



## INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO AO SOLO

Kauana Melissa Cunha Dickow<sup>1</sup> (kauana@unc.br), Guilherme Augusto de Azevedo Velho<sup>1</sup> (guilherme\_a.velho@hotmail.com), Epiátgoras Rodson O. Costa<sup>2</sup> (epitagorascosta@gmail.com)

1 UNIVERSIDADE DO CONTESTADO – CAMPUS CANOINHAS, SANTA CATARINA

2 CVG – CIA VOLTA GRANDE DE PAPEL – RIO NEGRINHO, SANTA CATARINA

### RESUMO

A indústria de papel a partir de papel reciclado gera um resíduo ao final do processo (lodo da estação de tratamento de efluentes) que normalmente é destinado a aterros industriais. Entretanto, estas empresas têm buscado novas destinações para este material para diminuir o seu passivo ambiental. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da incorporação de resíduo do processo produtivo de papel reciclado nas características químicas do solo e no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus benthamii*. Foram avaliadas diferentes doses do resíduo: zero, 20, 40, 60, 80 e 100 t. ha<sup>-1</sup> (base seca), em delineamento experimental em Blocos Inteiramente Casualizados. A avaliação do crescimento foi feita através da medição do diâmetro a altura do colo (DAC) e altura total (H) em três períodos (6, 13 e 18 meses após o plantio). A coleta de solo foi realizada 13 meses após o plantio. Os resultados mostraram que a aplicação do resíduo ao solo proporcionou elevação do pH e diminuição da acidez potencial do alumínio trocável e da saturação de alumínio. Conseqüentemente, os valores de soma de bases e saturação de bases aumentaram. O efeito da quantidade de resíduo foi diretamente proporcional à dose, ou seja, maiores doses proporcionaram maior correção da acidez do solo. O menor crescimento em altura ocorreu quando a maior dose de resíduo foi aplicada ao solo. Os resultados obtidos mostram que este resíduo tem potencial para uso como corretivo de acidez, podendo substituir os produtos convencionais, e proporcionando um uso mais nobre ao resíduo, e ao mesmo tempo, evitando sua disposição em aterros.

**Palavras-chave:** Corretivo de acidez; Aparas; Fertilidade do solo.

## INCORPORATION TO SOIL OF THE WASTE FROM STATION OF RECYCLED PAPER MILL EFFLUENTS TREATMENT

### ABSTRACT

The industry that produces paper from recycled paper generates a waste at the end of the process is commonly landfilled. However, many companies and institutions have been researching for new destinations to this material. In this way, the goal of the present work was to evaluate the effects of the application with incorporation of a waste of recycling paper on chemical characteristics of soil and on the development of plants of *Eucalyptus benthamii*. It was evaluated different doses of waste: null, 20, 40, 60, 80 and 100 t.ha<sup>-1</sup> (dry basis), within the experimental design Entirely Randomized Blocks. The variables diameter at lap height and aerial height were measured to evaluate the growing of the plants. This measurement was done at the periods: 6, 13 and 18 months after planting. The soil collection was done 13 months after planting. The results showed that the incorporation of the waste in soil caused the pH increase, and decrease of potential acidity, exchangeable aluminum and base saturation. Consequently, the sum of bases and bases saturation values increased. The effect of the waste dosage was directly proportional to the dose, i.e., higher dosages provided more soil acidity correction. The height growing of plants was lower when the highest dosage of the residue was incorporated to soil. This work showed that this waste has potential use as corrective of soil acidity, can substitute the conventional products, and has a more noble usage.



**Keywords:** Corrective of soil acidity; Soil fertility; Paper trimming.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de papel e celulose ocupa lugar de destaque no Brasil, colocando o país entre os principais produtores mundiais (BRACELPA, 2010; IBÁ, 2015). Entretanto, assim como toda atividade industrial, a indústria de celulose e papel é geradora de resíduos. As empresas que produzem papel a partir de papel reciclado produzem um resíduo (lodo) ao final do processo de tratamento dos efluentes que normalmente é destinado a aterros industriais, entretanto, esta opção apresenta desvantagens como os altos custos de implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (BELLOTE et al. 1998).

