

# EFEITOS DA APLICAÇÃO DE LODO CELULÓSICO E CINZA DE CALDEIRA EM PLANTIO DE *Pinus taeda*

---

Leandro WALYLO<sup>1</sup>

Marcos Vinícius Martins BASSACO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná (lwalylo31@gmail.com),

<sup>2</sup>Docente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná (marcos.bassaco@gmail.com).

## RESUMO:

A geração de resíduos industriais para produção de celulose e papel é comum nesse processo, no entanto grandes quantidades de resíduo são geradas e descartadas nos aterros das empresas se tornando um desafio no quesito destinação. Dada a importância de aumento de produtividade e qualidade, as técnicas silviculturais, no que diz respeito a indicação correta do uso de fertilizantes minerais, o lodo por conter nutrientes essenciais pode ser uma alternativa ao uso dos fertilizantes minerais. Assim o aperfeiçoamento e a otimização do uso devem ser cada vez mais precisos. Levando em conta as informações acima descritas o desenvolvimento desse trabalho teve por objetivo avaliar crescimento em DAP (diâmetro altura do peito) da árvore em relação a dosagem da aplicação do lodo celulósico, avaliar crescimento em altura (altura total da árvore) em relação à dosagem do lodo aplicado, determinar a dose máxima de eficiência técnica (DMET). Para isso foi desenvolvido um experimento na região de Piraí do Sul, PR com aplicação crescente de lodo celulósico nas dosagens de 14, 25, 49 e 60 Mg ha<sup>-1</sup> e avaliado o seu efeito no crescimento do *Pinus taeda* ao longo de 5 anos. Os resultados indicaram que houve efeito significativo a aplicação do lodo em todos os períodos avaliados, sendo a DMET de 45 Mg ha<sup>-1</sup> para todos os períodos e variáveis analisadas. Assim conclui-se que aplicação de lodo em solos pobres nutricionalmente apresentam efeito benéfico no crescimento do *Pinus taeda*.

## 1 INTRODUÇÃO

Implantados no início da década de 1970 no Brasil através de incentivos fiscais (TUOTO; HOEFLICH, 2008), os maciços florestais de *Pinus* ocupam uma área de 1,6 milhões de hectares, que se concentram principalmente na região Sul do país, responsável por 88,6 % dos plantios, sendo o estado do Paraná o líder do ranking de maior detentor de área plantada com pinus do país, cerca de 672,6 mil ha (STCP, 2018).

Os plantios florestais de Pinus estão em geral localizados nos chapadões dominados por solos com material de origem arenito, com extrema pobreza nutricional. Dada a importância de aumento de produtividade e qualidade, as técnicas silviculturais, no que diz respeito a indicação correta do uso de fertilizantes minerais devem ser aperfeiçoadas e otimizadas, se tornando cada vez mais precisas.

Por outro lado, a geração de resíduos industriais para produção de celulose e papel é comum nesse processo, no entanto grandes quantidades de resíduo são geradas e descartadas nos aterros das empresas se tornando um desafio no quesito destinação, gerando para as fábricas um problema de ordem ambiental. Bellote et al. (1998), afirma que esse processo chega gerar aproximadamente, um total de 48 toneladas de resíduos para cada 100 toneladas de celulose produzida. A alternativa de utilização de aterros sanitários para descarte desse resíduo é notoriamente inviável, pois tem alto custo de implantação e manutenção além de oferecem alto risco de contaminação ambiental.

Pensando em um melhor aproveitamento e otimizar a destinação desse resíduo, uma das melhores alternativas é sua aplicação ao solo. Bellote et al. (1998), confirmam que o resíduo oferece uma excelente alternativa como meio de aproveitamento ou depuração ao solo, devido a suas características físicas, químicas e biológicas.

Os nutrientes necessários para o desenvolvimento das florestas devem ser fornecidos em quantidades ideais para que haja máximo aproveitamento.

A lama de cal objeto do estudo, tem elevada concentração de nutrientes importantes ao crescimento das plantas como K, Ca, Mg e P (DEMEYER; NKANA; VERLOO, 2001) podendo ter como resultado melhoria nas condições de acidez e disponibilidade de nutrientes (COSTA et al. 2009; MANDRE; PÄRN; OTS, 2006).

A resposta da aplicação de resíduos tem sido bastante variável com relação ao crescimento das espécies florestais, variam de grandes acréscimos até ausência de resposta (RODRIGUES et al., 2005; SIKSTRÖM; ALMQUIST; JANSSON, 2010). Estabelecer uma resposta ao uso de resíduo tem sido uma dificuldade, pois há variação na quantidade aplicada e concentração de nutrientes de cada resíduo.

Apesar dessa dificuldade os resíduos da indústria de celulose apresentam em geral maiores crescimentos do que com o uso de fertilizante, provavelmente

devido a presença de vários nutrientes nos resíduos (RODRIGUES, 2004; SAYER et al., 2004; ALBAUGH; ALLEN; FOX, 2008).

