do Sul, PR.

Característica	Solo	
	Neossolo	Cambissolo
pH CaCl ₂	3,90	4,20
K (cmol _c dm ⁻³)	0,15	0,40
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,42	2,52
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,32	0,19
Al (cmol _c dm ⁻³)	2,20	1,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	12,10	6,40
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,03	0,06
V (%)	7,10	33,00
C (mg dm ⁻³)	34,20	24,40
P (cmol _c dm ⁻³)	4,41	0,68
Areia grossa (g 100 g ⁻¹)	56,90	33,70
Areia fina (cmol _c dm ⁻³)	11,70	5,95
Silte (cmol _c dm ⁻³)	17,40	16,35
Argila (cmol _c dm ⁻³)	14,00	44,00

Não se observaram efeitos significativos sobre características biométricas (altura e diâmetro do caule das mudas) em *Pinus taeda*, tanto da cinza coletada em Vargem Bonita quanto da coletada em Pirafó do Sul.

A principal preocupação em relação à aplicação da cinza, além das questões relacionadas com elementos tóxicos eventualmente presentes, refere-se aos desequilíbrios que a mesma pode provocar nas relações entre os nutrientes do solo, reduzindo a disponibilidade dos mesmos para as plantas. Sabe-se que, com a elevação do pH em níveis próximos à neutralidade, pode-se induzir, entre outros efeitos, a deficiências de micronutrientes, como são os casos do Mn e do Zn, por exemplo. No caso desse estudo, à exceção da dose 80 t ha⁻¹, cujo valor do pH em CaCl₂ foi de 5,9, na camada de 0 a 10 cm, o que equivale a aproximadamente 6,4 a 6,6 do pH em água no Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso, esse problema não foi observado.

Embora não existam informações para *Pinus*, no caso da cultura da soja, valores para saturação de K na CTC do solo superiores a 2,5% são desejáveis, por proporcionar condições para aumentar a absorção de K. Neste estudo, no Neossolo Litólico distrófico-alumínico típico argiloso, coletado em Pirafó do Sul, este valor foi superado com a aplicação de 10 t ha⁻¹, nas camadas de 0 a 10 cm, e nas camadas 10 cm a 20 cm e 20 cm a 30 cm, a partir da aplicação de 20 t ha⁻¹. No Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso, o valor de 2,5% foi superado com a aplicação de 10 t ha⁻¹, em todas as camadas avaliadas (Tabela 11).

Com relação à saturação por bases (V%), a faixa considerada adequada para *Pinus* é de 40% a 50%. Nesse trabalho, no Neossolo Litólico distrófico-alumínico, para a camada de 0 a 10 cm, a dose necessária para atingir o limite inferior é de 15,3 t ha⁻¹ e para atingir o limite superior é de 21,3 t ha⁻¹. Considerando o valor

médio da saturação por bases das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, as quantidades de cinza necessárias para atingir 40% e 50% do valor de V seriam respectivamente de 15 e 22 t ha⁻¹, valores similares quando se considera apenas a camada 0 a 10 cm (Tabela 11). No Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso, a saturação por bases na camada 0 a 10 cm, sem aplicação do resíduo, foi de 50,6% e com a aplicação da maior dose, 83,4%, diferença de 32,8%. Por apresentar menor CTC, o efeito da aplicação de cinza foi mais pronunciado no Neossolo Litólico distrófico-alumínico – $V = 12,4\%$ na menor dose e $V = 82,9\%$ na maior dose – diferença de 70,5% (Tabela 11), indicando que maiores cuidados devem ser observados quando da aplicação de cinza de biomassa vegetal em solos com características semelhantes às apresentadas pelo solo estudado. No caso do Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso, quando se considera a média das camadas 0 a 10 cm e 10 cm a 20 cm, a dose estimada para elevar a saturação por bases a 50% é de 7,7 t ha⁻¹ (Tabela 11).

