

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA

ALVARO BOSON DE CASTRO FARIA

**EFEITO DE LODO DE PAPEL RECICLADO NO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA
NUTRIÇÃO DE *Eucalyptus saligna* Smith.**

**CURITIBA
2011**

ÁLVARO BOSON DE CASTRO FARIA

**EFEITO DE LODO DE PAPEL RECICLADO NO SOLO, NO CRESCIMENTO E NA
NUTRIÇÃO DE *Eucalyptus saligna* Smith.**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial a obtenção do título de Doutor em Silvicultura.

Orientador:

Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

Co-Orientador:

Prof. Dr. Celso Auer Garcia

**CURITIBA
2011**

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Faria, Álvaro Boson de Castro

Efeito de lodo de papel reciclado no solo, no crescimento e na nutrição de *Eucalyptus saligna* Smith / Álvaro Boson de Castro Faria - 2011.

94 fls.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

Co-orientador: Prof. Dr. Celso Auer Garcia

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 20/10/2011.

Inclui bibliografia.

Área de concentração: Silvicultura

1. *Eucalyptus saligna* - Nutrição. 2. Resíduos de papel - Reaproveitamento. 3. Teses. I. Ângelo, Alessandro Camargo. II. Garcia, Celso Auer. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

CDD – 634.9

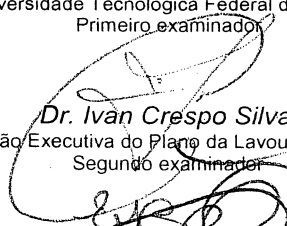
CDU – 634.0.181.34

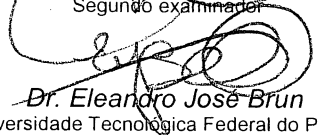
PARECER


Defesa nº. 890

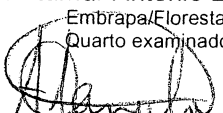
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Alvaro Boson de Castro Faria* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**EFEITO DO LODO DE PAPEL RECICLADO NO SOLO, NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE *Eucalyptus saligna* Smith.**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.


Dr. Daniela Cleide Azevedo de Abreu
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Primeiro examinador


Dr. Ivan Crespo Silva
Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
Segundo examinador

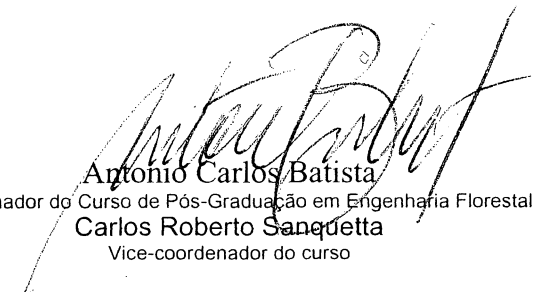

Dr. Eleanora José Brun
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Itamar Antonio Bognola
Embrapa Florestas
Quarto examinador


Dr. Alessandro Camargo Angelo
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 20 de outubro de 2011.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso

AGRADECIMENTOS

Muitos contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, devo agradecer a todos da Universidade Estadual do Centro Oeste, Unicentro, que de alguma forma participaram desta empreitada. Aos alunos que me ajudaram nas atividades de laboratório e nos experimentos de campo, em especial a Bruna Col Debella e o Pedro Henrique Riboldi Monteiro. Também, ao pessoal do Departamento de Engenharia Florestal, por cederem a área experimental e pelos auxílios técnicos no preparo do solo.

Também na Unicentro, agradeço a parceria do amigo Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho, em especial na coleta de dados de campo. Também, da professora Dra. Kátia Cyrene Lombardi e da servidora Odiméia Teixeira, pela ajuda com a co-orientação deste trabalho e no que diz respeito às análises de laboratório sobre fertilidade de solo.

Ao pessoal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), devo agradecimentos aos professores do colegiado, em especial os professores Dr. Alessandro Camargo Ângelo e Dr. Celso Auer Garcia, pela co-orientação deste trabalho, e pela ajuda na coleta de dados de campo.

As análises nutricionais de folhas e raízes não teriam sido possíveis sem a ajuda dos acadêmicos Caio Brandelik e Eleazar Luis da Silva e Silva, bem como do servidor Aldair Marty Munhoz, que nos orientou quanto aos métodos laboratoriais e os cálculos nutricionais. Agradeço ao amigo e professor Dr. Rui André Maggi dos Anjos, e ao Dr. Alan de Andrade, por permitirem o uso das estruturas laboratoriais da UFPR em parte deste trabalho.

Aos colegas da pós-graduação, deixo meu abraço e meus agradecimentos pelas parcerias e pelo coleguismo do dia a dia.

Este trabalho contou com parcerias empresariais muito significativas. Devo agradecer a CVG – Cia. Volta Grande de Papel, especialmente ao Engenheiro Florestal MSc. Epiágoras Rodson Oliveira Costa, pelo fornecimento do resíduo utilizado nos experimentos desta tese, e ao Engenheiro Florestal MSc. Gleison Augusto dos Santos da Klabin, responsável pela doação das mudas utilizadas no experimento de campo.

Agradeço também a todos os amigos e colegas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, pela compreensão, força e motivação, sem o qual este trabalho não teria sido escrito e concluído.

A minha família, deixo meu carinho e eterna gratidão pelos ensinamentos que deram a certeza sobre o caminho a ser percorrido, e sobre a existência do Grande Arquiteto do Universo nos mais diversos planos da existência.

*[...] Eis que vos tenho dado
todas as plantas que produzem sementes,
as quais se acham sobre a face da Terra,
bem como todas as árvores
que possuem frutos que dão sementes;
ser-vos-ão para mantimento.*

Gênese

RESUMO

Este trabalho parte do princípio de que os passivos ambientais gerados por indústrias podem ser reutilizados como insumos para a geração de produtos inovadores, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas. O lodo de papel reciclado é rico em óxidos de Ca^{2+} e tem potencial para uso como corretivo de solos. O objetivo geral foi avaliar o uso deste resíduo na implantação de *Eucalyptus saligna* Smith. O teor de umidade e a granulometria do resíduo foram controlados para o uso experimental. Foi realizado um ensaio com mudas em vasos em delineamento de blocos casualizados, cujo primeiro fator foi a aplicação de doses crescentes do lodo, e o segundo fator, a realização de adubação de cobertura. Os objetivos específicos foram avaliar o efeito sobre: i) as características físico-químicas e a fertilidade do solo; ii) o desenvolvimento de mudas (biomassa de raízes, diâmetro de colo e altura); e, iii) teores de macro e micronutrientes em folhas e raízes desta espécie. Os principais efeitos na fertilidade do solo foram: i) O lodo de papel reciclado foi eficiente em aumentar o pH da mistura, tendo potencial de uso como corretor de solo; ii) Os teores de magnésio presentes no resíduo não foram satisfatórios para o desenvolvimento de *E. saligna*; iii) Quanto maior a dose de resíduo incorporado ao solo, maior o risco de lixiviação de K, Ca, Na e P presente na solução do solo. Os efeitos mais importantes do lodo de papel reciclado sobre o crescimento das plantas foram: i) Prejudicou o desenvolvimento em diâmetro do colo e altura nas mudas de *E. saligna*. Os principais efeitos do resíduo sobre os nutrientes em folhas e raízes das plantas foram os seguintes: i) Houve aumento dos teores de P nas raízes do grupo de plantas sem adubação de cobertura, por conta da complexação do alumínio pelas maiores doses de resíduo; ii) O lodo de papel reciclado não interferiu na absorção do P para as folhas; iii) O aumento do pH do solo com o uso do lodo favoreceu a disponibilidade de P e a absorção de Ca para as raízes; iv) Existiu relação inversa entre o teor de Ca nas raízes e os teores de Mn nas folhas.

Palavras-chave: produção florestal; resíduos agroindustriais; sustentabilidade.

ABSTRACT

This paper assumes that the environmental liabilities generated by industry can be reused as inputs for the generation of innovative products, and contributing to development of cleaner technologies. Recycled paper sludge is rich in calcium oxides and has potential for use as a broker of land. This study aimed to assess the overall potential use of this residue in the implantation of *Eucalyptus saligna* Smith. The moisture content and particle size of the residue were controlled for experimental use. It was conducted an experiment with seedlings in pots with a randomized block design, where the first factor was the application of increasing doses of sludge, and the second factor, the performance of top adubation. The specific objectives were to evaluate the effect in: i) the physical and chemical characteristics and soil fertility; ii) the development of seedlings (root biomass, stem diameter and height); and, iii) macro and micronutrients in leaves and roots of this species. The main effects on fertility were: i) Recycled paper sludge was efficient to increase the pH of the mixture, and has potential to be used as soil broker; ii) The levels of magnesium present in the residue were not satisfactory for the development of *E. saligna*; iii) Higher the amount of residue incorporated into the soil, higher is the risk of leaching of K, Ca, Na and P present in soil solution. The most important effects of recycled paper sludge on plant growth were: i) Decreased the development of stem diameter and height in seedlings of *E. saligna*. The main effects of residue on the nutrients in leaves and roots of plants were: i) The levels of P was increased in the roots of the group of plants without fertilization, due to the complexation of aluminum by higher doses of the sludge; ii) The sludge did not interfered the absorption of P to the leaves; iii) The increase in soil pH with the use of the sludge favored the P availability and the uptake of Ca to the roots; iv) There was an inverse relationship between the Ca content in the roots and the concentration of Mn in the leaves.

Keywords: forestry; agro-industrial residues; sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE: O LODO DE PAPEL RECICLADO	8
1.2 USO DO LODO DE PAPEL RECICLADO NO SETOR FLORESTAL	9
2 OBJETIVOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 EFEITOS DE FERTILIZANTES E DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS SOBRE O DESENVOLVIMENTO E SOBRE TEORES NUTRICIONAIS EM FLORESTAS	12
3.1.1 Eficiência Nutricional de Eucalipto	12
3.1.2 Efeitos dos Resíduos Sobre Macronutrientes	13
3.1.2.1 Nitrogênio	13
3.1.2.2 Fósforo	14
3.1.2.3 Potássio	15
3.1.2.4 Cálcio	16
3.1.2.5 Magnésio	17
3.1.2.6 Outros Efeitos de Resíduos sobre Macronutrientes Foliares	18
3.1.3 Efeitos dos Resíduos Sobre Micronutrientes	19
3.1.3.1 Efeitos de Resíduos sobre Micronutrientes Foliares	21
3.1.4 Produção	21
3.1.4.1 Efeitos de Resíduos sobre Biomassa	21
3.1.4.2 Efeitos de Macronutrientes e Micronutrientes sobre a Produção de Eucalipto	23
3.1.4.3 Efeitos de Resíduos sobre Crescimento em Altura e Diâmetro de Colo	24
3.1.4.4 Efeitos relativos da acidez do solo na disponibilidade de nutrientes para as plantas	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 LOCAL DE ESTUDO	26
4.2 DETALHES PRELIMINARES DO EXPERIMENTO	26
4.3 TRATAMENTOS	27
4.4 PARÂMETROS ANALISADOS	29
4.4.1 Crescimento e Biomassa	29
4.4.2 Fertilidade do Solo	29
4.4.3 Nutrição Florestal	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 FERTILIDADE DO SOLO	31
5.1.2 Potássio, Cálcio e Magnésio no Solo	32
5.1.2.1 Potássio	32
5.1.2.2 Cálcio	33
5.1.2.3 Relação K: Ca	34
5.1.2.4 Magnésio	35
5.1.2.5 Relação Ca: Mg	35
5.1.3 Toxicidade Potencial	36
5.1.4 Sódio, Matéria Orgânica, Fósforo e Bases Trocáveis	37
5.1.4.1 Sódio	37
5.1.4.2 Matéria orgânica (MO)	37

5.1.4.3 Fósforo	38
5.1.4.4 Saturação por bases (V%)	39
5.2 CRESCIMENTO E BIOMASSA	39
5.2.1 Diâmetro de Colo	39
5.2.2 Altura	43
5.2.3 Biomassa de Raízes.....	45
5.3 NUTRIÇÃO FLORESTAL	47
5.3.1 Macronutrientes em Folhas e Raízes	47
5.3.1.1 Nitrogênio	48
5.3.1.2 Fósforo	50
5.3.1.3 Potássio.....	52
5.3.1.4 Cálcio	55
5.3.1.5 Magnésio.....	57
5.3.1.6 Eficiência nutricional dos macronutrientes nos tratamentos.....	59
5.3.1.7 Efeitos do aumento de pH sobre os macronutrientes nos tratamentos	61
5.3.2 Micronutrientes em Folhas e Raízes	62
5.3.2.1 Cobre.....	62
5.3.2.2 Manganês.....	63
5.3.2.3 Ferro.....	66
5.3.2.4 Zinco.....	67
5.3.2.5 Eficiência nutricional dos micronutrientes nos tratamentos	69
5.3.2.6 Efeitos do aumento de pH sobre os micronutrientes nos tratamentos	71
6 CONCLUSÕES	72
7 RECOMENDAÇÕES.....	74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
APÊNDICES	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE: O LODO DE PAPEL RECICLADO

A sociedade do início do século XXI vem adotando uma racionalidade em favor do desenvolvimento sustentável. O presente trabalho parte do princípio de que os passivos ambientais gerados por indústrias podem ser reutilizados como insumos para a geração de produtos inovadores, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas, para a geração de empregos e renda em novos mercados.

As indústrias de papel e celulose geram poluição ambiental (Stappe e Balloni, 1988; Suzuki et al., 1991; Gonçalves e Moro, 1995). Os constantes aumentos na demanda de produção implicam a geração diária de grande quantidade de resíduos, em função dos diferentes processos tecnológicos e da qualidade das aparas de papel, constituindo uma preocupação ambiental (Moro e Gonçalves, 1995).

Da mesma forma, a indústria de papel reciclado também gera passivos ambientais na forma de resíduos sólidos, denominados de lodo de estação de tratamento e efluentes (ETE) ou lodo de papel reciclado. Segundo Balbinot Júnior et al., (2006a), a produção destes resíduos ocorre a partir das perdas de fibras de celulose no processo de reciclagem e principalmente devido a remoção da carga mineral contida nas aparas de papel durante o processo industrial. Autores como Andrade et al. (2005) e Rocha et al. (2004) entendem que o lodo de ETE também pode ser conceituado como biossólido.

Bellote et al. (1998) lembram que, nas empresas que utilizam o processo kraft para extração de celulose, os resíduos recebem as denominações técnicas de dregs, grifts, além da lama de cal e lodo da ETE. No branqueamento da celulose, os resíduos em maior quantidade são: cinza de caldeira, resíduos de celulose e lama de cal (Bellote et al., 1998; Stappe e Balloni, 1988).

As fábricas de papel e celulose geram aproximadamente 48 ton de resíduos para cada 100 ton de celulose produzida (Bellote et al., 1998). A opção por aterro sanitário para disposição final destes resíduos é inevitável, e exige cuidados

especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (Bellote et al., 1998; Balbinot et al., 2006b; Gama e Dias, 2010; Balbinot Junior et al., 2006a).

Com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), a responsabilidade de destino final dos passivos ambientais gerados nos mais diversos setores de produção, passou a ser das empresas e indústrias. Assim, espera-se que o mercado passe a investir cada vez mais em programas de reciclagem e reaproveitamento de rejeitos industriais.

O lodo de papel reciclado se apresenta como uma massa fibrosa de cor acinzentada, tendo sido classificado por Costa (2007) como não perigoso, classe II A, não inerte, exigindo controle e monitoramento ambiental, com base na norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). A composição química dos resíduos da reciclagem de papel é afetada pelas características das aparas que chegam na indústria, em especial a concentração de tinta. As aparas podem ser divididas em dois grupos: apara natural (jornais, revistas, papelão) e apara branca (folhas brancas de papel). De acordo com o tipo de material reciclado, há mudanças na composição química dos rejeitos (Balbinot Júnior et al. 2006ab).

1.2 USO DO LODO DE PAPEL RECICLADO NO SETOR FLORESTAL

Empresas e Instituições de Pesquisa vêm buscando alternativas de uso para o lodo de papel, com intuito de evitar ou reduzir passivos ambientais (Balbinot Júnior et al., 2006a). Autores consideram o lodo de papel como uma alternativa promissora para ser incorporado na produção de cimento (Gama e Dias, 2010) e cerâmica (Pinheiro et al., 2007; Pinheiro et al., 2008).

Desde a década de 1990, a Embrapa Florestas já vem dando atenção para pesquisas com cinza de caldeira e resíduo celulósico (Ferreira et al., 1995; Bellote et al., 1998; Andrade et al., 2003). Diversos autores (Balbinot Júnior et al., 2006b; Lunardi Neto et al., 2008; Costa et al., 2009), destacam que o lodo de papel e do papel reciclado são ricos em óxidos de cálcio e magnésio e tem potencial para uso como corretor de solos. Estas características tornam-se interessantes para serem aproveitadas em culturas implantadas em solos com baixa fertilidade e/ou elevada acidez, como *e.g.* os solos do Cerrado brasileiro, ou mesmo, para melhorar as propriedades físicas e químicas de solos degradados (Balbinot Júnior., 2006ab;

Galbiatti et al., 2007; Lunardi Neto et al., 2008; Lima et al., 2010). Andrade et al. (2003) consideram viável a utilização de resíduos de fábricas de papel e celulose em plantios de eucalipto.

O setor de celulose e papel no país é composto por 220 empresas localizadas em 450 municípios, e que empregam um contingente de aproximadamente 610 mil pessoas de forma direta e indireta (SBS, 2008). Estas empresas utilizam preponderantemente espécies de eucalipto como fonte de matéria prima. Dados da Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa, 2009) dão conta que em 2008, o Brasil subiu do sexto para o quarto lugar entre os produtores mundiais de celulose, com 12,7 milhões de toneladas produzidas, e passou do 12º para o 11º lugar entre os principais fabricantes de papel do mundo, com a marca de 9,4 milhões de toneladas.

Enquanto florestamento é um conceito associado às áreas com plantações florestais e que visam fornecer produtos para a sociedade, reflorestamento está mais associado à atividade de recuperação da vegetação e com fins prioritariamente ecológicos e ambientais. Aplicações de biossólidos (no caso, lodo de esgoto) em plantações florestais constituem prática comum em países desenvolvidos, porém, no Brasil, é ainda incipiente (Rocha et al., 2004; Andrade et al., 2005). Áreas destinadas a florestamentos poderiam absorver grande parte do biossólido produzido nas ETE's (Rocha et al., 2004). Para Tsutiya (2002), a vantagem da aplicação de biossólidos em plantações florestais consiste no fato de que os principais produtos destas culturas não se destinam a alimentação humana e animal, possibilitando maior segurança quanto a dispersão de eventuais contaminantes.

Há escassez de trabalhos sobre o uso de resíduos de reciclagem de papel para correção da acidez do solo e/ou como fonte de nutrientes para as culturas agrícolas e florestais (Balbinot Júnior. et al., 2006a). Corretivos de solo podem causar a redução dos teores de K^+ no solo e a calagem para plantações de eucalipto pode ser desaconselhável, até que se conheça a sua implicação com os demais nutrientes e com as necessidades da planta (Valeri et al., 1985). As pesquisas realizadas com resíduos da indústria de papel e celulose mostram grande potencial de uso e aumento da produtividade do eucalipto, em consequência da melhoria das propriedades do solo (Bellote et al., 1998).

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o uso potencial do lodo de papel reciclado na implantação de *Eucalyptus saligna* Smith. Foi realizado um ensaio com mudas em vasos distribuídos em campo e com a aplicação deste resíduo, com o objetivo específico de avaliar o efeito sobre:

- Características físico-químicas e fertilidade do solo;
- O desenvolvimento de mudas de *E. saligna* (biomassa de raízes, diâmetro de colo e altura);
- Teores de macro e micronutrientes em folhas e raízes de *E. saligna*;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EFEITOS DE FERTILIZANTES E DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS SOBRE O DESENVOLVIMENTO E SOBRE TEORES NUTRICIONAIS EM FLORESTAS

Em sítios florestais, a exportação de nutrientes, mediante a colheita e aos manejos de poda e desbaste, pode causar grandes impactos sobre a fertilidade do solo. Para tanto, práticas de reposição dos nutrientes se fazem necessárias para manter o suprimento de nutrientes no solo e assegurar a produtividade do sítio florestal a longo prazo (Caldeira et al., 2002).

O cálcio e o potássio são os nutrientes que mais poderão limitar a produtividade dos próximos ciclos de eucalipto, considerando-se a colheita do tronco. Entretanto, essa limitação pode ser substancialmente reduzida, principalmente para cálcio, se a colheita se restringir apenas ao lenho. Esta alteração no manejo florestal implica em maior sustentabilidade do ecossistema (Santana et al., 1999).

3.1.1 Eficiência Nutricional de Eucalipto

As três espécies de eucalipto testadas por Schumacher e Poggiani (1993) apresentaram um comportamento semelhante no que diz respeito à distribuição de nutrientes nos diferentes compartimentos. Nas folhas verificam-se as maiores concentrações de N, P e K e na casca foram observadas as maiores concentrações de Ca e Mg. Do ponto de vista nutricional, os valores mais elevados são encontrados nas folhas (Poggiani et al., 1984).

Schumacher e Poggiani (1993) constataram a eficiência nutricional do *E. grandis* para a extração do elemento cálcio. O *E. camaldulensis* evidenciou as maiores eficiências para os elementos fósforo, potássio e magnésio (*ibid.*). A espécie *E. grandis* mostrou uma concentração mais elevada de nitrogênio e fósforo em folhas recém maduras nos estudos de Haag et al. (1976).

Malavolta et al. (1997) citam os seguintes teores foliares de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis*: N = 21 a 23; P = 1,3 a 1,4; K = 9 a 10; Ca = 5 a 6; Mg = 2,5 a 3; B = 25 a 30; Cu = 7 a 10; Fe = 100 a 140; Mn = 300 a 400 e Zn = 12 a 17.

Macedo et al. (1996) concluíram que as espécies de eucalipto apresentam concentrações foliares decrescentes para os seguintes macronutrientes: Na > Ca > K > Mg > P > S e, para os micronutrientes: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Santana et al. (2002) afirmam que a eficiência de utilização de nutrientes (EUN, $\text{kg biomassa/kg nutriente}^{-1}$) em eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*) decresceu na seguinte ordem: P > Mg > K > N > Ca, sendo esta a mesma tendência observada por Santana et al. (2000).

A partir dos dados de Macedo et al. (1996), *E. saligna* apresentava concentrações foliares de macronutrientes decrescentes para N > Ca > K > Mg > P > S e, de micronutrientes para Mn > Fe > B > Zn > Cu (*E. saligna*). Poggiani et al. (1983) encontraram as seguintes médias das concentrações de elementos químicos em folhas e galhos por classes de diâmetro dos eucaliptos:

3.1.2 Efeitos dos Resíduos Sobre Macronutrientes

3.1.2.1 Nitrogênio

Os resultados de Ferreira et al. (2007) mostram que o resíduo de celulose pode ser utilizado como substrato para a produção de mudas de eucalipto desde que sejam definidas as corretas concentrações de nitrogênio e fósforo no substrato que irão favorecer o desenvolvimento das plantas.

Em um espaçamento de 3 x 2 m, o teor de nitrogênio e fósforo das acículas de *P. taeda* foi significativamente superior aos tratamentos que receberam aplicação de resíduo, o que sugere um efeito de concentração desses nutrientes, já que as árvores da testemunha cresceram bem menos do que as árvores dos demais tratamentos (20, 40, 80 e 100 ton ha^{-1}) (Rodrigues, 2004).

Resultados de Rocha et al. (2004) indicaram que aos 24 e 36 meses de idade, os teores foliares de N foram menores que os iniciais, nos tratamentos com

biossólido, em decorrência de uma ou mais dessas causas: (a) diluição das quantidades de N numa maior biomassa foliar, ou seja, a assimilação de N não se manteve proporcional à formação de folhas ao longo do tempo, decorrente da velocidade de crescimento foliar maior do que a absorção de N ou da queda da disponibilidade de N no solo com o tempo (causa mais provável); (b) diminuição da demanda de N pela árvore, graças ao fechamento de copas e à queda do metabolismo foliar, ocasionada por maior auto e intercompetição foliar por luz e água, sobretudo nas porções mais velhas das copas, e (c) retranslocação interna de N.

Knapik e Ângelo (2007b) verificaram que as maiores concentrações de N nas folhas de *Prunus sellowii* foram obtidas nas mudas produzidas com esterco eqüino ($16,3 \text{ g kg}^{-1}$), e as menores no tratamento sem adubação ($13,7 \text{ g kg}^{-1}$). Lembrando-se que todos os tratamentos, inclusive a testemunha, receberam nitrogênio na adubação de base e cobertura em quantidades iguais, tendo ficado evidenciada a contribuição do esterco eqüino referente a esse elemento.

