



“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

ANTONIO LEONARDO CAMPOS BIAGINI

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DA LAMA DE CAL PROVENIENTE DA CELULOSE
DE EUCALIPTO COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO E FONTE DE
NUTRIENTES PARA MUDAS DE EUCALIPTO**

Ilha Solteira – SP
Agosto de 2021

“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

ANTONIO LEONARDO CAMPOS BIAGINI

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DA LAMA DE CAL PROVENIENTE DA CELULOSE
DE EUCALIPTO COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO E FONTE DE
NUTRIENTES PARA MUDAS DE EUCALIPTO**

Trabalho de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Ilha Solteira – SP
Agosto de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Biagini, Antonio Leonardo Campos.
B577e Eficiência agrônômica da lama de cal proveniente da celulose de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para mudas de eucalipto / Antonio Leonardo Campos Biagini. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
46 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2021

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia

1. Resíduo agroindustrial. 2. Calcário agrícola. 3. Clone I 144.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Eficiência agronômica da lama de cal proveniente da celulose de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para mudas de eucalipto

ALUNO: *Antonio Leonardo Campos Biagini* RA: 161051642

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,7

Comissão Examinadora:

Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)

Rafael Montanari

Prof. Dr. Rafael Montanari

Fernando d. Galindo

Dr. Fernando Shintate Galindo

Antonio Leonardo Campos Biagini

Antonio Leonardo Campos Biagini

Ilha Solteira, 16 de agosto de 2021.

DEDICO

Totalmente aos meus pais, Antonio Augusto Biagini e Ivana Erse Campos por terem me mostrado e me guiado em toda trajetória para chegar onde cheguei, por serem meu exemplo de vida e me aconselharem em todos os momentos. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ser minha força e meu melhor amigo e também a São Miguel Arcanjo por toda proteção.

Agradeço a toda minha família, em especial meus pais por terem me proporcionado todo apoio necessário para concluir a graduação e ao meu irmão, Caio Sales Biagini, por todos os conselhos que me ajudaram muito nessa trajetória.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, que fez com que eu me desenvolvesse de forma pessoal e profissional, conseguindo subir degraus na vida.

À todos os professores do curso de Engenharia Agrônômica UNESP – Ilha Solteira, que sempre me estimularam a buscar o meu melhor para atingir os melhores resultados, contribuindo para meu desenvolvimento pessoal e profissional, em especial ao Professor Doutor Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho que é e sempre será meu orientador, me demonstrando sempre os caminhos e a importância da pesquisa, sendo sempre um exemplo de pessoa e de profissional, muito obrigado por tudo e parabéns pelo exemplo que o senhor sempre foi.

À minha namorada, Ana Luiza, por todo amor, carinho e apoio que me deu nos momentos que mais precisava, obrigado por tudo.

À minha segunda Família, República CabôCaqui, onde passamos por muitos momentos de felicidade e dificuldade, vocês sempre vão ser minha segunda casa, obrigado por contribuir com meu desenvolvimento pessoal: Kiwi, Cocão, Balão, Casa Grande, Ferb, Jacques, Pacato, Pino, Quero-Quero, Sorrisinho, Stifler, Terrorista, Zorro e Maomé, muito obrigado!

Aos amigos da Turma LI, muito obrigado por mostrar a importância da amizade e união, em especial: Marina Chain, Kaled Omar, Carlos Schlatter, Bruno Idalgo, Paula Arriero, Matheus Fiorentino, Eduardo Baratella.

Aos amigos que fiz por todos os grupos que passei, Empresa Júnior Ramo da Terra, Centro Acadêmico da Agronomia – “João Roberto Bastos”, Associação Atlética Acadêmica - UNESP Ilha Solteira, Associação Atlética Acadêmica das Agrárias – Cabulosa e em especial o Grupo de Nutrição de Plantas, por me mostrarem a importância do trabalho em equipe, responsabilidade, me proporcionando uma experiência de trabalho incrível, contribuindo muito para o meu crescimento profissional, gostaria de agradecer excepcionalmente ao grande amigo Fernando Shintate Galindo, que me ajudou muito durante toda a graduação, ao Guilherme Carlos Fernandes, Castro Alves da Silva Junior, contribuindo para o desenvolvimento de

diversos trabalhos com responsabilidade e idoneidade, trazendo sempre felicidade e alegria para condução dos trabalhos.

Ao técnico Marcelo Rinaldi da Silva, do laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP - Ilha Solteira, por toda paciência ao transmitir conhecimento para todos do grupo, obrigado por tudo.

À empresa Eldorado Brasil pelo auxílio financeiro e insumos para condução do experimento.

RESUMO

Com a crescente expansão de áreas com plantios de eucalipto no Brasil, normalmente em solos de baixa fertilidade, com baixo teor de matéria orgânica (M.O.); e frente a necessidade do destino correto de resíduos agroindustriais para evitar problemas ambientais, se faz necessário o destino e utilização do mesmo de forma adequada, afim de reaproveita-lo em áreas de produção, como é o caso da Eldorado Brasil. Neste sentido, após análise química da lama de cal proveniente da obtenção da celulose de eucalipto, verificou-se que a mesma apresenta potencial de ser usada como corretivo de acidez do solo e fonte de nutrientes, principalmente de cálcio (Ca). Sendo assim, foram conduzidos dois experimentos, sendo que no Experimento-1 objetivou-se definir a melhor dose de lama de cal, atributos químicos do solo, nutrição e produção de mudas de eucalipto cultivados em solo de baixa fertilidade, típicos da região de Três Lagoas – MS. Este estudo foi realizado em delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, em um esquema fatorial 5 x 2, sendo 5 doses de lama de cal (0; 0,29; 0,59; 0,88 e 1,32 t ha⁻¹, que equivalem respectivamente a 0, 33, 67, 100 e 150% da dose recomendada de calcário dolomítico, que foi de 1 t ha⁻¹), calculadas com base na análise de solo e recomendação para a cultura do eucalipto, e o fator dois foi com o sem aplicação de sulfato de magnésio (MgSO₄ - 100 kg ha⁻¹), também conhecido por Kieserita (15% de Mg). No Experimento-2 foi realizada a avaliação do efeito da lama de cal associado ou não à de calcário dolomítico, e com ou sem adição de MgSO₄ na correção da acidez do solo, atributos químicos do solo, nutrição e produção de mudas de eucalipto cultivados em solo de baixa fertilidade. O delineamento foi em blocos casualizados com 4 repetições, com os 5 tratamentos, conforme a seguir: I) Testemunha (sem lama de cal ou calcário); II) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%); III) Dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico; IV) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico (0,5 t ha⁻¹) + 1/2 dose estimada de lama de cal (0,44 t ha⁻¹); V) Dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), com adição de MgSO₄ (150 kg ha⁻¹). Nos dois experimentos utilizou-se um solo de baixa fertilidade natural de Cerrado, e classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico, textura arenosa. No Experimento-1: o incremento das doses de lama de cal no solo até certo ponto aumenta o pH e os teores de P, K e B, aumenta linearmente os teores de Ca e Mg e diminui a acidez potencial, conseqüentemente, este resíduo da produção de papel e celulose influenciou positivamente a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) até 1,18 t ha⁻¹ de lama de cal. Entretanto, as maiores doses de lama de cal não foram interessantes para o desenvolvimento do eucalipto, ou seja, as doses intermediárias entre 0,62 e 0,93 t ha⁻¹ de lama de cal seriam as recomendadas nesta pesquisa. No Experimento-2: a lama de cal isoladamente ou com Kieserita

proporciona efeito semelhante ao calcário dolomítico para os teores de M.O., K, Ca, S-SO₄, Cu, Fe, Mn e Zn e H+Al, SB, CTC, V% e m% no solo. Contudo, a lama de cal isolada ou com Kieserita propiciam os maiores teores de P e Zn, sendo este último semelhante ao da testemunha. A lama de cal com Kieserita e o calcário dolomítico se destacam em relação ao teor de Mg e porcentagem de Mg/CTC. A aplicação de lama de cal com Kieserita propicia a maior altura de planta e massa seca da parte aérea (17% superior) do eucalipto em relação a testemunha, porém sem diferir significativamente dos demais tratamentos com corretivos de acidez. Recomenda-se mais estudos de longa duração no campo, com base técnica como este, para reforçar os interessantes resultados obtidos em casa de vegetação.

Palavras-chave: *Eucalyptus urograndis*, resíduo agroindustrial, sulfato de magnésio, calcário agrícola, Clone I144.

LISTA DE TABELA

Tabela 1.	Laudo sobre as características físico-químicas da lama de cal proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil. Três de Lagoas – MS.	21
Tabela 2.	Laudo sobre as características físico-químicas da lama de cal proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil. Três de Lagoas – MS.	21
Tabela 3.	Atributos químicos do solo (P, M.O., pH, K, Ca, Mg H+Al, SB e CTC) após 3 meses da aplicação de doses de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.	25
Tabela 4.	Atributos químicos do solo (V%, m%, S-SO ₄ , B, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca/CTC e Mg/CTC) após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.	26
Tabela 5.	Concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.	28
Tabela 6.	Concentrações de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.	29
Tabela 7.	Matéria fresca da parte aérea, índice de clorofila foliar (ICF), altura de planta, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea do eucalipto em fase inicial de desenvolvimento, após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.	31
Tabela 8.	Atributos químicos do solo (P, M.O., pH, K, Ca, Mg H+Al, SB e CTC) após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.	32
Tabela 9.	Atributos químicos do solo (V%, m%, S-SO ₄ , B, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca/CTC e Mg/CTC) após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.	33
Tabela10.	Concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.	34
Tabela11.	Concentrações de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.	35
Tabela12.	Matéria fresca da parte aérea, índice de clorofila foliar (ICF), altura de planta, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea do eucalipto em fase inicial de desenvolvimento, após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.	37

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. A cultura do Eucalipto	14
2.2. Clone I-144 (<i>Eucalyptus urophylla</i>).....	16
2.3. Eficiência Agronômica de Resíduos Agroindustriais	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Local e histórico de manejo	19
3.2. Delineamento experimental e tratamentos	19
3.3. Instalação e condução do experimento.....	20
3.4. Avaliações realizadas	22
3.5. Análise estatística.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Experimento 1	24
4.2. Experimento 2	31
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o eucalipto é a essência florestal mais plantada nos programas de reflorestamento, sendo importante no cenário socioeconômico do país. De acordo com o relatório da Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2015), a área de árvores plantadas com eucalipto ocupa 5,56 milhões de hectares no País.