Uma importante preocupação em estudos sobre a aplicação de cinza de caldeira em áreas de produção agrícola ou florestal é quanto à presença de elementos químicos tóxicos, oriundos da queima de biomassa tratada com conservantes, principalmente os conservantes de madeira CCA e o CCB. Resíduos dos componentes desses conservantes permanecem na cinza, ao contrário de fenóis oriundos, por exemplo, do pentaclorofenato de sódio, que são degradados durante a combustão da biomassa.

Com base em orientações contidas na Portaria MS n.º 518/2004, do Ministério da Saúde, a qual “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”, determinaram-se os teores de Cu, As e Cr total, na água percolada nos vasos dos tratamentos com dose 0 e 80 t ha⁻¹ da cinza aplicada. Embora tenha sido detectada a presença desses

elementos na cinza utilizada, os teores de Cu, As e Cr total, em todas as doses, situaram-se em níveis inferiores ao valor máximo permitido (VMP), o que pode ser atribuído, entre outros fatores, aos baixos teores dos elementos presentes na cinza (Tabela 12). Resultados semelhantes foram observados no ensaio conduzido em Cambissolo Húmico distrófico, coletado no Município de Vargem Bonita, SC (Tabela 13).

Em condições de campo, o trabalho conduzido em Vargem Bonita, SC, em Cambissolo Húmico distrófico, em que doses de cinza de madeira (0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹) foram aplicadas superficialmente em plantio de *Pinus taeda* com 2 anos de idade, não se observou efeito em características biométricas das árvores, no primeiro e segundo anos após a aplicação dos tratamentos.

Os resultados analíticos de amostras de solo coletadas na camada de 0 a 20 cm (Tabela 14) mostram efeitos pronunciados sobre o pH, os teores de K, Ca, Mg, Al e P e sobre a saturação por bases, confirmando os efeitos observados com a aplicação de doses de cinza de madeira no trabalho relatado anteriormente.

Tabela 11. Teste de Tukey (5%) aplicado em características químicas de amostras de solo coletadas nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm do Neossolo Litólico distrófico-alumínico (neo) e Cambissolo Húmico distrófico típico argiloso (camb) submetidos a doses de cinza de caldeira. Efeito de doses em cada camada (médias de quatro repetições).