Vidotti (2007) testaram algumas doses (0; 5; 10; 15; 20 e 25 t ha^{-1}) de dois compostos de resíduos de celulose e papel e não verificaram aumento na concentração de N em folhas de eucalipto, aos 60 dias após plantio.

3.1.2.2 Fósforo

Mello et al. (1970) consideraram indispensável o uso de fósforo no desenvolvimento do *E. saligna* Sm. Segundo Barros et al. (1982), os níveis de P para o crescimento inicial de mudas de eucalipto são elevados, demonstrando que, no estágio muito jovem (menos de seis meses pós-plantio), o eucalipto é pouco efetivo na absorção deste elemento, principalmente em razão do sistema radicular pouco desenvolvido.

No entanto, a presença do fósforo nos substratos testados por Ferreira et al. (2007) estimulou o desenvolvimento e o crescimento das raízes das plântulas de eucalipto quando comparado à testemunha sem aplicação de fósforo (Ferreira et al. 2007).

De acordo com Foy (1976), o Al fixa o fósforo em formas menos solúveis no solo ou nas raízes, e ainda pode interferir na absorção, transporte e utilização de

vários nutrientes (como Ca, Mg, P, K) e da água usada pelas plantas. Dessa forma, ocorre redução na absorção de fósforo, bem como precipitação do nutriente nas raízes, restringindo a sua translocação para a parte aérea.

Os valores encontrados para P por Knapik e Ângelo (2007b) variaram entre $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ nas mudas produzidas com pó de basalto e $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ quando produzidas sem adubação e com adubação convencional. A menor quantidade absorvida de P pelas mudas produzidas com pó de basalto já era esperada, em vista da análise química do substrato com esse material ter mostrado quantidades de P menores do que nos demais tratamentos (ibid.).

O uso do lodo de esgoto não favoreceu a absorção de P pelo tecido foliar, segundo resultados de Rocha et al. (2004). No tratamento que recebeu adubação mineral, o teor de P foi bem maior do que nos demais tratamentos, aos doze meses de idade.

Barretto e Valeri (2008) mencionam aumento significativo das concentrações de P devido a aplicação das doses de composto (mistura de lodo ativado, dregs, grits e cinza no início da compostagem com casca na relação de 3:1). Guerrini (2003), também constataram o aumento no teor de P nas folhas de eucalipto com a aplicação de compostos orgânicos em condições de campo, aos três meses. Entretanto, houve decréscimo das concentrações de fósforo aos seis meses, sendo que a adubação química foi melhor que a orgânica.

3.1.2.3 Potássio

Haag et al. (1976) apresentaram teores de $10,4 \text{ g kg}^{-1}$ a $11,4 \text{ g kg}^{-1}$ de K^+ nas folhas de *E. alba* e *E. grandis* com dois anos de idade. Os dados do trabalho indicavam uma insuficiência de K^+ em todas as espécies, em ambos os solos (ibid.). Metro e Beaucorps (1958) apresentaram teores foliares de potássio para *E. camaldulensis* e *E. gomphocephala* com doze anos de idade, com valores oscilando em torno de $6,0 \text{ g kg}^{-1}$ a $6,2 \text{ g kg}^{-1}$ na matéria seca.

Guerrini (2003) observou que não houve efeito da adubação química e orgânica nas concentrações de K^+ nas folhas de eucalipto em condições de campo, aos três meses de idade. No entanto, Vidotti (2007) constatou aumento das

concentrações de K^+ nas folhas de eucalipto com a aplicação de um composto orgânico.

Os resultados de Barretto e Valeri (2008) indicaram efeito linear na concentração de K^+ nas folhas, pela aplicação do composto. Os aumentos de K^+ variaram de 2,33 para 3,50 $g\ kg^{-1}$, no tratamento sem a aplicação e na maior dose de composto, respectivamente.

Gonçalves e Moro (1995) verificaram que a aplicação da cinza em relação à aplicação de adubo, proporcionou absorção muito maior de K^+ e Ca^{2+} , nutrientes contidos em maior abundância na cinza. Estes nutrientes mostraram efeito sinérgico sobre a absorção de outros nutrientes contidos em pequena quantidade na cinza, e.g. o nitrogênio.

Rodrigues (2004) avaliou o teor de potássio nas acículas do pinus, e o tratamento de 40 $t\ ha^{-1}$ de resíduo mostrou-se superior aos demais tratamentos. Reese e Koo (1975) observaram que os aumentos nos teores de K^+ estavam associados com níveis altos de fósforo e de potássio, mas menores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} .

3.1.2.4 Cálcio

Segundo Malavolta (1980), o fato do cálcio ser um elemento imóvel nas plantas impede que ele sofra os efeitos de diluição com o crescimento dos tecidos vegetais.

Metro e Beaucorps (1958) encontraram para *E. camaldulensis* e *E. gomphocephala*, teores foliares de Cálcio na ordem de 10,7 $g\ kg^{-1}$ e 15,0 $g\ kg^{-1}$, respectivamente. Resultados de Haag et al. (1976) não apresentaram diferenças entre espécies, tendo sido considerados em níveis baixos. Haag et al. (1976) apontam valores de 12,8 $g\ kg^{-1}$ e 11,5 $g\ kg^{-1}$ de Ca^{2+} em *E. alba* e *E. grandis*.

O maior acúmulo de cálcio no lenho é relacionado com a maior biomassa desse compartimento e com a imobilidade do cálcio na árvore (Malavolta, 1980).

A aplicação do composto testado por Barretto e Valeri (2008) aumentou as concentrações do Cálcio nas folhas de eucalipto, devido às grandes quantidades de Ca^{2+} na composição dos resíduos.

Com o pó de basalto, Knapik e Ângelo (2007b) constataram que a maior absorção de Ca^{2+} , observada nas mudas produzidas com pó de basalto e esterco eqüino, pode ter influenciado na menor absorção de K^+ . No entanto, as mudas de pessegueiro-bravo, nas diferentes adubações, pouco se diferenciaram em crescimento em função da quantidade desse nutriente nas folhas (ibid.).

A presença de Ca^{2+} nas folhas de mudas de pessegueiro bravo produzidas no tratamento com pó de basalto foi cerca de duas vezes maior que as obtidas no tratamento sem adubação. A adubação com esterco eqüino também propiciou mudas com maiores teores de Ca^{2+} (Knapik e Ângelo, 2007b).

Um possível aumento na taxa de absorção de Ca^{2+} , não refletida nos teores foliares, pode ser atribuído, em parte, ao direcionamento deste nutriente para a síntese de casca e de lenho (Gonçalves et al., 2000).

As análises foliares de Stappe e Balloni (1988) mostraram uma tendência de aumento dos teores de cálcio nas folhas com a aplicação de lama em detrimento dos teores de potássio e magnésio.

Analisando a diferença de acúmulo de nutrientes no lenho, Rodrigues (2004) verificou que o *Pinus taeda* chegou a acumular 219% a mais de cálcio e 372% a mais de magnésio do que a testemunha que não recebeu a aplicação de resíduo.

3.1.2.5 Magnésio

Nas mudas de pessegueiro bravo (*Prunus sellowii*) produzidas com pó de basalto (Knapik e Ângelo, 2007b), foram obtidas as maiores concentrações de Mg^{2+} (5,0 g kg^{-1}), e os menores valores foram encontrados no tratamento com adubação convencional (4,1 g kg^{-1}). Era esperado que, com uma maior concentração de Mg^{2+} na parte aérea de mudas, quando submetidas ao tratamento com pó de basalto, poderia ocorrer uma maior concentração de fósforo. Segundo Malavolta et al. (1997), a absorção de H_2PO_4 é máxima na presença do Mg^{2+} , pois este possui a função de carregador de fósforo, com participação na ativação de ATPases da membrana implicadas na absorção iônica.

Em *Pinus taeda*, o magnésio das acículas foi maior no tratamento de maior dosagem de resíduo da indústria de papel (100 t ha^{-1}) em comparação com os demais tratamentos. Para o lenho, o tratamento de 80 t ha^{-1} foi estatisticamente

superior. A testemunha apresentou os menores teores de magnésio nas acículas, casca e lenho (Rodrigues 2004).

O composto testado por Barretto e Valeri (2008) influenciou na concentração de Mg^{2+} nas folhas, porém diminuíram com o aumento das doses de composto. Os resíduos usados apresentavam grandes quantidades de Ca^{2+} e pequenas de Mg^{2+} . Trigueiro (2006) apud Barreto (2008) consideram que o aumento da concentração de cálcio na solução do solo tenha prejudicado a absorção do magnésio, para eucalipto.

Guerrini (2003) não constatou diferença nas concentrações de Mg^{2+} entre os tratamentos com adubação química e orgânica aos três meses, mas houve redução com a adubação orgânica aos seis meses.

3.1.2.6 Outros Efeitos de Resíduos sobre Macronutrientes Foliare

Resultados de Barreto (2008) indicaram efeito significativo da aplicação do composto nas concentrações dos macronutrientes nas folhas, com exceção do magnésio. Houveram efeitos lineares e quadráticos para N, P, K, cálcio e enxofre e efeito linear negativo para o sódio.

Os teores foliares de Mg^{2+} e K^+ não apresentaram diferenças entre os tratamentos com biossólido, ao longo do tempo. A diminuição dos teores de K^+ até os 32 meses de idade, para todos tratamentos que receberam biossólido, predominantemente, deveu-se a retranslocação interna desse nutriente ou então da absorção antagônica do Ca^{2+} em relação ao K^+ (Rocha et al., 2004).

Houve aumento na quantidade de P, K, Ca, Mg, S e Na nas folhas do eucalipto com a aplicação do composto (Barretto e Valeri 2008).

Analisando as concentrações de nutrientes encontradas nas folhas de mudas de *Prunus sellowii* nas diferentes adubações, Knapik e Ângelo (2007) observaram que os maiores valores de N, P, K, Ca, Mg, B, Fe e Mn foram obtidos nas mudas produzidas na adubação com pó de basalto. Já para as mudas produzidas nos tratamentos com “adubação mineral NPK” e “adubação mineral NPK acrescida de micronutrientes”, as quais obtiveram maior biomassa da parte aérea, a menor concentração de nutrientes foliares pode denotar um efeito de diluição dos

mesmos, visto que as mudas produzidas com pó de basalto obtiveram menor crescimento foliar (ibid.).

3.1.3 Efeitos dos Resíduos Sobre Micronutrientes

Malavolta et al. (1997) citam os teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) associados a altas produtividades de *Eucalyptus grandis*: N = 21 a 23; P = 1,3 a 1,4; K = 9 a 10; Ca = 5 a 6; Mg = 2,5 a 3; B = 25 a 30; Cu = 7 a 10; Fe = 100 a 140; Mn = 300 a 400 e Zn = 12 a 17.

Haag et al. (1976), cultivando *E. tereticornis* em solução nutritiva purificada, obteve os seguintes valores para plantas deficientes: B - 67 mg kg^{-1} ; Cu - $9,3 \text{ mg kg}^{-1}$; Fe - 186 mg kg^{-1} ; Mn - $5,3 \text{ mg kg}^{-1}$; Zn - $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

As espécies de *Eucalyptus* apresentaram concentrações foliares médias decrescentes para os seguintes macronutrientes: Ca > K > Mg > P > S e, para os micronutrientes: Mn > Fe > B > Zn > Cu (Macedo et al. 1996). Macedo et al. (1996) citam que as espécies de *Eucalyptus* apresentaram teores decrescentes para os seguintes macronutrientes: N > Ca > K > Mg > P > S e micronutrientes: Mn > Fe > B > Zn > Cu. As espécies com menores crescimentos (*E. exserta*, *E. paniculata* e *E. brassiana*), apresentaram-se com concentrações foliares de macronutrientes decrescentes para Ca > N > K > Mg > P > S e, de micronutrientes para Mn > Fe > B > Zn > Cu (ibid.).

E. citriodora e *E. saligna* apresentaram-se com concentrações foliares de macronutrientes decrescentes para N > Ca > K > Mg > P > S e, de micronutrientes para Mn > Fe > Zn > B > Cu (*E. citriodora*) e, para Mn > Fe > B > Zn > Cu (*E. saligna*). *E. camaldulensis* apresentou para macronutrientes foliares a mesma tendência observada nas espécies que obtiveram os menores crescimentos e para micronutrientes foliares a mesma observada para *E. citriodora* (Macedo et al. 1996).

Haag et al. (1976) avaliaram teores nutricionais foliares em eucalipto, mas não concluíram em considerá-los baixos, médios ou altos, por falta de padrões comparativos. No entanto, assinalaram os altos valores encontrados para Mn, nas folhas, tendo-o associado a solos de acidez elevada, como os daquele trabalho (ibid.).

Apenas o Mn mostrou sensível relação com as doses de biossólido aplicadas, diminuindo seu teor foliar com o aumento das doses (Rocha et al., 2004). O Fe, Cu e Zn, aos 32 meses, apresentaram menores teores que nas amostragens anteriores, não apresentando diferenças entre os tratamentos (Rocha et al. 2004).

Bataglia (1991) afirma que o Fe é o micronutriente mais requerido pelas plantas, pois ocorre nos cloroplastos, onde está ligado à ativação e constituição de diversas enzimas e participa da síntese protéica. No entanto, para mudas de *Prunus sellowii*, o micronutriente absorvido em maiores quantidades pelas folhas dessa espécie foi o Mn.

Testando o crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn, Sgarbi et al. (1999) mencionam que o Zn foi o único nutriente cuja concentração foliar não foi reduzida quando o mesmo foi omitido da solução nutritiva. Conforme Dell e Daping (1995), os teores foliares de Zn abaixo da faixa considerada adequada para o eucalipto são de 40-50 mg kg⁻¹.

Accioly et al. (2004) mencionam que os teores de Zn e Cd nas raízes de *E. camaldulensis* diminuíram sensivelmente com a adição de calcário aos solos contaminados, tendo permanecido elevados em relação aos teores observados na parte aérea das plantas. Assim, justificam (ibid.) a baixa produção de matéria seca de raízes, sendo um indicativo de que a planta limitou a translocação de metais das raízes para a parte aérea.

Segundo Gonçalves e Valeri (2001), não foi encontrado relato de deficiência de Zinco e Cobre em plantações de *Eucalyptus* e de pinus no Brasil. Isto, talvez, porque a absorção e a assimilação desses micronutrientes sejam relativamente baixas (Haag et al. 1991; Gonçalves e Valeri, 2001), ou então, porque outros nutrientes estejam em níveis mais limitantes (Gonçalves et al. 1997b).

O Zn e o Mn foram absorvidos em maior quantidade pelas mudas produzidas com adubação convencional, assim como as menores quantidades desses elementos foram encontradas nas mudas produzidas com pó de basalto (241 mg kg⁻¹ e 55,5 mg kg⁻¹). A menor absorção de Mn e Zn pelas folhas de pessegueiro-bravo no tratamento com pó de basalto pode estar relacionada ao fato de este oferecer um pH mais elevado às mudas (Knapik e Ângelo, 2007b).

Para Gonçalves e Valeri (2001), deficiências de zinco e cobre tem sido raramente constatadas no Brasil, e os micronutrientes ferro e manganês são

encontrados facilmente em teores elevados nos solos do país. Deficiências temporárias podem acontecer pelo aumento do pH e por interações competitivas entre ferro, manganês, cálcio e magnésio, e, após a expansão do sistema radicular das plantas, elas desaparecem (ibid).

3.1.3.1 Efeitos de Resíduos sobre Micronutrientes Foliares

Os teores de micronutrientes não mostraram uma tendência definida na análise foliar, mas preocupam na medida em que quase todos precipitam em pH mais básicos (Stappe e Balloni, 1988).

Os teores foliares de macro e micronutrientes ficaram dentro da faixa de suficiência proposta por Gonçalves et al. (1996) e Silveira et al. (2000), em todos os tratamentos que receberam biossólido (Rocha et al., 2004).

Knapik e Ângelo (2007b) encontraram valores relativos aos micronutrientes foliares B, Cu e Fe, no tratamento com pó de basalto ($60,6 \text{ mg kg}^{-1}$, $5,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e 171 mg kg^{-1}), e os menores, nos tratamentos com esterco equino ($52,1 \text{ mg kg}^{-1}$, $4,4 \text{ mg kg}^{-1}$ e 118 mg kg^{-1}).

3.1.4 Produção

Destacando o silte, Gonçalves et al. (1990) verificaram que as frações texturais finas (silte e argila) relacionaram-se diretamente com o crescimento das árvores, pois assumem papéis fundamentais na capacidade de retenção de umidade e nutrientes, particularmente nos solos de textura arenosa.

3.1.4.1 Efeitos de Resíduos sobre Biomassa

Pode-se observar que a presença do fósforo no substrato nas doses de 1% e 2% estimulou o desenvolvimento e o crescimento das raízes das plântulas de eucalipto quando comparado à testemunha sem aplicação de fósforo. Esta resposta

foi obtida independente da presença do nitrogênio no substrato (Ferreira et al., 2007).

O aumento das doses de biofósforo, de 0 a 40 t ha⁻¹, resultou numa resposta quadrática em termos de produtividade de madeira sem casca, aos 12, 24 e 36 meses de idade (Rocha et al., 2004). A aplicação do biofósforo aumentou a produção de madeira acima da adubação convencional, mais evidente aos 36 meses de idade (Rocha et al., 2004).

Os resultados de Rodrigues (2004) com resíduo de celulose mostraram que as árvores do tratamento que recebeu 80 t ha⁻¹ de resíduo possuíam maior biomassa de acículas, galhos, casca e lenho, favorecendo a produção em pinus.

Rodrigues (2004) cita diversos trabalhos realizados com a aplicação desse resíduo em *Eucalyptus*, e que constataram o efeito significativo sobre o crescimento das árvores e incremento de volume de madeira (Bergamin et al., 1994; Fabres et al., 1994; Andrade et al., 1997; Bellote et al., 1998; Andrade et al., 2003; Harrison et al., 2003).

Andrade et al. (2003) apud Rodrigues (2004) constataram que, a aplicação de 80 t ha⁻¹ de resíduo celulósico em *Eucalyptus dunnii* de seis anos de idade, resultou num aumento de 43,5% de volume cilíndrico de madeira, em relação à testemunha.

O biofósforo influenciou positivamente a nutrição das plantas, gerando uma produção de madeira semelhante à obtida no tratamento que só recebeu adubação mineral com uma dose de 12 t ha⁻¹ de biofósforo (estimada por regressão). A produção máxima estimada de madeira (45,5 t ha⁻¹) seria conseguida com a aplicação de 37 t ha⁻¹ de biofósforo (Rocha et al. 2004).

As pesquisas realizadas pela Embrapa Florestas mostram aumentos significativos de produtividade em plantios de *Eucalyptus grandis* com a aplicação conjunta de adubos minerais e de resíduos (Bellote et al. 1998). Estes incrementos representam um acréscimo de produtividade da ordem de 65% e 85%, respectivamente, para cinza e resíduo celulósico, em relação à adubação mineral (Bellote et al., 1998).

Houve efeito significativo da aplicação do composto e as produções de biomassa aumentaram de forma linear para todos os componentes da parte aérea de eucalipto (Barretto e Valeri, 2008).

Os teores de Zn e Cd nas raízes diminuíram sensivelmente com a adição de calcário aos solos contaminados (Accioly et al., 2004). Entretanto, mesmo com as grandes reduções observadas, estes permaneceram mais elevados do que os teores de Zn e Cd observados na parte aérea. Isto explica a baixa produção de matéria seca de raízes em comparação com a observada na parte aérea, e pode ter sido ocasionada pelo fato de serem as raízes as primeiras a entrar em contato com o solo contaminado e acumular maiores teores de metais, sendo então mais sensíveis do que a parte aérea (Accioly et al. 2004). Este fato pode ser um indicativo de que a planta limitou a translocação de metais das raízes para a parte aérea.

A capacidade da planta imobilizar o metal nas raízes, limitando sua translocação para a parte aérea, é um dos mecanismos de tolerância de algumas espécies de plantas aos metais pesados (Accioly et al., 2004). Isto pode estar conferindo certa tolerância ao *E. camaldulensis* nas condições estudadas. Na ausência de calcário, a baixa produção de matéria seca de raízes em contaminação intermediária e severa impossibilitou a análise dos metais pesados, o que dificultou a interpretação dos dados relativos aos seus teores nesta parte da planta. Na ausência de calcário, na mistura com contaminação moderada, constataram-se teores de Zn e Cd superiores àqueles observados no solo não contaminado (Accioly et al., 2004).

Referente aos dados de biomassa seca da parte aérea, Knapik e Ângelo (2007) observaram que a “adubação mineral NPK acrescida de micronutrientes” proporcionou resultados maiores que as demais adubações para biomassa seca de raízes e biomassa seca total. Verificou-se que a adubação com pó de basalto proporcionou mudas com crescimento inferior a quando aplicados os outros tratamentos (Knapik e Ângelo, 2007b).

3.1.4.2 Efeitos de Macronutrientes e Micronutrientes sobre a Produção de Eucalipto

O híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* avaliado por Sgarbi et al. (1999) apresentou concentração de Ca nas folhas novas e velhas de 2,4 g kg⁻¹ e 2,7 g kg⁻¹, não tendo apresentado redução no crescimento e na produção de matéria seca. A concentração de Mg nas folhas novas e velhas foi respectivamente de 1,8 g kg⁻¹ e 1,5 g kg⁻¹, também não tendo limitado o crescimento (ibid.).

O nitrogênio e o fósforo foliares apresentaram forte correlação negativa com o volume, DAP e altura, indicando que os menores teores nas acículas coincidiram com os maiores valores de produção (Rodrigues, 2004). Isso é explicado pelo efeito de diluição do nitrogênio e do fósforo nas acículas, conforme as árvores aumentaram de tamanho (Rodrigues, 2004).

O uso de lama de cal mostrou tendência de elevar o teor de cálcio das folhas e diminuir os de potássio e magnésio (Stappe e Balloni, 1988). Em vista do aumento de produtividade da floresta com a aplicação de lama de cal, outros nutrientes como potássio, magnésio e alguns micronutrientes podem se tornar limitantes ao maior crescimento do *Eucalyptus*, devendo-se, portanto, reavaliar as adubações NPK + micronutrientes de implantação e manutenção quando da utilização da lama de cal (Stappe e Balloni, 1988).

3.1.4.3 Efeitos de Resíduos sobre Crescimento em Altura e Diâmetro de Colo

Fonseca (1988) apud Knapik e Ângelo (2007b) recomenda um diâmetro de colo de cerca de 2 mm para as mudas de eucalipto poderem ser colocadas em campo, o qual já daria boa rigidez da haste.

Simões et al. (1971) testaram a adubação mineral na formação de mudas de eucalipto, tendo encontrado aos 90 dias alturas que variaram entre 9,3 a 45,6 cm de amplitude.

A altura média de plantas aos 79 dias após a semeadura variou de 60 a 120 cm em função da adição crescente de resíduos sólidos orgânicos urbanos nos substratos (de 20 a 100%), tendo apresentado efeito negativo proporcional às quantidades utilizadas, entretanto sem diferenças estatísticas (Galbiatti et al., 2007).

Andrade et al. (1997) apud Rodrigues (2004), observaram que os valores máximos em altura de *Eucalyptus dunnii* de dois anos de idade, foram obtidos em dosagens de 77 t ha⁻¹ de resíduo celulósico. Em *Eucalyptus* de seis anos de idade, Andrade et al. (2003) apud Rodrigues (2004), encontrou valores máximos de volume de madeira com a associação de 80 t ha⁻¹ de resíduo celulósico com 93,9 g de P₂O₅.

3.1.4.4 Efeitos relativos da acidez do solo na disponibilidade de nutrientes para as plantas

A influencia do pH na disponibilidade de vários íons para as plantas, disponíveis na solução do solo, são apresentados em figuras e gráficos por autores como Epstein e Bloom (2006), Malavolta (1980), e Pritchett (1979). A discussão dos resultados sobre este aspecto foi feita com base na Figura 1.