O eucalipto apresenta elevada mobilização de nutrientes em função do seu rápido crescimento. A exportação de biomassa resulta em grande exportação de nutrientes, reduzindo conseqüentemente sua disponibilidade para as futuras plantações. Essa situação se torna ainda mais agravante pelo fato de que a maioria dos plantios se concentre em solos de baixa fertilidade natural (SILVEIRA; MALAVOLTA 2000), geralmente na região de Cerrado, onde o déficit nutricional é acentuado principalmente para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B) e zinco (Zn) (SGARBI, 2002).

A cultura do eucalipto é responsiva e eficiente quanto ao manejo da adubação, principalmente N, P, K e B, com alta produtividade de matéria seca (MS), associado ao pequeno consumo de nutrientes, demonstrando que o eucalipto é pouco exigente em termos de adubação, se comparado com outras culturas (OKADO, 2010). Mas independente da espécie ou do produto final desejado, é importante o correto manejo do solo e dos resíduos da cultura, considerando os aspectos químicos, físicos e biológicos do solo. Pois o manejo é que irá garantir a produtividade e a longevidade da produção florestal ao longo dos anos, sendo que um dos pontos importantes na busca da sustentabilidade florestal consiste na adequada fertilização para realizar exploração do eucalipto sem empobrecer o solo (TIYUAN et al., 2010).

Produzindo papel e celulose, as indústrias do setor florestal têm gerado diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, os quais se têm constituído em preocupação ambiental e econômica significativa (ALTESOR et al., 2008). Para cada 100 t de celulose produzida são gerados em torno de 48 t de resíduos nas fábricas de papel e celulose (ARRUDA et al., 2011). A opção por aterro industrial para a deposição final desses resíduos é indesejável, em função do alto custo para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (MAEDA; BOLOGNOLA, 2013). Neste contexto, surgem oportunidades de estudos, no sentido de buscar soluções alternativas para a utilização desses resíduos em solos de áreas agrícolas nos plantios florestais. Entre os benefícios da aplicação de resíduos da extração de celulose em ecossistemas

florestais podemos ressaltar a melhoria da fertilidade, correção do solo e aumento na produtividade de madeira (MACIEL et al., 2015).

A lama de cal é um resíduo de coloração branca formada predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3), originada da clarificação do liquor branco, ou seja, após a adição de óxido de cálcio (CaO), é constituída predominantemente por carbonato de cálcio, podendo ser comparada a um calcário calcítico. O acúmulo desse material pode ocorrer quando sua produção superar a capacidade de recuperação dos fornos de cal das indústrias de celulose (BARRETTO, 2008). Por outro lado, além de possuir alguns nutrientes de plantas e de elevar o pH do solo, os resíduos alcalinos têm preço muito menor do que os calcários comerciais, quando utilizados proximamente ao local de consumo, constituindo-se num atrativo aos agricultores devido à diminuição do custo de produção agrícola.

Estudos que empregaram resíduos da indústria de celulose, em plantios florestais, proporcionaram os efeitos benéficos no solo: a) elevação do pH com o consequente aumento da disponibilidade de nutrientes, notadamente o do fósforo e os micronutrientes, b) aumento da capacidade de troca de cátions dos solos, c) incorporação de nutrientes minerais necessários às árvores, d) melhoria dos atributos físicos tais como a maior capacidade de retenção de água e a menor densidade do solo. A aplicação de resíduos da indústria de celulose juntamente com as cinzas de caldeiras aumentou a atividade biológica do solo, acelerando a decomposição da serapilheira e a ciclagem de nutrientes (ARRUDA et al., 2011; ARRUDA, 2012).

A aplicação de resíduo celulósico é tão eficiente quanto à adubação convencional, especialmente para o caso do cálcio. Dependendo da dose, do tipo de resíduo e da época de aplicação, é possível a substituição completa dos fertilizantes químicos pelos resíduos orgânicos (GUERRINI; MORO, 1994).

Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência agronômica da lama de cal proveniente da celulose de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para mudas de eucalipto, cultivado em solo de baixa fertilidade, típico de Cerrado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do Eucalipto

Vindo da Austrália, o gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil em 1825 no Rio de Janeiro, como sendo uma cultura ornamental. Algum tempo depois, em 1868, no estado do Rio Grande do Sul, foram realizados plantios utilizados como quebra-ventos e para gerar lenha. Foi o engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, que iniciou o estudo e cultivo da espécie em larga escala, no ano de 1909 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2006).

O eucalipto é visto como uma espécie exótica em todas as localidades em que se encontra no mundo, pertencente ao gênero *Eucalyptus* e a família Myrtaceae. Nos dias de hoje o Serviço Florestal da Austrália realizou a identificação de 672 espécies deste gênero, mas somente pouco mais de 24 espécies possuem valor/importância comercial e que então são as plantadas extensivamente no mundo todo (CÂMARA SETORIAL DE SILVICULTURA, 2009).

Por conta das condições edafoclimáticas do Brasil o eucalipto teve um bom desenvolvimento, promovendo um crescimento mais acelerado do que os outros países (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA, 2011). Podemos ressaltar então que a eucaliptocultura no país é uma das mais desenvolvidas do mundo.

O *Eucalyptus grandis* é a espécie mais utilizada no mundo por conta de suas características que contemplam a sua aplicação na madeira para diversas finalidades, além de possuir uma enorme variabilidade genética e por possuir uma facilidade na aquisição de sementes, tanto em qualidade quanto em quantidade (MARTINS, 1999). Levando-se em consideração a produção no Brasil, podemos citar como as principais espécies cultivadas o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus citriodora* atualmente denominado *Corymbia citriodora*. É válido ressaltar que existem cruzamentos entre as espécies, derivando então as espécies híbridas como por exemplo: *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Vale ressaltar a importância do eucalipto nas mais diferentes utilizações, como por exemplo o uso da madeira como matéria prima para as indústrias de papel e celulose, dentre outras atribuições como serrarias, geração de energia por conta da queima da lenha ou até

mesmo a conversão em subprodutos como o carvão vegetal, sendo este último de grande importância para a siderurgia pelo fato de ser um produto renovável e ambientalmente correto quando provém de florestas plantadas (FREDERICO, 2009).

De acordo com ABRAF (2013), as condições de solo e clima, juntamente com fatores políticos de investimento em pesquisa, verticalização do setor e qualidade da mão de obra geram uma maior produtividade e, portanto, menor ciclo de colheita para os plantios florestais no Brasil. Sendo válido lembrar que o Brasil se diferencia dos outros países com plantio de eucalipto por conta do ciclo silvicultural ficar por volta de 6 a 7 anos (SILVEIRA et al., 2001). Perante as informações da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA (2011), além do ciclo curto entre plantio e colheita, as raízes do eucalipto e manta orgânica de sua serrapilheira acabam por proteger o solo e por conseguinte promovem a fixação de carbono, reduzem a erosão e melhoram a estrutura do solo.

A área total de árvores plantadas no Brasil ficou em torno de 7,8 milhões de hectares em 2015, com crescimento aproximado de 0,8% quando comparado ao ano anterior. Das áreas de árvores plantadas no Brasil, o eucalipto representa cerca de 5,6 milhões de hectares estando presente em Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Sendo o que o Mato Grosso do Sul se destaca com o plantio de 450 mil hectares, nos últimos 5 anos, onde houve um crescimento de área plantada do eucalipto de 2,8%/ano (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ 2016).

De acordo com relatório da IBÁ (2016), foi demonstrado que a indústria nacional de base florestal é mundialmente reconhecida pela grande produtividade. Sendo que o setor brasileiro além de possuir a maior produtividade, também possui o menor período entre plantio e a colheita quando comparado a níveis mundiais. Sendo assim, é importante dizer que esses elevados índices são por conta dos investimentos contínuos das empresas do setor no Brasil, afim de sempre aprimorar o manejo florestal.

Com conta do aumento do PIB em 2015, o setor nacional de árvores plantadas mostrou uma boa resistência perante a cenários desfavoráveis, no caso o econômico, tanto externo quanto interno. Sendo então que o PIB setorial atingiu cerca de 69,1 bilhões de reais, (aumento de 3% em comparação ao ano subsequente), (IBÁ, 2016). Logo, houve um destaque em comparação a outros setores da economia brasileira, fazendo com que o setor de árvores plantadas fechasse 2015 com 1,2% de representação em toda riqueza gerada no Brasil e 6% do PIB industrial (IBÁ, 2016). Além disso, é importante destacar que o setor supracitado empregou de forma direta 540 mil pessoas.