Estes problemas têm levado o setor a buscar alternativas de uso e/ou destinação para os resíduos. Uma das alternativas é como corretivo da acidez do solo e/ou fertilizante para o solo. Pesquisas têm mostrado que existe potencial de utilização dos resíduos neste âmbito (BELLOTE et al., 1998; ANDRADE et al., 2003; BALBINOT Jr et al., 2006; COSTA et al., 2009a; COSTA et al., 2009b; MAEDA, BOGNOLA, 2013; BALBINOT Jr et al., 2014; FARIA et al., 2015), porém é necessário o pleno conhecimento das características do produto e seus efeitos no solo, na água e no desenvolvimento das plantas.

A consolidação do uso seguro dos resíduos no solo agrícola e florestal só acontecerá por meio de pesquisas sérias e de médio e longo prazo. Se o uso do resíduo no solo como corretivo de acidez e/ou fertilizante e a não contaminação da água forem confirmados, haverá benefícios de ordem ambiental (destinação mais nobre dos resíduos, menor uso de insumos agrícolas, menor contaminação ambiental) e econômicos (menores gastos com construção e manutenção de aterros, menores gastos com insumos agrícolas, ganhos em produtividade vegetal), conseqüentemente, afetando positivamente os aspectos sociais dos agentes envolvidos.

A empresa Cia. Volta de Grande de Papel (CVG), localizada no município de Rio Negrinho, SC, produtora de papéis sanitários a partir de papel reciclado, procurou a Universidade do Contestado para firmar uma parceria com o intuito de pesquisar alternativas de uso do resíduo gerado por sua estação de tratamento de efluentes (ETE). Foi proposto pesquisar os efeitos da aplicação de diferentes doses do resíduo em solo cultivado com a espécie arbórea *Eucalyptus benthamii*, uma espécie promissora na região, pois tolera o frio e a geada, além de possuir ótimo formato e boa capacidade produtiva.

## 2. OBJETIVO

Pesquisar os efeitos da aplicação do resíduo da estação de tratamento de efluentes de uma fábrica de papel reciclado, nas características químicas do solo e no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus benthamii* em solo onde o resíduo foi incorporado.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Caracterização do local de estudo

A pesquisa foi conduzida na empresa CVG – Cia. Volta Grande de Papel, localizada no Distrito de Volta Grande, Rio Negrinho, SC. A empresa produz papéis da linha higiênica (papel higiênico, guardanapo e toalha descartável), a partir de papel reciclado (aparas).

O clima da região é do tipo Cfb, segundo Köppen, ou seja, clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (temperatura média do mês mais quente < 22°C). A temperatura média anual varia entre 15,5 e 17,0°C. A temperatura média das máximas varia de 26,6 a 24,0°C, e das mínimas de 10,8 a 11,8°C. A precipitação pluviométrica total anual pode variar de 1.360 a 1.670 mm, com o total anual de dias de chuva entre 138 e 164 dias. A umidade relativa do ar pode variar de 80,0 a 86,2% (EPAGRI/CIRAM, 1999; BENEZ, 2002).



### 3.2 Caracterização do resíduo

O resíduo é o material retirado do efluente líquido derivado do processo de fabricação do papel, que abrange a desagregação do papel reciclado (aparas), a refinação das fibras, o branqueamento da polpa celulósica e formação da folha de papel em si. É uma pasta acinzentada com elevado teor de umidade (60%) (MACEDO, 2006; MAEDA et al., 2010).

O resíduo utilizado na pesquisa foi analisado e caracterizado pela empresa TECLAB – Tecnologia em Análises Ambientais, em fevereiro de 2013. Segundo o parecer técnico da empresa, o resíduo não apresentou indícios de reatividade e inflamabilidade para o meio ambiente e para a saúde pública; a toxicidade (FT) foi classificada como igual a quatro (limite permitido até oito); não se enquadraram como patogênicos; e não foram identificados metais significativos na massa bruta, classificando, portanto, como Classe II A – Não inerte – NBR 10004 (ABNT, 2004).

### 3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em áreas da empresa Cia Volta Grande de Papel (CVG) em janeiro de 2014. O resíduo utilizado foi o da própria empresa, sendo as doses distribuídas no solo de acordo com os seguintes tratamentos: T1 (zero), T2 (20), T3 (40), T4 (60), T5 (80) e T6 (100) t.ha<sup>-1</sup> (base seca). Foram instalados dois experimentos: um com incorporação do resíduo até a profundidade de 20 cm no solo e outro sem incorporação (aplicação superficial).