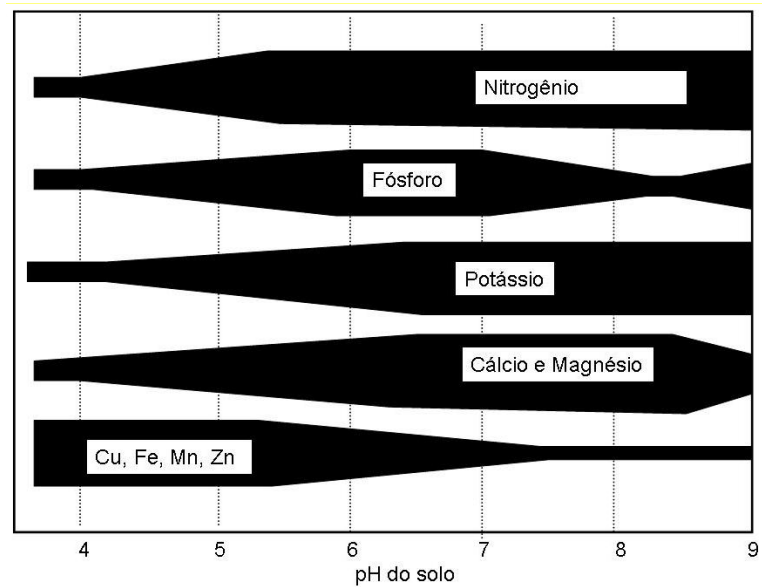


FIGURA 1 – EFEITOS RELATIVOS DA ACIDEZ DO SOLO NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS
FONTE: Adaptado de Pritchett (1979)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado em área pertencente à Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro), no município de Irati (PR), paralelo 25°27'56" de latitude Sul, com interseção com o meridiano 50°37'51" de longitude Oeste e a 150 km de Curitiba. Encontra-se na região do Segundo Planalto Paranaense, com clima tipo Cfb segundo a classificação de Köppen, com geadas freqüentes no inverno.

4.2 DETALHES PRELIMINARES DO EXPERIMENTO

Foi utilizado o solo de produção de mudas florestais do viveiro da universidade. Foram retiradas oito amostras aleatórias deste solo e enviadas para análise no laboratório de fertilidade do solo da Unicentro. Este solo era ácido, com baixos teores em potássio e sódio, apresentava teores médios de Ca, Mg, Al, MO e fósforo (P) de $3,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $2,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $5,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $40,54 \text{ g dm}^{-3}$, e $8,59 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. A saturação por bases (V%) média foi de 22,4%, considerada baixa, ou seja, contendo alumínio em nível tóxico às plantas. Quanto à textura, foi considerado como sendo argiloso. Os resultados das estatísticas descritivas para caracterização físico-química do solo encontram-se na Tabela 5 (apêndices).

O resíduo de papel reciclado foi doado pela Cia. Volta Grande (CVG). Após acondicionamento em ambiente externo, foram realizadas atividades para homogeneizar a granulometria e o teor de umidade do resíduo utilizado no experimento.

A granulometria foi homogeneizada com o uso de duas peneiras de metal sobrepostas. A inferior, com abertura quadrangular de três cm e a superior, com abertura circular com raio de 1,5 cm (Figura 2). O resíduo foi "esfarelado" manualmente pela fricção sobre as grelhas, atingindo granulometria com baixo percentual de atividade (menos que dez malhas/polegada), utilizada no experimento

(Figura 2). O material foi armazenado em vasos de polipropileno com capacidade para 8,5 L, e acondicionado em ambiente interno (Laboratório de Proteção Florestal/Unicentro) até a sua utilização.



FIGURA 2 – GRANULOMETRIA DO RESÍDUO UTILIZADO NO EXPERIMENTO
 FONTE: o autor

No momento da implantação do experimento, foram separadas quatro amostras de 500 g do resíduo granulado, para determinação de teor de umidade. Após pesagem, o material úmido foi seco em estufa (100°C). Foram realizadas pesagens diárias até a estabilização do peso seco do resíduo. O teor de umidade estabilizou-se em $60,7 \pm 3,7\%$ após dez dias de avaliações. Dentre os materiais utilizados destacaram-se: sacos de papel, a balança analítica marca Apollo modelo Mea 06880 e a estufa para secagem de esterilização de materiais marca Odontobrás modelo E.L (disponíveis no Laboratório de Proteção Florestal/Unicentro).

4.3 TRATAMENTOS

Em todos os tratamentos testados, as mudas utilizadas foram do clone “2864” de *Eucalyptus saligna* Sm., com três meses de idade, provenientes do viveiro da empresa Klabin. Para Garcia et al. (1991), o *E. saligna* é pouco tolerante a baixa fertilidade do solo, ao déficit hídrico na estação seca e à competição entre as árvores. Já para Ferreira (1979), é recomendado para todas as regiões, com restrições em locais com geadas ou deficiências hídricas severas.

Os tratamentos consistiram em doses crescentes de resíduo misturados com o solo com o uso de uma betoneira de construção civil. As misturas foram

aconditionadas em vasos de polipropileno de 8,5 L. O plantio das mudas foi feito simulando a implantação florestal, uma vez que os vasos foram posicionados em campo em uma área plana e com espaçamento de 2 x 2 m. Foram testadas cinco doses de resíduos, caracterizadas como 0,0(v/v)¹, 12,5(v/v), 25(v/v), 50(v/v), 75(v/v).

O segundo fator avaliado foi o efeito da adubação em cobertura com NPK na proporção 04-14-08. Esta adubação foi realizada trinta dias após o plantio, conforme cronograma usual de implantação florestal para o eucalipto. Foi aplicado uniformemente o equivalente a 50g de adubo por vaso.

O delineamento do experimento foi em blocos casualizados com duas repetições (com e sem adubo), cinco tratamentos (doses de resíduo) e 66 plantas (vasos) por tratamento, totalizando 660 plantas.

Atividades silviculturais de pré e pós plantio foram realizadas, como aplicação de fosfato monoamônico dentro dos vasos (adubação de cova, no momento do plantio), controle de mato competição, formigas cortadeiras, e replantio de mudas mortas (após uma semana do plantio). Foram avaliados os fatores ambientais temperatura máxima e mínima e precipitação pluviométrica (Figura 3).

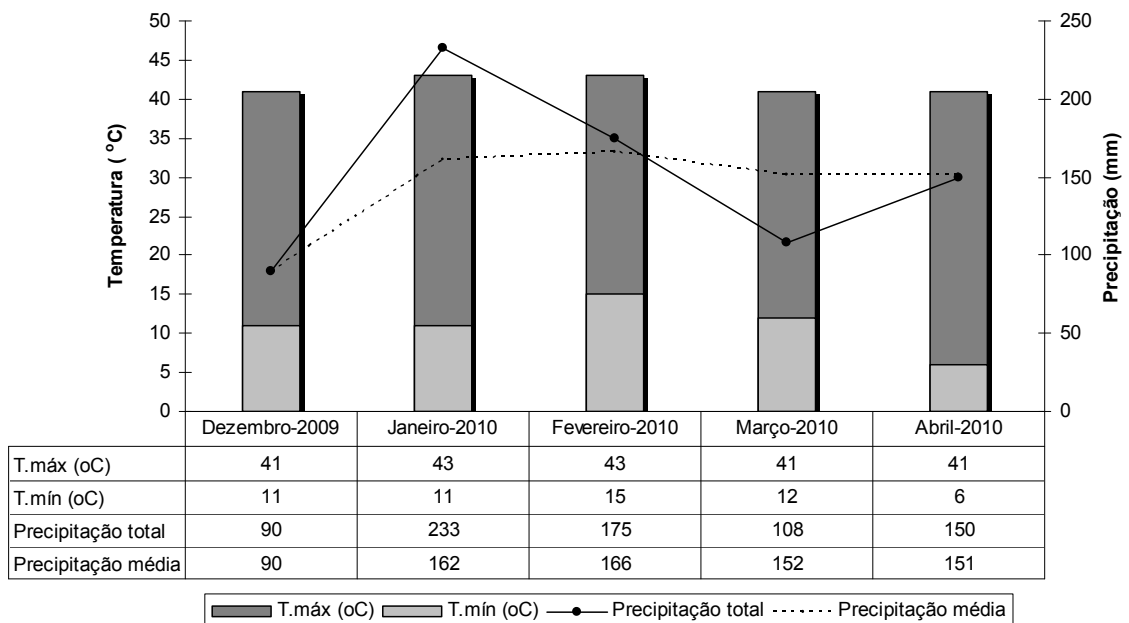


FIGURA 3 – RESULTADOS DOS FATORES AMBIENTAIS NA ÁREA EXPERIMENTAL
 FONTE: o autor

¹ v/v. Porcentagem do volume do vaso.

4.4 PARÂMETROS ANALISADOS

4.4.1 Crescimento e Biomassa

Diâmetros de colo das plantas foram obtidos com auxílio de paquímetro digital com precisão milimétrica. A medição foi tomada o mais próximo possível do solo. As alturas das mudas foram avaliadas com auxílio de régua de 50 cm.

Antes do plantio, porém, foram avaliadas vinte mudas do lote, aleatoriamente, para caracterizá-las quanto ao diâmetro de colo e altura (Tabela 6, apêndices):

A implantação foi feita em dezembro de 2009 e as avaliações de crescimento foram realizadas a cada trinta dias durante 120 dias.

Os dados referentes a cada parâmetro tinham a variância homogênea. Foram analisados pela Anova e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As figuras com equações polinomiais que evidenciam as tendências dos tratamentos foram elaboradas no software Excel.

Na última avaliação de crescimento, foram coletadas as raízes de vinte plantas de cada tratamento, para quantificação da biomassa total destas. As raízes foram acondicionadas em sacos de papelão, e levadas para o laboratório de Polpa e Papel da UFPR), onde foram secas em estufa na temperatura de 60 °C. Logo após, foram pesadas em balança com precisão de uma casa decimal.

Na análise de biomassa de raízes, foram utilizadas vinte plantas por tratamento, totalizando 200 amostras. Os dados referentes a cada variável não precisaram ser transformados e foram analisados pela Anova e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4.2 Fertilidade do Solo

Ao término do experimento, foram coletadas cinco amostras compostas do solo de cada tratamento², que seguiram para análise físico-química no Laboratório de Solos/Unicentro. Foram realizados exames de rotina para pH (CaCl_2), K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, Na^+ , V%, matéria orgânica (M.O.), P. Com base em recomendações de Dedecek et al. (2008) e Marschner (1995) sobre a qualidade de sítios, também foram analisadas as variáveis K:Ca e Ca:Mg.

Nestas análises, foram utilizadas cinco amostras de solo por tratamento, totalizando 50 amostras.

4.4.3 Nutrição Florestal

Também na quarta avaliação de crescimento, foram feitas amostragens foliares e de raízes no sentido de avaliar a resposta dos tratamentos para os teores de macro e micronutrientes das plantas.

Foi amostrada o sistema radicular e um ramo por planta, no total de vinte plantas por tratamento. As folhas foram selecionadas levando-se em conta a face norte e a parte mediana das plantas. Folhas muito jovens ou velhas não foram amostradas.

Os ramos e raízes coletados foram lavados em bandejas com água deionizada, e colocados em papel toalha para secagem natural. Logo após, foram secados em estufa com temperatura de 70 °C. Dessa forma, as folhas e raízes secas foram moídas e guardadas em recipientes de vidro, até a execução de análises laboratoriais para macro e micronutrientes, realizadas no laboratório de fertilidade do solo e de biogeoquímica da Universidade Federal do Paraná.

Foram realizados exames de rotina para N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{4+} , Fe^{3+} e Zn, segundo recomendações de Martins e Reissmann (2007). Nestas análises, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com duas repetições (com e sem adubo), cinco tratamentos (doses de resíduo) e três amostras por tratamento, totalizando trinta amostras de folhas e trinta de raízes.

² A amostragem foi realizada coletando-se uma sub-amostra de 100 g de solo por vaso, em vinte vasos por tratamento. Cada conjunto de quatro sub-amostras formava uma amostra composta, totalizando cinco amostras compostas por tratamento. Reitera-se que haviam 66 vasos por tratamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FERTILIDADE DO SOLO

As Tabelas 7, 8 e 9 (apêndices) demonstram os resultados para todos os parâmetros de fertilidade do solo analisados. Os gráficos com as médias e ajustes de linhas de tendência encontram-se na Figura 17.

5.1.1 Acidez do Solo

A análise descritiva do solo antes do experimento indicou que o pH em CaCl_2 era bastante ácido (média de 3,78). Atividades de calagem seriam necessárias, segundo recomendações de Mello et al. (1983), Marschner (1995), e para o eucalipto, Valeri et al. (1993) e Carneiro (1995),

Após 120 dias do plantio, o solo dos vasos sem resíduo (0,0v/v) resultaram o pH de 4,15 e 4,28, respectivamente, e continuavam ácidos. Estes valores foram significativamente inferiores aos dos solos com resíduo ($F = 69,05$, $p < 0,05$).

As diferentes doses do lodo de papel reciclado alteraram bastante o pH nos tratamentos. A Anova indicou diferenças significativas de pH entre as doses 12,5v/v (6,20 e 6,00), e 25v/v (6,74 e 6,69). Quanto maior a dose aplicada de resíduo, menos ácida se tornava a mistura.

As maiores doses de resíduo (50v/v e 75v/v), apesar de diferirem estatisticamente com as doses 12,5v/v e 25v/v, não diferiram entre si, tendo apresentado pH neutro (7,15, 7,04, 7,24 e 7,17). Não foram constatadas diferenças no pH em CaCl_2 pelo efeito da adubação ($F = 0,09$, $p > 0,05$) e não houve interação entre a adubação e o resíduo do papel reciclado ($F = 0,07$, $p > 0,05$).

O aumento do pH aconteceu exponencialmente, apesar de se ter aumentado linearmente a dose de resíduo no solo, e tendeu a estabilizar-se na faixa de 7,0 (Figura 17). Assim, para atender aos pressupostos de Mello et al. (1983) no qual o pH ideal para implantação da maioria das plantas deve situar-se entre 6,0 e 6,5 (levemente ácido), as doses de 12,5v/v e 25v/v do lodo de papel reciclado já seriam

suficientes para corrigir o solo utilizado. Para atender a recomendação de Valeri et al. (1993) para um pH de 5,5 na implantação do eucalipto, ou ainda, para obter um pH mínimo de 4,5 (Carneiro, 1995), doses de resíduo inferiores a 12,5v/v já seriam suficientes. É recomendável a realização de novos testes para confirmar esta tendência.

O aumento do pH pela aplicação de resíduo era esperado, uma vez que outras pesquisas já o indicaram no uso de diversos tipos de resíduos (Guerrini et al., 1994, Rodrigues 2004), e também, com o lodo de papel reciclado (Balbinot Júnior et al., 2006; Costa et al., 2009). No entanto, é provável que a sua incorporação no solo utilizado pelo uso de uma betoneira, bem como o trabalho de granulometria realizado antes da implantação, tenham favorecido este efeito na mistura.

5.1.2 Potássio, Cálcio e Magnésio no Solo

5.1.2.1 Potássio

A análise descritiva do solo antes do experimento indicou que não havia potássio disponível para as plantas. Em linhas gerais, os teores de potássio foram maiores nos tratamentos com adubação em cobertura, que continha o nutriente. Mas, a adubação não chegou a influenciar significativamente o teor de K^+ nos tratamentos ($F= 1,83$, $p>0,05$), e a Anova não detectou interação entre o teor de K^+ e o lodo de papel reciclado ($F = 0,20$, $p>0,05$).

Notou-se que os tratamentos com as maiores doses de resíduo e sem adubação em cobertura (50v/v e 75v/v) apresentaram os menores teores de K^+ . Este resultado confirma argumentos de Rodrigues (2004), no qual o resíduo de papel reciclado apresenta naturalmente baixos teores deste elemento. A alta concentração de resíduo pode também ter facilitado a lixiviação do K^+ , fato enfatizado por Dedecek et al. (2008) e May 1984³ apud Knapik e Ângelo (2007b). Isto porque conferiram maiores teores de areia daquele solo (vide discussão sobre textura do solo). As

³ MAY, J. T. Basic concepts of soils management. In: Serviço Florestal dos Estados Unidos (org.). **The Southern pine nursery handbook**. Atlanta, 1984. Cap. 1, p.1-25.

doses 0,0v/v e 25v/v também apresentaram baixas concentrações de K^+ , mas significativamente superiores as doses 50v/v e 75v/v.

Vidotti (2007) verificou variação de K^+ no solo de 0,23 a 2,13 $mmol_c dm^{-3}$ usando o composto de resíduo da indústria de celulose com a aplicação das doses de 0; 5; 10; 15; 20 e 25 $t ha^{-1}$. Estes valores não podem ser comparados aos encontrados no presente experimento, no qual a dose utilizada foi calculada em função da porcentagem de volume do vaso utilizado.

No entanto, os resultados encontrados corroboram argumentos de Costa et al. (2009) no qual o resíduo apresentava baixo teor de potássio, requerendo complementação de fertilização mineral caso utilizado como insumo agrícola. Sugere-se para tanto, testes com o uso de pó de basalto misturado com o lodo de papel reciclado, uma vez que este outro resíduo possui elevado teor de K^+ , como descrito por Knapik e Ângelo (2007b) (Figura 17).

Outra possibilidade que pode justificar a queda nos teores do potássio em função do aumento das doses de resíduo são os argumentos de Malavolta (1981) e Melo et al. (2002), ao mencionarem que a absorção de potássio pelas plantas é dependente de concentrações baixas de cálcio. Para Chaves e Libardi (1995), o deslocamento catiônico pode ocorrer, fazendo com que a planta substitua o K^+ pelo Ca^{2+} . Como apresentado a seguir, o teor de Ca^{2+} nos tratamentos aumentou bastante devido ao aporte de resíduos no solo.

5.1.2.2 Cálcio

A análise descritiva do solo antes do experimento indicou que havia em média 3,04 $cmol dm^{-3}$ de cálcio disponível, sendo este solo classificado pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997) como apresentando teor médio de cálcio. A aplicação do lodo de papel reciclado ($F = 194,95$, $p < 0,05$) e da adubação em cobertura ($F = 23,35$, $p < 0,05$) aumentaram significativamente o teor deste elemento. Estes resultados já se esperavam, uma vez que a aplicação de vários tipos de resíduos já influenciaram no aumento do teor de Ca no solo (Stappe e Balloni 1988; Melo et al., 2002; Tsutiya, 2002; Rocha et al. 2004; Rodrigues 2004; Nolasco et al., 2005; Silva et al., 2008).

Até a concentração 50v/v, o teor de cálcio no solo aumentou com o do resíduo (Figura 17). Nesta dose, os teores deste nutriente são classificados como altos, tendo alcançado valores superiores a 17 cmol dm^{-3} . Isto indica que após 120 dias do plantio havia muito mais cálcio disponível no solo do que o necessário para o desenvolvimento do eucalipto.

Barros e Novais (1996) salientaram a baixa demanda de Ca^{2+} pelo *E. grandis* na fase inicial de crescimento. Caso esta afirmação se aplique para *E. saligna*, aplicações superficiais no solo com o lodo de papel reciclado poderiam ser realizadas com fins nutricionais a partir da fase de intensa síntese de madeira, após o segundo ano de crescimento, fato mencionado por Gonçalves et al. (2000). Nestes casos, viabilizados com o planejamento silvicultural adequado, em função da densidade do plantio.

Houve uma queda no teor de cálcio para as maiores doses do resíduo (75v/v), tendo apresentado o valor de $11,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o tratamento sem adubação em cobertura, e $11,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o tratamento com adubação.

Novais et al. (1986) verificaram que o nível crítico de implantação de eucalipto para Ca^{2+} é de $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o de manutenção para o incremento médio anual de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é de $6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que para o incremento médio anual de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é de $8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Estes parâmetros são diferentes do resultado deste experimento, no qual as melhores taxas de crescimento foram verificadas com teores de cálcio inferiores a $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

5.1.2.3 Relação K: Ca

Diante do exposto, notou-se que a relação K:Ca apresentou resultados decrescentes com o aumento das doses de resíduo nos tratamentos (Figura 17). A concentração de íons K^+ presentes no fertilizante mineral e no lodo não foram suficientes para equilibrar esta relação, tendo os valores ficado muito aquém de valores superiores a três, recomendados por Dedeczek et al. (2008) para se obter maior fertilidade no solo. Tal resultado indica a necessidade de utilizar um fertilizante mineral rico em potássio, ou outro resíduo com mais K, complementando o uso do lodo de papel reciclado, e reiterando a recomendação de Costa et al. (2009).

5.1.2.4 Magnésio

A análise descritiva do solo antes do experimento indicou que havia em média $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ de magnésio disponível para as plantas. A média de $0,3 \text{ mmol dm}^{-3}$ encontrada na testemunha sem adubação encontrava-se no intervalo de confiança da pré-avaliação (Figura 17). A Anova não detectou diferença no teor de Mg^{2+} pelo uso de NPK na adubação de cobertura ($F = 3,94$, $p > 0,05$). Com o lodo de papel reciclado houveram diferenças significativas ($F = 8,34$, $p < 0,05$).

Novais et al. (1986) verificaram que o nível crítico de implantação do eucalipto para Mg^{2+} é de $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o de manutenção para o incremento médio anual de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é de $1,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que para o incremento médio anual de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é de $1,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. No presente teste, as taxas de Mg^{2+} não superaram a casa de $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, indicando que havia déficit deste nutriente para o desenvolvimento das plantas de todos os tratamentos.

Os maiores teores de Mg^{2+} no experimento foram verificados nos tratamentos sem resíduo (0,0v/v), e foram superiores aos valores amostrados a 5% probabilidade com o solo antes do experimento (Tabela 7). As testemunhas deveriam ter resultado valores entre 0,17 e $0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mas apresentaram 0,3 (sem adubação em cobertura) e $0,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (com adubação). Atribui-se esta diferença a aleatoriedade prevista pelo limite de tolerância experimental

Rodrigues (2004) e Costa et al., (2009) mencionam aumento nos teores de Mg^{2+} com o aumento das doses do lodo celulósico. Analisando apenas os tratamentos com o lodo, notou-se uma tendência de aumento de Mg^{2+} a partir do aumento das doses (Figura 17), porém sem diferenças significativas, e sem alcançarem os valores das testemunhas.

5.1.2.5 Relação Ca: Mg

A relação Ca:Mg precisa, segundo Balbinot Júnior et al. (2006), apresentar valores entre 4:1 e 8:1 para os melhores sítios. Neste experimento, quanto maior a dose, maior foi a resultante da relação Ca:Mg, devido a alta concentração de cálcio no resíduo. Os valores alcançaram quase 20:1 para a dose 25v/v sem adubação. De

fato, a Anova realizada para a relação Ca:Mg apresentou diferença significativa pela presença da adubação ($F = 4,11$, $p < 0,05$), pelas doses de resíduo ($F = 24,12$, $p < 0,05$) e pela interação entre adubação vs resíduo ($F = 6,19$, $p < 0,05$) (Figura 17). Os valores recomendados na literatura só foram alcançados nas maiores doses de resíduo (75v/v), uma vez que os teores de cálcio nas maiores doses foram inferiores aos das doses 12,5v/v, 25v/v e 50v/v. São importantes novos testes com concentrações inferiores a 12,5v/v, de sorte a definir a concentração ideal para equilibrar a relação Ca:Mg.

5.1.3 Toxidade Potencial

A análise descritiva do solo antes do experimento indicava a presença de toxidez de alumínio (média de $5,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Al^{3+} e $17,78 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Após 120 dias de experimento, a Anova não indicou efeito da adubação ($F = 1,68$, $p > 0,05$) e nem da interação adubação vs resíduo ($F = 1,80$, $p > 0,05$) sobre este parâmetro.

O lodo de papel diminuiu o teor de Al^{3+} do solo. Já para a dose de 12,5v/v, os valores obtidos foram muito baixos (0,05 e 0,09, respectivamente). As doses seguintes (25v/v, 50v/v, 75v/v) complexaram completamente o alumínio ($F = 71,91$, $p < 0,05$, Tabela 8).

Com base na classificação da Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER, 2004), os teores de Al no solo do experimento foram considerados baixos e nulos na presença do lodo de papel reciclado. Nas testemunhas, foram considerados altos, pois os níveis de Al foram superiores a $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A diminuição da toxidez potencial do solo pelo uso de resíduos orgânicos foi mencionada por Melo et al. (2002), Rodrigues (2004), Costa et al. (2009) e Balbinot Júnior et al. (2006), sendo que os resultados aqui apresentados confirmaram as afirmativas destes autores.

5.1.4 Sódio, Matéria Orgânica, Fósforo e Bases Trocáveis

5.1.4.1 Sódio

Não foi encontrado inicialmente sódio no solo utilizado no experimento. A Anova não acusou efeito da adubação na sodicidade das misturas ($F = 0,17$, $p > 0,05$), tendo os valores permanecidos na faixa de $0,50 \text{ cmol dm}^{-3}$, independente da dose de resíduo.

Ficou comprovado que a utilização de resíduos conferiu um pequeno grau de sodicidade ao solo ($F = 26,32$, $p < 0,05$). Barreto (2008) e Rodrigues (2004) lembram o risco de se aumentar a concentração do sódio nos solos, a partir de aplicações de resíduos. Bellote et al. (1998) e Rezende et al. (2000) mencionam que os resíduos da indústria de papel possuem altas concentrações de sódio. No entanto, os resultados do experimento de Costa et al. (2009), com resíduo de papel reciclado, indicaram que não houve efeitos sobre os teores de Na daquele solo.