Sendo assim, é evidente que o crescimento dos plantios de eucalipto, visto que existem investimentos de empresas do segmento de papel e celulose. Fazendo com que o seu cultivo tenha se espalhado por diferentes regiões do país, além das habituais. como por exemplo Sudeste e Sul (SANTANA et al., 2008).

2.2. Clone I-144 (*Eucalyptus urograndis*)

Afim de prover a obtenção de florestas cada vez mais produtivas, as empresas nacionais acabam por investir nos programas de melhoramento genético e técnicas que acarretem uma melhor uniformização da matéria prima, gerando então um aumento da produtividade e da qualidade final de cada produto (TONINI et al., 2006).

Perante a crescente evolução do eucalipto em âmbito nacional, foi visto a necessidade de desenvolver árvores adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas, afim de agregar características econômicas e sociais, como por exemplo melhorar a produtividade e promover uma maior resistência a doenças e pragas (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA, 2008).

Logo, a elevada utilização do eucalipto nos reflorestamentos se deu por conta do rápido crescimento e pela adaptação as condições climáticas e de solo do Brasil. As espécies mais utilizadas são *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna* e seus híbridos (SILVEIRA; LUCA; SHIBATA, 1995).

A espécie *Eucalyptus urophylla* é uma das que possuem maior relevância por ter um bom crescimento e desenvolvimento na maior parte do território nacional, além de possuir boa flexibilidade operacional, e ter resistência ao cancro do eucalipto, sendo então bastante usada para produzir híbridos (MORA; GARCIA, 2000). Em território nacional é estimado por volta de 600.000 hectares plantados com a espécie supracita e seus híbridos, e que os híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* têm se constituído na base da silvicultura clonal do Brasil (RUY, 1998).

E a eficiência no quesito nutricional dos clones de eucalipto na fase de mudas sugere a possibilidade de seleção de genótipos dessa cultura para as diferentes áreas de fertilidade do solo, fazendo com que seja possível a utilização em solos com características nutricionais distintas (PINTO ET AL, 2011).

De acordo com Neves et al. (2011), os clones I-144 e I-220, pelo fato de possuírem grandes valores de densidade básica de madeira, são os mais indicados para produção de

bioenergia. Além disso, esses clones possuem também um alto teor de lignina, favorecendo-os para produção de carvão vegetal.

2.3. Eficiência Agronômica de Resíduos Agroindustriais

É definido resíduo das indústrias de base florestal, as sobras dos processos mecânicos, químicos e físicos e que por ventura não são incorporados no produto final, como por exemplo no caso da celulose, a casca, a lama de cal, o lodo biológico, o resíduo celulósico e até mesmo a cinza de caldeira que é resultado da queima de biomassa e que então são produzidos ao longo do processo de produção e classificados de maneira geral como resíduos (BOLETIM DE PESQUISA FLORESTAL, COLOMBO, 1998).

Sendo assim, é importante ressaltar que a geração de resíduos tem sido significativa no setor florestal, já que as fábricas de papel e celulose por exemplo, acabaram se deparando com problemas de ordem ambiental, devido à elevada quantidade de resíduos gerados, sendo aproximadamente 48t de resíduos para cada 100t de celulose produzida. É importante dizer que a utilização de aterros sanitários para acomodar esses resíduos é inviável por conta dos altos custos para sua implantação e manutenção, além de possuir a problemática de cuidados extremamente especiais para evitar a contaminação ambiental (BOLETIM DE PESQUISA FLORESTAL, COLOMBO, 1998).

De acordo com Trigueiro (2006), os resíduos industriais possuem elementos químicos de interesse agrônomo na sua composição e que além de poderem ser utilizados como fertilizantes, também possuem o potencial para serem reaproveitados como corretivos de acidez. É válido ressaltar que o reaproveitamento desses resíduos industriais minimiza os impactos econômicos e ambientais.

A utilização de resíduos orgânicos gerados pelas empresas florestais em povoamentos de eucalipto faz com que seja necessária uma menor aquisição de fertilizantes e corretivos. Além disso, os resíduos de origem orgânica melhoram os atributos químicos, biológicos e físicos do solo, o que é de grande importância para áreas de reflorestamento, já que em sua maior parte o plantio de eucalipto é realizado em solos arenosos de elevada acidez e baixa fertilidade (GUERRINI, 2003).

De acordo com Nolasco et al. (2000), nos procedimentos industriais para fabricação de celulose e papel, existe a geração de resíduos que contêm grandes conteúdos de cálcio e sódio (como por exemplo: dregs, grits e lama de cal), fazendo com que o resultado seja um composto

fico nos elementos supracitados. Sendo assim, é recomendado a aplicação de lama de cal e a junção de dregs e grits em doses baixas, em torno de 4t há⁻¹, realizando-se monitoramento periódico das concentrações de sódio, tanto na planta quanto no solo.

Foi verificado que a utilização de componentes orgânicos de resíduos da indústria de papel e celulose pode substituir as adubações químicas de plantio e de cobertura aos 3 meses na cultura do eucalipto em Neossolo Quartzarênico (GUERRINI, 2003). Muitas florestas têm limitações no crescimento e desenvolvimento por conta das deficiências nutricionais, onde podem ser supridas através da aplicação de resíduos orgânicos (BARROS et al, 2000).

De acordo com Bellote et al, (1994); e Guerrini e Moro (1994), os resíduos vindos da produção de papel e celulose vêm sendo utilizados no condicionamento e na fertilidade do solo, fazendo com que melhore as propriedades necessárias para o desenvolvimento e crescimento da cultura florestal. Mas é válido ressaltar que ainda não há resultados sobre as doses adequadas de compostos de resíduos químicos de papel e celulose, ainda que mesmo assim as indústrias do setor estejam aplicando por volta de 10t ha⁻¹ de compostos orgânicos nos povoamentos de eucalipto (BARRETO, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e histórico de manejo

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação com tela antiafídeo e cobertura de tela de sombreamento 50%, no Campus II (Agronomia) pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada no município de Ilha Solteira - SP. O município de Ilha Solteira localiza-se no noroeste do Estado de São Paulo, a 650 km da capital, com coordenadas geográficas 20°38'44" de Latitude Sul e 51°06'35" de Longitude Oeste. Segundo o sistema de Köppen, o clima é classificado como AW (tropical), o índice pluviométrico médio anual é de 1.300 mm e a temperatura média anual é de 28 °C. As altitudes regionais variam de 280 a 380 metros. Foram realizados dois experimentos com mudas de eucalipto (clone I-144), conforme descrito abaixo.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

Experimento 1:

O experimento 1 foi realizado em delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, em um esquema fatorial 5 x 2 (total de 10 tratamentos e 40 vasos), sendo 5 doses de lama de cal (0; 0,29; 0,59; 0,88 e 1,32 t ha⁻¹, que equivalem respectivamente a 0, 33, 67, 100 e 150% equivalente à dose recomendada de calcário dolomítico, que foi de 1 t ha⁻¹), calculadas com base na análise de solo e recomendação para a cultura do eucalipto (Gonçalves et al., 1997), e o fator dois foi com o sem aplicação de sulfato de magnésio (MgSO₄ - 100 kg ha⁻¹), também conhecido por Kieserita (15% de Mg).

Experimento 2:

O experimento 2 foi realizado em delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, com os 5 tratamentos (total de 20 vasos) descritos abaixo:

- 1) Testemunha (sem lama de cal ou calcário);
- 2) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%);
- 3) Dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico;

- 4) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico ($0,5 \text{ t ha}^{-1}$) + 1/2 dose estimada de lama de cal ($0,44 \text{ t ha}^{-1}$);
- 5) Dose estimada de lama de cal ($0,88 \text{ t ha}^{-1}$), com adição de sulfato de magnésio (150 kg ha^{-1}).

3.3. Instalação e condução do experimento

Nos dois experimentos utilizou-se um solo de baixa fertilidade natural de Cerrado, semelhante ao da região de Três Lagoas – MS, e classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico, textura arenosa, de acordo com a classificação da Embrapa (2013). Foi realizada a análise química deste solo antes da instalação do experimento segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001). Os atributos químicos do solo apresentaram os seguintes resultados: pH em CaCl_2 de 4,5; 11 g dm^{-3} de M.O.; 1 mg dm^{-3} de P em resina; e teores de K, Ca, Mg, H+Al e Al de 0,3; 4; 3; 14,0 e $3,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, com CTC de $21,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a saturação por bases (V) de 34%. Os teores dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn foram respectivamente de 0,10; 0,3; 14; 3,1 e $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$.

Nestes experimentos, após a aplicação dos tratamentos foi realizada a irrigação com água deionizada na capacidade de campo, durante trinta dias (para evitar fornecer o carbonato de cálcio por meio da água da cidade, a qual apresenta alta dureza) para reação dos corretivos de acidez do solo. A aplicação da lama de cal juntamente com o calcário e a Kieserita foram feitas no dia 21/01/2020, conforme os tratamentos descritos anteriormente.

O plantio das mudas de eucalipto (clone I144) foi feito em vasos com 15 litros de solo no experimento 1 e em vasos com 20 litros de solo no experimento 2. Sendo que cada vaso ficou com uma muda de eucalipto, que foram fornecidas de tamanho padrão para o plantio em campo pela Eldorado Brasil. As mudas de eucalipto foram plantadas 30 dias depois do período de incubação, no dia 20/02/2020.

As características físico-químicas da lama de cal proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil de Três de Lagoas – MS constam nos Quadros 1 e 2, estes resultados foram utilizados para os cálculos das doses dos tratamentos dos dois experimentos. Este subproduto da indústria de papel e celulose se destaca pela alta PRNT, pH e porcentagem de óxido de cálcio.

