

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE FITOSSANIDADE, ENGENHARIA RURAL E SOLOS

PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MESTRADO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO

**ATRIBUTOS DA SOLUÇÃO E DO SOLO DE CERRADO APÓS APLICAÇÃO
DE RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE**

Thais Monique de Souza Maciel

Ilha Solteira-SP

2014

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Atributos da solução e do solo de Cerrado após aplicação de resíduo da extração de celulose”

THAIS MONIQUE DE SOUZA MACIEL

Orientadora: Profa. Dra. Marlene Cristina Alves
Coorientadora: Profa. Dra. Flávia Carvalho Silva Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP
Fevereiro/2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M152a Maciel, Thais Monique de Souza.
Atributos da solução e do solo de cerrado após aplicação de resíduo da
extração de celulose / Thais Monique de Souza Maciel. -- Ilha Solteira: [s.n.],
2014
57 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2014

Orientador: Marlene Cristina Alves
Co-orientador: Flavia Carvalho Silva Fernandes
Inclui bibliografia

1. Solos-manejo. 2. Reaproveitamento de resíduos orgânicos. 3. Atributos físicos do solo. 4. Atributos químicos do solo. 5. Física do solo. 6. Química do solo.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Atributos da solução e do solo de cerrado após aplicação de resíduos da extração de celulose

AUTORA: THAÍS MONIQUE DE SOUZA MACIEL

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. FLÁVIA CARVALHO SILVA FERNANDES

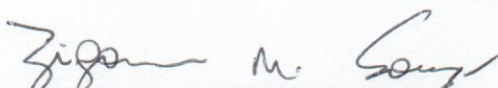
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA
Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 27 de fevereiro de 2014.

DEDICATÓRIA

Ao Renan e à Cecília

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre iluminar meus caminhos e me ajudar nessa conquista.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de mestrado concedida.

À Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, UNESP, que possibilitou a realização desse trabalho e ensinamentos por meio do curso de Pós-Graduação.

À Professora Dra. Marlene Cristina Alves, pela orientação na condução deste trabalho e pelos conhecimentos transmitidos, pela compreensão, exemplo de profissionalismo, apoio e amizade.

À Professora Dra. Flávia Carvalho Silva pela co-orientação neste trabalho, pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Ao corpo docente, pelos ensinamentos passados e contribuição na minha formação acadêmica.

Ao técnico Sr. Valdivino dos Santos pela amizade, companheirismo e auxílio na condução desse trabalho, em campo e no laboratório de Física do solo.

Ao assistente acadêmico e também meu amigo Diego Gonçalves Feitosa pela amizade, apoio e principalmente pelo auxílio na condução do experimento.

Ao meu esposo, Renan Silva Maciel, pelo amor, dedicação, compreensão e confiança nesse período de muitas lutas e conquistas.

À minha família, pelo amor, confiança e apoio nos meus sonhos.

Aos meus amigos Leticia Guerra, Ideli, Leandro e Silvia, pelo apoio, carinho e amizade.

Aos funcionários da secretaria do DEFERS, Márcia e Domingos, pela disponibilidade em sempre ajudar e também ao assistente acadêmico Ronaldo pelo apoio e contribuição na execução do experimento.

Aos técnicos de laboratório João e Carlinhos pela ajuda no laboratório de Fertilidade do Solo.

Aos meus amigos de laboratório: Carolina Bonini, Fabiana, Sebastião e Poliana.

À Fibria de Três Lagoas pelo fornecimento dos resíduos da extração de celulose utilizados nesse trabalho.

Enfim, agradeço aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização desse trabalho e me apoiaram no decorrer desse período.