Solo	Dose (t ha ⁻¹)	Camada (cm)	pH CaCl ₂	Ca	Mg	Al	K	H + Al	t
				(cmol _c dm ⁻³)					
Neossolo	0	0-10	4,2 e	0,4 d	0,3 d	0,7 a	0,1 d	6,3 a	0,9 c
	10	0-10	4,4 d	1,6 cd	0,7 cd	0,5 b	0,2 cd	5,3 b	2,6 c
	20	0-10	4,7 c	3,1 bc	1,5 b	0,3 c	0,4 c	4,4 c	5,1 b
	40	0-10	5,0 b	3,8 b	1,4 bc	0,0 d	0,7 b	3,4 d	6,0 b
	80	0-10	5,5 a	7,3 a	2,5 a	0,0 d	1,2 a	2,3 e	11,1 a
	0	10-20	4,2 c	0,6 c	0,2 c	0,8 a	0,1 c	6,4 a	1,0 c
	10	10-20	4,2 c	1,2 bc	0,9 b	0,6 ab	0,2 c	6,1 ab	2,3 bc
	20	10-20	4,4 bc	2,6 b	1,0 b	0,4 bc	0,3 bc	5,4 bc	4,0 b
	40	10-20	4,6 b	2,4 b	1,0 b	0,3 c	0,5 b	4,7 c	4,0 b
	80	10-20	5,0 a	5,8 a	2,0 a	0,0 d	1,0 a	3,3 d	8,9 a
	0	20-30	4,2 b	0,6 b	0,3 b	0,7 a	0,1 b	6,4 a	1,0 b
	10	20-30	4,1 b	0,8 b	0,5 b	0,7 a	0,2 b	6,6 a	1,5 b
	20	20-30	4,2 ab	1,5 b	0,7 b	0,7 a	0,2 b	6,2 ab	2,4 b
	40	20-30	4,1 b	1,6 b	0,7 ab	0,6 a	0,2 b	6,8 a	2,5 b
	80	20-30	4,4 a	3,6 a	1,6 a	0,3 b	0,5 a	5,2 b	5,7 a
Cambissolo	0	0-10	4,4 d	3,8 abc	1,6 ab	0,3 a	0,2 d	5,4 a	5,6 bc
	10	0-10	4,7 c	3,0 bc	1,3 b	0,2 b	0,3 cd	4,3 b	4,7 c
	20	0-10	4,9 c	2,5 c	1,8 ab	0,0 c	0,5 c	3,6 c	4,9 c
	40	0-10	5,3 b	4,1 ab	1,9 ab	0,0 c	0,9 b	2,6 d	7,0 b
	80	0-10	5,9 a	4,9 a	2,6 a	0,0 c	1,3 a	1,8 e	9,0 a
	0	10-20	4,4 d	3,1 ab	1,1 b	0,3 a	0,2 d	5,4 a	4,5 b
	10	10-20	4,5 cd	2,7 b	1,5 b	0,3 a	0,4 cd	4,9 b	4,6 b
	20	10-20	4,7 c	2,5 b	1,4 b	0,1 a	0,6 bc	4,4 b	4,6 b
	40	10-20	4,9 b	3,5 ab	1,3 b	0,1 a	0,8 b	3,6 c	5,7 b
	80	10-20	5,7 a	4,8 a	2,4 a	0,0 b	1,2 a	2,2 d	8,6 a
	0	20-30	4,4 b	2,0	1,0	0,3 a	0,4 b	5,2 a	3,5
	10	20-30	4,5 ab	2,7	1,3	0,2 ab	0,4 b	5,a ab	4,5
	20	20-30	4,4 b	2,1	0,9	0,2 b	0,4 b	5,2 a	3,7
	40	20-30	4,5 ab	2,6	0,8	0,2 ab	0,5 ab	5,1 ab	4,0
	80	20-30	4,6 a	3,1	1,2	0,2 b	0,6 a	4,6 b	5,0

⁽¹⁾ saturação de K da T; valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente (Tukey 5%); ausência de letras indica igualdade entre os valores pelo mesmo teste.

Tabela 11. Continuação.