Tabela 1. Laudo sobre as características físico-químicas da lama de cal proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil. Três de Lagoas – MS.

QUÍMICA				
Unidades	CaO	MgO	PN	Umidade
%	56,32	0,33		27,83
%ECaCO ₃			97,84	
GRANULOMÉTRICA				
	Peneira 10	Peneira 20	Peneira 50	PRNT
%	100,00	100,00	99,90	97,80

Fonte do laudo Ribersolo.

Tabela 2. Laudo sobre as características físico-químicas da lama de cal proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil. Três de Lagoas – MS.

ANÁLISES DE MATERIAL ORGÂNICO			
DETERMINAÇÕES	UMIDADE NATURAL	BASE	SECA
		60-65 °C	110 °C
pH em CaCl ₂ 0,01M	12,1	-	-
Densidade (g/cm ³)	0,58	-	-
Umidade perdida à 60-65°C (%)	18,20	-	-
Umidade perdida entre 65 e 110°C (%)	0,07	-	-
Umidade Total	18,27	-	-
Inertes	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total (combustão) (%)	0,73	0,89	0,89
Matéria orgânica compostável (%)	0,40	0,49	0,49
Matéria orgânica resistente à compost. (%)	0,33	0,40	0,40
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	0,41	0,50	0,50
Carbono orgânico (%)	0,22	0,27	0,27
Resíduo mineral total (%)	81,00	99,02	99,11
Resíduo mineral insolúvel (%)	0,10	0,12	0,12
Resíduo mineral solúvel (%)	81,30	99,39	99,47
Nitrogênio total (%)	0,11	0,13	0,13
Fósforo (P ₂ O ₅) total (%)	1,40	1,71	1,71
Potássio (K ₂ O) total (%)	0,02	0,02	0,02
Cálcio (Ca) total (%)	4,76	42,52	42,55
Magnésio (Mg) total (%)	0,26	0,32	0,32
Enxofre (S) total (%)	0,05	0,06	0,06
Relação C/N (C total e N total)	4/1	4/1	4/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	2/1	2/1	2/1
Cobre (Cu) total (mg/kg)	16	20	20
Manganês (Mn) total (mg/kg)	84	103	103
Zinco (Zn) total (mg/kg)	29	35	35
Ferro (Fe) total (mg/kg)	219	268	268
Boro (B) total (mg/kg)	3	4	4
Sódio (Na) total (mg/kg)	9815	11999	12009

Fonte do laudo ESALq.

Baseado na análise do solo e na exigência do eucalipto foi definida a adubação de plantio utilizada para todos os tratamentos, de modo a não prejudicar o efeito da lama de cal proveniente da produção de celulose de eucalipto. Em seguida, no dia 05/03/2020 foi realizada uma adubação única com as seguintes doses 60 kg ha⁻¹ de N (na forma de sulfato de amônio), 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 60 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl), 2 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco) e 2 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico) em duas covetas laterais por vaso. Foi efetuado também o tutoramento do eucalipto, no dia 17/03/2020, a fim de evitar sombreamento e tombamento das mudas. Quando necessário, de acordo com a evapotranspiração de ambos os experimentos foi efetuada a irrigação com água deionizada. Não foi necessário o controle de pragas e doenças, porém procedeu-se a retirada de plantas daninhas manualmente dos vasos, quando necessário.

As avaliações biométricas, de ICF e o corte do eucalipto foi realizado 3 meses após a aplicação dos tratamentos no solo no dia 30/04/2020. Em seguida o material colhido foi encaminhado para o laboratório de nutrição de plantas. No dia seguinte, o solo dos vasos foi amostrado por meio de um trado de rosca até 0,20 m de profundidade. Posteriormente, estas amostras de solo foram levadas para o laboratório de fertilidade do solo da UNESP – Campus de Ilha Solteira.

3.4. Avaliações realizadas

Nos experimentos 1 e 2 foram realizadas as seguintes avaliações:

A) Concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn determinados no laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP – Campus de Ilha Solteira, com base em metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

B) Índice de clorofila foliar, por meio de um clorofilômetro digital (modelo Falker), na folha diagnose (últimas folhas recém desenvolvidas dos galhos no terço médio da planta) e no período da manhã;

C) Altura de planta e diâmetro da base do eucalipto no final do experimento, utilizando-se uma régua graduada e paquímetro digital, respectivamente;

D) Produção de massa seca da parte aérea, que foi quantificada ao final do experimento. Após, a parte aérea destas plantas serem levadas ao laboratório, onde foram

aconditionadas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa para secagem a 65 °C, por 72 horas. Posteriormente esse material foi pesado em balança semi-analítica para obtenção da massa seca da parte aérea total.

E) Análise completa dos atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,20 m após os cultivos de eucalipto, foi realizada no laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP – Campus de Ilha Solteira, de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

3.5. Análise estatística

A análise de regressão polinomial foi efetuada para avaliar o efeito de doses de lama de cal do eucalipto do experimento 1. Os resultados obtidos foram avaliados pela análise de variância (teste F), aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos tratamentos no experimento 2. Para isso foi utilizado o programa de análise estatística SISVAR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1 (Doses de lama de cal com ou sem aplicação de sulfato de magnésio)

No experimento 1, verificou-se que o incremento das doses de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto influenciou de forma interessante a maioria dos atributos químicos do solo (Tabelas 1 e 2). Verificou-se o aumento do pH e dos teores de P e K no solo até as doses de 1,16; 1,47 e 0,99 t ha⁻¹ de lama de cal, respectivamente. Além disso, o incremento das doses de lama de cal aumentou linearmente os teores de Ca e Mg e diminuiu a acidez potencial deste solo (Tabela 1), conseqüentemente, este resíduo da produção de papel e celulose influenciou positivamente a soma de bases (SB) até 1,34 t ha⁻¹, a capacidade de troca catiônica (CTC) até 1,40 t ha⁻¹, a porcentagem de Ca/CTC até 0,76 t ha⁻¹ e a saturação por bases (V%) até 1,18 t ha⁻¹ deste solo de baixa fertilidade (Tabelas 1 e 2). O que pode ser explicado pela composição nutricional rica em cálcio e o pH alto deste resíduo, que contribuiu para maior disponibilidade de alguns nutrientes como o P e K no solo. Embora, o teor de M.O. não tenha sido incrementado com a adição da lama de cal, foi supracitado o resultado positivo obtido para CTC, ou seja, notou-se uma melhora no potencial de fertilidade deste solo, pelo aumento da SB, principalmente do teor de Ca. Isso é muito importante num solo de textura arenosa que geralmente tem baixa CTC e é mais propício a lixiviação de nutrientes catiônicos. Ou seja, a eficiência da adubação mineral poderá até ser aumentada para alguns nutrientes como o K. Porém, cabe mais pesquisas.

Entre os benefícios da aplicação de resíduos da extração de celulose em ecossistemas florestais podemos ressaltar a melhoria da fertilidade, correção do solo e aumento na produtividade de madeira (MACIEL et al., 2015), fato que também foi constatado na presente pesquisa para os atributos químicos do solo.

Tabela 3. Atributos químicos do solo (P, M.O., pH, K, Ca, Mg H+Al, SB e CTC) após 3 meses da aplicação de doses de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.

Doses de lama de cal (t ha ⁻¹)	P resisa (mg dm ⁻³)	M. O. (g dm ⁻³)	pH (CaCl ₂)	K -----	Ca	Mg (mmolc dm ⁻³)-----	H+Al	SB	CTC
0	2,13 ⁽¹⁾	11,88	5,48 ⁽²⁾	0,19 ⁽³⁾	9,63 ⁽⁴⁾	7,87 ⁽⁵⁾	12,50 ⁽⁶⁾	17,69 ⁽⁷⁾	30,19 ⁽⁸⁾
0,29	5,88	11,88	6,05	0,40	13,38	8,75	10,75	22,53	33,28
0,59	11,00	11,75	6,29	0,56	16,25	8,88	10,13	25,69	35,81
0,88	12,88	12,00	6,49	0,65	19,25	9,13	9,50	29,63	38,53
1,32	15,00	12,00	6,56	0,59	20,38	9,00	9,12	29,96	39,09
Com Kieserita	8,00 b	12,25 a	6,11 b	0,55 a	13,85 b	10,15 a	10,50 a	24,55 a	35,05 a
Sem Kieserita	10,75 a	11,55 b	6,24 a	0,41 b	17,70 a	7,20 b	10,30 a	25,41 a	35,71 a
DMS (5%)	1,46	0,52	0,07	0,067	1,40	0,66	0,48	1,43	1,46
Média Geral	9,38	11,90	6,18	0,48	15,78	8,73	10,40	24,98	35,38
C.V. (%)	23,99	6,69	1,80	21,58	13,67	11,58	7,17	8,81	6,35

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$$^{(1)} Y = 1,8653 + 18,0520x - 6,1212x^2 \quad (R^2 = 0,99^{***} \text{ e } PM = 1,47 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(2)} Y = 5,5191 + 1,8134x - 0,7820x^2 \quad (R^2 = 0,99^{***} \text{ e } PM = 1,16 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(3)} Y = 0,1808 + 0,9308x - 0,4691x^2 \quad (R^2 = 0,99^{***} \text{ e } PM = 0,99 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(4)} Y = 10,6710 + 8,2857x \quad (R^2 = 0,94^{**})$$

$$^{(5)} Y = 8,2501 + 0,7709x \quad (R^2 = 0,64^*)$$

$$^{(6)} Y = 11,8852 - 2,4111x \quad (R^2 = 0,87^{**})$$

$$^{(7)} Y = 17,6539 + 18,4446x - 6,8469x^2 \quad (R^2 = 0,99^{***} \text{ e } PM = 1,34 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(8)} Y = 30,0284 + 13,1758x - 4,6918x^2 \quad (R^2 = 0,99^{***} \text{ e } PM = 1,40 \text{ t ha}^{-1})$$

A porcentagem de Mg/CTC reduziu com as doses de lama de cal (Tabela 2), isso se deve a alta concentração de Ca deste resíduo, nutriente este que é antagônico ao Mg, ou seja, compete por sítios de adsorção na CTC do solo. Este resultado já era esperado e, por isso, as doses de lama de cal foram testadas com ou sem adição de MgSO₄ (Kieserita).