Os menores teores de Na foram encontrados nas misturas com elevadas doses de resíduo (50v/v e 75v/v) e sem adubação de cobertura (média de $0,29 \text{ cmol dm}^{-3}$ em ambas). Talvez o sódio possa ter sido também lixiviado dos vasos pela ação das chuvas no decorrer do teste, em função do maior teor de areia grossa encontrada nas maiores doses.

5.1.4.2 Matéria orgânica (MO)

Na análise do solo antes do experimento, o teor de MO foi de $40,54 \text{ g dm}^{-3}$. O resultado das testemunhas após 120 dias do experimento resultou valores de $32,83 \text{ g dm}^{-3}$ (dentro do intervalo de confiança), e $21,98 \text{ g dm}^{-3}$, valor abaixo do intervalo de confiança mencionado na pré-avaliação, indicando que a MO nos vasos sem resíduo e com adubação em cobertura pode ter sido mineralizada no decorrer deste tempo, fato mencionado nas pesquisas de Calgaro et al. (2008), Silva (2006) e Rocha et al. (2004).

Ficou comprovado pela Anova o efeito da adubação ($F = 6,88$, $p < 0,05$), do resíduo ($F = 235,73$, $p < 0,05$) e sua interação ($F = 8,36$, $p < 0,05$). Até a dose 50v/v, o teor de MO estava em torno de 35 g dm^{-3} . Com a dose mais elevada do lodo o teor de MO elevou-se para a casa dos 50 g dm^{-3} (75v/v), sendo significativamente superior aos outros tratamentos. Estes valores são considerados médios e aceitáveis para a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997).

O aumento da MO do solo pelo uso de resíduos vai de encontro com o que afirma Rodrigues (2004), Melo et al. (2002), e Kiehl (1985), que constataram que o resíduo celulósico apresentava elevado teor de matéria orgânica. No entanto, o fato não foi comprovado no experimento de Costa et al. (2009) e Balbinot Junior et al. (2006). Diante dos resultados (Figura 17), constatou-se que a maior dose de lodo influenciou o teor de MO do solo. Para Costa et al. (2009), existe uma complexa relação entre a matéria orgânica e o uso de resíduos.

5.1.4.3 Fósforo

O solo apresentava inicialmente $8,59 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo. Evidenciou-se que os vasos sem adubação de cobertura, mesmo tendo sido submetidos à adubação de cova (com fosfato monoamônico), apresentaram baixos teores de fósforo, independente da dose de lodo de papel reciclado ($7,62$, $10,72$, $4,34$, $0,77$ e $0,22 \text{ mg dm}^{-3}$ para as doses 0/0v/v, 12,5v/v, 25v/v, 50v/v e 75v/v, respectivamente). Nestes, o teste de comparação de médias não demonstrou diferenças entre doses de resíduo. Estes valores ficaram muito abaixo de 60 mg dm^{-3} recomendado por Barros et al. (1982), para a produção de mudas de eucalipto.

Houve diferença entre tratamentos principalmente em função da adubação com NPK ($F = 188,56$, $p < 0,05$), apesar da Anova ter manifestado diferença pelo efeito das doses de resíduo ($F = 16,46$, $P < 0,05$) e sua interação ($F = 14,48$, $p < 0,05$). Esta interação foi evidenciada pelo teste de comparação de médias com a diminuição no teor de fósforo para as doses 50v/v e 75v/v. As maiores concentrações de P foram constatadas nos tratamentos com adubação e doses 0,0v/v, 12,5v/v, 25v/v, que não diferiram significativamente entre si.

Os resultados encontrados contrariaram os de Costa et al. (2009), que informaram ganhos nos teores de fósforo em dois tipos de solo aplicados com

resíduo de papel reciclado. Porém, vão ao encontro com o de Balbinot Júnior et al. (2006), que informaram que a aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado não modificou os teores de fósforo nos tratamentos.

Tendo em vista a importância deste macronutriente para a formação de raízes do eucalipto na implantação florestal, o uso do lodo de papel reciclado como corretor de solo deverá necessariamente ser planejado com complementação de fósforo, quer seja com um fertilizante mineral, ou com o uso de outros resíduos ricos neste elemento (Figura 17).

5.1.4.4 Saturação por bases (V%)

O solo inicialmente tinha a saturação por bases (V%) de 22,4%. A análise dos solos testemunha após 120 dias do experimento de campo indicou que apresentava 40,48% (sem NPK) e 58,23% (com NPK). Estes valores foram adequados para culturas de reflorestamento, segundo Rajj et al. (1997).

Ficou comprovado que o aumento das doses de lodo de papel reciclado aumentou significativamente a V% ($F = 2.815,67$, $p < 0,05$). Ficou também comprovado o efeito da adubação ($F = 29,85$, $p < 0,05$) e a interação ($F = 30,64$, $p < 0,05$). As doses com 25v/v, 50v/v e 75v/v, independente da adubação em cobertura, apresentaram valores em torno de 90% e foram todas semelhantes estatisticamente. É provável que o aumento da V% esteja associado ao aumento do cálcio, conforme sugere Balbinot Junior et al. (2006).

O aumento da V% pelo uso de resíduo celulósico também foi constatado por Rodrigues (2004) e por Costa et al. (2009). No entanto, os tratamentos de Rodrigues (2004) apresentaram baixos valores de V% (Figura 17).

5.2 CRESCIMENTO E BIOMASSA

5.2.1 Diâmetro de Colo

As mudas utilizadas tinham entre dois e três mm de diâmetro de colo na implantação do experimento. Fonseca (1988) recomenda um diâmetro de colo de cerca de dois mm para as mudas de eucalipto poderem ser plantadas em campo, o qual daria boa rigidez da haste. Com base neste parâmetro afirma-se que as mudas estavam adequadas para o plantio a campo.

Os resultados para o diâmetro de colo não apresentaram diferenças significativas em função da adubação até os noventa dias após o plantio ($F = 19,09$, $p < 0,01$). E também, só houve interação entre a adubação e as doses de resíduo na última avaliação, após 120 dias ($F = 2,84$, $p < 0,05$). Desta forma, é possível afirmar que o principal fator que influenciou o desenvolvimento dos diâmetros foi a concentração do lodo de papel reciclado, presente em diferentes tratamentos (Tabela 10).

As diferenças entre diâmetros foram constatadas desde o início das avaliações. Com o decorrer do tempo, notou-se a tendência na qual quanto menor a dose de resíduo presente nos vasos, maior o diâmetro das plantas. Aos sessenta dias ($F = 309,46$, $p < 0,01$), a testemunha com adubação apresentava 6,31 mm, sendo significativamente superior a todos os outros tratamentos. Ainda nesta avaliação, a testemunha sem adubação foi estatisticamente semelhante as doses 12,5v/v e 25v/v das plantas adubadas.

O lodo de papel reciclado prejudicou o desenvolvimento em diâmetro do colo na implantação de *E. saligna*. Este resultado indica que o *E. saligna* é uma espécie calcífuga, que segundo Sánchez-Biezma (2001), é aquela que apresenta dificuldades em desenvolver-se em solos alcalinos.

Aos 90 e 120 dias após a implantação, todos os tratamentos com adubação diferiram aos tratamentos sem adubação em função deste fator ($F = 19,09$, $F = 276,05$, $p < 0,01$) e das doses de resíduo ($F = 51,04$, $F = 244,19$, $p < 0,01$), acontecendo o esperado, no qual as plantas adubadas apresentaram os maiores diâmetros de colo.

Analisando o fator dose de resíduo neste período, também se notou a tendência na qual quanto maior a dose, menor o crescimento em diâmetro. Na última avaliação as plantas da testemunha adubada apresentaram em média 13,82 mm e as com a dose 12,5v/v apresentaram 10,4 mm, diferindo entre si estatisticamente, e sendo os tratamentos com os melhores resultados. As doses 25v/v, 50v/v e 75v/v dos tratamentos com adubação foram semelhantes entre si,

mas também superiores a todos os tratamentos sem adubação em cobertura (Figura 4).

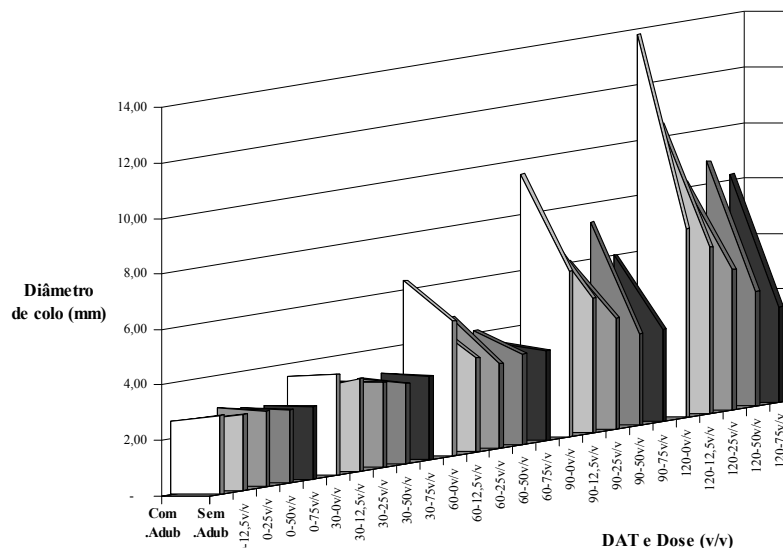


FIGURA 4 – CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DO COLO DAS MUDAS
 FONTE: o autor

Com base na discussão sobre fertilidade do solo, a melhor dose de resíduo para aqueles parâmetros analisados foi a 12,5v/v. Para o *E. saligna*, uma mínima quantidade de resíduo de papel reciclado incorporada ao solo foi suficiente para inibir o desenvolvimento em diâmetro de colo destas plantas, indicando que mesmo que o solo fique mais fértil, o uso deste resíduo como corretor de solo para a implantação da espécie florestal testada requer pesquisas com outras dosagens, especialmente as inferiores a 12,5v/v.

Quanto aos tratamentos sem adubação, ressalta-se o resultado da maior dose (75v/v), que apresentou as plantas com menores diâmetros de colo, na ordem de 3,41 mm. Significa dizer que praticamente não se desenvolveram, uma vez que são dados com magnitudes semelhantes aos encontrados três meses antes, na avaliação aos trinta dias após a implantação.

Diversos trabalhos realizados com a aplicação de resíduos constataram o efeito significativo sobre o crescimento das árvores e incremento de volume de madeira. Rocha et al. (2004) encontraram aumentos de produtividade de *E. grandis* com o aumento das doses de lodo de esgoto aos 12, 24 e 36 meses de idade.

Com o resíduo de celulose, Rodrigues (2004) constatou que as árvores do tratamento que recebeu 80 t ha^{-1} possuíam maior biomassa de acículas, galhos, casca e lenho, favorecendo a produção em pinus.

Barreto (2008) constatou para o diâmetro do colo de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* o efeito positivo das doses de resíduo de indústria de celulose e papel, aos 120 dias após o plantio. Os resultados de Andrade et al. (2003) indicaram que a aplicação de 80 t ha^{-1} de resíduo celulósico em *Eucalyptus dunnii* de seis anos de idade, resultou num aumento de 43,5% de volume cilíndrico de madeira, em relação à testemunha.

As pesquisas realizadas pela Embrapa Florestas mostraram aumentos significativos de produtividade em plantios de *Eucalyptus grandis* com a aplicação conjunta de adubos minerais e de resíduo celulósico (Bellote et al. 1998). Resultados positivos no crescimento de florestamentos são apresentados por Harrison et al. (2003) através do método de aplicação de resíduos orgânicos via aspersão.

É preciso analisar os diversos fatores que influenciaram os diferentes resultados. Inicialmente, a tecnologia de aplicação do resíduo. Nas pesquisas mencionadas, a aplicação foi feita superficialmente com uma quantidade pré-estabelecida do resíduo no solo ou via aspersão, o sendo então quantificado em t ha^{-1} . No estudo aqui apresentado, houve previamente a transformação granulométrica e a regulação do teor de umidade do resíduo, além de ter sido incorporado na mistura de solo, antes do plantio.

Outros importantes fatores que comprometem uma comparação direta entre resultados são a dose, a idade do plantio, as diferentes espécies vegetais, o tipo do resíduo, e a presença de adubação mineral no experimento. No levantamento bibliográfico realizado, não foram encontrados resultados de crescimento em *Eucalyptus* em função do resíduo de papel reciclado, o mais parecido com este foi o resíduo de indústria de celulose. Desta forma, são sempre recomendáveis novos testes que atestem e confirmem os resultados das pesquisas anteriores, especialmente aqueles que analisem a interação do resíduo vs adubação mineral.

Para se recomendar efetivamente a utilização do lodo de papel reciclado na implantação do *E. saligna*, há que se realizar novas pesquisas de campo, com ensaios em dosagens determinadas em ton ha^{-1} , equivalentes a concentrações

inferiores às de 12,5 v/v utilizadas nos vasos, e com transformação prévia da granulometria e do teor de umidade do resíduo.

5.2.2 Altura

Os resultados para as alturas das plantas indicaram o efeito da adubação em cobertura já aos trinta dias após o plantio ($F = 9,20$, $p < 0,01$, Tabela 11) e nas avaliações posteriores. Os efeitos das doses de resíduo também aconteceram em todas as avaliações, embora as interações entre adubação e resíduo tivessem ocorrido somente a partir dos sessenta dias do plantio ($F = 4,31$, $p < 0,01$).

No que tange as alturas das plantas, os efeitos dos tratamentos somente puderam ser evidenciados a partir dos noventa dias, quando os testes de comparação de médias destacaram com clareza os melhores e piores tratamentos. As plantas com adubação em cobertura foram as mais altas e indicaram o mesmo comportamento verificado com o parâmetro diâmetro de colo, ou seja, a influência negativa das doses crescentes do resíduo de papel reciclado. Aos noventa dias, as plantas mais altas foram encontradas na testemunha, com 61,35 cm.

Simões et al. (1971) testaram a adubação mineral na formação de mudas de eucalipto, tendo encontrado, aos 90 dias, alturas que variaram entre 9,3 a 45,6 cm de alturas. Estes dados são equivalentes aos encontrados aos noventa dias, nas doses 0v/v, 12,5v/v e 25v/v sem adubação. As alturas nas mudas com adubação NPK foram bastante superiores, provavelmente em função do material genético utilizado.

Analisando os resultados das doses de resíduo nos tratamentos sem adubação, foi verificado nitidamente que quanto maior a dose, menor a altura, tendo sido encontradas diferenças altamente significativas. As plantas nas doses 50v/v e 75 v/v apresentaram as menores alturas (na ordem de 33 e 35 cm). A testemunha sem adubação apresentou 46,15 cm, maior média em seu grupo, mas inferior a todos os tratamentos com adubação.

Aos 120 dias as diferenças nas tendências mencionadas também foram evidenciadas. O grupo de plantas sem adubação apresentou menor crescimento e os piores resultados foram encontrados nos tratamentos com maior concentração de lodo de papel reciclado (38,87 cm para a dose 75v/v, e.g.). No grupo de plantas com

adubação, os resultados decrescentes indicaram altura de 61,07 m para a dose 75v/v, tendo sido no entanto superior a testemunha sem adubação (Figura 5).

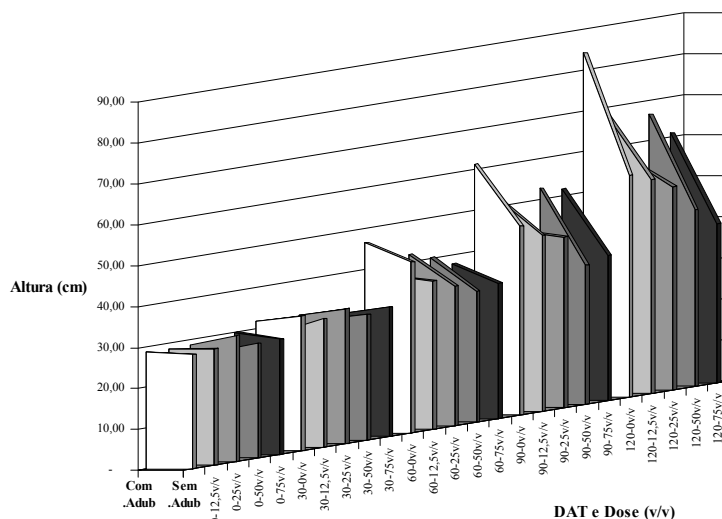


FIGURA 5 – CRESCIMENTO EM ALTURA DAS MUDAS
 FONTE: o autor

As plantas mais altas no final do experimento foram as da testemunha com adubação, com 84,13 cm, superior estatisticamente à dose 12,5v/v com resíduo e com adubação, que apresentava o segundo melhor resultado (68,33 cm). Reitera-se que da mesma forma como encontrado no parâmetro diâmetro de colo, a altura também foi negativamente influenciada mesmo pelas menores concentrações de resíduo incorporadas ao solo do experimento.

Galbiatti et al. (2007) encontraram alturas de plantas aos 79 dias após a semeadura entre 60 a 120 cm em função da adição crescente de resíduo sólido orgânico urbano nos substratos (de 20 a 100%), tendo apresentado efeito negativo proporcional às quantidades utilizadas. O resíduo prejudicou o crescimento em altura do eucalipto, de forma semelhante ao lodo de papel reciclado. Porém, os resultados para 79 dias foram superiores aos aqui descritos em intervalo de avaliação de 90 dias, que permaneceram entre 30 e 60 cm de altura. Esta diferença pode ser atribuída aos fatores ambientais e ao material genético vegetal utilizado naquela pesquisa.

Com o resíduo celulósico, Andrade et al. (2003) encontraram valores máximos de volume de madeira com a associação de 80 t ha⁻¹ de resíduo celulósico com adubação fostafada, em *Eucalyptus* de seis anos de idade. Dados de Barreto

(2008) também indicaram que o resíduo de celulose e papel influenciou positivamente o crescimento em altura das plantas de eucalipto aos 60 dias, porém sem efeito significativo aos 120 dias. Por outro lado, Guerrini (2003) constatou que a aplicação do composto orgânico de resíduo de indústria de celulose e papel não favoreceu o crescimento em altura de eucalipto em condições de campo até os seis meses de idade.

Novamente, lembra-se que a tecnologia de aplicação do resíduo, a dose, o solo, a idade do plantio, as diferentes espécies vegetais, o tipo do resíduo, e a presença de adubação mineral no experimento, inviabilizam uma comparação direta entre resultados de diferentes pesquisas sobre o uso de resíduos agroindustriais em florestamentos. No levantamento bibliográfico realizado, não foram encontrados resultados do efeito de crescimento em alturas para *Eucalyptus* em função direta do resíduo de fábrica de papel reciclado.

5.2.3 Biomassa de Raízes

Estudos quantitativos sobre o efeito de resíduos no desenvolvimento da biomassa em espécies florestais resultaram dados contraditórios. Por exemplo, Knapik e Ângelo (2007b) verificaram que a adubação com pó de basalto proporcionou mudas de pessegueiro bravo (*Prunus sellowii* Koehne) com biomassa seca da parte aérea e biomassa seca total inferiores a testemunha. Barreto (2008) por outro lado, detectou efeito positivo da aplicação de resíduo de indústria de celulose e papel nas produções de biomassa da parte aérea de eucalipto.

Os resultados para biomassa de raízes aos 120 dias do plantio indicaram o efeito da adubação de cobertura ($F = 52,15$, $p < 0,01$), das doses de resíduo ($F = 42,35$, $p < 0,01$) e desta interação ($F = 28,71$, $p < 0,01$, Tabela 12).

Tendo em vista apenas os tratamentos sem adubação de cobertura, nota-se que as diferentes doses do lodo de papel reciclado não prejudicaram nem favoreceram o desenvolvimento da biomassa radicial. As diferenças foram consideradas não significativas, com exceção das doses 50v/v e 75v/v, com 4,89 g e 1,46 g, respectivamente. Curiosamente, a dose 50v/v apresentou valor na ordem de 4 g de biomassa, semelhante ao da testemunha, que não tinha resíduo. Este resultado indica que não houve efeito direto das doses do lodo na produção em

biomassa de raízes. De fato, o efeito da adubação em cobertura foi muito mais expressivo (Figura 6).

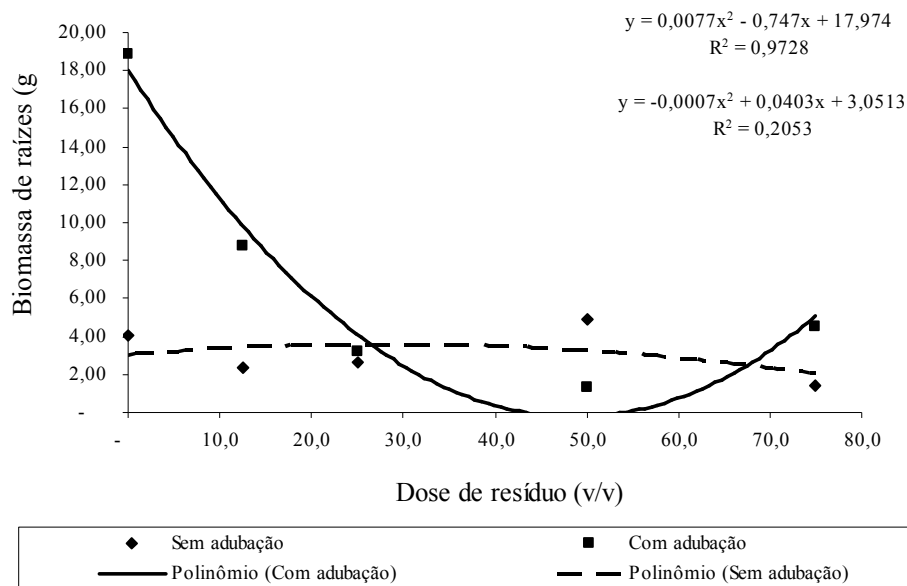


FIGURA 6 – BIOMASSA DE RAÍZES (g) AOS 120 DIAS
 FONTE: o autor

Como era de se esperar, a adubação estimulou o desenvolvimento das raízes. A testemunha com adubação apresentou 18,91 g de biomassa, valor bastante superior a todos os outros tratamentos.

Estes resultados vão de encontro com o observado nos outros parâmetros de crescimento, o diâmetro de colo e a altura das mudas. Ou seja, quanto maior a dose de resíduo, menor o desenvolvimento do *E. saligna*. A diferença no caso da biomassa de raízes é que se evidenciou que o resíduo comprometeu o efeito benéfico esperado em função da adubação em cobertura. Desta forma, ficou evidenciado o efeito da interação entre adubação e resíduo ($F = 28,71$, $p < 0,01$), que prejudicou o desenvolvimento da biomassa das raízes.

A interação comprometeu o efeito do adubo, prejudicando o desenvolvimento das raízes. As doses adubadas 25v/v, 50v/v e 75v/v, foram estatisticamente semelhantes, independente da presença do NPK nos vasos, tendo resultado valores de 3,21g, 1,32g e 4,52g, muito inferiores ao observado no tratamento testemunha com adubação. Mesmo o tratamento com a menor dose 12,5v/v e com presença de adubo, resultou valor de 8,80 g de raízes, bastante inferior ao melhor tratamento.

É provável que o lodo de papel reciclado tenha complexado ou precipitado algum nutriente presente no solo e na adubação em cobertura, e com isso tendo prejudicado o desenvolvimento das plantas. Resultados de Ferreira et al. (2007) indicaram a dependência do eucalipto para o elemento fósforo, no desenvolvimento das raízes. No entanto, conforme discussão do item 5.3.1.2, as doses crescentes de resíduo não influenciaram a absorção do P pelas raízes. No grupo sem adubação NPK, as doses mais elevadas de lodo favoreceram a absorção do P por conta da complexação do alumínio, o que sugere que não foi o fósforo o nutriente mineral prejudicado pelo aumento das doses de resíduo de fábrica de papel reciclado.

Accioly et al. (2004) mencionam que os teores de Zn nas raízes de *Eucalyptus camaldulensis* diminuem com a adição de calcário nos solos, mesmo que permaneçam elevados na parte aérea, explicando a baixa produção de matéria seca de raízes. Neste estudo (ibid.), a planta limitou a translocação de metais pesados das raízes para a parte aérea. Analogamente, os resultados no item nutrição florestal (item 5.3.1.4), deram conta que o aumento do teor de cálcio pelas raízes ocorreu exponencialmente com o aumento das doses do lodo de papel reciclado ($F = 456,42, p < 0,01$).

Os teores de Zn nas raízes (item 5.3.2.4) não apresentaram tendências muito evidentes, mas pode ser afirmado que os tratamentos na dose 75v/v apresentaram os maiores resultados, tanto no grupo sem adubação ($4,49 \text{ mg kg}^{-1}$) quanto no grupo com NPK ($3,87 \text{ mg kg}^{-1}$), sugerindo que o aumento da concentração do lodo de papel reciclado no solo favoreceu a absorção do Zn para as raízes. Assim, há indícios de que o zinco também não foi prejudicado pelo aumento das doses de resíduo de fábrica de papel reciclado.