Cada tratamento foi aplicado em parcelas quadradas de 25 plantas com espaçamento de 2,5 m x 3,0 m, totalizando 187,5 m<sup>2</sup> por parcela. Cada tratamento foi, ainda, repetido em quatro blocos casualizados, totalizando 100 plantas e 750 m<sup>2</sup> por tratamento (Figura 1).

Um sétimo tratamento, denominado calcário, foi utilizado como comparativo para avaliar o efeito deste corretivo em relação ao resíduo. Foi aplicada uma dose de 50 kg de calcário dolomítico na parcela.

Anteriormente à aplicação dos resíduos, toda a área recebeu adubação (adubação de plantio): NPK (fórmula 6-30-6): 150 g/planta; ureia (fórmula 45-0-0): 30 g/planta; fosfato natural Bayover (fórmula 0-18-0): 200 g/planta.

Os resíduos foram aplicados no solo manualmente e incorporados através de gradagem, no período de 20 a 23 de dezembro de 2013.

As mudas de *Eucalyptus benthamii* adquiridas pela empresa CVG (com idade em torno de 120 dias e 20 cm de altura), foram produzidas no KS Viveiros (localidade de Pocinho, em Rio Negrinho, SC), a partir de sementes com procedência da empresa *Golden Tree*, de Guarapuava, PR. O plantio das mudas em campo ocorreu período de 6 a 8 de janeiro de 2014, de forma manual.



**Figura 1.** Croquis da disposição dos tratamentos e blocos em campo do experimento de uso de resíduo de fábrica de papel reciclado no solo em plantio de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho, SC: tratamentos 1 a 6 e tratamento com calcário, dispostos aleatoriamente dentro de 4 blocos, totalizando 28 parcelas em campo.

	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
Tratamento	1	5	6	Calcário
	2	Calcário	4	6
	3	6	1	5
	4	3	2	1
	5	2	Calcário	3
	6	4	3	2
	Calcário	1	5	4

### 3.4 Avaliação do experimento

O uso do resíduo foi avaliado quanto aos efeitos no crescimento das mudas (diâmetro e altura) e nas características químicas do solo.

#### 3.4.1 Crescimento em diâmetro e altura

A medição das variáveis de crescimento ocorreu em três ocasiões: 15/07/14, 11/02/15 e 02/07/15 (6, 13 e 18 meses após o plantio, respectivamente). A circunferência a altura do colo (CAC) foi medida com fita métrica e depois convertida em diâmetro a altura do colo (DAC). A altura das árvores foi medida com régua. Foram medidas as árvores centrais da parcela, para eliminar o efeito de borda, totalizando nove árvores medidas por parcela e 36 por tratamento (9 árvores x 4 blocos).

#### 3.4.2 Características químicas do solo

A coleta de solo para análise dos efeitos do resíduo nas características químicas do solo foi realizada juntamente com a segunda medição do crescimento (11/02/15), ou seja, 13 meses após o plantio. Em cada parcela foram coletadas sub-amostras de solo na profundidade de 0-20 cm em quatro pontos. As sub-amostras foram misturadas, homogeneizadas e retirada uma quantidade aproximada de 500g para envio ao laboratório. Foram determinados os seguintes parâmetros químicos: pH CaCl<sub>2</sub>, pH SMP, matéria orgânica, fósforo (resina), potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial (H + Al), alumínio, soma de bases, CTC, saturação de bases e saturação de alumínio. A metodologia utilizada foi a do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (RAIJ et al., 2001).



### 3.4.3 Análise estatística

Os dados de crescimento em diâmetro e altura e da caracterização do solo foram submetidos a análise de variância (ANOVA) dentro do desenho experimental de Blocos Inteiramente Casualizados. Posteriormente as médias foram submetidas a comparação através do Teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%. As análises foram realizadas no software STATGRAPHICS PLUS 5.1.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Crescimento em diâmetro

O crescimento em diâmetro a altura do colo (DAC) das mudas de *E. benthamii* nos sete tratamentos, ao longo do tempo, é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Crescimento médio das plantas em diâmetro a altura do colo (DAC) (cm), ao longo do tempo, das mudas de *Eucalyptus benthamii* nos tratamentos com incorporação de resíduo de fábrica de papel reciclado ao solo.