Levando em conta as informações acima descritas, o desenvolvimento desse trabalho é de suma importância, pois analisa a recomendação da dose ideal de resíduo industrial (lama de cal e cinza de caldeira), suficiente para atender a demanda nutricional do cultivo de Pinus e ajudar no desafio da destinação do resíduo industrial.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **2.1.1 Pinus**

As florestas brasileiras têm uma produção sustentável anual de cerca de 390 milhões de metros cúbicos, sendo que aproximadamente, 47,2 % (183,6 milhões de m<sup>3</sup>) são de plantações comerciais de Eucaliptos e Pínus (MEDRADO et al., 2008).

Pertencendo a família das Pináceas, o gênero Pinus, é constituído por cerca de 100 espécies nativas existentes em regiões temperadas e tropicais no mundo. Dentre essas espécies temos o Pinus taeda nativo do sul dos Estados Unidos da América (RODRIGUES, 2004; USDA FOREST SERVICE, 2018).

O gênero Pinus foi introduzido no Brasil a mais de um século, em torno do ano de 1880, no Rio grande do Sul proveniente das ilhas Canárias a espécie Pinus canariensis. Por iniciativa do Serviço Florestal do estado de São Paulo em 1948 foram introduzidas espécies americanas no cenário florestal brasileiro conhecidas nessa época como “pinheiros amarelos”, espécies de P. palustris, P. echinata, P. elliotii e P. taeda. Dentre essas espécies, as de P. elliotii e P. taeda demonstraram maior facilidade nos tratos culturais, melhor crescimento e intensa reprodução na região Sul e Sudeste do Brasil (SHIMIZU, 2008).

A partir daí muitas outras espécies foram introduzidas, oriundas de outros países como: México, América Central e Ásia. Nos anos de 1960 houve a intensificação do plantio do gênero Pinus, em especial o Pinus elliotii e Pinus taeda com extensas áreas plantadas desde então nas regiões Sul e Sudeste, onde a

sociedade brasileira passou a conviver mais intensamente com o gênero *Pinus* (SHIMIZU, 2008). A produção brasileira de *Pinus* concentra-se nas regiões Sul e Sudeste representa cerca de 88,6% no Sul e 10,3% Sudeste, abrangendo uma área de aproximadamente 1,6 milhão em 2016 (STCP, 2018).

O gênero se tornou uma opção para as regiões frias, ou de baixo potencial nutricional, no que diz respeito ao solo, como por exemplo: ambas espécies (*P. taeda* e *P. elliottii*), são relativamente resistentes à geada e proporcionam altos rendimentos em madeira nas regiões consideradas de baixa fertilidade (SHIMIZU, 2008).

Em sua região de origem o *Pinus taeda* atinge proporções consideráveis de altura e diâmetro, chegando a 45,0 m de altura e 1,30 m de diâmetro. Com relação a características da madeira a mesma apresenta alburno amarelo claro e o cerne marrom avermelhado a partir 20º ano. Possui textura média é muito resistente e dura (USDA FOREST SERVICE, 2018). Com relação a parte foliar possuem 3 acículas por fascículo, são rijas, finas e agudas, com frutos, em forma de cone, são laterais ou terminais, com escamas alongadas e um espinho triangular. As sementes são de cor marrom-escura e com aladas (LORENZI et al., 2003).

### **2.1.2 *Pinus* x solo x fertilidade**

Uma grande classe de solos é encontrada em uma única área, utilizada nos plantios de *Pinus* (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000). Carvalho (1999), relata que pelo fato das diferenças de solo, ocorre uma grande variação na produtividade.

Gonçalves, Demattê e Couto (1990) e Carvalho (1999) afirmam que os fatores da interação biológicos e biofísicos denominados sítios causam as diferenças na produtividade e na maioria das vezes são expressos na altura dominante das árvores em determinada idade.

Geralmente os tipos de solos utilizados para os reflorestamentos no Brasil, com algumas exceções, são solos que apresentam baixa fertilidade mesmo para o cultivo florestal do gênero *Pinus*, sendo que a correção físico química desses solos é necessária e recomendada para o aumento da disponibilidade de nutrientes minerais, como também a capacidade de retenção de água e aumento do nível de matéria orgânica (BELLOTE et al., 1998). Ainda em relação a textura do solo, capacidade de armazenamento de água e a fertilidade natural, Gonçalves, Demattê

e Couto (1990) e Carvalho et al. (1999) compartilham que desempenham papel extremamente importante na definição da qualidade do sítio.

As espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* devido velocidade de crescimento, ausência de sintomas de deficiência, de modo especial nas rotações iniciais, apontam para a ideia de que os cultivos de *Pinus* não necessitem da aplicação de fertilizantes minerais. De modo que vários autores tem seus estudos voltados a comprovar que os fatores de solo e condições de nutrição do mesmo, tem intima relação com a produtividade dessas espécies (PRITCHET; ZWINFORD, 1961) Dessa forma Goor (1965) já apontava problemas nutricionais no *Pinus elliottii* que mereceriam maior atenção com relação a qualidade do sitio e soma de bases trocáveis do solo principalmente quantidades de Ca mais Mg e teor total de P.