A lama de cal é um resíduo de coloração branca formada predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO₃), originada da clarificação do liquor branco, ou seja, após a adição de óxido de cálcio (CaO), é constituída predominantemente por carbonato de cálcio, podendo ser comparada a um calcário calcítico, o qual tem baixa porcentagem de Mg.

Os teores de S-SO₄, Cu e Mn e a saturação por alumínio (m%) não foram afetados pela adição da lama de cal (Tabela 2), sendo a m% não constatada na ocasião da coleta final de solo.

Por outro lado, o teor de B aumentou até 1,34 t ha⁻¹ de lama de cal e os teores de Fe e Zn no solo diminuíram linearmente com a aplicação deste resíduo, o que se explica pelo aumento do pH que reduz a disponibilidade destes micronutrientes catiônicos.

Tabela 4. Atributos químicos do solo (V%, m%, S-SO₄, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca/CTC e Mg/CTC) após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.

Doses de lama de cal (t ha ⁻¹)	V (%)	m (%)	S-SO ₄ (mg dm ⁻³)	B (mg dm ⁻³)	Cu (mg dm ⁻³)	Fe (mg dm ⁻³)	Mn (mg dm ⁻³)	Zn (mg dm ⁻³)	Ca/CTC (mmolc dm ⁻³)	Mg/CTC (mmolc dm ⁻³)
0	58,54 ⁽¹⁾	0,00	8,83	0,10 ⁽²⁾	0,48	13,50 ⁽³⁾	4,69	0,28 ⁽⁴⁾	31,95 ⁽⁵⁾	25,97 ⁽⁶⁾
0,29	67,59	0,00	8,25	0,17	0,44	10,38	5,23	0,15	40,26	26,18
0,59	71,68	0,00	12,50	0,19	0,43	11,00	4,50	0,15	45,15	24,94
0,88	75,21	0,00	11,50	0,17	0,45	10,38	4,33	0,11	49,64	23,88
1,32	76,51	0,00	9,63	0,15	0,44	9,63	4,21	0,16	51,77	23,22
Com Kieserita	69,65 a	0,00	14,10 a	0,16 a	0,47 a	11,30 a	5,60 a	0,15 a	39,14 b	28,96 a
Sem Kieserita	70,16 a	0,00	6,10 b	0,15 a	0,42 b	10,65 a	3,59 b	0,19 a	48,35 a	20,72 b
DMS (5%)	1,56	0,00	5,84	0,03	0,03	1,23	0,97	0,05	2,34	1,72
Média Geral	69,91	0,00	10,10	0,16	0,45	10,98	4,59	0,17	43,75	24,84
C.V. (%)	3,45	0,00	89,15	26,27	11,76	17,23	32,52	43,99	8,24	10,66

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$$^{(1)}Y = 58,9829 + 29,8088x - 12,6139x^2 \quad (R^2 = 0,99^{**} \text{ e PM} = 1,18 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(2)}Y = 0,1047 + 0,2217x - 0,1463x^2 \quad (R^2 = 0,86^{**} \text{ e PM} = 1,00 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(3)}Y = 12,4213 - 2,3478x \quad (R^2 = 0,65^{**})$$

$$^{(4)}Y = 0,2157 - 0,0742x \quad (R^2 = 0,38^{**})$$

$$^{(5)}Y = 32,1222 + 29,4086x - 11,0036x^2 \quad (R^2 = 0,99^{**} \text{ e PM} = 0,76 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(6)}Y = 26,3214 - 2,4058x \quad (R^2 = 0,92^{**})$$

Quanto a aplicação de Kieserita, constatou-se menor pH, porcentagem de Ca/CTC e menores teores de P e Ca no solo (Tabelas 1 e 2). Contudo, verificou-se que este adubo aumentou os teores de MO, K, S-SO₄, Cu e Mn e porcentagem de Mg/CTC deste solo.

Com relação as concentrações de macronutrientes (Tabela 3) e micronutrientes (Tabela 4) na parte aérea do eucalipto também houve influencia positiva de doses da lama de cal. Verificou-se que o incremento de doses deste resíduo aumentou no eucalipto as concentrações de N até $0,89 \text{ t ha}^{-1}$ de lama de cal, de P até $0,96 \text{ t ha}^{-1}$, de K até $0,72 \text{ t ha}^{-1}$, linear de Ca e de S até $0,64 \text{ t ha}^{-1}$ de lama de cal (Tabela 3). Para os micronutrientes, houve resultado positivo apenas para a concentração de B no eucalipto até a dose de $0,71$ de lama de cal (Tabela 4). Enquanto, a concentração de Mn no eucalipto reduziu linearmente com o incremento da lama de cal.

Esses resultados na nutrição do eucalipto se devem a melhoria que a lama de cal propiciou na fertilidade do solo (aumento do V%), fornecimento de nutrientes como Ca e P, aumento da CTC e pH do solo. No caso deste último, o pH na faixa de 6-6,5 propicia maior disponibilidade de macronutrientes e de B. Os nutrientes N, P, S e B cuja a principal reserva no solo é orgânica, são mais disponibilizados nesta faixa de pH, pois os microrganismos decompositores e mineralizadores preferem esta faixa para se multiplicarem.

A aplicação de Kieserita aumentou as concentrações de N, Mg, S, Cu e Mn, independentemente da dose de lama de cal (Tabelas 3 e 4). Pelo fato de ser um sulfato de magnésio, a sua aplicação é fonte de Mg e S, o que explica parcialmente estes resultados. Enquanto, o metabolismo do N está fortemente associado ao do S e Mg, ou seja, existe um efeito sinérgico entre N e estes nutrientes.

Tabela 5. Concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.

Doses de lama de cal (t ha⁻¹)	N (g kg⁻¹)	P (g kg⁻¹)	K (g kg⁻¹)	Ca (g kg⁻¹)	Mg (g kg⁻¹)	S (g kg⁻¹)
0	15,75 ⁽¹⁾	1,50 ⁽¹⁾	10,12 ⁽³⁾	6,42 ⁽⁴⁾	3,16	1,22 ⁽⁵⁾
0,29	19,33	1,91	12,21	7,93	3,42	1,29
0,59	20,12	2,10	12,95	8,88	3,71	1,52
0,88	17,90	2,32	12,52	10,03	3,46	1,38
1,32	19,40	2,15	11,40	11,02	3,45	1,27
Com Kieserita	20,36 a	1,97 a	11,82 a	8,82 a	3,73 a	1,51 a
Sem Kieserita	16,66 b	2,03 a	12,06 a	8,89 a	3,15 b	1,24 b
DMS (5%)	1,35	0,14	0,74	0,39	0,26	0,10
Média Geral	18,51	2,00	11,94	8,86	3,44	1,38
C.V (%)	11,97	10,97	9,58	6,87	11,72	11,36

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾Y = 16,4749+7,2048x-4,0700x² (R² = 0,52** e PM = 0,89 t ha⁻¹)

⁽²⁾Y = 1,4996+1,6100x-0,8343x² (R² = 0,98** e PM = 0,96 t ha⁻¹)

⁽³⁾Y = 10,4201+7,3504x-5,1004x² (R² = 0,88** e PM = 0,72 t ha⁻¹)

⁽⁴⁾Y = 6,7265+3,4569x (R² = 0,98**)

⁽⁵⁾ Y = 1,2637+0,7153x-0,5530x² (R² = 0,77** e PM = 0,64 t ha⁻¹)

Tabela 6. Concentrações de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.

Doses de lama de cal (t ha⁻¹)	B (mg kg⁻¹)	Cu (mg kg⁻¹)	Fe (mg kg⁻¹)	Mn (mg kg⁻¹)	Zn (mg kg⁻¹)
0	20,57 ⁽¹⁾	6,50	55,60	396,50 ⁽²⁾	16,38
0,29	22,00	6,13	60,75	313,06	20,81
0,59	24,15	6,00	56,42	342,17	16,63
0,88	25,14	6,50	55,38	266,25	19,13
1,32	20,90	6,25	57,38	278,75	17,00
Com Kieserita	22,95 a	6,55 a	56,85 a	334,55 a	18,70 a
Sem Kieserita	22,32 a	6,00 b	58,52 a	304,14 b	17,28 a
DMS (5%)	2,16	0,35	5,82	53,92	2,05
Média Geral	22,63	6,28	57,68	319,35	17,99
C.V. (%)	14,73	8,66	15,54	26,02	17,56

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = 19,9869 + 13,0202x - 9,1156x^2$ ($R^2 = 0,84^{***}$ e $PM = 0,71 \text{ t ha}^{-1}$)

⁽²⁾ $Y = 371,2796 - 84,3083x$ ($R^2 = 0,68^{**}$)

Após dois meses do plantio das mudas, observou-se benefícios da aplicação da lama de cal no índice de clorofila foliar (ICF), altura de planta, diâmetro do caule e massas frescas e seca da parte aérea do eucalipto cultivado em solo de Cerrado (Tabela 5). Para o ICF notou-se aumento linear, para a altura de planta, diâmetro do caule, massa fresca e massa seca da planta houve ajuste a funções quadráticas, com dose ótima estimada em 0,62; 0,93; 0,77 e 0,78 t ha⁻¹ de lama de cal, respectivamente. Este maior desenvolvimento das plantas até as doses supracitadas, foi proporcionado pela lama de cal na fertilidade do solo (aumento do V%), fornecimento de nutrientes como Ca e P, aumento da CTC e pH do solo; os quais refletiram na nutrição do eucalipto, conforme relatado anteriormente. Além disso, o cultivo irrigado contribuiu para isso, sugerindo assim a aplicação próxima de período chuvoso.