5.3 NUTRIÇÃO FLORESTAL

As Tabelas 13, 14, 15 e 16 (apêndices) demonstram os resultados para todos os nutrientes analisados:

5.3.1 Macronutrientes em Folhas e Raízes

5.3.1.1 Nitrogênio

Para o grupo de plantas com adubação NPK, a Figura 7 leva a crer no efeito do aumento das doses de resíduos na absorção do N pelas raízes, mas, não houveram diferenças no teste de comparação de médias ($F = 1,79$, $p > 0,05$). Em termos absolutos, os teores variaram entre $2,56 \text{ g kg}^{-1}$ (dose 75v/v sem adubação) e $9,25 \text{ g kg}^{-1}$ (dose 75v/v com adubação). Os teores de nitrogênio encontrados nas raízes também não diferiram estatisticamente em função da interação ($F = 1,14$, $p > 0,05$). A diferença estatística foi verificada apenas em função da adubação em cobertura ($F = 8,79$, $p < 0,05$).

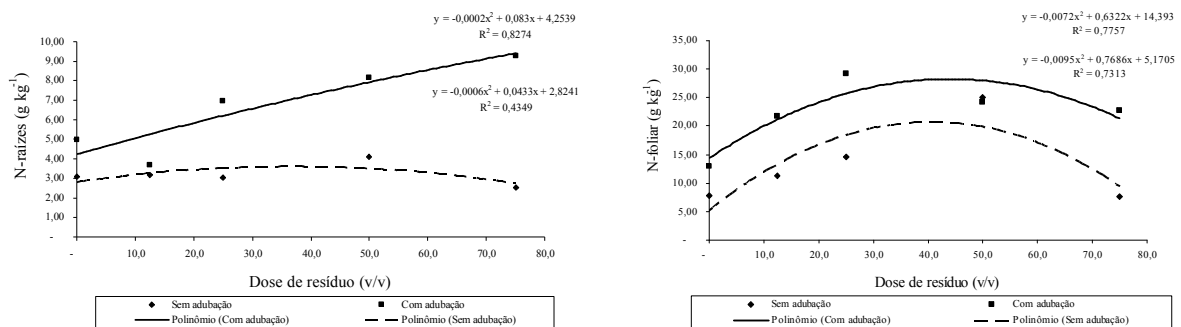


FIGURA 7 – TEORES DE NITROGÊNIO NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

As equações ajustadas tanto para o grupo com adubação e sem adubação levam a crer que as doses crescentes do lodo de papel reciclado contribuíram para a absorção de nitrogênio para as folhas nas doses entre 25v/v e 50v/v. A partir desta, a absorção tendeu a ser prejudicada, conforme a resposta verificada na dose 75v/v.

Para o nitrogênio foliar, houve efeito significativo da adubação ($F = 61,06$, $p < 0,01$), da dose de resíduo ($F = 49,58$, $p < 0,01$) e da interação ($F = 9,22$, $p < 0,01$, Figura 7). A adubação em cobertura resultou em maiores teores de N para todas as doses de resíduo. Neste grupo, os valores variaram entre $12,87 \text{ g kg}^{-1}$ a $29,20 \text{ g kg}^{-1}$, na dose 25v/v.

Malavolta et al. (1997) mencionam que o teor foliar de N adequado para a cultura do eucalipto está entre $1,40$ a $1,60 \text{ g kg}^{-1}$. Os valores aqui encontrados oscilaram entre sete e trinta g kg^{-1} , muito superiores a esta recomendação. Também ficou nítido que o nitrogênio estava presente em maior quantidade na parte aérea das plantas e não nas raízes.

Barretto (2008) verificou, com o resíduo de celulose e papel, que a concentração de nitrogênio na folha de eucalipto diminuiu com o aumento da dose. A maior dose daquele composto ($18,6 \text{ t ha}^{-1}$) não elevou a concentração de N nas folhas em relação à sua não aplicação, apresentando uma concentração média nas folhas de $5,18 \text{ g kg}^{-1}$ na maior dose. Vidotti (2007) testaram algumas concentrações (0; 5; 10; 15; 20 e 25 t ha^{-1}) de dois compostos de resíduos de celulose e papel e não verificaram aumento na concentração de N em folhas de eucalipto, aos 60 dias após plantio.

Em termos absolutos, a concentração foliar de $5,18 \text{ g kg}^{-1}$ obtida por Barreto (2008) na maior dose de resíduo daquela pesquisa é próxima ao resultado de $7,65 \text{ g kg}^{-1}$ obtido na dose 75v/v sem adubação, porém muito inferior ao valor de $22,65 \text{ g kg}^{-1}$ obtido na dose 75v/v com adubação.

Rocha et al. (2004) mencionam que os macronutrientes foliares se diluem nas folhas, e com o tempo os teores vão apresentando resultados menores, em decorrência de uma ou mais dessas causas: (i) diluição das quantidades nutricionais numa maior biomassa foliar; (ii) diminuição da demanda nutricional pela árvore, graças ao fechamento de copas e à queda do metabolismo foliar, ocasionada por maior auto e intercompetição foliar por luz e água, sobretudo nas porções mais velhas das copas, e (iii) retranslocação interna de nutrientes.

Poggiani et al. (1983) encontraram o teor foliar de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ para o nitrogênio, em eucalipto de 2 a 6,9 cm de DAP. Para Rodrigues (2004), o nitrogênio e o fósforo foliares apresentam forte correlação negativa com o crescimento vegetal, indicando que os menores teores nas acículas coincidiram com os maiores valores de produção. Isso foi explicado pelo efeito de diluição do nitrogênio e do fósforo nas acículas, conforme as árvores aumentaram de tamanho (ibid.). É provável que as maiores quantidades de N detectadas nos tratamentos com maior quantidade de lodo de papel reciclado estejam associadas a este efeito da diluição, uma vez que os maiores teores foram verificados nas plantas que menos cresceram (vide discussão: parâmetros biométricos de produção). Ferreira et al. (2007) recomendam estudos no sentido de definir as doses adequadas de nitrogênio e fósforo como fertilização mineral em conjunto com o uso do resíduo de celulose, para utilização como substrato para a produção de mudas de eucalipto.

Malavolta et al. (1997) definiram que, para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis*, os teores de N devam permanecer entre 21 e

23 g kg⁻¹. Os dados aqui apresentados indicam que as plantas que mais cresceram (dose 0v/v com adubação) tinham 12,87 g kg⁻¹ de N nas folhas, que não equivalem aos maiores teores encontrados. O tratamento com adubação e a maior dose de resíduo (75v/v), e que resultou um crescimento bastante inferior (vide: item produção) obteve 22,65 g kg⁻¹ de N nas folhas, indicando que mesmo tendo a planta o translocado, ela não o utilizou otimamente no metabolismo vegetal.

5.3.1.2 Fósforo

Mello et al. (1970) consideram indispensável o uso de fósforo no desenvolvimento do *E. saligna* Sm. As equações ajustadas para os teores de P nas raízes sugerem que para o grupo sem adubação em cobertura, quanto maior a dose de resíduo, maior a absorção de P via raízes. Reitera-se que havia a presença de P no solo experimental, em função dos teores encontrados naturalmente (13,69 mg dm⁻³), e em função da adubação de cova no pré plantio (fosfato monoamônico). A Anova detectou diferenças em função das doses de resíduo ($F = 3,66$, $p < 0,05$) e da adubação de cobertura ($F = 22,14$, $p < 0,01$), mas sem interação entre estas ($F = 2,29$).

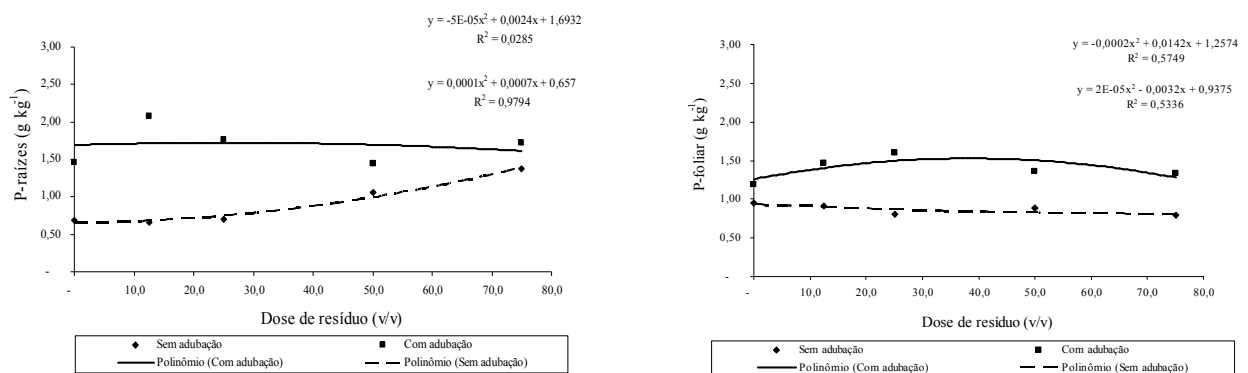


FIGURA 8 – TEORES DE FÓSFORO NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

Foi constatado na discussão sobre fertilidade do solo que os teores de Al³⁺ foram drasticamente reduzidos com o aumento das doses de resíduo, não tendo sido detectados nas doses 25v/v, 50v/v e 75v/v. De acordo com Foy (1976), o Al³⁺ fixa o fósforo em formas menos solúveis no solo ou nas raízes. Dessa forma, é provável que o aumento dos teores de P nas raízes do grupo de plantas sem adubação tenha se dado por conta da complexação do alumínio pelas maiores

doses de resíduo. Na melhor dose de resíduo (12,5v/v), a complexação de alumínio também ocorreu, o que favorece a fertilidade do solo.

Segundo Barros et al. (1982), os níveis de P necessários para o crescimento inicial de mudas de eucalipto são elevados, demonstrando que, no estágio muito jovem (menos de seis meses pós-plantio), o eucalipto é pouco efetivo na absorção deste elemento, principalmente em razão do sistema radicular pouco desenvolvido. A presença do P nas raízes no tratamento 12,5v/v com adubação NPK (2,07 g kg⁻¹) foi significativamente superior a todos os outros tratamentos (Figura 8). No entanto, a equação ajustada e os resultados do teste de comparação de médias sugerem que neste grupo as doses crescentes de resíduo não influenciaram a absorção do P pelas raízes. Ou seja, no experimento a adubação de cobertura foi suficiente para conferir teores de P nas raízes superiores aos outros tratamentos, que também dispunham de outras fontes de fósforo.

Poggiani et al. (1983) encontraram o teor foliar de P de 0,4 g kg⁻¹ em eucalipto com DAP de 2,0 a 2,9cm. Os valores encontrados em todos os tratamentos foram superiores a este parâmetro, em função do efeito da diluição, uma vez que as plantas ainda não tinham o mesmo porte.

Os dados aqui apresentados indicam que as plantas que mais cresceram (dose 0v/v com adubação) tinham 1,19g kg⁻¹ de P nas folhas, e não foram as que apresentaram os maiores teores deste nutriente. Para o fósforo foliar, houve efeito significativo da adubação (F = 10,08, p<0,01), da dose de resíduo (F = 4,65, p<0,01), mas sem interação destes fatores (F = 0,70, Figura 8). A adubação em cobertura resultou em maiores teores de P para todas as doses de resíduo. Neste grupo, os valores variaram entre 1,19 g kg⁻¹ a 1,60 g kg⁻¹, na dose 25v/v. Em termos significativos, os melhores tratamentos com adubação foram as doses 12,5v/v e 25v/v, seguidos das doses 50v/v e 75v/v, e por último, a testemunha.

Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de P devam permanecer entre 1,3 e 1,4 g kg⁻¹, teores parecidos aos aqui encontrados. Há evidências, portanto, que o lodo de papel reciclado não interferiu na absorção do P para as folhas. O desempenho verificado para os teores de P-raiz corrobora este argumento.

Em relação ao P foliar para o grupo sem adubação em cobertura, verificou-se que os teores permaneceram abaixo do grupo com adubação, tendo oscilado

entre $0,79 \text{ g kg}^{-1}$ (dose 75v/v) e $0,96 \text{ g kg}^{-1}$ (testemunha). O teste de comparação de médias não indicou nenhuma tendência definida neste grupo (Tabela 14).

Rodrigues (2004) argumenta que a obtenção de elevados teores de fósforo em acículas de pinus pode estar associada ao efeito da concentração desses nutrientes em uma menor massa vegetal, porque em seus resultados (ibid.) a testemunha que cresceu menos obteve maiores valores para este macronutrientes, quando comparada às plantas que receberam aplicação de resíduo de indústria de papel, e que produziram mais.

Resultados com resíduos orgânicos indicam baixa probabilidade de fornecimento eficaz de fósforo para o eucalipto. Guerrini (2003), constataram o aumento no teor de P nas folhas de eucalipto com a aplicação de resíduo de fábrica de celulose e papel, aos três meses. Entretanto, houve decréscimo das concentrações de P aos seis meses, sendo que a adubação química foi melhor que a orgânica (ibid.). Com os resultados de Rocha (2004), O uso do lodo de esgoto não favoreceu a absorção de P pelo tecido foliar.

Com base nos resultados dos teores de fósforo foliares e radiculares, pode-se dizer que a absorção deste nutriente não foi prejudicada pelas doses crescentes de resíduo, especialmente nas menores doses (12,5v/v e 25v/v), que apresentavam as maiores quantidades deste nutriente, no solo do final do experimento.

5.3.1.3 Potássio

A Anova detectou diferenças significativas para o potássio das raízes em função da adubação ($F = 76,41$, $p < 0,01$), das doses ($F = 72,50$, $p < 0,01$) e da interação ($F = 37,16$, $p < 0,01$). As doses de resíduo nos tratamentos do grupo sem adubação em cobertura mostraram uma tendência de redução do K com o aumento das doses. A dose 75v/v apresentou o menor valor ($2,51 \text{ g kg}^{-1}$).

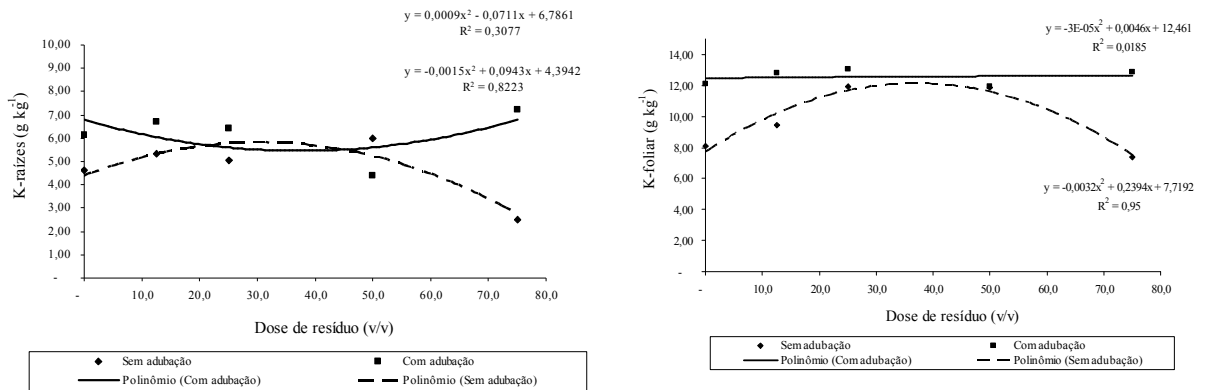


FIGURA 9 – TEORES DE POTÁSSIO NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

No entanto, o grupo de plantas com adubação em cobertura apresentou teores de K^+ radicular aparentemente crescentes em função do aumento das doses de resíduo. As doses testemunha, 12,5v/v e 25v/v apresentaram K^+ radicular na casa dos seis $g\ kg^{-1}$. A dose 75v/v apresentou o teor de $7,23\ g\ kg^{-1}$, tendo sido o maior valor observado entre tratamentos. Assim, enfraquecendo a hipótese sobre lixiviação do K^+ radicular em função da maior porosidade e arenosidade dos solos com mais resíduo.

Outra justificativa provável para a diminuição dos teores de K^+ nas maiores doses de resíduo pode ser a de que o K^+ presente na adubação em cobertura tenha sido complexado pelo lodo. É válido lembrar que as análises de fertilidade do solo não indicaram a presença do potássio no solo sem NPK. Lembra-se que na discussão sobre o crescimento das plantas, foi evidenciada a interferência negativa do resíduo no desenvolvimento da biomassa de raízes, diâmetros de colo e altura das plantas, em função provavelmente da complexação de nutrientes pelo excesso de resíduo de papel reciclado no solo.

Gonçalves e Moro (1995) verificaram que a aplicação da cinza de caldeira proporcionou absorção muito maior de K^+ e Ca^{2+} , nutrientes contidos em maior abundância na cinza. Estes nutrientes mostraram efeito sinérgico sobre a absorção de outros nutrientes contidos em pequena quantidade na cinza, e.g. o nitrogênio (ibid.). Com o pó de basalto e esterco eqüino, Knapik e Ângelo (2007b) constataram que a maior absorção de Ca^{2+} pode ter influenciado na menor absorção de K^+ , mas não obtiveram diferenças significativas nas diferentes adubações. Por outro lado, Rocha et al. (2004) atribuíram a diminuição dos teores de K^+ até os 32 meses de idade de *E. grandis*, para todos tratamentos que receberam o lodo de esgoto, em função da diluição desse nutriente na planta ou da absorção antagônica do Ca^{2+} em

relação ao K^+ . Com o uso de lama de cal, Stappe e Balloni (1988) mostraram tendência de elevar o teor de cálcio das folhas e diminuir os de potássio (e magnésio).

Os resultados não forneceram dados para concluir sobre a capacidade do Ca^{2+} de impedir o transporte interno do K^+ para diferentes partes da planta. Até o limite da dose 12,5v/v o risco de competição de Ca^{2+} com o K^+ não foi perceptível.

Para o potássio foliar, houve efeito significativo da adubação ($F = 29,25$, $p < 0,01$), da dose de resíduo ($F = 52,98$, $p < 0,01$) e da interação ($F = 4,57$, $p < 0,01$, Figura 9). Para o grupo com adubação em cobertura, no entanto, os resultados do teste de Tukey não indicaram tendências em função das diferentes doses do resíduo.

Tais diferenças aconteceram no grupo sem adubação. A Figura 9 sugere que as doses crescentes do lodo favoreceram a absorção de K^+ para as folhas até o limite da dose 50v/v. É provável que a redução do teor foliar de K na dose 75v/v do grupo sem adubação se deva ao reflexo do que aconteceu nas raízes daquele grupo de plantas, que manifestou a mesma tendência.

É preciso constar que estudos já mencionaram o resíduo de indústria de celulose e papel como fontes nutricionais de K^+ para o eucalipto. Vidotti (2007) constatou aumento das concentrações de K^+ nas folhas de eucalipto com a aplicação deste resíduo. Os resultados de Barretto (2008) indicaram efeito linear na concentração de K^+ nas folhas, também pela aplicação de resíduo de indústria de papel. Os aumentos de K^+ variaram de 2,33 para 3,50 $g\ kg^{-1}$, no tratamento sem a aplicação e na maior dose de composto, respectivamente (ibid.).

Poggiani et al. (1983) encontraram o teor foliar de 1,9 $g\ kg^{-1}$ de K^+ em eucalipto com DAP de 2 a 6,9 cm. Metro e Beaucorps (1958) apresentaram teores foliares de potássio para *E. camaldulensis* e *E. gomphocephala* com doze anos de idade, com valores oscilando em torno de 6,0 a 6,2 $g\ kg^{-1}$ na matéria seca.

Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de K^+ devam permanecer entre 9 e 10 $g\ kg^{-1}$. Haag et al. (1976) apresentaram teores de 10,4 a 11,4 $g\ kg^{-1}$ de K^+ nas folhas de *E. alba* e *E. grandis* com dois anos de idade. Os dados do trabalho indicavam uma insuficiência de K^+ em todas as espécies, em ambos os solos (ibid.). Estes dados são próximos aos encontrados nos tratamentos com NPK, mas com plantas de apenas quatro meses de idade.

Com bases nos parâmetros supracitados e sabendo do conhecido efeito da diluição de nutrientes na parte aérea (devido ao crescimento em biomassa), supõe-se que os resultados de K^+ foliar foram inferiores ao demandado pelas plantas, ou seja, houve déficit nutricional de K^+ nas plantas de todos os tratamentos, mesmo nas plantas do grupo com adubação em cobertura.

Os próximos estudos com o uso do lodo de papel reciclado na silvicultura do eucalipto devem levar em consideração outras fontes suplementares de potássio para as plantas, especialmente na implantação florestal.

5.3.1.4 Cálcio

A Figura 10 indica que nas raízes, o aumento dos teores de Ca^{2+} no grupo sem adubação ocorreu exponencialmente com o aumento das doses de resíduo ($F = 456,42$, $p < 0,01$). Este é um forte indicativo de que o Ca^{2+} do resíduo estava prontamente assimilável para absorção radicular de *E. saligna*. A dose 75v/v resultou teor de $28,43 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 13), tendo sido o maior resultado entre os tratamentos.

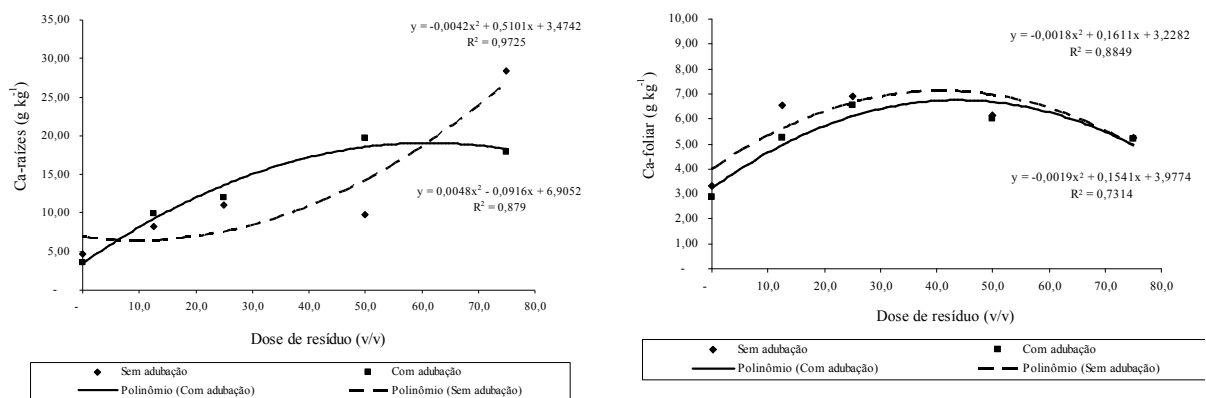


FIGURA 10 – TEORES DE CÁLCIO NOS TRATAMENTOS
FONTE: o autor

Estatisticamente, a adubação em cobertura não influenciou significativamente a absorção de cálcio pelas raízes ($F = 0,32$). Entretanto, foi detectada uma forte interação entre a adubação e o lodo de papel reciclado ($F = 83,29$, $p < 0,01$). As plantas do grupo com NPK absorveram mais cálcio com o

aumento das doses de resíduo, mas somente até o limite de $19,75 \text{ g kg}^{-1}$ e tendo estabilizado a $17,91 \text{ g kg}^{-1}$ (doses 50v/v e 75v/v).

O favorecimento da absorção de Ca^{2+} pelas raízes foi decorrente da presença abundante deste elemento no solo, tendo influenciado negativamente no crescimento em biomassa das plantas.

O solo experimental apresentava naturalmente $3,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio. A forte presença de cálcio no resíduo sugeria que haveria uma maior translocação deste nutriente nas folhas de *E. saligna*. Os resultados para o Ca^{2+} foliar indicaram diferenças em função da adubação ($F = 4,39, p < 0,05$) e das doses principalmente ($F = 74,05, p < 0,01$), mas sem interação ($F = 1,21$, Figura 10).

Os teores foliares de Ca^{2+} aumentaram até a dose 50v/v, tendo diminuído na dose 75v/v. Este comportamento foi verificado tanto para o grupo com e sem adubação em cobertura. Curiosamente, o grupo sem adubação mostrou teores foliares de cálcio levemente superiores ao grupo com NPK.

Segundo Malavolta (1980), o cálcio é um elemento imóvel nas plantas e não sofre os efeitos de diluição com o crescimento dos tecidos vegetais, e o maior acúmulo de cálcio no lenho pode estar relacionado com a imobilidade do cálcio na árvore. Estas informações dão a entender que o excesso do cálcio nas plantas do experimento dificultou o seu crescimento vegetativo.

Santana et al. (1999) enfatizam que a maior parte do cálcio se acumula nos troncos das árvores, e a colheita florestal pode influenciar o estoque de nutrientes no sistema produtivo. Este argumento sugere que o fornecimento de Ca^{2+} no florestamento de eucalipto como fonte nutricional e não como corretor de solo possa ser considerado no manejo florestal nos primeiros anos do plantio.