O baixo crescimento em altura de *Pinus elliottii* na região de Telêmaco Borba e limitantes ao crescimento dessa espécie foram associados com baixos teores de Mg e Zn (MENEGOL, 1991). Dentre os nutrientes que apresentam maior relação com a altura dominante com a idade de 15 anos das florestas de *Pinus* estão N, Mg, Cu, K e Zn que foram estudados na região de Telêmaco Borba por Garicoits (1990) em solos de três materiais de origem (arenito, diabásio e ritmitos) fatores que limitam o crescimento de *Pinus taeda*.

Moro (1995), por sua vez afirma que anos após aplicação da cinza de caldeira, há estabilização da resposta ao desenvolvimento significativo da floresta em DAP e altura, por influência das dosagens da aplicação de cinza, sendo que a manutenção do crescimento se dá pela ciclagem biogeoquímica dos nutrientes. Afirma ainda que na fase onde acontece o fechamento das copas no povoamento, mudanças drásticas no ambiente da floresta, acentuam a competição por água, luz e nutrientes, observando as variáveis DAP e altura sofrerem estabilização, sendo a variável altura a primeira a estabilizar. Mais um fator preponderante observado por Moro (1995) com relação a queda nos ritmos de resposta a doses de aplicação de cinza, é o da permeabilidade do solo, fator que influencia consideravelmente a lixiviação dos nutrientes aplicados contidos na cinza. Andrade (2003), por sua vez confirma resultados de aplicação de resíduo celulósico em áreas de *Eucalyptus* com doses de até 80 Mg ha<sup>-1</sup> com ganho de volume expressivo chegando a 43,5% maiores que a testemunha.

Os plantios de pinus no Brasil têm apresentado uma produtividade crescente, passando de 25m<sup>3</sup>/ha ano em 1990 para 31m<sup>3</sup>/ha ano em 2016. A nível de estado, o Paraná apresenta a produtividade de cerca de 34m<sup>3</sup>/ha ano (IBÁ,2017; STCP,2018).

Mesmo com aumento da produtividade não é possível sustentar a demanda de produção da indústria com a base florestal existente, fazendo se necessário o aumento considerável dos plantios de pinus (MEDRADO et al., 2008).

### **2.1.3 Resíduos celulósicos**

Uma alta porcentagem de resíduo e matéria orgânica é gerada nos processos industriais que envolvem madeira, sendo considerado resíduo toda sobra que ocorre no processamento mecânico, físico e químico que não é incorporado ao produto final ou seja, a celulose, a casca, a lama de cal, o lodo biológico, o resíduo celulósico e a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa, e que são produzidos ao longo do processo de produção, são genericamente classificados como resíduos (BELLOTE et al., 1998).

Grandes quantidades de cinza de caldeira, resíduos de celulose e lama de cal são gerados no branqueamento da celulose segundo (MORO, 1994). O setor florestal gera uma quantidade considerável de resíduos, e toda essa matéria é um problema de ordem ambiental nas fábricas além do alto custo para implantação e manutenção de aterros sanitários para deposição de todo esse material que chega a gerar 48t de resíduos para 100t de celulose produzida (BELLOTE et al., 1998).

Dentre esses resíduos, a cinza de caldeira que é proveniente da queima da biomassa vegetal nas caldeiras, tem como característica principal altos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio e uma relação C/N de 30/1. Já o resíduo celulósico apresenta altos teores de matéria orgânica total e compostável, altos teores de resíduo mineral, nitrogênio total, cálcio e relação C/N de 25/1 e devido à sua alta relação carbono/nitrogênio necessita ser decomposto previamente (BELLOTE et al.,1998).

O processo de decomposição do resíduo celulósico pode acontecer com a inoculação de agentes decompositores que aceleram esse processo, mas por outro lado envolve custos adicionais e monitoramentos constantes. Ou pela forma de decomposição natural que é o método mais praticado nas fábricas necessita de

grandes áreas para estocagem e um longo período para sua completa decomposição entre 2 a 3 anos (BELLOTE et al., 1998).

Alguns benefícios para o solo são notados com a aplicação dos resíduos orgânicos, provenientes da fabricação da celulose e papel como por exemplo: a) elevação do pH aumentando disponibilidade de nutrientes como fósforo e micronutrientes; b) melhora da capacidade de troca de cátions dos solos; c) absorção de nutrientes minerais necessários às árvores; d) melhora das propriedades físicas como a granulometria, a capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Ademais a ciclagem de nutrientes pela floresta devido a aceleração da decomposição da serapilheira pela aplicação dos resíduos da celulose e cinza de caldeiras (BELLOTE et al., 1995).

Com a utilização da adição dos resíduos ao solo são observados resultados mais acentuados na camada de 10 cm de profundidade, onde a acidez e as bases trocáveis de K, Ca da solução do solo são melhoradas consideravelmente com consequência direta na saturação de bases do solo (V%). Além disso, acontece redução na concentração de Al e aumento da fertilidade do solo devido ao aumento de concentração de matéria orgânica pela aplicação de doses maiores de resíduo celulósico e cinza de caldeiras (BELLOTE et al., 1995).