Guerrini e Moro (1994) também constataram que a aplicação de resíduo celulósico foi eficiente quanto à adubação convencional, especialmente para o caso do cálcio. Segundo Harrison et al. (2003), os benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em ecossistemas florestais podem ser classificados em três categorias: a) melhoria da qualidade do solo; b) aumento da produção de madeira; e c) benefícios secundários devido à resposta do sub-bosque, que frequentemente é mais vigoroso nos seis meses seguintes à aplicação. Sendo assim, os resultados obtidos corroboram em parte com estes benefícios. Dessa forma, sugere-se que esta

pesquisa seja realizada em campo, até o corte do eucalipto. Sendo assim, acreditasse que possa ocorrer respostas positivas na nutrição, crescimento e produtividade da cultura do eucalipto, de uma forma sustentável. Visto que, nos atributos químicos do solo o efeito foi positivo. No entanto, a utilização de grandes quantidades desses produtos como a lama de cal pode degradar o solo, em razão da presença do sódio, que é um forte dispersante coloidal no solo (ALMEIDA et al., 2008, ARRUDA, 2012). Isto explica porque as maiores doses de lama de cal não foram interessantes para o desenvolvimento do eucalipto (Tabela 5), ou seja, os melhores resultados no foram obtidos em doses intermediárias.

Analisando a aplicação de Kieserita constatou-se menor altura de planta e maior ICF e diâmetro do caule de eucalipto, independente da dose de lama de cal (Tabela 5). Contudo, isto não culminou em acréscimos nas massas fresca e seca da parte aérea da planta. O maior ICF se deve ao fato do Mg ser o íon central do pigmento clorofila, e isso interfere positivamente na taxa fotossintética e, conseqüentemente, no acúmulo de carboidratos no caule, o qual aumenta o diâmetro do caule.

Tabela 7. Matéria fresca da parte aérea, índice de clorofila foliar (ICF), altura de planta, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea do eucalipto em fase inicial de desenvolvimento, após 3 meses da aplicação de lama de cal proveniente da obtenção de celulose de eucalipto, com ou sem kieserita. Ilha Solteira – SP, 2020.

Doses de lama de cal (t ha⁻¹)	Matéria fresca da parte aérea (g planta⁻¹)	ICF	Altura de planta (cm)	Diâmetro do caule (cm)	Matéria seca da parte aérea (g planta⁻¹)
0	71,0 ⁽¹⁾	27,23 ⁽²⁾	86,63 ⁽³⁾	2,13 ⁽⁴⁾	36,32 ⁽⁵⁾
0,29	89,0	31,76	94,00	2,25	40,35
0,59	101,0	32,73	103,63	3,25	44,74
0,88	89,0	32,24	93,88	2,88	41,20
1,32	86,0	33,90	83,63	2,88	40,48
Com Kieserita	86,0 a	33,97 a	87,85 b	2,85 a	41,14 a
Sem Kieserita	88,0 a	29,17 b	96,85 a	2,50 b	40,10 a
DMS (5%)	6,0	1,86	7,77	0,29	1,41
Média Geral	87,0	31,57	92,35	2,68	40,62
C.V. (%)	11,31	9,09	12,97	16,68	7,26

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$$^{(1)}Y = 72,2001 + 0,0628x - 0,0407x^2 \quad (R^2 = 0,81^* \text{ e } PM = 0,77 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(2)}Y = 28,9927 + 4,1839x \quad (R^2 = 0,70^{**})$$

$$^{(3)}Y = 86,2621 + 41,9076x - 33,7864x^2 \quad (R^2 = 0,87^{**} \text{ e } PM = 0,62 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(4)}Y = 2,0289 + 2,1530x - 1,1533x^2 \quad (R^2 = 0,72^{**} \text{ e } PM = 0,93 \text{ t ha}^{-1})$$

$$^{(5)}Y = 36,5349 + 17,2077x - 11,0493x^2 \quad (R^2 = 0,79^{**} \text{ e } PM = 0,78 \text{ t ha}^{-1})$$

4.2. EXPERIMENTO 2 (Lama de cal em comparação com calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio)

Com relação aos atributos químicos do solo (Tabelas 6 e 7), a lama de cal isoladamente ou com Kieserita proporcionou efeito semelhante ao calcário dolomítico para os teores de M.O., K, Ca, S-SO₄, Cu, Fe, Mn e Zn e H+Al, SB, CTC, V% e m% no solo. Contudo, a lama de cal isolada ou com Kieserita propiciaram os maiores teores de P e Zn, sendo este último semelhante

ao da testemunha. Por sua vez, a lama de cal com Kieserita e o calcário dolomítico se sobressaíram em relação ao teor de Mg e porcentagem de Mg/CTC. O tratamento com 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico + 1/2 dose estimada de lama de cal se destacou com o maior teor de B no solo e valor de pH, embora este último tenha sido semelhante ao proporcionado pela lama de cal com Kieserita.

Quando se aplicou este resíduo ao solo houve melhores resultados em relação a testemunha para os teores de Ca e B, pH, H+Al, SB, CTC, porcentagem de Ca/CTC e V% (Tabelas 6 e 7), confirmando assim, o potencial da lama de cal para correção de acidez do solo, de disponibilizar alguns nutrientes e aumentar a fertilidade do solo. Guerrini e Moro (1994) também constataram que a aplicação de resíduo celulósico foi eficiente quanto à adubação convencional, especialmente para o caso do cálcio.

Tabela 8. Atributos químicos do solo (P, M.O., pH, K, Ca, Mg H+Al, SB e CTC) após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.

Tratamentos	P resisa	M. O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	------(mmolc. dm ⁻³)-----					
Testemunha#	1,00 b	12,00 a	5,53 c	0,10 a	11,00 b	8,25 b	12,00 a	19,39 b	31,35 b
Calcário	1,75 bc	11,75 a	6,28 b	0,20 a	16,25 ab	12,25 a	9,50 b	28,70 a	38,20 ab
Lama de cal	5,50 a	12,00 a	6,48 b	0,10 a	19,25 a	8,50 b	9,25 b	27,85 a	37,10 ab
1/2 dose calcário									
+1/2 lama de cal	3,50 b	12,00 a	6,55 a	0,15 a	19,75 a	10,75 ab	9,00 b	30,65 a	39,65 a
Lama de cal com kieserita	6,50 a	11,50 a	6,68 a	0,13 a	20,25 a	12,25 a	8,75 b	32,63 a	41,38 a
DMS (5%)	0,42	1,30	0,23	0,11	5,57	2,76	1,22	6,91	7,13
Média Geral	3,65	11,85	6,30	0,14	17,30	10,40	9,70	27,84	37,55
C.V. (%)	23,46	4,87	1,64	35,78	14,28	11,78	5,57	11,02	8,42

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#1) Testemunha: sem lama de cal ou calcário); 2) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%); 3) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico; 4) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico (0,5 t ha⁻¹) + 1/2 dose estimada de lama de cal (0,44 t ha⁻¹); 5) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), com adição de sulfato de magnésio (150 kg ha⁻¹).

Tabela 9. Atributos químicos do solo (V%, m%, S-SO₄, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca/CTC e Mg/CTC) após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.

Tratamentos	V	m	S-SO ₄	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/CTC	Mg/CTC
	(%)	(%)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mmol _c dm ⁻³)	(mmol _c dm ⁻³)
Testemunha#	62,00 b	0,00	6,50 a	0,065 c	0,45 a	10,75 a	4,53 a	0,38 a	34,75 c	26,25 bc
Calcário	75,25 a	0,00	6,00 a	0,098 b	0,43 a	8,75 b	3,90 a	0,10 b	42,50 bc	32,00 a
Lama de cal	74,75 a	0,00	5,75 a	0,108 b	0,40 a	9,00 ab	3,80 a	0,23 ab	51,50 a	22,75 c
1/2 dose calcário +1/2 lama de cal	76,75 a	0,00	6,00 a	0,183 a	0,45 a	9,25 ab	4,13 a	0,19 b	50,00 ab	26,75 abc
Lama de cal com kieserita	78,75 a	0,00	7,25 a	0,113 b	0,40 a	8,00 b	3,80 a	0,20 ab	48,75 ab	30,00 a
DMS (5%)	4,96	0,00	1,78	0,027	0,09	1,98	1,25	0,18	7,97	5,31
Média Geral	73,50	0,00	6,30	0,11	0,43	9,15	4,03	0,22	45,50	27,55
C.V. (%)	2,99	0,00	18,39	10,78	10,07	9,62	13,77	36,71	7,77	8,54

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#1) Testemunha: sem lama de cal ou calcário); 2) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%); 3) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico; 4) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico (0,5 t ha⁻¹) + 1/2 dose estimada de lama de cal (0,44 t ha⁻¹); 5) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), com adição de sulfato de magnésio (150 kg ha⁻¹).