6 MESES			13 MESES			18 MESES		
Tratamento	DAC médio (cm)		Tratamento	DAC médio (cm)		Tratamento	DAC médio (cm)	
1	2,73 A*	0,90**	5	6,52 A	1,76	2	7,82 A	1,83
Cal.	2,62 A	0,94	2	6,52 A	1,30	4	7,63 A	2,31
2	2,58 AB	0,65	Cal.	6,38 A	1,86	Cal.	7,32 A	2,74
5	2,48 AB	0,71	4	6,37 A	1,47	1	7,24 A	2,54
4	2,43 AB	0,72	1	6,09 A	2,20	5	7,13 A	2,96
3	2,31 AB	0,93	3	6,03 A	1,95	3	7,13 A	2,66
6	2,01 B	0,77	6	5,93 A	1,93	6	7,12 A	2,72

\* Valores em coluna seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*\* Desvio padrão da média

Os resultados mostram que houve crescimento em diâmetro das mudas de *E. benthamii* ao longo do tempo (de 6 a 18 meses), sendo que este foi mais acentuado da primeira para a segunda medição, devido ao período de maior atividade fisiológica das plantas (primavera/2014 e verão/2015). Na primeira medição (julho 2014, mudas com 6 meses), os tratamentos que proporcionaram maior crescimento em diâmetro das mudas foram o tratamento 1 (sem resíduo) e o tratamento com calcário. Já o que proporcionou menor crescimento foi o tratamento 6 (maior dose do resíduo). Na segunda medição e terceira medições não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, entretanto observa-se uma tendência de o tratamento 2 destacar-se em maior crescimento em diâmetro, principalmente a partir da terceira medição (18 meses). A continuidade do monitoramento permitirá verificar se esta tendência irá se configurar como uma diferença estatística. Diante desses resultados observa-se que, até o presente momento, doses elevadas de resíduo, como do tratamento 6 ( $100 \text{ t ha}^{-1}$ ), não são adequadas ao crescimento do diâmetro das mudas.

### 4.2 Crescimento em altura

O crescimento em altura (m) das mudas de *E. benthamii* nos sete tratamentos, ao longo do tempo, é apresentado na Tabela 2.



**Tabela 2.** Crescimento médio em altura (m) ao longo do tempo, das mudas de *Eucalyptus benthamii* nos tratamentos com incorporação de resíduo de fábrica de papel reciclado ao solo.

6 MESES			13 MESES			18 MESES		
Tratamento	H média (m)		Tratamento	H média (m)		Tratamento	H média (m)	
1	1,25 A*	0,40**	2	3,51 A	0,57	2	4,77 A	0,89
Cal.	1,19 A	0,43	1	3,30 A	1,14	4	4,42 A	1,33
2	1,17 AB	0,30	Cal.	3,24 AB	1,87	Cal.	4,32 A	1,36
4	1,11 AB	0,29	4	3,20 AB	0,63	1	4,25 A	1,57
5	1,11 AB	0,31	5	3,16 AB	0,87	5	4,22 A	1,62
3	1,02 AB	0,33	3	3,06 AB	0,91	3	4,19 A	1,57
6	0,94B	0,33	6	2,93 B	0,85	6	4,06 A	1,47

\* Valores em coluna seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*\* Desvio padrão da média.

Da mesma forma como observado para o diâmetro, o crescimento em altura das mudas de *E. benthamii* foi crescente ao longo do período analisado e maior da primeira para a segunda medição. Quando as plantas estavam com 6 meses, o maior crescimento em altura foi proporcionado pelos tratamentos 1 e calcário, ou seja, não houve efeito positivo da aplicação de resíduo durante este período. Na segunda medição, os tratamentos 1 e 2 (zero e 20 t ha<sup>-1</sup> de resíduo, respectivamente) proporcionaram maior crescimento em altura das mudas. Já na terceira medição, ou seja, aos 18 meses de idade, o crescimento em altura não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. O menor crescimento em altura ocorreu quando a maior dose de resíduo foi aplicada (tratamento 6: 100 t ha<sup>-1</sup>) ao solo.

Panstein (2011) observou em seu trabalho sobre desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* em solo tratado com lodo de fábrica de papel reciclado, que a cada medição (intervalo de 2 meses), a diferença de crescimento, tanto em altura quanto diâmetro, foi sempre crescente. Aos 10 meses pós-plantio, a altura média das mudas que cresceram em solo com lodo e sem lodo foi de 84,4 e 62,3 cm, respectivamente. E o diâmetro médio das mudas que cresceram em solo com lodo e sem lodo foi de 10,6 e 6,8 mm, respectivamente.