## 2.2 METODOLOGIA

### 2.2.1 Descrição da área de estudo

O experimento foi instalado no município de Piraí do Sul, que se situa no estado do Paraná, Brasil, no talhão 14 da Fazenda Boqueirão da empresa Iguazu Celulose e Papel (ICP). O clima da região com temperaturas anuais variando entre 16 a 18 °C e precipitação média anual entre 1400 a 1600 mm (AGUASPARANÁ, 2014). O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico e relevo é ondulado (SASS, 2016).

O Talhão onde foi instalado o experimento é de reforma de cultivo de Pinus taeda, com duas rotações de 12 anos cada. Não houve queima dos resíduos de colheita, sem histórico de correção ou fertilização da área.

## 2.2.2 Propriedades do resíduo

Conforme a Tabela 1, o material aplicado sobre a área de cada tratamento foi constituído por doses da mistura de lodo celulósico (composto pelos lodos primário, terciário e biológico) e cinza, para atingir diferentes níveis de saturação por bases e consiste numa mistura de 70% lodo celulósico e com 30% cinza de caldeira, compostados durante aproximadamente 12 meses a céu aberto.

TABELA 1 - Características químicas do resíduo industrial

		Tratamento (Mg ha <sup>-1</sup> )			
Lodo + Cinza		14	25	49	60
g kg <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>			
N	8,9	124,6	222,5	436,1	534,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,6	50,4	90,0	176,4	216,0
K <sub>2</sub> O	4,5	63,0	112,5	220,5	270,0
MgO	7,7	107,8	192,5	377,3	462,0
CaO	7,1	99,4	177,5	347,9	426,0
S	8,1	113,4	202,5	396,9	486,0
MO	560	7.840,0	14.000,0	27.440,0	33.600,0
mg kg <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>			
Fe	7.800,0	109,2	195,0	382,2	468,0
Cu	13,0	0,2	0,3	0,6	0,8
B	181,8	2,5	4,5	8,9	10,9
Mn	537,6	7,5	13,4	26,3	32,3
Zn	94,6	1,3	2,4	4,6	5,7

Fonte: SASS, 2016.

## 2.2.3 Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental

A caracterização química conforme Sass (2016), antes da implantação do experimento, na camada de 0 - 20 cm, foi de 3,67 g dm<sup>-3</sup> de carbono, 4,07 pH<sub>CaCl2</sub>; 0,2 e 0,01 mg dm<sup>-3</sup> de P e Na, 3,97; 0,04; 0,02; 0,03 e 0,69 cmolc dm<sup>-3</sup> de H+Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>, respectivamente, com saturação por bases de 2,5 %, segundo metodologia descrita por Silva et al. (1999). As doses de resíduo utilizadas foram definidas de modo a elevar a saturação de bases do solo para 20, 40, 60 e 80 %. As quantidades correspondentes foram 14, 25, 49 e 60 Mg ha<sup>-1</sup> do material, respectivamente, além da testemunha sem aplicação da mistura (TABELA 2).



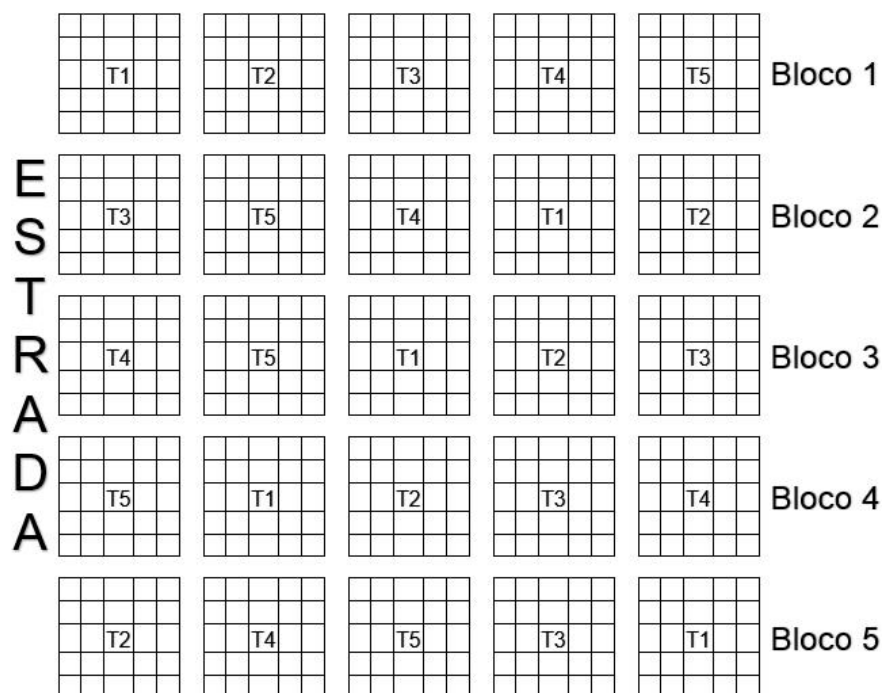
Tabela 1 - Doses do resíduo aplicadas na superfície de cada tratamento

Tratamento	Dose Mg ha-1
T1	0
T2	14
T3	25
T4	49
T5	60

Fonte: O autor.