T	V (%)	C (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	K ⁽¹⁾ (%)	Ca/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	$K/\sqrt{Ca+Mg}$
7,2 c	12,4 d	25,0	5,4 d	1,2 c	4,9	1,4	8,6	0,10 c
7,9 bc	32,6 c	23,9	9,0 cd	3,1 bc	6,4	2,5	9,3	0,16 c
9,5 b	53,2 b	24,5	14,5 bc	4,6 b	7,1	2,2	10,4	0,21 c
9,4 bc	62,4 b	22,8	18,4 b	7,9 a	5,9	2,6	7,8	0,34 ab
13,5 a	82,9 a	22,6	37,4 a	8,7 a	6,4	3,1	8,6	0,37 a
7,4 c	13,0 d	24,3	5,4 b	1,3 c	6,5	2,7 ab	9,0	0,10 c
8,4 bc	27,8 c	24,2	7,0 b	2,3 c	6,3	1,4 b	11,0	0,14 c
9,4 b	42,5 b	24,5	9,4 b	3,4 bc	8,4	2,6 ab	11,7	0,17 bc
8,7 bc	45,4 b	22,9	10,8 b	5,8 ab	4,9	2,5 ab	6,9	0,28 ab
12,2 a	72,4 a	25,1	27,9 a	7,9 a	6,3	2,9 a	8,4	0,35 a
7,4 c	13,4 c	23,6	6,7 b	1,5 b	5,1	2,4	7,7	0,12 b
8,1 bc	18,0 bc	25,1	6,7 b	2,0 b	5,1	2,3	7,9	0,14 b
8,6 bc	28,4 b	24,8	6,7 b	2,5 b	6,8	2,8	10,2	0,15 ab
9,2 b	27,1 bc	26,2	4,9 b	2,2 b	7,7	2,3	11,5	0,14 b
11,0 a	51,4 a	22,1	16,0 a	4,5 a	7,5	2,3	10,7	0,22 a
11,0 a	50,6 c	13,8	2,1 c	1,7 d	21,2 a	2,7	30,3 a	0,1 d
9,0 b	52,3 c	19,9	2,8 c	3,8 cd	8,9 b	2,6	12,7 b	0,2 cd
8,5 b	57,6 c	17,6	6,1 bc	5,9 c	5,0 b	1,4	8,6 b	0,2 c
9,6 ab	72,5 b	17,8	14,1 b	9,0 b	4,7 b	2,2	6,9 b	0,4 b
10,8 a	83,4 a	18,2	27,8 a	12,3 a	3,7 b	2,0	5,8 b	0,5 a
9,9	44,0 c	18,0	2,2 c	2,3 d	14,2 a	2,7	19,3 a	0,1 d
9,5	48,6 c	17,2	2,1 c	3,8 cd	7,7 ab	2,0	11,7 ab	0,2 cd
9,0	51,0 bc	17,0	4,5 bc	6,2 bc	5,0 b	1,9	7,6 b	0,3 bc
9,3	60,9 b	16,5	8,4 b	8,1 b	4,5 b	2,9	6,3 b	0,3 ab
10,7	80,7 a	18,4	21,1 a	11,7 a	3,8 b	2,1	5,8 b	0,5 a
8,7	40,0 b	17,1	2,1 b	4,2	6,2	1,9	9,3	0,2
9,6	46,4 ab	17,3	1,3 b	4,5	6,8	2,1	10,0	0,2
8,6	39,9 b	18,4	2,8 b	4,4	5,5	2,7	7,9	0,2
9,1	44,1 ab	15,6	3,0 ab	5,7	5,1	3,6	6,7	0,3
9,6	51,7 a	15,0	5,2 a	6,5	5,0	2,7	6,9	0,3

Tabela 12. Valor máximo permitido (VMP) e teores de As, Cu, Cr total e B (mg L^{-1}) em amostras de água percolada nos tratamentos 0 e 80 t ha^{-1} , no Neossolo Litólico distrófico-alumínico e no CAMBISSOLO Húmico distrófico típico argiloso. Doses em base seca.

Elemento	Dose (t ha^{-1})				VMP ⁽⁴⁾
	0		80		
	Neossolo	Cambissolo	Neossolo	Cambissolo	
As ⁽¹⁾	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01
Cu ⁽¹⁾	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	2
Cr total ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
B ⁽²⁾	0	0	0,01	0	⁽³⁾

⁽¹⁾ Determinado conforme Clesceri et al. (1998); ⁽²⁾ determinado conforme Tedesco et al. (1985); ⁽³⁾ não representa risco para a saúde (Portaria MS 518/2004); ⁽⁴⁾ conforme Portaria MS n. ° 518/2004.

Tabela 14. Resultados analíticos⁽¹⁾ de amostras de solo coletadas na camada de 0 a 20 cm, no ensaio de doses de cinza de caldeira conduzido a campo em Vargem Bonita, SC.