Vaz e Gonçalves (2002) constataram que a aplicação, em plantação de eucalipto, de doses crescentes de lodo de estação de tratamento resultou numa resposta quadrática em termos de produtividade de madeira com casca. Aos 17 meses de idade, (13 meses pós-aplicação), o crescimento em volume elevou-se quando comparado o tratamento controle com o tratamento que recebeu a maior dose do resíduo.

## 4.2 Características químicas do solo

### 4.3.1 Acidez do solo

Os parâmetros químicos relacionados à acidez do solo, pH CaCl<sub>2</sub>, pH SMP, H + Al, alumínio trocável, saturação por alumínio (m%), são mostrados na Tabela 3.



**Tabela 3.** Parâmetros relacionados a acidez do solo, no plantio das mudas de *Eucalyptus benthamii* nos tratamentos com incorporação de resíduo de fábrica de papel reciclado ao solo.

PARÂMETRO	TRATAMENTO	MÉDIA*	DP**
pH CaCl <sub>2</sub>	6	5,5 A	0,41
	4	5,3 AB	0,92
	3	5,0 ABC	0,50
	5	5,0 ABC	0,39
	2	4,4 BCD	0,44
	1	3,9 CD	0,17
	Cal.	3,9 D	0,17
pH SMP	6	6,0 A	0,44
	4	5,9 AB	0,84
	3	5,5 ABC	0,54
	5	5,5 ABC	0,45
	2	4,8 BC	0,39
	1	4,7 CD	0,22
	Cal.	4,3 D	0,30
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Cal.	27 A	8,67
	1	17 AB	4,21
	2	15 AB	5,01
	3	8B	4,14
	5	8 B	4,54
	4	6 B	7,16
	6	4 B	1,94
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1	3,6 A	0,78
	Cal.	3,6 A	0,84
	2	2,3 AB	0,92
	5	1,0 BC	0,66
	3	1,0 BC	0,79
	4	0,9 BC	0,89
	6	0,4 BC	0,23
M(%)	1	88 A	13,68
	Cal.	73 A	17,79
	2	52 AB	27,77
	3	17,2 BC	20,33
	4	15,5 BC	20,88
	5	13,7 BC	11,02
	6	4,5 C	3,10

\* Valores em coluna seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*\* DP = desvio padrão da média.

A aplicação do resíduo corrigiu a acidez do solo no período estudado, sendo que o tratamento com maior dose (trat. 6; 100 t ha<sup>-1</sup>) foi o que elevou o pH a maiores níveis e, conseqüentemente,



reduziu a saturação por alumínio a níveis muito baixos (menor que 5%). As doses menores de resíduo também propiciaram correção da acidez do solo. Já a dose zero e o tratamento com calcário não corrigiram a acidez do solo. A diminuição da acidez do solo está relacionada com a precipitação do  $Al^{3+}$  e a dissociação do  $H^+$  de grupos funcionais orgânicos e inorgânicos dos componentes sólidos do solo com o aumento do pH, diminuindo o  $Al^{3+}$  na solução e a acidez potencial do solo (ERNANI, 2008).

Este aumento do pH do solo com a aplicação de resíduo também foi observado por Costa et al. (2009) em experimento com *Pinus taeda* em casa de vegetação. O autor aplicou doses crescentes (0, 10, 20, 40 e 80 t.ha<sup>-1</sup>) de lodo de fábrica de papel reciclado a dois tipos de solo (Neossolo e Cambissolo) e observou aumento crescente no pH conforme o aumento da dose de lodo aplicado. Com 80 t. ha<sup>-1</sup> de lodo o pH chegou a valores médios acima de 6,0.

A neutralização do alumínio com a aplicação do lodo também foi observado por Albuquerque et al. (2002). Estes autores utilizaram resíduo alcalino de indústria de papel e celulose na correção da acidez de dois solos (Latossolo e Cambissolo) e observaram redução nos teores de alumínio trocável ( $Al^{+3}$ ) para próximo de zero na camada de 0 a 5 cm de profundidade.