Malavolta et al. (1997) mencionam os teores foliares de cálcio de $0,80$ a $1,20 \text{ g kg}^{-1}$, adequados para a cultura do eucalipto. Sgarbi et al. (1999) apresentaram para o híbrido *E. grandis x E. urophylla* a concentração de Ca^{2+} nas folhas novas e velhas de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,7 \text{ g kg}^{-1}$, não tendo apresentado redução no crescimento e na produção de matéria seca. Os dados aqui encontrados foram nitidamente superiores a estes parâmetros, mesmo nas testemunhas, uma vez que além do Ca^{2+} fornecido pelo resíduo, também havia cálcio presente no solo. Assim, tem-se um indicativo que o excesso de cálcio nas plantas prejudicou o seu crescimento, haja vista a expectativa de arranque exponencial de crescimento em diâmetro e altura na

implantação do eucalipto, especialmente nas épocas quentes de verão, como feito neste trabalho.

O aumento dos teores de Ca^{2+} decorrentes do uso de lodo de papel reciclado vai de encontro com os resultados obtidos por Guerrini e Moro (1994⁴) 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^{2+} na composição do resíduo de indústria de celulose.

De forma semelhante, Knapik e Ângelo (2007b) mencionam que a presença de Ca^{2+} nas folhas de mudas de pessegueiro bravo produzidas no tratamento com pó de basalto foi cerca de duas vezes maior que na testemunha, e que a adubação com esterco eqüino também propiciou mudas com maiores quantidades de Ca^{2+} (Knapik e Ângelo, 2007b).

Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de Ca^{2+} devam permanecer entre 5 a 6 g kg^{-1} . Metro e Beaucorps (1958), encontraram para *E. camaldulensis* e *E. gomphocephala*, teores foliares de cálcio na ordem de 10,7 e 15 g kg^{-1} , respectivamente. Haag et al. (1976) apontam valores de 12,8 e 11,5 g kg^{-1} de Ca^{2+} em *E. alba* e *E. grandis*.

Os dados aqui apresentados indicam que as plantas que mais cresceram (dose 0v/v com adubação) tinham 2,88 g kg^{-1} de Ca^{2+} nas folhas (valor próximo ao encontrado por Sgarbi et al., 1999), e não apresentaram os maiores teores deste nutriente.

5.3.1.5 Magnésio

Nas raízes, o teor de Mg^{2+} foi influenciado apenas pela adubação em cobertura ($F = 7,10$, $p < 0,05$), que apresentou plantas com teores entre 1,48 g kg^{-1} e 2,02 g kg^{-1} , um pouco superiores aos valores do grupo de plantas sem adubação.

⁴ GUERRINI, I.A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais...UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas**, 1994. p. 188-215.

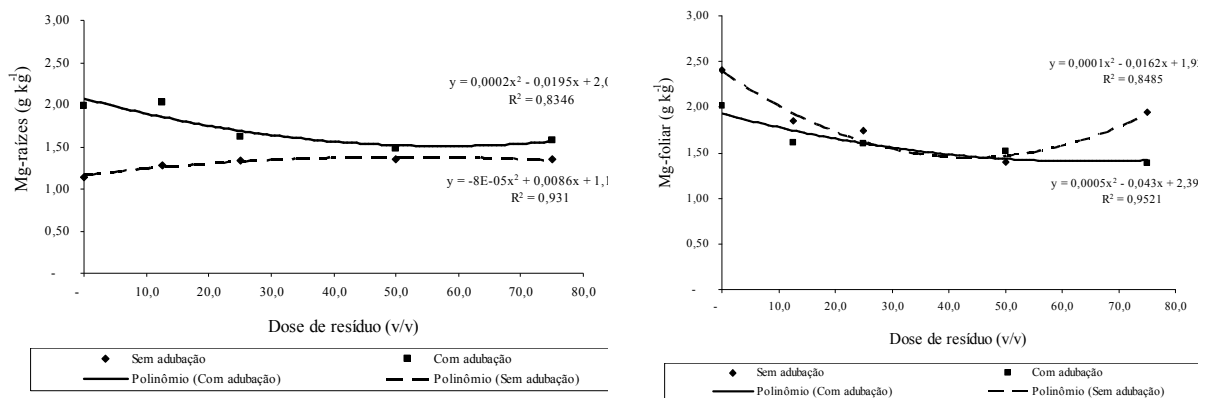


FIGURA 11 – TEORES DE MAGNÉSIO NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

O solo experimental apresentava $2,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de magnésio. Apesar de não ter apresentado diferenças significativas, os teores de magnésio nas folhas foram um pouco superiores no grupo de plantas sem adubação (Figura 11). Para este nutriente não houve diferenças em relação à adubação ($F = 2,08$, $p > 0,05$), a dose de resíduo ($F = 2,50$, $p > 0,05$) e interação ($F = 0,53$, $p > 0,05$).

Poggiani et al. (1983) encontraram para Mg^{2+} a concentração foliar de $0,4 \text{ g kg}^{-1}$ para eucalipto com diâmetros entre dois a $6,9 \text{ cm}$. Os dados aqui apresentados são muito superiores, mas a diferença pode ser associada ao efeito da diluição devido idade e diâmetros superiores das plantas.

O híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* avaliado por Sgarbi et al. (1999) apresentou concentração de Mg^{2+} nas folhas novas e velhas de $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,5 \text{ g kg}^{-1}$, não tendo apresentado redução no crescimento e na produção de matéria seca. Estes dados são parecidos aos aqui encontrados.

A concentração foliar de Mg^{2+} oscilou entre um e dois g kg^{-1} para todos os tratamentos. Porém, Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de Mg^{2+} devam permanecer entre $2,5$ a 3 g kg^{-1} , valores superiores aos aqui descritos.

O resíduo de indústria de celulose testado por Barretto (2008) influenciou na concentração de Mg^{2+} nas folhas, porém diminuíram com o aumento das doses de composto. Os resíduos usados apresentavam grandes quantidades de Ca^{2+} e pequenas de Mg^{2+} . Trigueiro (2006) considera que o aumento da concentração de cálcio na solução do solo tenha prejudicado a absorção do magnésio, para eucalipto.

Os resultados aqui encontrados não evidenciaram a queda dos teores de Mg^{2+} com o aumento das doses de lodo de papel reciclado, rico em cálcio. Rodrigues (2004) verificou que o *Pinus taeda* chegou a acumular 219% a mais de cálcio e 372% a mais de magnésio do que a testemunha que não recebeu a aplicação de resíduo de indústria de papel, o que indica que o Ca^{2+} e o Mg^{2+} não foram concorrentes.

Segundo Malavolta et al. (1997), a absorção de H_2PO_4 é máxima na presença do Mg^{2+} , pois este possui a função de carregador de fósforo, com participação na ativação de ATPases da membrana implicadas na absorção iônica. Os dados não permitiram visualizar este fato, pois não houve diferenças significativas. Este comportamento também era esperado no estudo de Knapik e Ângelo (2007b), que obtiveram altas concentrações de Mg^{2+} ($5,0 \text{ g kg}^{-1}$) com o uso de pó de basalto nas mudas de pessegueiro bravo (*Prunus sellowii*).

5.3.1.6 Eficiência nutricional dos macronutrientes nos tratamentos

A Tabela 1 apresenta o resultado do agrupamento dos dados dos teores nutricionais dos macronutrientes, com as médias gerais de cada elemento, desconsiderando as diferentes doses de resíduo utilizadas:

TABELA 1 – ORDEM DECRESCENTE DE TEOR NUTRICIONAL PARA MACRONUTRIENTES

Raízes (média geral, g kg^{-1})	Adubação em cobertura		Raízes (média geral, g kg^{-1})
	Com	Sem	
12,63	Ca	Ca	12,43
6,61	N	K	4,70
6,16	K	N	3,18
1,74	Mg	Mg	1,29
1,69	P	P	0,90
Folhas (média geral, g kg^{-1})	Com	Sem	Folhas (média geral, g kg^{-1})
22,13	N	N	13,25
12,55	K	K	9,75
5,19	Ca	Ca	5,63
1,63	Mg	Mg	1,87
1,39	P	P	0,87

FONTE: o autor

Os dados mostraram tendências distintas entre as concentrações das raízes e das folhas. A adubação em cobertura pouco influenciou nestas tendências, tendo as seqüências sido semelhantes entre raízes com e sem adubação. E também, as seqüências foram idênticas para as folhas com e sem adubação NPK.

Para as raízes, o cálcio foi o elemento com maior concentração, devido ao uso experimental do lodo de papel reciclado. A ordem decrescente completa dos teores dos macronutrientes nas raízes é definida assim: $Ca > N, K > Mg > P$.

Macedo et al. (1996) concluíram que as espécies de eucalipto apresentam concentrações foliares decrescentes para os seguintes macronutrientes: $Ca > K > Mg > P$, ou seja, os dados deste autor (ibid.) foram semelhantes aos resultados verificados nas raízes das plantas aqui amostradas. Para as folhas, os grupos com e sem adubação apresentaram os teores nutricionais decrescentes na seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > P$.

Ao transformar os mesmos dados para o parâmetro Eficiência de Utilização de Nutrientes (EUN, g biomassa/g nutriente), a partir das médias gerais obtidas da biomassa de raízes e sem considerar as diferentes dosagens de lodo de papel reciclado, é possível elaborar outra tabela, que demonstra quais os macronutrientes contribuíram no desenvolvimento das plantas do experimento (Tabela 13):

TABELA 2 – EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE MACRONUTRIENTES

Raízes	Adubação em cobertura		Raízes
	Com	Sem	
0,58	Ca	Ca	0,25
1,11	N	K	0,66
1,19	K	N	0,97
4,23	Mg	Mg	2,38
4,34	P	P	3,44
Folhas	Com	Sem	Folhas
0,33	N	N	0,23
0,59	K	K	0,32
1,42	Ca	Ca	0,55
4,52	Mg	Mg	1,65
5,29	P	P	3,54

FONTE: o autor

Santana et al. (2002) afirmam que a EUN em eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*) decresceu na seguinte ordem: $P > Mg > K > N > Ca$, sendo esta a mesma tendência observada por Santana et al. (2000).

Quanto maior a EUN, que é adimensional, maior a biomassa vegetal formada para a mesma quantidade de nutriente. Ou seja, quanto maior a EUN, mais eficiente o nutriente. O fósforo foi o elemento com maior EUN, tanto nas folhas quanto nas raízes, seguido do Mg. Assim, evidencia-se a importância destes macronutrientes. A seqüência de EUN completa para as raízes foi $P > Mg > K, N > Ca$. Estes dados foram semelhantes aos apresentados por Santana et al. (2002) e Santana et al. (2000).

Para as folhas, a EUN foi $P > Mg > Ca > K > N$. Estas seqüências são exatamente o contrário das apresentadas na tabela de ordem decrescente de teor nutricional para macronutrientes. Fica evidenciado que nas condições deste experimento, o N e o K disponíveis, muito embora tenham sido translocados do solo para a planta, não tiveram a condição adequada para potencializar o crescimento do *E. saligna*.

5.3.1.7 Efeitos do aumento de pH sobre os macronutrientes nos tratamentos

Ao se comparar os teores de macronutrientes observados nas raízes, em relação ao aumento do pH do solo verificado pelo uso do resíduo, esperava-se, inicialmente (verificar a Figura 1), que a disponibilidade de N, P, K, Ca e Mg iria aumentar com a alcalinização da solução nutritiva do solo, que na maior dose de resíduo, resultou pH's na faixa de sete.

O aumento das doses de lodo, diretamente responsável pela alcalinização do solo, não influenciou significativamente os teores de N e de Mg nas raízes ($F = 1,79$ e $F = 1,57$ respectivamente, Tabela 13). Houve diferenças significativas para o P ($F = 3,66$), e altamente significativas para o K ($F = 72,50$) e para o Ca ($F = 456,42$).

O teor de fósforo nas raízes aumentou com o pH do solo, principalmente no grupo de plantas sem adubação em cobertura (Figura 9). Reitera-se que havia nos vasos quantidade razoável de P, devido à presença inicial no solo utilizado e à adubação de cova no pré-plantio do experimento. Pode-se afirmar, portanto, que o aumento das doses de lodo favoreceu a disponibilidade de P para as raízes.

O aumento do pH do solo não conferiu aumento nos teores de K verificados nas raízes, como era previsto pela Figura 1. As justificativas prováveis podem ser a

lixiviação deste elemento, causada pelo aumento dos teores de areia grossa (nas maiores doses de lodo), e também, a adsorção de K dificultada pelo excesso de Ca no solo. Fato comprovado, uma vez que o aumento do pH do solo resultou maiores teores de Ca nas raízes.

5.3.2 Micronutrientes em Folhas e Raízes

5.3.2.1 Cobre

A análise do resultado para o teor de Cu nas raízes indicou a ausência do efeito da adubação ($F = 0,14$, $p > 0,05$), bem como a ausência de interação ($F = 1,76$, $p > 0,05$). Estes resultados indicam que quanto maior a dose do lodo de papel reciclado, maior a quantidade de cobre presente nas raízes (Figura 12). Este resultado também sugere que havia cobre no lodo de papel reciclado, ou no solo utilizado.

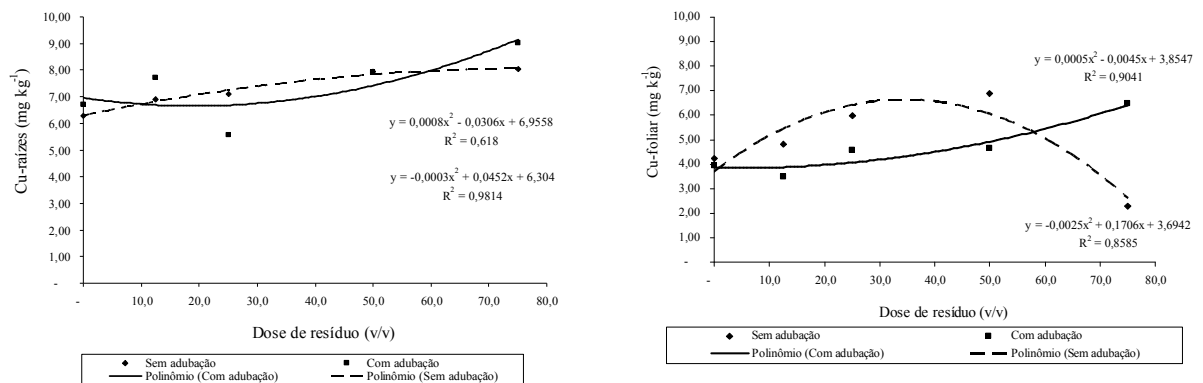


FIGURA 12 – TEORES DE COBRE NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

As folhas dos tratamentos sem adubação em cobertura não tinham os macronutrientes para concorrerem com o cobre nas vias metabólicas das plantas. Provavelmente por isso, os teores foliares de cobre foram superiores nos tratamentos sem adubação, com exceção do tratamento com a dose de 75v/v, onde o teor foi superior no tratamento com adubação. A Figura 12 evidencia o efeito significativo da interação entre a adubação e as doses de resíduo ($F = 11,78$,

$p < 0,01$). Houve também significância em função das doses ($F = 15,31$, $p < 0,01$). No entanto a Anova não indicou efeito da adubação ($F = 0,45$, $p > 0,05$).

Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de cobre devam permanecer entre 7 a 10 mg kg^{-1} . As folhas amostradas não obtiveram estes patamares em nenhum dos tratamentos, indicando que pudesse haver déficit deste micronutriente para as plantas.

5.3.2.2 Manganês

Para Borkert (1991), o equilíbrio entre as formas existentes de Mn no solo é influenciado principalmente pelo pH, sendo que a aplicação de calcário reduz marcadamente a quantidade de manganês extraído pelas plantas.

Quanto maior a dose do lodo de papel reciclado, menores os teores de Mn detectados nas raízes. Vale ressaltar que no grupo de plantas com adubação as diferenças foram mais sutis, e os valores permaneceram entre 65,22 mg kg^{-1} e 109,25 mg kg^{-1} . Os teores nas raízes indicaram diferenças em função da adubação ($F = 166,16$, $p < 0,01$), doses ($F = 356,06$, $p < 0,01$) e interação ($F = 74,12$, $p < 0,01$) (Figura 13).

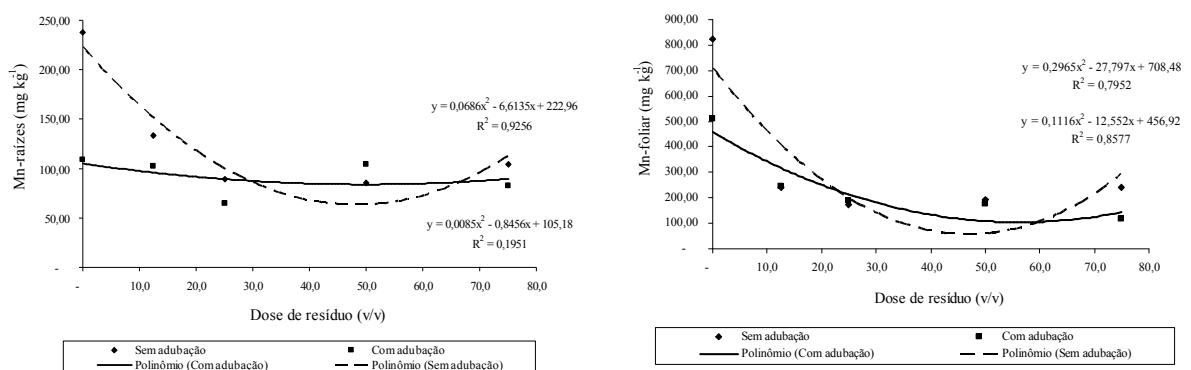


FIGURA 13 – TEORES DE MANGANÊS NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

Quanto aos teores de manganês presentes nas folhas, a Anova indicou fortes diferenças em função da adubação ($F = 591,57$, $p < 0,01$), das doses de resíduo ($F = 3.860,25$, $p < 0,01$) e da interação ($F = 325,76$, $p < 0,01$, Figura 13). Notou-se que quanto maior a dose, menor o teor de Mn nas folhas, tendo as

testemunhas apresentado significativamente os maiores valores ($822,48 \text{ mg kg}^{-1}$ e $508,64 \text{ mg kg}^{-1}$ para o grupo sem adubação e com adubação, respectivamente).

O teste de comparação de médias mostrou tendências significativas muito bem definidas tanto no grupo com e sem adubação para os teores de Mn encontrados nas folhas. Dentro dos grupos, as maiores concentrações foram encontradas na dose 0v/v, seguido das dose 12,5v/v. As doses 25v/v e 50v/v foram semelhantes.

Conforme demonstrado no item sobre crescimento de plantas, as maiores doses de resíduo conferiram as menores produtividades. Foi afirmado que o resíduo complexou ou precipitou algum nutriente do solo, deixando-o indisponível para as plantas. Já no item sobre macronutrientes, ficou comprovado a pouca interferência do resíduo na absorção do nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, e também houve o aumento exponencial dos teores de Ca nas raízes e folhas. Assim, pode-se inferir que a diminuição do crescimento das plantas ocorreu principalmente devido a complexação ou precipitação do Manganês do solo, antes mesmo de ser absorvido pelas plantas, ou ainda, pela concorrência pelas mesmas vias metabólicas do Cálcio, que foi mais eficiente em ser absorvido (Figura 14).

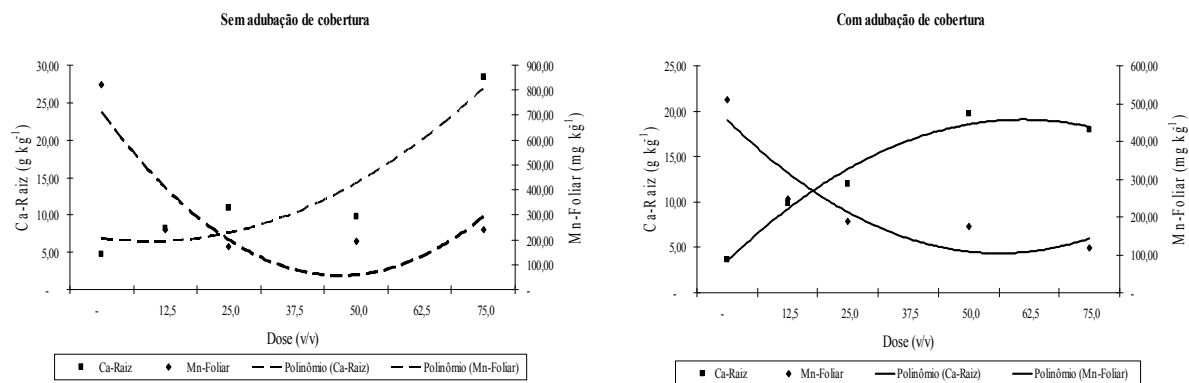


FIGURA 14 – EVOLUÇÃO DO CA-RAIZ E DO MN-FOLIAR NAS DIFERENTES DOSES DE LODO
 FONTE: o autor

Stappe e Balloni (1988) afirmam que os micronutrientes podem precipitar em solos com pH mais básicos. São necessários outros estudos que evidenciem o que ocorre com o Mn na presença do lodo de papel reciclado. Caso seja complexado junto com o resíduo, devem ser estudados os procedimentos e doses para diminuir este efeito. Caso seja precipitado com o aumento do pH do solo, o estudo das melhores doses também permitirá evidenciar os limites de uso do resíduo, que

minimize este efeito. Em todo caso, está claro que as melhores doses são as mais adequadas, especialmente aquelas inferiores a 12,5v/v.

Haag et al. (1976) avaliaram teores nutricionais foliares em eucalipto, mas não concluíram em considerá-los baixos, médios ou altos, por falta de padrões comparativos. No entanto, assinalaram os altos valores encontrados para Mn, nas folhas, tendo-o associado a solos de acidez elevada, como os daquele trabalho (ibid.). Este argumento corrobora com a afirmação de que a absorção do Mn pelo *E. saligna* ficou prejudicada pelo aumento das concentrações do resíduo, ao ter deixado o solo menos ácido.

Poggiani et al. (1983) encontraram 128 mg kg⁻¹ de Mn para eucaliptos com dois a 6,9 cm de DAP. Malavolta et al. (1989) mencionam que os teores foliares de Mn adequados para a cultura do eucalipto são de 100 a 200 mg kg⁻¹. Estes valores são semelhantes aos encontrados nas doses 25v/v e 50v/v. A diferença dos valores mencionados nestes autores aos aqui encontrados está associada ao efeito da diluição, uma vez que não foram mencionados para eucalipto em fase de pós plantio.

Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de Mn devam permanecer entre 300 a 400 mg kg⁻¹. Com o lodo de papel reciclado, o maior crescimento vegetal (dose 0v/v) foi encontrado com teores de Mn foliar na faixa entre 508,64 a 822,48 mg kg⁻¹ para os grupos com adubação e sem adubação, respectivamente.

Resultados de Rocha (2008) mostraram, com o resíduo de indústria de celulose, que apenas o manganês se mostrou sensível relação com as doses de biossólido aplicadas em *E. grandis*, diminuindo seu teor foliar com o aumento das doses. Sendo aquele resíduo rico em cálcio (ibid.), pode-se afirmar que a redução do Mn aqui observada no presente experimento era previsível.

Malavolta et al. (1997) descrevem os vários papéis do Mn nas plantas, destacando que a função mais conhecida é a participação na liberação fotoquímica do oxigênio, efetuada pelos cloroplastos foliares. Ainda (ibid.), mencionam que o manganês é imprescindível para a fotossíntese das plantas C₃, caso do *E. saligna*. Com base neste argumento, ficou esclarecido que foi o Mn o principal nutriente afetado nos tratamentos com o lodo de papel reciclado, e sua falta nas plantas experimentais acabou por resultar a diferença altamente significativa de crescimento verificado para diâmetros e alturas.

5.3.2.3 Ferro

Bataglia (1991) afirma que o Fe é o micronutriente mais requerido pelas plantas, pois ocorre nos cloroplastos, onde está ligado à ativação e constituição de diversas enzimas e participa da síntese protéica. Também (ibid.), que em solos ácidos, a disponibilidade de ferro as plantas é maior do que em solos calcários ou de pH elevado.

O desempenho do teor de ferro nas raízes das plantas do grupo sem adubação indicaram a tendência de aumento da concentração deste elemento com o aumento das doses de resíduo (Figura 15). É possível que a ausência de NPK no solo destas plantas possa ter favorecido a absorção radicular do ferro, que compete na plantas com as mesmas rotas de translocação mineral.