A dose utilizada em cada tratamento foi pesada, levando-se em consideração a umidade do material, sendo as quantidades aplicadas superficialmente de forma manual, sem incorporação, em toda a área de cada parcela experimental, cerca de 180 dias após o plantio das mudas no campo. O ensaio apresenta delineamento experimental em blocos ao acaso e cinco repetições, espaçamento 2,5 x 2,5 m conforme representação na Figura 1.

Figura 1 - delineamento experimental



Fonte: O autor.

#### 2.2.4 Avaliação do experimento

## **Mensuração dos indivíduos**

As avaliações biométricas dos indivíduos foram efetuadas no mês de julho de 2018, aos sete anos após a reforma do talhão. As variáveis mensuradas foram o DAP (Diâmetro na altura do Peito 1,30m) e a altura, considerando-se as nove árvores centrais de cada tratamento em cada bloco, descontando desta maneira o eventual efeito de bordadura.

Para medição dos DAPs foi utilizada uma fita métrica, já para mensurar as alturas empregou-se um clinômetro eletrônico da marca Haglof®. Com os dados de DAP e H, e também foi calculado o volume utilizando a fórmula do fator de fórmula ( $ff=0,44$  fator utilizado pela empresa para esta fazenda) e posteriormente extrapolada por hectare.

## **Análises estatísticas**

Os dados obtidos em campo foram digitalizados e submetidos a análises estatísticas. Primeiramente os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e suas médias comparadas com as análises de regressão, sendo estas significativas quando valor  $p < 0,05$ . Quando as equações foram significativas, as doses de máxima eficiência técnica (DMET) foram calculadas por meio da primeira derivada da equação da parábola ( $X = -b/2.a$ ), onde X é a dose (Mg ha<sup>-1</sup>), “b” é o coeficiente que acompanha o x e o “a” é o coeficiente que acompanha o x<sup>2</sup>.

Para digitalização dos dados de campo e cálculo das estatísticas, utilizou-se o software Microsoft Excel®.

## **2.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

### **2.3.1 Crescimento em diâmetro**

Aplicada a ANOVA, foi identificada diferença estatisticamente significativa entre os 5 tratamentos (APÊNDICE 1). Indicando que houve efeito da aplicação do lodo celulósico no crescimento em DAP do Pinus (FIGURA 2).

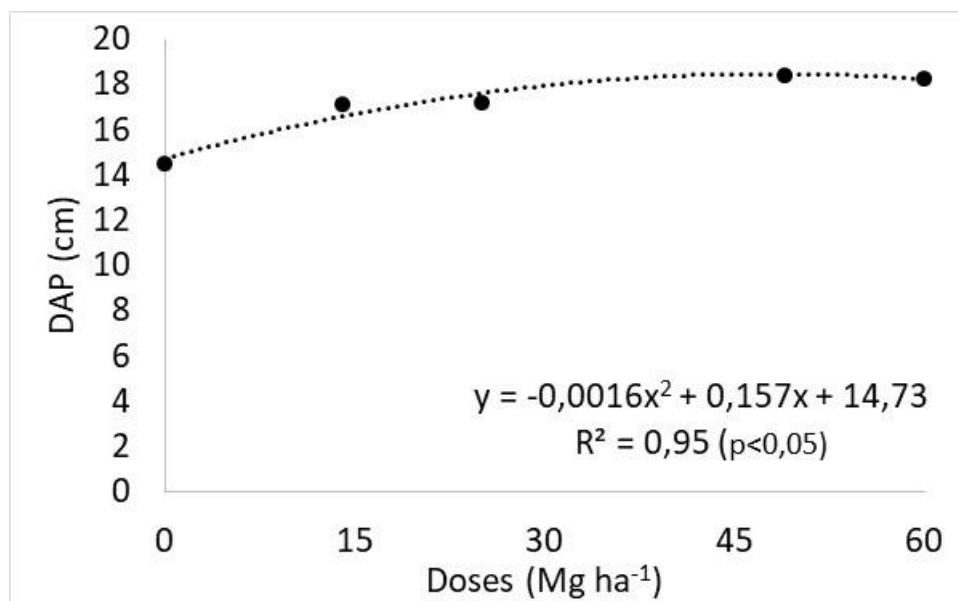
Posteriormente foi calculado a dose de máxima eficiência técnica (DMET) onde encontrou o valor de 49,1 Mg ha<sup>-1</sup>. Ou seja, para se obter o máximo

crescimento em DAP o ideal seria a aplicação dessa dose, sendo que valores superiores não teria utilidade para a planta, e valores inferiores não supriria a necessidade nutricional.

Para comparação das médias entre si dos tratamentos, observa-se que em comparação ao tratamento 1 (testemunha) que obteve média diamétrica de 14,5cm, os outros 4 tratamentos (14, 25 ,49 e 60 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo T2 17,2 cm, T3 17,2 cm, T4 18,4 cm e T5 18,3 cm apresentaram diferença.

As medias obtidas na medição dos diâmetros mostram pequena variação entre os tratamentos com destaque do tratamento 4, onde aplicou-se a dose 49,1 Mg ha<sup>-1</sup>.

Figura 2 - Crescimento em DAP de *Pinus taeda* em função de doses crescentes de lodo de celulose e cinza de caldeira no município de Piraí do Sul, PR



Fonte: O autor.