### 4.3.2 Fertilidade do solo

Os parâmetros químicos relacionados à fertilidade do solo (teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, saturação de bases), são mostrados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação de bases (V) do solo submetido aos tratamentos de doses de resíduo de fábrica de papel reciclado.

Tratamento	MO (g.dm <sup>-3</sup> )		P (mg.dm <sup>-3</sup> )		K (mg.dm <sup>-3</sup> )		Ca (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )		Mg (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )		V (%)	
1	61 A*	20,2**	0,8 A	1,0	28 A	2,0	0,22 B	0,1	0,2 A	0,1	3 D	0,8
2	72 A	11,6	2,0 A	1,4	27 A	3,3	2,82 AB	2,9	0,2 A	0,1	18 BCD	20,7
3	79 A	19,7	3,0 A	0,8	31 A	16,1	7,27 AB	4,2	0,1 A	0,1	46 ABC	26,2
4	62 A	11,9	1,8 A	1,0	34 A	16,8	9,17 AB	6,0	0,3 A	0,2	59 AB	32,2
5	67 A	8,7	2,5 A	1,0	30 A	12,1	7,15 AB	4,2	0,2 A	0,1	48 ABC	18,2
6	65 A	11,5	3,0 A	1,4	18 A	9,0	11,4 A	8,0	0,4 A	0,1	69 A	4,8
C	56 A	13,6	2,5 A	1,7	51 A	32,6	0,82 B	0,7	0,5 A	0,3	6 CD	0,8

\* Valores em coluna seguidos da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*\* Desvio padrão da média

Segundo Gonçalves et al. (2000), diversos trabalhos realizados com aplicação de resíduos no cultivo de eucalipto têm mostrado que este material age como fonte de nutrientes para as plantas e de matéria orgânica para o solo. A matéria orgânica aumentou ligeiramente nos tratamentos em que foi aplicado o resíduo, variando de 62 a 79 g.dm<sup>-3</sup> (6,2 a 7,9%). Porém, devido à grande variação dos dados (desvios-padrão altos), o teste de médias não detectou diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos. Diversos autores relatam a complexa relação entre a matéria orgânica e o uso de resíduos, sem as modificações esperadas de aumento nos teores ao longo do perfil. A maioria não apresenta conclusão clara sobre o assunto atribuindo-se, em alguns casos, ao aumento da atividade microbiana e baixa relação C/N dos resíduos, que combinado com a disponibilidade de nutrientes poderia causar intensificação da atividade microbiana no resíduo e no solo. Esta intensificação da atividade microbiana estaria acelerando a taxa de decomposição da matéria orgânica, mecanismo conhecido como "efeito priming" (GUEDES; ANDRADE, 2006).

Para o elemento fósforo também não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos, porém houve aumento dos teores do elemento no solo que recebeu resíduo.



O potássio não demonstrou diferença estatística entre os tratamentos, variando de 18 a 51 mg.dm<sup>-3</sup>.

O efeito do resíduo nos teores de cálcio do solo foi marcante. Os teores de Ca aumentaram conforme aumentou a quantidade do resíduo, partindo de 0,2 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> no tratamento sem resíduo e chegando a 11,4 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> no tratamento com a dose máxima, ou seja, um aumento de 57 vezes. Este aumento dos teores de Ca<sup>2+</sup> decorrentes do uso de resíduo de papel reciclado vai de encontro com os resultados obtidos por Guerrini e Moro (1994) *apud* Rodrigues (2004) que, com a aplicação de resíduo celulósico e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, constataram que os teores de cálcio e magnésio aumentaram com a aplicação do resíduo celulósico.

Barretto (2008) também constatou o aumento das concentrações do cálcio nas folhas de eucalipto, devido às grandes quantidades de Ca<sup>2+</sup> na composição do resíduo de indústria de celulose. Os teores de magnésio não se alteraram com a aplicação do resíduo (sem diferença estatística significativa entre os tratamentos).

Como o resíduo corrigiu acidez do solo, diminuindo a saturação de alumínio dos sítios de troca, a saturação de bases aumentou em todos os tratamentos que receberam resíduo. De apenas 3% no tratamento sem resíduo e 6% no tratamento com calcário, chegou a quase 70% no tratamento com a dose máxima de resíduo. Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo ao solo proporcionou aumento do pH e diminuição da acidez potencial, do alumínio trocável e da saturação de alumínio. Consequentemente, os valores de soma de bases e saturação de bases aumentaram.