Dose (t ha^{-1})	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	s	Al	H + Al	t	T
		(cmol _c dm ⁻³)							
0	4,0 b	1,2 b	0,6 b	0,2 c	2,1 c	1,0 a	7,3 a	3,0 c	9,4
10	4,2 b	1,8 b	1,4 ab	0,2 bc	3,5 bc	0,5 b	6,2 a	4,0 bc	9,7
20	6,1 a	5,7 a	2,1 ab	0,7 bc	8,7 ab	0,0 c	1,5 b	8,7 abc	10,2
40	5,9 a	6,2 a	3,0 a	0,9 a	10,3 a	0,0 c	1,8 b	10,3 a	12,1
80	5,9 a	6,0 a	2,1 ab	0,9 a	9,3 ab	0,0 c	1,9 b	9,3 ab	11,1
F ⁽²⁾	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
CV %	5,96	44,5	45,9	53,1	40,7	49,5	18,9	37,8	22,9

* S = soma de bases; t = CTC efetiva; H + Al = acidez potencial, T = CTC a pH 7,0; V = saturação por bases; Na = saturação por sódio na T; MO = matéria orgânica, K - % - saturação de K na T. ** - probabilidade de F.

Tabela 13. Teores de As, Cu, Cr total e B em amostras de água percolada na massa de solo dos diferentes tratamentos. Amostras correspondem a Cambissolo Húmico distrófico, coletado na localidade denominada Campina da Alegria, Município de Vargem Bonita, SC.

Elemento	Doses de cinza (t ha ⁻¹)					VMP
	0	10	20	40	80	
	mg L ⁻¹					
As ⁽¹⁾	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01
Cu ⁽¹⁾	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	2
Cr total ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
B ⁽¹⁾	0,052	0,030	0,013	0,044	0,011	⁽³⁾

⁽¹⁾ Determinado conforme Portaria MS n.º 518/2004; ⁽²⁾ determinado conforme Tedesco et al. (1985);

⁽³⁾ não representa risco para a saúde (Portaria MS 518/2004).

Tabela 14. Continuação.

P (mg dm ⁻³)	V	Na	MO (g kg ⁻¹)	K (%)	Ca/K	Ca/Mg	(Ca + Mg) /K	
	(%)							
3,8 c	21,9 c	0,4 c	35,2	1,8 c	8,6	2,4	13,0	0,13 ab
5,3 bc	36,5 b	0,8 c	37,5	2,2 bc	8,0	1,4	15,3	0,12 b
19,1 a	83,2 a	2,0 b	38,9	6,4 ab	10,1	3,1	14,4	0,24 ab
18,3 a	83,4 a	2,2 b	35,8	7,2 a	7,3	2,1	10,7	0,29 ab
17,6 ab	81,7 a	3,1 a	32,8	7,8 a	7,2	2,8	10,3	0,30 a
0,01	0,00	0,00	0,18	0,00	0,72	0,37	0,34	0,02
51,5	14,5	26,4	9,5	36,6	36,9	53,4	32,3	36,7

Conclusões e considerações

Em geral, os resíduos gerados em fábrica de celulose e papel e de reciclagem de papel (lodo celulósico, lama de cal e cinza de biomassa) têm sido qualificados como classe II A, não inertes, pelas normas da ABNT, apresentando, portanto, alguns problemas de liberação de compostos em níveis acima do permitido, o que não impede a sua aplicação como insumo agrícola ou florestal.

Os trabalhos conduzidos até o momento têm mostrado o potencial dos resíduos em melhorar características químicas relacionadas à fertilidade do solo, o que pode favorecer o desenvolvimento de plantas, caso as condições iniciais sejam restritivas ao cultivo de plantas de interesse.

As avaliações realizadas até o momento, em amostras de solo, em condições de campo e vaso, e na água percolada na massa de solo em condições de vaso, não tem mostrado alterações na potabilidade da água pela presença de metais pesados, e nos teores de metais no solo, pela aplicação dos lodos resultantes do tratamento de efluentes da reciclagem de papel e da extração de celulose, bem como da aplicação da cinza de caldeira.

Nos trabalhos conduzidos com *Pinus taeda*, não foram detectados efeitos sobre o desenvolvimento das árvores, tampouco sobre a sua nutrição, o que tem sido atribuído às baixas necessidades nutricionais da espécie. Portanto, nas condições em que foram conduzidos os estudos, os teores de nutrientes presentes no solo podem ter sido suficientes para o atendimento das necessidades da espécie.