Os benefícios dos tratamentos aplicados ao solo também apresentaram alguns reflexos na nutrição de plantas (Tabelas 8 e 9), em relação a testemunha, evidenciou-se maiores concentrações de P, Ca, S e B no eucalipto, sendo este último nutriente com exceção da lama de cal com Kieserita. Reportou-se ainda que a lama de cal propiciou a maior concentração de K, porém diferindo apenas da testemunha e que neste período não houve diferença significativa para as concentrações de N, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. Isto é interessante, pois a deficiência de Mg e destes micronutrientes catiônicos eram e são motivo de preocupação quando se aplica altas doses de corretivos de acidez e no caso do Mg, especialmente quando se utiliza o calcário calcítico ou a lama de cal. Possivelmente, as doses adequadas dos tratamentos propostos e o curto período de condução do eucalipto expliquem isso. Logo, mais estudos de longa duração com base técnica como este, podem reforçar os interessantes resultados obtidos em casa de vegetação no campo.

Tabela 10. Concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.

Tratamentos	N (g kg⁻¹)	P (g kg⁻¹)	K (g kg⁻¹)	Ca (g kg⁻¹)	Mg (g kg⁻¹)	S (g kg⁻¹)
Testemunha#	14,65 a	1,41 b	8,11 b	6,39 b	3,01 a	1,05 b
Calcário	17,41 a	1,91 a	9,27 ab	8,10 a	2,77 a	1,37 a
Lama de cal	16,31 a	1,96 a	10,93 a	7,72 ab	2,96 a	1,48 a
1/2 dose calcário +1/2 lama de cal	18,03 a	2,00 a	10,84 ab	8,53 a	3,20 a	1,38 a
Lama de cal com kieserita	15,45 a	1,77 a	9,18 ab	7,65 ab	3,27 a	1,28 ab
DMS (5%)	5,55	0,30	2,78	1,45	1,18	0,29
Média Geral	16,37	1,81	9,67	7,68	3,04	1,31
C.V (%)	15,03	7,47	12,80	8,36	17,25	10,00

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#1) Testemunha: sem lama de cal ou calcário); 2) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%); 3) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico; 4) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico (0,5 t ha⁻¹) + 1/2 dose estimada de lama de cal (0,44 t ha⁻¹); 5) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), com adição de sulfato de magnésio (150 kg ha⁻¹).

Tabela 11. Concentrações de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar no eucalipto após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.

Tratamentos	B (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Testemunha#	16,24 b	7,00 a	69,00 a	352,50 a	21,25 a
Calcário	20,07 a	7,50 a	72,25 a	272,50 a	19,25 a
Lama de cal	20,73 a	7,50 a	58,50 a	321,25 a	24,50 a
1/2 dose calcário+1/2 lama de cal	22,28 a	8,75 a	71,50 a	317,25 a	18,50 a
Lama de cal com kieserita	15,63 b	7,00 a	61,25 a	250,75 a	20,75 a
DMS (5%)	3,68	3,12	17,95	138,74	6,93
Média Geral	18,99	7,55	66,50	302,85	20,85
C.V. (%)	8,62	18,34	11,97	20,32	14,76

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#1) Testemunha: sem lama de cal ou calcário); 2) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%); 3) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico; 4) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico (0,5 t ha⁻¹) + 1/2 dose estimada de lama de cal (0,44 t ha⁻¹); 5) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), com adição de sulfato de magnésio (150 kg ha⁻¹).

Analisando dois meses do plantio das mudas, não se constatou-se diferença entre os tratamentos para o diâmetro do caule e a massa fresca parte aérea do eucalipto (Tabela 10). Entretanto, os maiores ICF foram obtidos com a lama de cal mais kieserita e com o tratamento com ½ da dose de calcário mais ½ da dose de lama de cal, os quais diferiram apenas da testemunha. A aplicação de lama de cal com kieserita se destacou por propiciar a maior altura de planta e massa seca da parte aérea (17% superior) do eucalipto em relação a testemunha, porém sem diferir significativamente dos demais tratamentos com corretivos de acidez.

Esta maior massa seca do eucalipto no desenvolvimento inicial da planta proporcionado pela lama de cal com kieserita pode ser devido a uma nutrição mais equilibrada entre Ca, Mg e K, pois além das melhorias propiciadas na fertilidade do solo (V%), fornecimento de nutrientes como Ca e P, aumento da CTC e pH do solo, este resíduo propiciou maior teor de Mg e porcentagem de Mg/CTC, conforme relatado anteriormente.

De acordo com Harrison et al. (2003), os benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em ecossistemas florestais podem ser classificados em três categorias: a) melhoria da qualidade

do solo; b) aumento da produção de madeira; e c) benefícios secundários devido à resposta do sub-bosque, que frequentemente é mais vigoroso nos seis meses seguintes à aplicação. Sendo assim, os resultados obtidos corroboram em parte com estes benefícios. Dessa forma, sugere-se que esta pesquisa seja realizada em campo, até o corte do eucalipto. Sendo assim, acreditasse que possa ocorrer respostas positivas na nutrição, crescimento e produtividade da cultura do eucalipto, de uma forma sustentável. Visto que, nos atributos químicos do solo o efeito foi positivo. No entanto, a utilização de grandes quantidades desses produtos como a lama de cal pode degradar o solo, em razão da presença do sódio, que é um forte dispersante coloidal no solo (ALMEIDA et al., 2008, ARRUDA, 2012). Por isso, as pesquisas são importantes.

Tabela 12. Matéria fresca da parte aérea, índice de clorofila foliar (ICF), altura de planta, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea do eucalipto em fase inicial de desenvolvimento, após 3 meses da aplicação de lama de cal e calcário dolomítico, com e sem sulfato de magnésio (kieserita). Ilha Solteira – SP, 2020.

Tratamentos	Matéria fresca da parte aérea (g planta⁻¹)	ICF	Altura de planta (cm)	Diâmetro do caule (cm)	Matéria seca da parte aérea (g planta⁻¹)
Testemunha#	133,0 a	24,43 b	101,25 b	4,25 a	49,70 b
Calcário	151,0 a	28,98 ab	111,50 ab	3,70 a	55,87 ab
Lama de cal	156,0 a	28,20 ab	106,25 ab	3,50 a	58,23 ab
1/2 dose calcário +1/2 lama de cal	148,0 a	29,60 a	110,50 ab	4,25 a	55,38 ab
Lama de cal com kieserita	159,0 a	30,00 a	114,25 a	3,75 a	59,91 a
DMS (5%)	27,0	2,55	10,55	1,51	9,07
Média Geral	149	28,64	108,75	4,10	55,82
C.V. (%)	8,13	3,95	4,30	16,36	7,21

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#1) Testemunha: sem lama de cal ou calcário); 2) Dose recomendada de calcário dolomítico (1 t ha⁻¹, com PRNT de 86%); 3) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), conforme a de calcário dolomítico; 4) 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico (0,5 t ha⁻¹) + 1/2 dose estimada de lama de cal (0,44 t ha⁻¹); 5) dose estimada de lama de cal (0,88 t ha⁻¹), com adição de sulfato de magnésio (150 kg ha⁻¹).

5. CONCLUSÕES

Experimento 1

O incremento das doses de lama de cal no solo até certo ponto aumenta o pH e os teores de P, K e B, aumenta linearmente os teores de Ca e Mg e diminui a acidez potencial, conseqüentemente, este resíduo da produção de papel e celulose influenciou positivamente a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) até 1,18 t ha⁻¹ de lama de cal. Portanto, a adição de lama de cal realizada de forma técnica aumenta a fertilidade do solo, porém doses mais altas reduzem os teores de Fe e Zn no solo.

Em termos de nutrição do eucalipto, o aumento das doses de lama de cal até certo ponto incrementa as concentrações de N, P, K, Ca, S e B. Enquanto, a concentração de Mn reduz linearmente com o incremento da lama de cal.

Após dois meses do plantio das mudas, devido aos benefícios supracitados nos atributos químicos do solo e nutrição de plantas, a aplicação da lama de cal, independentemente da adição de kieserita, foi benéfica para o índice de clorofila foliar (ICF), altura de planta, diâmetro do caule e massas frescas e seca da parte aérea do eucalipto cultivado em solo de Cerrado. Entretanto, as maiores doses de lama de cal não foram interessantes para o desenvolvimento do eucalipto, ou seja, as doses intermediárias entre 0,62 e 0,93 t ha⁻¹ de lama de cal seriam as recomendadas nesta pesquisa.

Experimento 2

A lama de cal isoladamente ou com kieserita proporciona efeito semelhante ao calcário dolomítico para os teores de M.O., K, Ca, S-SO₄, Cu, Fe, Mn e Zn e H+Al, SB, CTC, V% e m% no solo. Contudo, a lama de cal isolada ou com kieserita propiciam os maiores teores de P e Zn, sendo este último semelhante ao da testemunha. A lama de cal com kieserita e o calcário dolomítico se destacam em relação ao teor de Mg e porcentagem de Mg/CTC. O tratamento com 1/2 da dose recomendada de calcário dolomítico + 1/2 dose estimada de lama de cal resultou em maior teor de B no solo e valor de pH, embora este último tenha sido semelhante ao proporcionado pela lama de cal com kieserita.

Os tratamentos aplicados ao solo apresentaram alguns reflexos na nutrição de plantas em relação a testemunha, obteve-se maiores concentrações de P, K, Ca, S e B no eucalipto.