O efeito da quantidade de resíduo foi diretamente proporcional à dose, ou seja, maiores doses proporcionaram maior correção da acidez do solo. A diminuição da acidez do solo proporcionado pelo lodo, bem como a adição de nutrientes, principalmente o cálcio, beneficiaram o desenvolvimento das mudas em termos de crescimento em altura e diâmetro.

## 5. CONCLUSÃO

O resíduo de fábrica de papel reciclado funciona como corretivo da acidez do solo, diminuindo a saturação de alumínio e aumentando a saturação de bases dos sítios de troca do solo. As doses elevadas de resíduo (acima de 60 t.ha<sup>-1</sup>), embora tenham corrigido a acidez do solo, não proporcionaram um bom desenvolvimento das mudas. As doses entre 20 e 60 t.ha<sup>-1</sup> mostraram os melhores resultados na correção da acidez do solo e propiciaram bom desenvolvimento das mudas em diâmetro e altura. Os teores de cálcio aumentaram no solo com a aplicação do resíduo. Esta pesquisa terá continuidade por mais aproximadamente sete anos, e trará informações sobre os efeitos do resíduo no desenvolvimento das árvores e nas características do solo a médio e longo prazos, possibilitando fornecer diretrizes mais seguras para o uso dos resíduos de fábrica de papel reciclado como corretivo da acidez e fertilizante dos solos.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. R. Bras. Ci. Solo. V.26, p.1065-1073, 2002.

ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação 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.



BALBINOT JR., A. A.; TORRES, A.N. L.; FONSECA, J. A. da.; TEIXEIRA, J. R.; NESI, C. N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 5, n. 1, p. 16-25, 2006.

BALBINOT JR., A. A.; VEIGA, M. da; FONSECA, J. A. da; VOGT, G. A.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, E. R. O. aplicação de resíduo de reciclagem de papel em Cambissolo háplico e seu efeito no solo e no cultivo de plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 38, p. 336-344, 2014.

BARRETO, V. C. M. Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto. Jaboticabal, 64 p., 2008. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. de C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 37, p. 99-106, Jul./Dez. 1998.

BENEZ, M.C. (Coord.) Dados e informações biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense. Florianópolis: EPAGRI, 2002. 76p.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Avaliação do setor de celulose e papel: desempenho do setor em 2010 e projeção para 2011. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/economico.aps>> Acesso em novembro 2015.

COSTA, E. R. O.; RIZZI, N. E.; SILVA, H. D. da; MAEDA, S.; LAVARONI, O. J. Alterações químicas do solo após aplicação de bioresíduos de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. *Revista Floresta*, v. 39, n. 1, p. 1-10, 2009a.

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

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S.A. – EPAGRI/CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA - CIRAM. Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999. Disponível em: <http://http://ciram.epagri.sc.gov.br/images/documentos/ZonAgroecoMapas.pdf>> Acesso em março 2016.

ERNANI, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lages, 2008. 230 p.

FARIA, A. B. de C., ANGELO, A. C.; AUER, C. G. Disponibilidade de macronutrientes em *Eucalyptus saligna* cultivados com lodo de papel reciclado. *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 261-272, 2015.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (Eds.). Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-57.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, G. C. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de estação de tratamento. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006.



IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – Relatório IBÁ 2015. Disponível em <[http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)> Acesso em novembro 2015.

MACEDO, J.C.F. Análise térmica e ambiental do lodo primário da fabricação de papel e celulose em caldeira de biomassa a grelha. Itajubá, 196 p., 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá.

MAEDA, S.; COSTA, E.R.O.; SILVA, H. D. da. Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem. Dados eletrônicos. Colombo: Embrapa Florestas, 2010.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. Pesq. Flor. Bras., Colombo, v. 33, n. 74, p. 169-177, abr./jun. 2013.

PANSTEIN, C. Desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* em solo tratado com lodo de fábrica de papel reciclado. Canoinhas, 47 p., 2011. (Monografia) Graduação –Universidade do Contestado.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RODRIGUES, C.M. Efeito da aplicação de resíduos da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa de *Pinus taeda* L. Curitiba, 109 p., 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de bio-sólidos em povoamento de *Eucalyptus grandis*: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. R. Bras. Ci. Solo, v. 26, p. 747-758, 2002.