Com relação aos trabalhos com *Eucalyptus* spp., resultados positivos tem sido alcançados, tanto no desenvolvimento quanto na nutrição das árvores, o que pode ser atribuído às maiores exigências nutricionais dessas espécies.

Evidencia-se a necessidade de estudos para avaliar a eficiência agrônômica dos resíduos, relacionando-os com produtos comerciais comumente utilizados, comparando características como a solubilidade dos componentes dos resíduos e a eficiência relativa dos mesmos na liberação de nutrientes, o que possibilitará estimar doses a serem aplicadas conforme as condições da fertilidade do solo e a necessidade das culturas a serem exploradas.

Problemas relacionados à aplicação dos resíduos em escala de produção florestal têm sido solucionados satisfatoriamente com o uso de equipamentos existentes no mercado, como os distribuidores de calcário. No caso do lodo celulósico resultante da extração de celulose da madeira, em função de suas características químicas, provavelmente, estes poderiam ser aplicados em tanques com bomba hidráulica tratorizadas.

Referências

ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da S.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, jul./dez. 2003.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza de caldeira y residuo de celulosa em el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPOSIO IUFRO PARA CONO SUR SUDAMERICANO, 1995, Valdivia. **Manejo nutritivo de plantaciones forestales**: actas. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 1995. p. 317-323.

BENEDETTI, V. Utilização de resíduos industriais na Ripasa S/A Celulose e Papel como insumos na produção florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 141-154.

BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, A. Resíduo de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 97-120.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. F.; ANDRADE, G. de C. Avaliação de lama de cal como material corretivo do solo. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 125-128.

BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS n.º 518/2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências Brasília, DF, 2005. 28 p. (Série E. Legislação em saúde). Disponível em: <http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N.º 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Publicação DOU n. 167, p. 141-146, 30 ago. 2006. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. (Ed). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998. Paginação irregular.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão de Diretoria n.º 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005**. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo ▯ 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 11 out. 2010.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. de. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas: culturas: soja-milho-trigo-algodão-feijão**. 2. ed. rev. Campo Mourão: COAMO; Cascavel: COODETEC, 2001. 93 p.

COSTA, E. R. G. da; RIZZI, N. E.; SILVA, H. D. da; MAEDA, S.; LAVORANTI, O. J. Percolação de poluentes em solos após aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 409-418, abr./jun. 2009.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C.; MORO, L. Efecto de la aplicación de ceniza y residuos de celulosa en la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n.1, p. 101-104, 1995.

GERENCIAMENTO de resíduos em complexos integrados de papel e celulose. Rio de Janeiro: CNI, Divisão de Tecnologia Industrial, 1989. 39 p.

LOURENÇO, R. S. Curvas de neutralização de solo lama de cal, comparada com CaCO_3 p.a e calcário. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 131-135.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; SILVA, H. D. da. Efeito de resíduos da indústria de celulose e papel em características químicas de um Cambissolo Húmico Distrófico típico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari, ES. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais**. Viçosa, MG: SBCS, 2010. 1 CD-ROM. FERTBIO 2010.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 385-414.

O. FILHO, A. C.; FERNANDES, F. M.; LIMA, N. R.; DUTRA, N.; RAMOS, W. Resíduos sólidos gerados diretamente dos processo industriais. **O Papel**, São Paulo, ano 59, n. 12, p. 56-70, 1998.

PINHO, M. R. R.; CAHEN, R. Polpação química. In: ALMEIDA, M. L. O. d'. (Coord.). **Celulose e papel: tecnologia de fabricação de pasta celulósica**. São Paulo: SENAI: IPT, 1981. v. 1, p. 165-315.

SANTANA, D. L. de Q.; BELLOTE, A. F. J.; RODRIGUES, C. M. Efeito da aplicação de resíduos nas propriedades biológicas do solo em sítios florestais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82). FERTBIO 2006.

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