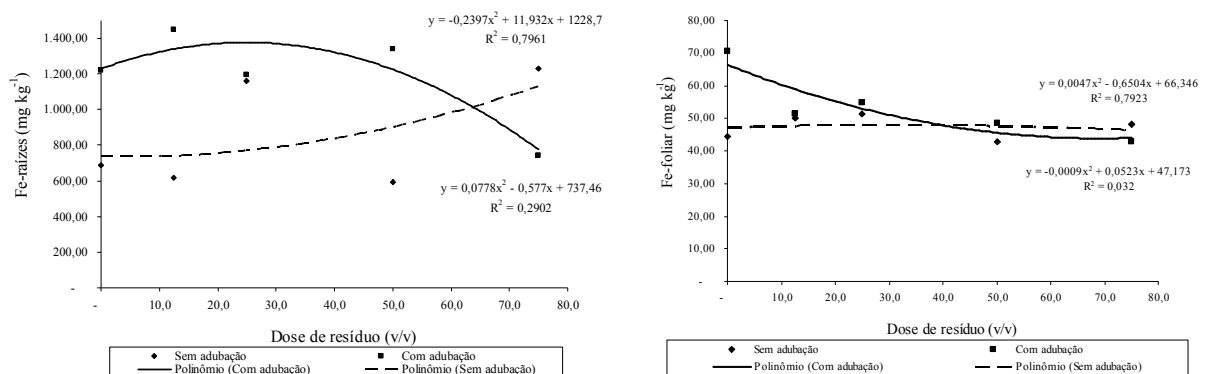


FIGURA 15 – TEORES DE FERRO NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

O desempenho dos teores de ferro nas raízes indicou o efeito da interação do adubo com as diferentes doses de resíduo ($F = 81,87$, $p < 0,01$). O grupo de plantas com NPK apresentou os maiores valores de Fe nas raízes, semelhantes ao valor observado na testemunha (sem resíduo). Estes valores foram todos superiores a 1000 mg kg^{-1} , com exceção do tratamento 75v/v, com $740,91 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe nas raízes.

Os resultados podem ser um indicativo que havia naturalmente muito ferro no solo experimental, uma vez que foi classificado como argiloso, o que justificaria os menores valores de Fe encontrados na dose 75v/v, mais arenosa e porosa (vide discussão: fertilidade do solo). Outro aspecto importante é o de que o Ferro tem

maior facilidade em ser absorvido pelas plantas em ambientes ácidos. Com o aumento do pH do solo decorrente do aumento das doses de lodo de papel reciclado (vide discussão: fertilidade do solo), a absorção de Fe pelas raízes pode ter sido prejudicada, especialmente, no grupo de plantas com adubação em cobertura.

Para os teores de ferro nas folhas, houveram diferenças em relação a adubação ($F = 4,54$, $p < 0,05$) e interação ($F = 3,32$, $p < 0,05$), mas principalmente, em função das doses de lodo ($F = 46,39$, $p < 0,01$). A Figura 15 indica a tendência não muito acentuada na qual quanto maior a dose de resíduo, menor os teores foliares de ferro.

Poggiani et al. (1983) mencionam que o eucalipto com DAP entre 2,0 a 6,9 cm possuía teores de ferro foliares de cerca de 76 mg kg^{-1} . A testemunha com adubação (tratamento com maior produção vegetal) obteve resultado de $70,56 \text{ mg kg}^{-1}$, semelhante a este parâmetro. Malavolta et al. (1997) definiram que para a obtenção de altas produtividades de *Eucalyptus grandis* os teores de Fe devam permanecer entre 100 a 140 mg kg^{-1} . Todos os resultados com lodo de papel reciclado apresentaram valores na faixa entre 40 e 70 mg kg^{-1} , dando a entender que houve menor quantidade de Fe absorvido pelas plantas ao por elas demandado para um ótimo crescimento.

5.3.2.4 Zinco

Para Gonçalves e Valeri (2001), não existem muitos relatos sobre a deficiência de Zinco (e Cobre) em plantações de *Eucalyptus* e de pinus no Brasil, porque a absorção e a assimilação desses micronutrientes são relativamente baixas, ou porque outros nutrientes estejam em níveis mais limitantes.

Nas raízes, os teores de Zn apresentaram diferenças em função da adubação ($F = 7,69$, $p < 0,05$), das doses ($F = 11,59$, $p < 0,01$) e da interação ($F = 6,31$, $p < 0,01$). As tendências não ficaram muito bem evidenciadas no teste de Tukey, mas pode ser afirmado que os tratamentos na dose 75v/v apresentaram os maiores resultados, tanto no grupo sem adubação ($4,49 \text{ mg kg}^{-1}$) quanto no grupo com NPK ($3,87 \text{ mg kg}^{-1}$), sugerindo que o aumento da concentração do lodo de papel reciclado no solo favoreceram a absorção do Zn para as raízes, muito embora sem reflexos significativos nas folhas (Figura 16).

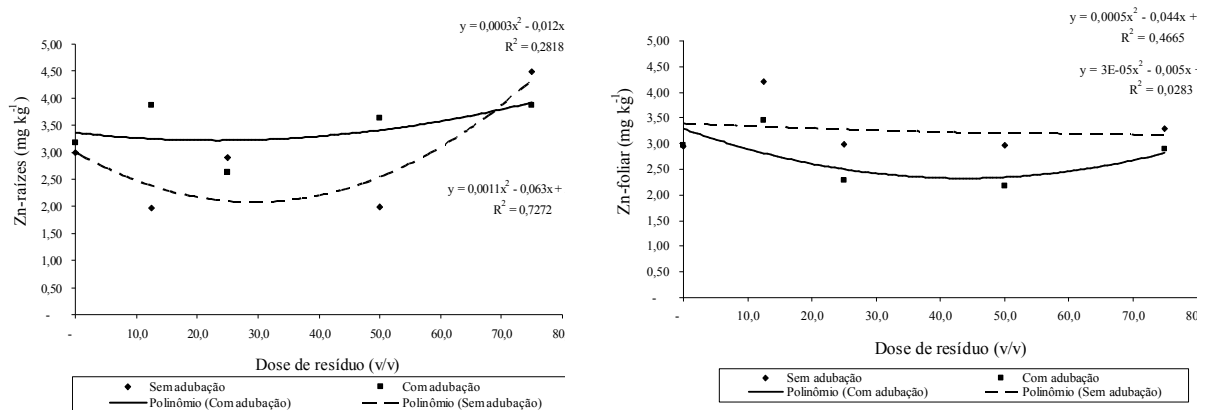


FIGURA 16 – TEORES DE ZINCO NOS TRATAMENTOS
 FONTE: o autor

Os teores de zinco foliares não foram significativamente diferentes em nenhum dos fatores analisados ($F = 0,42$, $p > 0,05$; $F = 1,57$, $p > 0,05$; $F = 1,88$, $p > 0,05$, Figura 16). Ao que tudo indica, a influência dos tratamentos não teve reflexo para este micronutriente, que apresentou nas folhas concentrações entre $1,95 \text{ mg kg}^{-1}$ e $3,45 \text{ mg kg}^{-1}$.

Para Gonçalves e Valeri (2001), deficiências de zinco e cobre tem sido raramente constatadas no Brasil, e os micronutrientes Ferro (e Manganês) são encontrados facilmente em teores elevados nos solos do país. Deficiências temporárias podem acontecer pelo aumento do pH e por interações competitivas entre ferro, manganês, cálcio e magnésio, e, após a expansão do sistema radicular das plantas, elas desaparecem (ibid).

Dell e Daping (1995) consideram que os teores foliares adequados de Zn para o eucalipto são de 40 a 50 mg kg^{-1} . Malavolta et al. (1989) mencionam o teor foliar adequado de 40 a 60 mg kg^{-1} para a cultura do eucalipto. Malavolta et al. (1997) citam os teores de 12 a 17 mg kg^{-1} de Zn, associados a altas produtividades de *Eucalyptus grandis*. Poggiani et al. 1983 relatam que os teores foliares de Zn em eucalipto de $2,0$ a $6,9 \text{ cm}$ de DAP são de 5 mg kg^{-1} . Haag et al. (1976) mencionam para *Eucalyptus tereticornis* o valor de 5 mg kg^{-1} para plantas deficientes em Zn.

Todos os parâmetros de Zn supracitados são superiores ao encontrado nos presentes testes, no qual os teores oscilaram entre $1,0$ a $3,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para todos os tratamentos. Assim, afirma-se que houve o déficit nutricional de Zn das plantas do experimento.

Accioly et al. (2004) mencionam que os teores de Zn nas raízes de *E. camaldulensis* diminuíram sensivelmente com a adição de calcário aos solos, tendo permanecido elevados em relação aos teores observados na parte aérea das plantas. Knapik e Ângelo (2007b) também levantam a hipótese no qual a absorção de Zn é dificultada com o aumento do pH do solo. Este comportamento não ocorreu neste experimento, mesmo tendo ocorrido a elevação dos teores de Ca nos tratamentos com lodo de papel reciclado. A elevação dos teores de Ca nos tratamentos não influenciou a absorção de Zn pelas plantas.

5.3.2.5 Eficiência nutricional dos micronutrientes nos tratamentos

A Tabela 3 apresenta o resultado do agrupamento dos dados dos teores nutricionais dos micronutrientes, com as médias gerais de cada elemento, desconsiderando as diferentes doses de resíduo utilizadas:

TABELA 3 – ORDEM DECRESCENTE DE TEOR NUTRICIONAL PARA MICRONUTRIENTES

Raízes (média geral, mg kg ⁻¹)	Adubação em cobertura		Raízes (média geral, mg kg ⁻¹)
	Com	Sem	
1.189,41	Fe	Fe	857,30
92,77	Mn	Mn	130,18
7,38	Cu	Cu	7,26
3,43	Zn	Zn	2,87
Folhas (média geral, mg kg ⁻¹)	Com	Sem	Folhas (média geral, mg kg ⁻¹)
247,81	Mn	Mn	333,25
53,59	Fe	Fe	47,36
4,63	Cu	Cu	4,85
2,55	Zn	Zn	2,74

FONTE: o autor

Os dados mostraram tendências distintas entre as concentrações das raízes e das folhas. A adubação em cobertura pouco influenciou nestas tendências, tendo as seqüências sido idênticas entre raízes com e sem adubação. As seqüências também foram idênticas para as folhas com e sem adubação com NPK.

Para as raízes, a ordem decrescente completa dos teores dos micronutrientes foi Fe > Mn > Cu > Zn. Os resultados de Macedo et al. (1996) informaram que as espécies de *Eucalyptus* com menores crescimentos (*E. exserta*,

E. paniculata e *E. brassiana*), apresentaram-se com concentrações foliares de micronutrientes para $Mn > Fe > Zn > Cu$ (ibid.). A comparação direta entre os resultados evidencia que o Mn e o Fe são os micronutrientes mais importantes e absorvidos pelo eucalipto, e não podem ser comprometidos sob risco de prejudicar a produtividade florestal.

Ao transformar os mesmos dados para o parâmetro Eficiência de Utilização de Nutrientes (EUN, g biomassa/g nutriente), a partir das médias gerais obtidas da biomassa de raízes e sem considerar as diferentes dosagens de lodo de papel reciclado, é possível elaborar outra tabela, que demonstra quais os micronutrientes contribuíram no desenvolvimento das plantas do experimento:

TABELA 4 – EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES

Raízes	Adubação em cobertura		Raízes
	Com	Sem	
0,01	Fe	Fe	0,00
0,08	Mn	Mn	0,02
1,00	Cu	Cu	0,42
2,14	Zn	Zn	1,08
Folhas	Com	Sem	Folhas
0,03	Mn	Mn	0,01
0,14	Fe	Fe	0,07
1,59	Cu	Cu	0,64
2,88	Zn	Zn	1,13

FONTE: o autor

As tendências não foram influenciadas pela adubação em cobertura. Nas raízes, o Fe teve a menor EUN, e está associado ao fato do solo ter ficado muito alcalino com o resíduo de indústria de papel reciclado. Assim, sua eficiência foi muito baixa, seguida da baixa eficiência também verificada para o Mn. A ordem de eficiência nas raízes foi $Zn > Cu > Mn > Fe$.

Nas folhas o Mn teve a menor EUN, comprometendo o desenvolvimento das plantas. A ordem de eficiência foi $Zn > Cu > Fe > Mn$. Estes resultados corroboram os argumentos de que o resíduo prejudicou a absorção de Mn pelo *E. saligna*, e com isso prejudicando o crescimento destas.

5.3.2.6 Efeitos do aumento de pH sobre os micronutrientes nos tratamentos

Ao se comparar os teores de micronutrientes observados nas raízes, em relação ao aumento do pH do solo verificado pelo uso do resíduo, esperava-se, inicialmente (verificar a Figura 1), que a disponibilidade de Cu, Mn, Fe e Zn não fosse influenciada até o pH em torno de 5,5. A partir deste ponto, esperava-se que a disponibilidade dos micronutrientes fosse diminuir, quanto maior a alcalinidade da solução do solo.

O aumento das doses de lodo, diretamente responsável pela alcalinização do solo, influenciou com altos níveis de significância todos os micronutrientes (Tabela 15): Cu ($F = 46,62$); Mn ($F = 356,06$); Fe ($F = 224,10$); Zn ($F = 11,59$).

A tendência de diminuir os teores de cobre com o aumento da alcalinidade do solo não foi verificada. Pelo contrário, seus teores aumentaram, mesmo nos tratamentos com pH superiores a 5,5. Reitera-se a probabilidade de existir cobre no lodo de papel reciclado, justificando este fato.

Confirmando as tendências levantadas na Figura 1 (Pritchett, 1979), tanto Mn quanto o Fe tiveram seus teores reduzidos com o aumento do pH do solo. Como demonstrado na Figura 14, a absorção de cálcio pelas raízes impediu a absorção de manganês, e prejudicou o desenvolvimento das plantas.

Para o Fe, que estava presente naturalmente no solo utilizado no experimento, ressalta-se que no grupo sem adubação de cobertura, as doses crescentes de resíduo conferiram maior disponibilidade de Fe para as raízes, contrariando as expectativas. O efeito da interação do lodo vs adubo ($F = 81,87$) indicou que o decréscimo de teores de Fe ocorreu em função da adubação, não do resíduo. Para Epstein e Bloom (2006), a redução da influência do pH na disponibilização do Fe para as raízes só ocorre a partir de pH's superiores a sete.

Finalmente, foi constatado o aumento dos teores radiculares de Zn, com a alcalinização do solo (Figura 15), contrariando as expectativas. Há dificuldade de afirmar se ocorreu especificamente pelo efeito do aumento da concentração do resíduo, pois os valores permaneceram abaixo dos níveis considerados satisfatórios. Lembra-se a argumentação no qual houve déficit nutricional de Zn nas plantas do experimento.

6 CONCLUSÕES

Os efeitos do lodo de papel reciclado sobre a fertilidade do solo foram os seguintes:

- O lodo de papel reciclado aumenta o pH da mistura, e tem potencial de uso como corretivo de solo;
- O resíduo é uma fonte rica de cálcio para o desenvolvimento de plantas;
- Os teores de magnésio presentes no resíduo não são satisfatórios para o desenvolvimento de *E. saligna*;
- Quanto maior a dose de resíduo incorporado ao solo, maior o risco de lixiviação de K, Ca, Na e P presente na mistura;

Os efeitos do lodo de papel reciclado sobre o crescimento das plantas foram os seguintes:

- O lodo de papel reciclado prejudica o desenvolvimento em diâmetro do colo e altura nas mudas de *E. saligna*;
- A adubação em cobertura resulta em aumento do diâmetro de colo, altura e biomassa de raízes das plantas;

Os efeitos do lodo de papel reciclado sobre os macronutrientes em folhas e raízes das plantas foram os seguintes:

- A complexação do Al provoca o aumento de P nas raízes do grupo de plantas sem adubação;
- O lodo de papel reciclado não interfere na absorção do P para as folhas;
- O excesso do cálcio nas plantas dificulta o seu crescimento;
- O aumento do pH do solo com o uso do lodo favorece a disponibilidade de P e a absorção de Ca para as plantas.

Os efeitos do lodo de papel reciclado sobre os micronutrientes em folhas e raízes das plantas são os seguintes:

- Existe relação inversa entre a dose do lodo de papel reciclado e os teores de Mn nas folhas;
- Quanto maior a dose de resíduo, menores os teores foliares de Fe;

7 RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista o uso do lodo de papel reciclado como corretivo de solo na dose 12,5 v/v e com metodologias aqui utilizadas, são feitas as seguintes recomendações:

- Os próximos estudos com o uso do lodo de papel reciclado na silvicultura do eucalipto deverão levar em consideração outras fontes suplementares de K^+ e Mg^{2+} para as plantas;
- Será eficiente em reduzir a toxicidade do solo e aumentar a saturação por bases;
- Será eficiente em promover o aumento de pH para níveis recomendados na implantação de *E. saligna*;
- São necessários estudos com o uso deste resíduo como corretor de solo com outras dosagens, especialmente as inferiores a 12,5v/v;

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.775 – 783, 2004.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C.C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p. 803 - 816, 2005.

ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n.47, p.43-54. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Relatório anual 2008/2009**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>>. Acesso em: 29/11/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; 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, 2006a.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; TÔRRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. R.; Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alfaca pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n. 1, p. 9-15, 2006b.

BALLONI, E. A. A utilização de boro em florestas plantadas. **IPEF, Circular Técnica**. Piracicaba, n. 70, 1979.

BAPTISTA, J.; LEVIEN, R. Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e no acúmulo de biomassa da parte aérea de eucalyptus saligna em um cambissolo háplico da depressão central do rio grande do sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.4, p.567-575, 2010.

BARRETO, V. C. M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto**. 64 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BARROS, N. F.; SILVA, O. M.; PEREIRA, A. R.; BRAGA, J. M.; LUDWIG, A. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P, e K, no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, Paulo, n.26, p.13-17, 1984.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. Interpretação de análises químicas de solo para o crescimento de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, v.6, n.1, p.38-44, 1982.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds). **Nutrition of eucalypt**. Melbourne, CSIRO, 1996. p.342-343.

BATAGLIA, O.C. Ferro. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M. C. P. (Eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, 1991. p. 159-172.

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

BORKERT, C.M. Manganês. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M. C. P. (Eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, 1991. p. 173-190.

BRASIL. Lei Federal nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2010.

CALDEIRA, M.V.W.; NETO, R.M.R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAVICK, L.F. Exportação de nutrientes em função do tipo de exploração em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. **Floresta e ambiente**. Santa Maria, v.9, n.1, p.97-104. 2002.

CALGARO, H. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; FILHO, W. V. V.; FERNANDES, F. M.; MALTONI, K. L. Resíduos orgânicos como recondicionante de subsolo degradado e efeitos na atividade microbiana e fertilidade em cultivo de barbatimão. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32 n.6, Nov./Dec. 2008.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: FUPEF, 1995.

CHAVES, L.H.G.; LIBARDI, P.L. Lixiviação de K e Ca + Mg influenciada pelo pH. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 19, n. 1, p.145-148, 1995.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1997, 224 p.

COSTA, E. R. O. **Alterações químicas no solo e na água de percolação após aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em *Pinus taeda* L.** 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

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

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

DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; LIMA, L. C. S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L aos 22 anos: estado nutricional das plantas. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

DELL, B.; DAPING, X. Diagnosis of zinc deficiency in seedlings of a tropical eucalypti (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake). **Plant Soil**, v.176, n.1, p.329-332, 1995.

EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER. Análise de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados. Oleynik, J.; Bragagnolo, N.; Bublitz, U.; Silva, C.C.S. (eds). 3 ed., Curitiba: 2004, 64p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. O meio de nutrição das plantas. In: EPSTEIN, E.; BLOOM, A. (eds.); NUNES, M.E.T. (trad.). **Nutrição mineral de plantas**. Londrina. PR. Editora Planta, 2004. 17-40p.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v.16, n.1, p.95-100, 1995.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Efecto de la aplicacina de ceniza y resíduos de celulosa em la descomposicion y liberacion de nutrientes de la hojarasca em plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v.16, n.1, p.101-104, 1995.

FERREIRA, C. S.; SOUSA, S. M.; COSTA, A. S. V. Utilização de resíduo de celulose associado a adubação com nitrogênio e fósforo na produção de mudas de *E. grandis*. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl.2, p.942-944, 2007.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **IPEF, Circular técnica**, Piracicaba, n. 47, 1979.

FONSECA, E. P. **Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em "Winstrip"**. 1988. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, p. 150-155, 1976.

GALBIATTI, J.A.; LUI, J.J.; SABONARO, D.Z.; BUENO, L.F.; SILVA, V.L. Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.27, n.2, p.445-455, 2007.

GAMA, R. O.; DIAS, F. M. Utilização do rejeito Unbleach Kraft Pulp (UKP), da indústria de celulose, na fabricação de concreto. In: 7º SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2010, Rio de Janeiro. **Anais...SEGET**, 2010.

GARAY, J.; KINDEL, A.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acácia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.37, n.4, p.705-712, 2003.

GARCIA, C. H., CORRADINE, L., ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF, Circular Técnica**. n. 179, 1991.

GOMES, K. C. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SILVA, S. R. Crescimento de mudas de garapa em resposta à calagem e ao fósforo. **Revista Arvore** Viçosa, v.32, n.3, p.387-394, 2008.

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.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO L. Uso da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p.28-37, 1995.

GONÇALVES, J. L. M.; VALERI, S. V. Eucalipto e Pinus. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.V.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 600p.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. p.247-259.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G. e GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. e BENEDETTI, V., eds. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.1-57.

GUERRA, M. A. S. L. **Avaliação de indicadores biológicos e físico químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

GUERRINI, I.A.; VILLAS BOAS, R.L. BULL, L.T. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em condições de vaso. **Rev. Científica**. São Paulo, v. 22, n. 1, p.43-51, 1994.

GUERRINI, I. A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto**. 96 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2003.

HAAG, H. P.; SARRUGE, J. R.; OLIVEIRA, G. D.; POGGIANI, F.; FERREIRA, C. A. Análise foliar em cinco espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n.13, p.99-116, 1976.

HAAG, H.P.; DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.A.C. Essências florestais. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M. C. P. (Eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, 1991. p. 683-734.

HARRISON, R.B.; GUERRINI, I.A.; HENRY, C.L.; COLE, D.W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular técnica**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), n. 198, p. 1-20, jul. 2003.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco eqüino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (Rosaceae). **Floresta**, Curitiba,, v. 37, n. 3, p.427-436, set./dez. 2007.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C.; Crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne em resposta a adubações com NPK e pó de basalto. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.2, p. 257-264, 2007.

LEITE, F. P.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p. 821-831, 2010.

LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.29, n.6, p. 903- 909, 2005.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G. S.; QUEIROZ, H.A.Q. Atributos físico-químicos de um Latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa , v. 34, n. 1, p. 163-173, Feb. 2010.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1379-1388, 2008.

MACEDO, R. L. G.; SOARES, R. V.; SOARES, A. R. Status nutricional de *Eucalyptus* na fase juvenil introduzidos na baixada cuiabana, MT. **Cerne**, Lavras, v.2, p. 106-118, 1996.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Ceres, 1981. 596p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARSCHER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995, 889p.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.1, p.1-17, 2007.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. de. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: Tsutiya, M. T.; Comparini, J.B.; Sobrinho, P. A.; Hespanhol, I.; Carvalho, P.C.T.; Melfi, A.J. Melo, W. J.; Marques, M. O. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, 2002. p. 289-359.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S. SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MELLO, H. A., MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de

Eucalyptus saligna Sm em solos de cerrado do estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.7-26, 1970.

METRO, A. E.; BEAUCORPS, O. Influência dos povoamentos de eucaliptos sobre a evolução dos solos arenosos ao Rharb. **Fertilité**, Paris, v. 4, n. 3, p. 3-13. 1958.

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. M. Efeitos da cinza de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p.18-27, 1995.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p 386-414.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp: níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p. 105-11. 1986.

PINHEIRO, R. M.; VIEIRA, C. M. F.; RODRIGUEZ, R. S.; MONTEIRO, S. N. Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, p.220-227, 2008.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.25, p. 37-39, 1983.

POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, n.27, p.17-30, ago.1984.

PRITCHETT, W.L. Chemical properties of forest soils. In: PRITCHETT, W.L. (org.) **Properties and management of forest soils**. John Wiley & sons (ed.). 1979. 90-105p.

RAIJ, B. V. **Avaliação de fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2ª ed., 1983. 142p.

RAIJ, B.V.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REESE, R.L.; KOO, R.C.J. Effects of N and K fertilization on leaf analysis, tree size and yield of three major Florida orange cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 100, p. 195-198, 1975.

REZENDE, A. A. P.; MATOS, A.TON. de ; SILVA, C. M. . Uso do Efluente da Indústria de Papel e Celulose na Irrigação. **Saneamento Ambiental**. Viçosa, MG, n. 71, p. 32-40, 2000.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.623-639, 2004.