A aplicação de lama de cal com kieserita propicia a maior altura de planta e massa seca da parte aérea (17% superior) do eucalipto em relação a testemunha, porém sem diferir

significativamente dos demais tratamentos com corretivos de acidez. Recomenda-se mais estudos de longa duração no campo, com base técnica como este, para reforçar os interessantes resultados obtidos em casa de vegetação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTESOR, A.; EGUREN, G.; MAZZEO, N.; PANARIO, D.; RODRIGUEZ, C. La indústria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres. **Ecologia Austral**, Córdoba, v. 18, n. 3, p. 291-303, 2008.
- ARRUDA, O. G. **Uso de resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de Cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa**. 2012. 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2012.
- ARRUDA, O. G.; TARSITANO, M. A. A.; ALVES, M. C.; GIÁCOMO, R. G. Comparação de custos de implantação de eucalipto com resíduo celulósico em substituição ao fertilizante mineral. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 576-583, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF - 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 26. fevereiro. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF - 2006 ano base 2005**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2006.pdf>>. Acesso em: 26. fevereiro. 2021.
- BARRETTO, V. C. M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto**. 2008. 64f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista– UNESP, Jaboticabal, 2008.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. **Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V (Ed.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 269-286.
- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. **Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios**

de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. Anais... Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167-187.

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.

BELLOTE, A.F.J. et al. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, v.37, p.99-106, 1998.

BOUGNOM, B. P.; KNAPP, B. A.; ETOA, F. X.; INSAM, H. **Possible use of wood ash and compost for improving acid tropical soils**. In: Recycling of Biomass Ashes. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 87-105.

CÂMARA SETORIAL DE SILVICULTURA. **Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas**. Brasília: Abraf, 2009. 36 p. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. **Plantio de eucalipto no Brasil: Mitos e verdades**. 2011. Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/mitos-e-verdades-low.pdf>>. Acesso em: 26. fevereiro. 2021.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Guia do Eucalipto: Oportunidades para um Desenvolvimento Sustentável. 2008. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf>. Acesso em: 26. fevereiro. 2021.

Determination of Plant-Available Nutrients in Two Wood Ashes: The Influence of Combustion Conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 13-14, p. 1664-1674, 2016.

FERREIRO, A.; MERINO, A.; DÍAZ, N.; PIÑEIRO, J. Improving the effectiveness of wood ash fertilization in mixed mountain pastures. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 3, p. 337-350, 2011.

- FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.** 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009. 66p.
- GÓMEZ-REY, M. X.; MADEIRA, M.; COUTINHO J. Soil C and N dynamics, nutrient leaching and fertility in a pine plantation amended with wood ash under Mediterranean climate. **European Journal of Forest Research**, v. 132, p. 281–295, 2013.
- GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p. 247- 260.
- GUERRINI, I. A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto.** 2003. 96 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- 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...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas- UNESP, 1994. p. 188-215.
- HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; HENRY, C. L.; COLE, D.W. **Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento.** Circular Técnica, Piracicaba, n.198, p.1-20, 2003.
- HERBERT, M. A. The response of *Eucalyptus grandis* to fertilizing with nitrogen, phosphorus, potassium and dolomitic lime on a Mispah soil series. **South African Forestry Journal**, v. 124, n. 4-12, 1983.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ.** Relatório IBÁ – 2015. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2014. Disponível em: <iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em 19 de fev. 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ – 2016**. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2015. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em 26. fevereiro. 2021.

JORDAN, M. et al. Kraft mill residues effects on Monterey Pine growth and soil microbial activity. **Environmental Quality**, Washington, v.31, p.1004-1009, 2002.

KUSS, A V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. 2006. 109f Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

MACIEL, T. M. S.; ALVES, M. C.; SILVA, F. C. Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PE, v. 19, n. 1, p. 84-90, 2015.

MAEDA S. et al. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.56, p.43-52, 2008.

MAEDA, S. et al. Aplicação de cinza de biomassa florestal para plantio de *Pinus taeda* em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 6p. Embrapa Florestas. **Comunicado técnico**, 198.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR v. 33, n.74, p. 168-177, 2013.

MANDRE, M. et al. Short-term effects of Wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of *Pinus sylvestris* L. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 223, p.349–357, 2006.

MARTINS, I. S. **Comparação entre métodos uni e multivariados aplicados na seleção em *Eucalyptus grandis***. 1999. 94 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

- MERINO, A.; OMIL, B.; HIDALGO, C.; ETCHEVERS, J. D.; BALBOA, M. A. Characterization of the organic matter in wood ash from biomass power plants in relation to the potential use as amendments in agriculture. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 7, p. 2166-2175, 2017.
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.
- MORO, L.; GONÇALVES, J. L. M. **Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, Piracicaba, v.48/49, p.18-27, 1995.
- NASCIMENTO JR, D.; DA SILVA, S.C.; ADESE, B. Perspectivas futuras do uso de gramíneas em pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41; SIMPÓSIO FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO EM PASTAGEM, 2004, Campo Grande. Anais... Campo Grande, EMBRAPA CNPGC, 2004, p p. 130-141.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p.319-330, 2011.
- NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414.
- NOLASCO, A.M. et al. **Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Org.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2000. p. 385-414.
- OCHECOVA, P.; TLUSTOS, P.; SZAKOVA, J.; MERCL, F.; MACIAK, M. Changes in nutrient plant availability in loam and sandy clay loam soils after wood fly and bottom ash amendment. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 2, p. 487-497, 2016.

- OKADO, K. **Adubação com N, P₂O₅ e K₂O apenas em cobertura no crescimento de *Eucalyptus urograndis*, na região do Pontal do Paranapanema – SP.** 2010. 35f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2010.
- PARK, B.B. et al. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 28, p. 355–365, 2005. PERNÁ, I.; OCHECOVÁ, P.; SZÁKOVÁ, J.; HANZLÍČEK, T.; TLUSTOŠ, P.
- PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p.523-533, 2011.
- PITA, V.; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F.; RIBEIRO, H. M. Effect of ash from sugarcane bagasse and wood co-combustion on corn growth and soil properties. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 58, n. sup1, p. S206-S212, 2012.
- PITMAN, R. M. Wood ash use in forestry: a review of the environmental impacts. **Forestry**, Oxford, v.79, p.563-588, 2006.
- PUGLIESE, S.; JONES, T.; PRESTON, M. D.; HAZLETT, P.; TRAN, H.; BASILIKO, N. Wood ash as a forest soil amendment: the role of boiler and soil type on soil property response. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 94, n. 5, p. 621-634, 2014.
- RODRIGUES, S. M.; HENRIQUES, B.; SILVA, E. F.; PEREIRA, M. E.; DUARTE, A. C.; RÖMKENS, P. F. A. M. Evaluation of an approach for the characterization of reactive and available pools of twenty potentially toxic elements in soils: part I-the role of key soil properties in the variation of contaminants' reactivity. **Chemosphere**, v. 81, p. 154-1559, 2010.
- RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia.** Piracicaba, 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, 1998.
- SAARSALMI, A.; SMOLANDER, A.; KUKKOLA, M.; MOILANEN, M.; SARAMÄKI, J. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil

- microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 63–70, 2012.
- SANTALLA, M.; OMIL, B.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant and Soil**, v. 346, p. 63–78, 2011.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, p.697-706, 2008.
- SCHEEPERS, G. P.; TOIT, B. D. Potential use of wood ash in South African forestry: a review. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 78 n. 4, p. 255-266, 2016.
- SCHÖNAU, A. P. G.; HERBERT, M. A. Relationship between growth rate and foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium for *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, v. 120, p. 19-23, 1982.
- SCHWENKE, G. D.; MANNING, W.; HAIGH, B. M. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface-applied to bare fallows, wheat crops and perennial-grass-based pastures on Vertosols. **Soil Research**, v. 52, n. 8, p. 805-821, 2014.
- SGARBI, F. **Produtividade do *Eucalyptus* sp em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo**. 2002. 114p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.93, p.1-32, 2001. (Arquivo do Agrônomo, n.12). Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/downloads/106.pdf>>. Acesso em: 26. fevereiro. 2021.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agronômicas**, POTAFOS, Piracicaba, n. 91, 12p. 2000.

- SILVEIRA, R.L.V.A.; LUCA, E.F.; SHIBATA, F. **Absorção de macronutrientes pelas mudas de *E. grandis* em condição de viveiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. Resumos expandidos... Viçosa: SBCS, 1995. p.839-41.
- SOLLA-GULLÓN, F. et al. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.237, p.312–321, 2006.
- TARELHO, L. A. C; NEVES, D. S. F.; MATOS, M. A. A. Forest biomass waste combustion in a pilot-scale bubbling fluidized bed combustor. **Biomass Bioenergy**, v. 35, p.1511-1523, 2011.
- TIYUAN, X.; CHANGQUN, D.; CAIXIAN, Z.; DENGGAO, F.; ZONGYAN, D.; LIANGJUN, D. A study on the soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantation and their adjacent vegetations. **Journal of Yunnan University**, Kunming, v. 32, n. 1, p. 118-123, 2010.
- TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de local para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006.
- TRIGUEIRO, R. M. **Efeitos de “dregs e grits” nos atributos de um Neossolo Quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- UKWATTAGE, N. L.; RANJITH, P. G.; BOUAZZA, M. **The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon)**. *Fuel*, v. 109, p.400-408, 2013.
- VÄÄTÄINEN K. et al., The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B; LEWIS, B. A Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

VOUNDI NKANA, J.C. et al. Chemical effects of wood ash on plant growth in tropical acid soils. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.63, p.251-260, 1998.

VOUNDI NKANA, J.C. et al. Effect of wood ash application on soil solution chemistry of tropical acid soils: incubation study. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.85, p.323–325, 2002.