Segundo Sass (2016), em todos os anos avaliados a máxima eficiência técnica ficou próxima a 45,0 Mg ha<sup>-1</sup> comprovando melhor eficiência do tratamento 49,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Explica também que o efeito benéfico observado desde do primeiro ano, pode ser explicado pela combinação de solos muito pobres em sua condição natural, onde não houve reposição nutricional através de adubação ou calagem por dois ciclos de cultivo de florestas de Pinus e pela utilização de mudas com potencial genético alto. Rodrigues (2004) confirma que em solos muito pobres, a menor

dosagem de aplicação de resíduo causa efeito positivo, de forma apresentar resultados representativos de aumento das variáveis inclusive diâmetro.

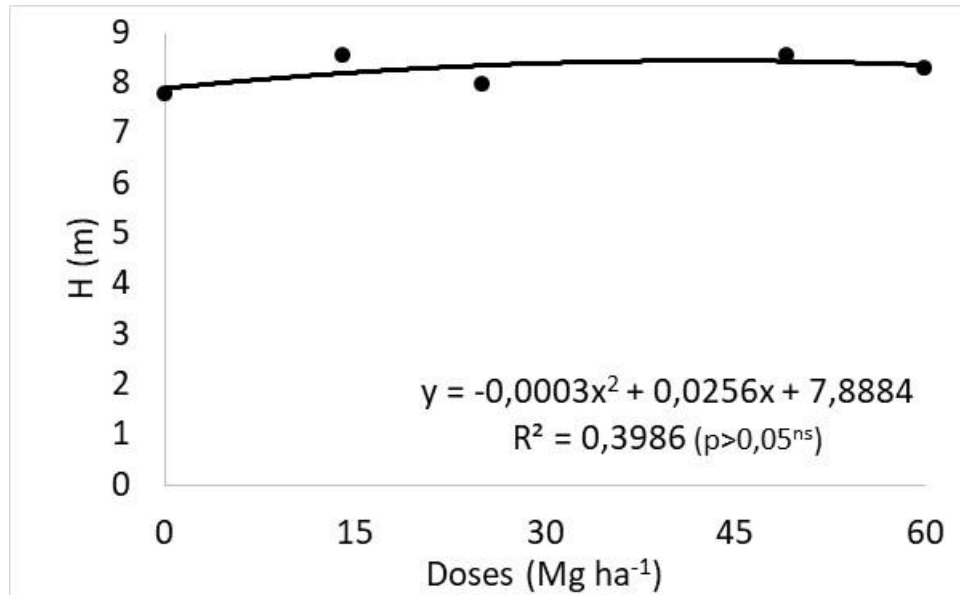
Por outro lado, apesar de ainda apresentar crescimento representativo, quando comparado a anos anteriores, a variável diâmetro mostra índices menores de acréscimo, se mostrando em concordância com considerações de Rodrigues (2004), declarando que devido a aplicação do resíduo celulósico ter acontecido somente na fase de implantação da floresta, após a avaliação aos 7 anos é possível que o mesmo já não cause mais tanto efeito sobre a nutrição do solo. Reforçando a ideia de Moro (1995), sobre a intensificação da realização do ciclo biogeoquímico pela floresta, ou seja, as árvores ficam mais independentes das reservas nutricionais providas pelo solo, reutilizando o que está presente na serapilheira formada nesse período, mas que também sofreram ação de lixiviação de nutrientes por ocasião da precipitação e alta permeabilidade do solo, fatores esses que influenciam grandemente o crescimento das mesmas.

### 2.3.2 Crescimento em altura

Calculada a análise de variância, não foi identificada diferença estatisticamente significativa entre os 5 tratamentos (APÊNDICE 2). Porém observa-se que a maior altura (8,56 m) foi obtida na dosagem de 45 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido pela dosagem de 15 Mg ha<sup>-1</sup> com altura de 8,54 m. E o tratamento testemunha, sem aplicação de resíduo, foi a com menor valor 7,75 m (FIGURA 3). Como a equação não foi significativa, não é possível o cálculo da DMET.

Sass (2016), afirma que nas avaliações realizadas em anos anteriores (2012, 2013 e 2014), floresta com 2, 3, e 4 anos respectivamente após o plantio, o efeito na dose de 45 Mg ha<sup>-1</sup>, apresentou acréscimos de aproximadamente 40% na altura das árvores. Fato esse não observado a partir da última medição nos tratamentos com a idade de 7 anos após o plantio, onde não houve diferença estatística de altura, entre os tratamentos (FIGURA 3). Rodrigues et al. (2005) reforça com resultados de acréscimos em torno de 40% na altura das árvores 7anos após a aplicação de resíduos da fábrica de papel, com dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup>.

Figura 3 - Crescimento em Altura total de *Pinus taeda* em função de doses crescentes de lodo de celulose e cinza de caldeira no município de Pirai do Sul, PR



Fonte: O autor.

Nota:<sup>ns</sup> – Equação não significativa ( $p > 0,05$ ).