RODRIGUES, C. M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa de *Pinus taeda* L.** 21f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

SÁNCHEZ-BIEZMA, M. J.; ÁLVAREZ, J.; SILANES, M.E.L. Líquenes de las rocas ultramáficas en la Sierra de A Capelada (A Coruña, NW de España). **Botanica Complutensis**, Madrid, v.25, n.1, p.261-269, 2001.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Arvore** Viçosa, v.26, n.4, p. 447-457, 2002.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p.447-457, 2002.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Aboveground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. **New Zealand Journal of Forest Science**. Scion, Nova Zelândia, v. 30, n. 1/2, p. 225-236, 2000.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden E *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ci. Flor.**, Santa Maria, v.3, n.1, p. 21-34, 1993.

SGARBI, F.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKAHASHI, E. N.; CAMARGO, M. A. F. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.31 n. 56, p. 69-82, dez. 1999.

SILVA, E.A.; CASSIOLATO, A.M.R.; MALTONI, K.L.; SCABORA, M.H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e no crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.32, n.2, p.323-333, 2008.

SILVA, M.S.C. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ.** 2006. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N. & MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.79-104.

SIMÕES, J. W.; SPELTZ, R. M.; SPELTZ, G. E.; MELLO, H. A. Adubação mineral na formação de mudas de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n.2/3, p.35-49, 1971.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil florestal.** São Paulo: SBS, 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/fatosnumerosdobrasilflorestal.pdf>>. Acesso em: 29/11/ 2010.

STAPPE, J. L.; BALLONI, E. A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. **IPEF**, Piracicaba, n.40, p.33-37, 1988.

SUZUKI, A.; BASSO, C.; KITAZAWA, I. H. O uso da lama de cal como corretivo da acidez do solo. **Revista Agropecuária Catarinense.** Florianópolis, v.4, p.8-11. 1991.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeitos de dregs e grits nos atributos de um Neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 73f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

TSUTIYA, M. T. Características de bio sólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos. In: TSUTIYA, M. TON.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C.TON.; MELFI, A. J. MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Bio sólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES, 2002. p. 89-131.

VALERI, S. V.; AGUIAR, I. B.; CORRADINI, L. Composição química foliar e crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden cultivado em areia quartzosa, em resposta à aplicação de fósforo e calcário dolomítico. **IPEF**, Piracicaba, n.46, p.63-75, 1993.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L.; AGUIAR, I. B.; SOUZA, E. C. A.; BANZATTO, D. A. Efeitos do fósforo e calcário dolomítico no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden plantado em um regossolo. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.55-60, 1985.

VIDOTTI, M.I. **Efeitos de compostos orgânicos de resíduos da indústria de celulose e papel no solo e em plantas de eucalipto**. 52f. Trabalho de graduação (Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

APÊNDICES

TABELA 5 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO SOLO

Estatística	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Na ⁺
	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³						
Mínimo	3,74	-	2,05	1,60	3,65	4,75	16,95	-
Máximo	3,85	-	3,85	3,10	6,95	5,80	18,82	-
Amplitude	0,11	-	1,80	1,50	3,3	1,05	1,87	-
Média	3,78	-	3,04	2,14	5,18	5,36	17,78	-
Variância	-	-	0,48	0,21	1,13	0,11	0,66	-
Desvio Padrão	0,04	-	0,70	0,46	1,07	0,33	0,81	-
Erro Padrão	0,01	-	0,25	0,16	0,38	0,12	0,29	-
CV %	0,01	-	0,23	0,22	0,21	0,06	0,05	-
IC _{MÁX} (5% prob.)	3,81	-	3,62	2,52	6,07	5,63	18,45	-
IC _{MÍN} (5% prob.)	3,75	-	2,46	1,75	4,28	5,08	17,1	-
Estatística	M.O.	P	V%	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	g 100g ⁻¹					
Mínimo	30,15	1,38	16,4	2,89	1,95	12,03	64,80	
Máximo	48,91	17,89	29,1	5,11	2,65	28,70	82,60	
Amplitude	18,76	16,51	12,6	2,22	0,70	16,67	17,80	
Média	40,54	8,59	22,4	3,75	2,29	23,21	70,75	
Variância	58,74	37,19	0,00	0,42	0,06	49,36	54,00	
Desvio Padrão	7,66	6,10	0,04	0,65	0,24	7,03	7,35	
Erro Padrão	2,71	2,16	0,01	0,23	0,08	2,48	2,60	
CV %	0,19	0,71	16,7	0,17	0,10	0,30	0,10	
IC _{MÁX} (5% prob.)	46,94	13,69	25,6	4,29	2,49	29,09	76,89	
IC _{MÍN} (5% prob.)	34,13	3,49	19,3	3,21	2,09	17,34	64,61	

FONTE: o autor

TABELA 6 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS MUDAS ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

	Diâmetro de colo	Altura	Biomassa seca (g)	
	Mm	cm	Parte superior	Raízes
Mínimo	2,09	24,00	0,06	0,32
Máximo	3,50	35,50	0,94	1,13
Amplitude	1,41	11,50	0,88	0,81
Média	2,67	28,00	0,62	0,82
Variância	0,13	9,03	0,03	0,05
Desvio Padrão	0,36	3,00	0,17	0,23
Erro Padrão da média (n=18)	0,08	0,71	0,04	0,05
CV %	0,14	0,11	0,28	0,28
IC _{MÁX} (5% prob.)	2,85	29,49	0,71	0,94
IC _{MÍN} (5% prob.)	2,49	26,51	0,54	0,71

FONTE: o autor.

TABELA 7 – RESULTADOS DE FERTILIDADE DO SOLO

Tratamento		pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³			
0	Sem	4,15 d	0,50 c	4,35 d	3,00 ab	7,35 c
12,5	Sem	6,20 c	0,55 bc	13,75 b	1,50 bc	15,25 b
25	Sem	6,74 b	0,39 c	18,00 a	0,97 c	18,97 a
50	Sem	7,15 a	0,22 d	17,17 a	1,39 bc	18,56 a
75	Sem	7,24 a	0,20 d	11,17 bc	2,78 ab	13,95 b
0	Com	4,28 d	0,60 bc	8,64 c	4,26 a	12,90 b
12,5	Com	6,00 c	0,64 b	19,52 a	1,55 bc	21,07 a
25	Com	6,69 b	0,80 a	18,14 a	2,06 bc	20,20 a
50	Com	7,04 a	0,64 bc	17,72 a	2,70 b	20,42 a
75	Com	7,17 a	0,54 bc	11,14 bc	1,90 bc	13,04 b
F _(adubação) =		0,09 ^{ns}	1,84 ^{ns}	23,35**	3,94 ^{ns}	41,05**
F _(dose de resíduo) =		69,05**	24,80**	194,95**	8,34**	230,62**
F _(interação) =		0,07 ^{ns}	0,20 ^{ns}	8,01**	2,32 ^{ns}	10,70**
CV (%) =		18,5%	37,2%	35,9%	44,4%	27,3%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo (p<0,05); ** = significativo (p<0,01); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 8 – RESULTADOS DE FERTILIDADE DO SOLO

Tratamento		Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Na ⁺	M.O.	P
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	cmol _c dm ⁻³		g dm ⁻³		mg dm ⁻³
0	Sem	4,66	12,28 a	0,50 ab	32,83 bc	7,62 c
12,5	Sem	0,05	3,43 cd	0,48 ab	32,96 bc	10,72 c
25	Sem	-	2,55 ef	0,40 c	27,47 cd	4,34 c
50	Sem	-	1,83 fg	0,29 d	33,50 bc	0,77 c
75	Sem	-	1,57 g	0,29 d	50,52 a	0,22 c
0	Com	3,26	9,78 b	0,48 abc	21,98 d	199,34 a
12,5	Com	0,09	3,98 c	0,50 a	27,74 cd	227,56 a
25	Com	-	2,75 de	0,42 bc	32,56 bc	218,65 a
50	Com	-	2,16 efg	0,48 abc	35,11 b	103,35 b
75	Com	-	1,85 fg	0,50 ab	47,44 a	66,69 bc
F _(adubação) =		1,68 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,17 ^{ns}	6,88*	188,56**
F _(dose de resíduo) =		71,91**	235,44**	26,32**	235,73**	16,46**
F _(interação) =		1,81 ^{ns}	6,29**	0,06 ^{ns}	8,36**	14,48**
CV (%) =		210,3%	88,0%	19,0%	25,5%	115,3%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo (p<0,05); ** = significativo (p<0,01); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 9 – RESULTADOS DE FERTILIDADE DO SOLO

Tratamento		K:Ca	Ca:Mg
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura		
0	Sem	0,12	1,45
12,5	Sem	0,04	11,37
25	Sem	0,02	19,74
50	Sem	0,01	12,58
75	Sem	0,02	4,53
0	Com	0,08	2,35
12,5	Com	0,03	13,85
25	Com	0,04	9,31
50	Com	0,04	6,75
75	Com	0,05	6,94
F _(adubação) =		0,00 ^{ns}	4,11 [*]
F _(dose de resíduo) =		34,93 [*]	24,12 [*]
F _(interação) =		0,00 ^{ns}	6,19 [*]
CV (%) =		69,6%	63,6%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

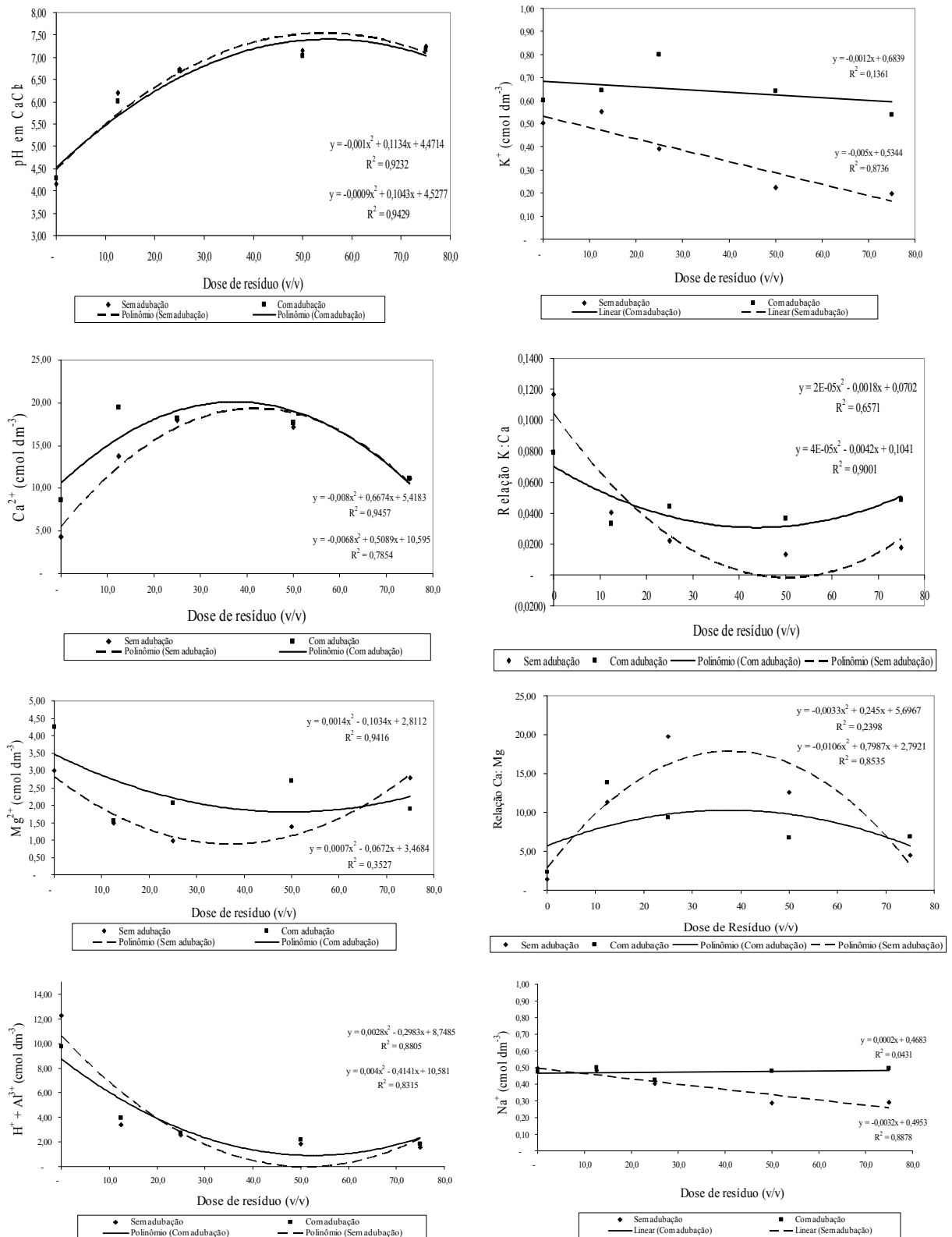


FIGURA 17 – RESUMO DOS RESULTADOS SOBRE FERTILIDADE DO SOLO
 FONTE: o autor

...Continuação

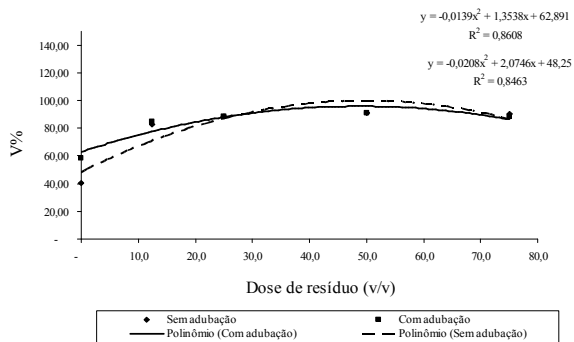
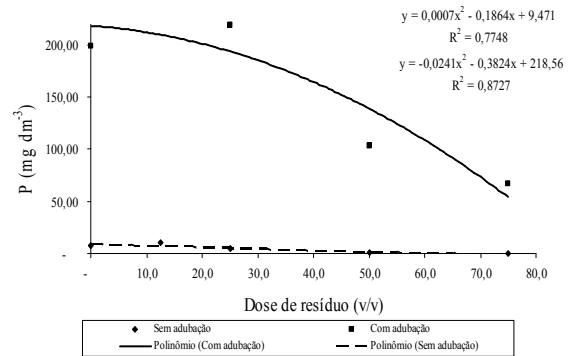
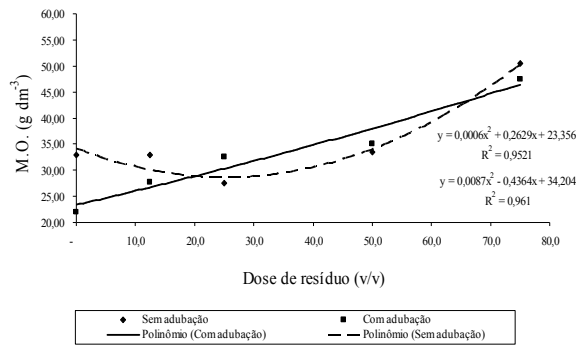


FIGURA 17 – RESUMO DOS RESULTADOS SOBRE FERTILIDADE DO SOLO
 FONTE: o autor

TABELA 10 – EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO DE COLO (mm) DOS TRATAMENTOS

Tratamento		Dias após tratamento (DAT)				
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	0	30	60	90	120
0	Com	2,62 bc	3,54 ab	6,31 a	9,47 a	13,82 a
12,5	Com	2,54 c	2,99 d	4,73 b	7,23 b	10,45 b
25	Com	2,83 a	3,07 d	4,72 b	6,04 c	8,21 c
50	Com	2,69 abc	3,05 d	4,11 c	7,32 b	8,82 c
75	Com	2,62 bc	3,10 cd	3,51 d	5,99 c	8,22 c
0	Sem	2,85 a	3,63 a	4,86 b	5,95 c	6,79 d
12,5	Sem	2,74 abc	3,34 bc	3,40 d	4,85 d	5,99 de
25	Sem	2,72 abc	3,06 d	3,06 e	3,98 e	5,05 ef
50	Sem	2,63 bc	2,88 d	3,27 de	3,29 f	4,13 fg
75	Sem	2,61 bc	3,01 d	3,24 de	3,32 f	3,41 h
F (Adubação)		0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,77 ^{ns}	19,09 ^{**}	51,04 ^{**}
F (Dose de resíduo)		339,62 ^{**}	328,80 ^{**}	309,46 ^{**}	276,05 ^{**}	244,19 ^{**}
F (Interação)		0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,05 ^{ns}	2,84 [*]
CV (%)		3,7%	7,9%	25,1%	34,1%	41,8%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 11 – EVOLUÇÃO DA ALTURA (cm) DOS TRATAMENTOS

Tratamento		Dias após tratamento (DAT)				
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	0	30	60	90	120
0	Com	28,41 ab	31,58 ab	46,50 a	61,35 a	84,13 a
12,5	Com	28,36 ab	28,15 c	37,61 bcd	52,24 b	68,33 b
25	Com	28,59 ab	31,35 abc	41,83 ab	43,29 d	56,53 cde
50	Com	25,82 b	29,43 bc	40,17 bc	52,76 b	66,40 bc
75	Com	29,82 ab	30,05 abc	37,89 bcd	51,82 bc	61,07 bcd
0	Sem	27,95 ab	33,00 a	41,72 ab	46,15 cd	54,20 de
12,5	Sem	28,41 ab	31,48 abc	36,28 cde	42,94 d	52,20 def
25	Sem	30,91 a	33,00 a	34,17 de	41,81 d	49,67 ef
50	Sem	28,05 ab	30,68 abc	31,89 e	33,94 e	43,13 fg
75	Sem	28,23 ab	31,58 ab	33,11 de	35,41 e	38,87 g
F (Adubação)		0,60 ^{ns}	9,20 ^{**}	47,26 ^{**}	187,68 ^{**}	174,70 ^{**}
F (Dose de resíduo)		187,42 ^{**}	187,12 ^{**}	230,30 ^{**}	297,71 ^{**}	196,19 ^{**}
F (Interação)		1,32 ^{ns}	0,74 ^{ns}	4,31 ^{**}	19,16 ^{**}	13,51 ^{**}
CV (%)		4,6%	4,9%	11,9%	18,3%	23,0%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 12 – BIOMASSA DE RAÍZES (g) AOS 120 DIAS

Dose de resíduo (v/v)	Adução em cobertura	Biomassa de raízes (g)
0	Com	18,91 a
12,5	Com	8,80 b
25	Com	3,21 cd
50	Com	1,32 d
75	Com	4,52 cd
0	Sem	4,03 cd
12,5	Sem	2,40 cd
25	Sem	2,65 cd
50	Sem	4,89 c
75	Sem	1,46 d
F (Adução)		52,15 **
F (Dose de resíduo)		42,35 **
F (Interação)		28,71 **
CV (%)		101,1%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 13 – TEORES DE MACRONUTRIENTES ENCONTRADOS NAS RAÍZES

Tratamento		N	P	K	Ca	Mg
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	g kg ⁻¹				
0	Com	4,98 a	1,46 bc	6,11 c	3,60 d	1,99 a
12,5	Com	3,71 a	2,07 a	6,68 b	9,86 c	2,02 a
25	Com	6,94 a	1,76 b	6,42 b	12,01 c	1,62 b
50	Com	8,16 a	1,44 bc	4,38 e	19,75 b	1,48 bcd
75	Com	9,25 a	1,71 b	7,23 a	17,91 b	1,58 bc
0	Sem	3,07 a	0,69 e	4,64 e	4,71 d	1,14 e
12,5	Sem	3,16 a	0,66 e	5,33 d	8,21 c	1,28 de
25	Sem	3,02 a	0,70 e	5,04 d	10,98 c	1,34 cde
50	Sem	4,10 a	1,06 d	5,98 c	9,80 c	1,36 bcde
75	Sem	2,56 a	1,37 cd	2,51 f	28,43 a	1,35 bcde
F (Adubação)		8,79 *	22,14 **	76,41 **	0,32 ^{ns}	7,10 *
F (Dose de resíduo)		1,79 ^{ns}	3,66 *	72,50 **	456,42 **	1,57 ^{ns}
F (Interação)		1,14 ^{ns}	2,29 ^{ns}	37,16 **	83,29 **	1,01 ^{ns}
CV (%)		48,7%	38,5%	25,3%	60,1%	19,3%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo (p<0,05); ** = significativo (p<0,01); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 14 – TEORES DE MACRONUTRIENTES ENCONTRADOS NAS FOLHAS

Tratamento		N	P	K	Ca	Mg
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	g kg ⁻¹				
0	Com	12,87 cd	1,19 c	12,11 a	2,88 c	2,01 b
12,5	Com	21,75 abc	1,46 a	12,80 a	5,27 b	1,61 cde
25	Com	29,20 a	1,60 a	13,06 a	6,57 a	1,60 cde
50	Com	24,16 a	1,37 b	11,93 ab	6,03 ab	1,52 de
75	Com	22,65 ab	1,33 b	12,87 a	5,19 b	1,39 e
0	Sem	7,73 d	0,96 d	8,12 bc	3,30 c	2,40 a
12,5	Sem	11,27 d	0,91 d	9,44 abc	6,56 a	1,85 bc
25	Sem	14,58 bcd	0,80 e	11,93 ab	6,90 a	1,74 bcd
50	Sem	25,03 a	0,89 d	11,85 ab	6,14 ab	1,40 e
75	Sem	7,65 d	0,79 e	7,40 c	5,26 b	1,94 b
F (Adubação)		61,06 **	10,08 **	29,25 **	4,39 *	2,08 ^{ns}
F (Dose de resíduo)		49,58 **	4,65 **	52,98 **	74,05 **	2,50 ^{ns}
F (Interação)		9,22 **	0,70 ^{ns}	4,57 **	1,21 ^{ns}	0,53 ^{ns}
CV (%)		43,9%	26,2%	18,5%	25,2%	18,0%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo (p<0,05); ** = significativo (p<0,01); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 15 – TEORES DE MICRONUTRIENTES ENCONTRADOS NAS RAÍZES

Tratamento		Cu	Mn	Fe	Zn
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	mg kg ⁻¹			
0	Com	6,70 bc	109,25 b	1.222,45 b	3,18 bcd
12,5	Com	7,72 abc	102,28 bc	1.447,83 a	3,86 abc
25	Com	5,56 c	65,22 d	1.194,22 b	2,62 de
50	Com	7,91 ab	104,20 bc	1.341,63 b	3,63 abc
75	Com	9,03 a	82,92 cd	740,91 c	3,87 ab
0	Sem	6,30 bc	237,47 a	686,13 c	2,98 bcd
12,5	Sem	6,91 abc	133,70 a	617,43 c	1,98 e
25	Sem	7,10 abc	89,38 bc	1.159,98 b	2,91 cde
50	Sem	7,93 ab	85,64 cd	592,92 c	1,98 e
75	Sem	8,04 ab	104,69 bc	1.230,05 b	4,49 a
F (Adubação)		0,14 ^{ns}	166,16 ^{**}	142,66 ^{**}	7,69 [*]
F (Dose de resíduo)		46,62 ^{**}	356,06 ^{**}	224,10 ^{**}	11,59 ^{**}
F (Interação)		1,76 ^{ns}	74,12 ^{**}	81,87 ^{**}	6,31 ^{**}
CV (%)		13,7%	43,0%	31,8%	26,3%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo (p<0,05); ** = significativo (p<0,01); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor

TABELA 16 – TEORES DE MICRONUTRIENTES ENCONTRADOS NAS FOLHAS

Tratamento		Cu	Mn	Fe	Zn
Dose de resíduo (v/v)	Adubação em cobertura	mg kg ⁻¹			
0	Com	3,93 cde	508,64 a	70,56 a	1,95 a
12,5	Com	3,49 de	246,87 b	51,26 ab	3,45 a
25	Com	4,58 bcd	190,07 c	54,79 ab	2,28 a
50	Com	4,65 bcd	175,31 c	48,63 ab	2,17 a
75	Com	6,48 ab	118,17 d	42,70 b	2,90 a
0	Sem	4,25 bcde	822,48 a	44,55 b	2,95 a
12,5	Sem	4,80 abcd	239,60 b	50,07 ab	2,82 a
25	Sem	5,97 abc	171,42 c	51,35 ab	2,98 a
50	Sem	6,91 a	192,22 c	42,77 b	2,96 a
75	Sem	2,30 e	240,52 b	48,04 ab	1,98 a
F (Adubação)		0,45 ^{ns}	591,57 ^{**}	4,54 [*]	0,42 ^{ns}
F (Dose de resíduo)		15,31 ^{**}	3.860,25 ^{**}	46,39 ^{**}	1,57 ^{ns}
F (Interação)		11,78 ^{**}	325,76 ^{**}	3,32 [*]	1,88 ^{ns}
CV (%)		29,6%	73,9%	16,0%	19,3%

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade. * = significativo (p<0,05); ** = significativo (p<0,01); ns = não significativo; CV(%) = Coeficiente de Variação.

FONTE: o autor