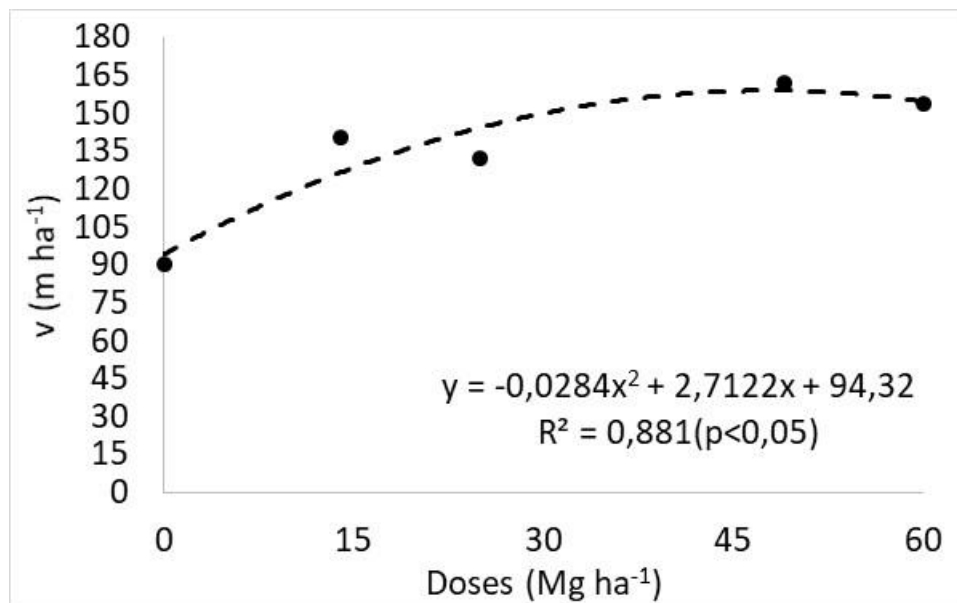
Os resultados quanto a altura obtida neste trabalho, pode ser explicado pela competição da floresta por luz, água e nutrientes que fica bastante agressiva nessa idade, devido a mudanças bastante expressivas no ambiente da floresta. Outro fator observado, são os processos de ciclagem biogeoquímicas de nutrientes que se estabelecem nos povoamentos nessa fase de fechamento das copas. Com o desenvolvimento da floresta no decorrer dos anos as árvores ficam mais independentes do fornecimento de nutrientes oriundos do solo devido se tornar mais intenso a ciclagem de nutrientes fator esse que define o desenvolvimento da árvore pelo ciclo árvore-serrapilheira-solo-árvore com efeitos indiferentes aos tratamentos aplicados (MORO,1995). Outro fator a ser considerado conforme Moro (1995), é o da lixiviação de nutrientes devido a alta permeabilidade do solo, variável essa observada na área do experimento onde o solo é bastante arenoso e por sua vez bastante permeável.

### 2.3.3 Crescimento em volume

Pode-se observar na Figura 4 que houve efeito da aplicação do resíduo na variável volume, como já observado por Sass (2016) nas avaliações anteriores (2012, 2013 e 2014) respectivamente, onde apresentaram acréscimo expressivo de incremento devido a aplicação do lodo celulósico e cinza de caldeira. Rodrigues

(2004), após suas avaliações obteve resultados próximos (155,8 m<sup>3</sup>/ha) quanto ao acréscimo de volume comparado ao presente trabalho e que comprovam a eficiência da aplicação do resíduo celulósico. Com doses maiores (80 Mg ha<sup>-1</sup>) atingiu acréscimo de volume ainda melhor (181,5 m<sup>3</sup>/ha) quanto ao do presente estudo onde com doses maiores ocorreu decréscimo de resposta.

Figura 4 - Crescimento em Volume (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de *Pinus taeda* em função de doses crescentes de lodo de celulose e cinza de caldeira no município de Pirai do Sul, PR.



Fonte: O autor.

Sendo que a DMET para variável volume foi de 47,7 Mg ha<sup>-1</sup> o que corresponde um volume aproximado de 158 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, novamente correspondendo a dose encontrada no diâmetro e também nas avaliações anteriores. A dose de máxima eficiência encontrada por Sass (2016) em torno de 40, 45 e 50 Mg ha<sup>-1</sup> confirmam os valores apresentados na última medição. Estudo realizado por Rodrigues (2005) comprova ganhos volumétricos de 40% em *Pinus taeda*, quando comparado a testemunha utilizando-se de doses maiores de aplicação de resíduo celulósico, ficando em torno de 71,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Andrade (2003), em seu trabalho com aplicação de resíduo celulósico em *Eucalyptus dunnii*, aos 6 anos chegou a resultados semelhantes onde a dose de máxima eficiência foi de 80,0 Mg ha<sup>-1</sup> com ganhos volumétricos 43,5% a maiores, quando comparado a testemunha.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em se tratando da variável DAP, todos os tratamentos com aplicação do resíduo, demonstraram melhor desempenho em relação à testemunha, com pequena diferença do T4 com dosagem de 49 Mg ha<sup>-1</sup>, onde foi possível o cálculo da máxima eficiência técnica (DMET) com valor próximo ao do tratamento 49 Mg ha<sup>-1</sup> obtendo-se 45,1 Mg ha<sup>-1</sup>.

No que diz respeito à altura, da mesma forma, todos os tratamentos com aplicação do resíduo (T2, T3, T4 e T5) demonstraram resultado superior em relação à testemunha, mas não considerados significativos entre si, demonstrando uma estabilização no crescimento em altura na floresta a partir da idade de 7 anos.

Com relação a variável volume, os resultados se mostraram bastante favoráveis a aplicação do resíduo celulósico com resultados bem superiores se comparado a testemunha, com DMET de 47,7 Mg ha<sup>-1</sup>.

De modo geral, a aplicação de lodo celulósico e cinza de caldeira proporcionou maior crescimento das variáveis de *Pinus taeda* em DAP e Volume, mas com diminuição do ritmo de crescimento, principalmente na variável altura.

Sendo assim conclui-se que a dose de máxima eficiência técnica foi 49 Mg ha<sup>-1</sup>, até o momento. Mais levantamentos deverão ser realizados para comprovar até que idade aplicação do lodo celulósico e cinza de caldeira, oferecem aporte nutricional significativo a floresta de *Pinus*

### REFERÊNCIAS

AGUASPARANÁ (Instituto das Águas do Paraná). **Dados de precipitação diária do município de Piraí do Sul – PR**. 2014.

ALBAUGH, Timothy J.; ALLEN, H. Lee; FOX, Thomas R. Nutrient use and uptake in *Pinus taeda*. **Treephysiology**, v. 28, n. 7, p. 1083-1098, 2008.

ANDRADE, Guilherme de Castro et al. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptusdunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

BELLOTE, Antonio Francisco Jurado et al. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPÓSIO IUFRO – Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales, 1, 1995, Valdivia. **Anais**. 1995. p. 317-323.

BELLOTE, Antonio Francisco Jurado et al. **Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais**. Colombo Pr: Embrapa Florestas, 1998. 37 p.

CARVALHO, A. P. et al. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, jul./dez. 1999.

COSTA, Epitágoras Rodson Oliveira et al. Alterações químicas do solo após aplicação de biossólidos de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 1-10, 2009.

DEMEYER, Alex; NKANA, JC Voundji; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresourcetechnology**, v. 77, n. 3, p. 287-295, 2001.

GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 24-39, 1990.

GARICOÏTS, Luis Sayagués Laso. **Estado Nutricional e Fatores do Solo Limitantes do Crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba (PR)**. 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GOOR, C. P. van. Reflorestamento com coníferas no Brasil: aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*.



[S.I.]: **Ministério da Agricultura**, D.R.N.R., Divisão Silvicultura, Seção de Pesquisas Florestais, 1965. não paginado. (Boletim, 9).

IBÁ (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES). **Relatório IBÁ 2017 ano base 2016**. Brasília: IBÁ, 2017. 77 p.

LORENZI, Harri et al. **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2003. 368 p. (85-86714-19-4).

MANDRE, Malle; PÄRN, Henn; OTS, Katri. Short-term effects of wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of *Pinus sylvestris* L. **Forest ecology and management**, v. 223, n. 1-3, p. 349-357, 2006.

MEDRADO, Moacir José Sales et al. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo Pr: Embrapa Florestas, 2008. 223 p. (ISBN 978-85-89281-26-3).

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MORO, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, p. 155-166, 1994.

MORO, Luiz. Efeitos da cinza de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. Mogi Guaçu -sp: Ipef, 1995. 27 p.

PRITCHETT, W.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

REISSMANN, Carlos B.; WISNIEWSKI, Celina. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-165, 2000.

RODRIGUES, Celina Milani. **Efeito da aplicação de Resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L.** 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODRIGUES, Celina Milani et al. Alterações na nutrição e na produtividade do *Pinus taeda* L. provocadas pela aplicação de resíduo celulósico. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 51, p. 131-143, 2005.

SASS, Anne Luize. **Resíduo industrial celulósico no solo para melhorar o crescimento e a nutrição do *Pinus taeda*.** 2016. 31 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SAYER, MA Sword et al. Long-term trends in loblolly pine productivity and stand characteristics in response to thinning and fertilization in the West Gulf region. **Forest Ecology and Management**, v. 192, n. 1, p. 71-96, 2004.

SHIMIZU, Jarbas Yukio. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 223 p. (ISBN 978-85-89281-26-3).

SIKSTRÖM, Ulf; ALMQUIST, C.; JANSSON, Gunnar. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. **Silva Fennica**, v. 44, n. 3, p. 411-425, 2010.

STCP (Comp.). **Estudo setorial APRE**. Curitiba: Stcp, 2018. 138 p.

TUOTO, Marco; HOEFLICH, Vitor Afonso. A indústria florestal brasileira baseada em madeira de Pinus: limitações e desafios. *Pinus na silvicultura brasileira*. Colombo: **Embrapa Florestas**, p. 6-10, 2008.

USDA FOREST SERVICE – **Technology transfer, *Pinus taeda***. Disponível em< [http:// www2.fpl.fs.fed.us/techsheets/softwoodNA/htmldocs/Pinustaeda.html](http://www2.fpl.fs.fed.us/techsheets/softwoodNA/htmldocs/Pinustaeda.html)> Acesso em: 5 mai. 2018.