RESUMO

A grande expansão das indústrias e do mercado consumidor tem provocado, nas últimas décadas, a geração de elevadas quantidades de resíduos. Com a produção de papel e celulose, as indústrias do setor têm gerado diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, constituindo-se em uma grande preocupação ambiental e econômica. No intuito de retornar com estes subprodutos de forma sustentável à natureza, o objetivo do estudo foi avaliar, em casa de vegetação usando colunas de solo e ciclos de umedecimento, o efeito da aplicação de resíduos da extração de celulose nos atributos físicos do solo e químicos da solução e do solo, especialmente aqueles relacionados à dispersão de argila de dois Latossolos Vermelhos. O experimento foi implantado na Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (UNESP), localizada no município de Ilha Solteira, SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 7 tratamentos e 4 repetições, para cada solo. Os tratamentos utilizados foram: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3. O solo foi coletado e caracterizado química e fisicamente antes do período do experimento. Durante o período de incubação foi avaliado o potencial matricial do solo por meio de tensiômetros e a composição química da solução extraída de cada solo estudado por extratores de solução. Após esse período, desmontando as colunas de solo, foram avaliados os atributos físicos: distribuição e estabilidade de agregados, porosidade do solo, densidade do solo, granulometria e também os atributos químicos solo: MO, pH, K, Ca, Mg, Na, H + Al, Al. A SB, CTC e V% foram calculadas. Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de média no nível de 5% de probabilidade. Os resíduos originados da extração de celulose afetaram as composições químicas das soluções e dos dois solos estudados. Dentre os atributos físicos do solo, houve diferenças significativas somente para o Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa. Na estabilidade de agregados apresentou diferenças na classe de agregados menor que 0,25 mm e na granulometria apresentou valor médio do teor de silte maior para o tratamento T₆ (1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6) em relação ao controle. Entre os tratamentos estudados, o T₃ (1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits) não é adequado para utilização no solo, pois forneceu maior quantidade de Na à solução do solo do que o recomendado na literatura. E o tratamento T₅ (2,4 t ha⁻¹ de cinza) pode ser utilizado como fonte de K ao solo.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Estabilidade de agregados. Dispersão do solo. Latossolo vermelho.

ABSTRACT

The great expansion of industry and the consumer market has led, in recent decades, the generation of large amounts of waste. With the production of cellulose and paper the industries in the sector have generated daily large amounts of solid waste and effluents, thus becoming a major environmental and economic concern. In order to return with these by-products in a sustainable manner to nature, the purpose of the study was to evaluate, under greenhouse conditions, using soil columns and cycles of wetting, the effect of residues from the cellulose extraction in the soil physical and chemical attributes and chemical soil solution, especially those related to the scattering of two Oxisols different texture. The experiment was established at the Faculty of Engineering, Campus Ilha Solteira, University of Sao Paulo State (UNESP), located in the municipality of Ilha Solteira, Sao Paulo State, Brazil. The experimental design was completely randomized, with 7 treatments and 4 replicates for each soil. The treatments were: T1 - without the addition of lime and residue (control), T2 - 1.0 t ha⁻¹ of limestone, T3 - 1.2 t ha⁻¹ dregs/grits, T4 - 0.8 t ha⁻¹ of lime mud; T5 - 2.4 t ha⁻¹ ash, T6 - 1.8 t ha⁻¹ dregs/grits + lime mud + ash in the ratio 1:3: 6, T7 - 1.0 t ha⁻¹ dregs/grits + lime mud in the ratio 1:3. The soil was collected and characterized chemically and physically before the period of the experiment. During the incubation period was assessed soil matric potential by tensiometers and chemical composition of the extracted soil solution. After this period, dismantled the soil columns and the physical attributes were evaluated: distribution and aggregate stability, soil porosity, soil bulk density, particle size and also the soil chemical attributes: OM, pH, K, Ca, Mg, Na, H + Al, Al . The BS, CEC and Base saturation % were calculated. The results were analyzed by performing analysis of variance and Tukey test for comparison of means at 5% probability. The residues generated from the cellulose extraction affected the solutions chemical composition and of the two soils studied. Among the soil physical characteristics, there were significant differences only for the Oxisol loamy sandy, in aggregate stability showed differences in the class of aggregates less than 0.25 mm and particle size presented the highest silt content for the treatment T6 (1.8 t ha⁻¹ dregs/grits + mud + lime gray in proportion to 1:3:6) compared the control. Among the treatments applied, T3 (1.2 t ha⁻¹ dregs/grits) is not suitable for use in soil because larger amounts of Na supplied to the soil solution. And the T5 (2.4 t ha⁻¹ ash) treatment can be used as a source of K to the soil.

Keywords: Soil quality. Aggregate stability. Dispersion of soil. Oxisol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção da celulose e recuperação dos elementos químicos.	15
Figura 2 - Etapas de montagem das colunas de pvc utilizadas para acondicionamento dos solos em estudo.	24
Figura 3 - Aplicação do resíduo em sulco nas colunas de solo.	26
Figura 4 - Demonstração da forma utilizada para saturar os solos nas colunas, a cada 10 dias.	27
Figura 5 - Extração da solução do solo.	27
Figura 6 - Colunas de solo utilizadas no experimento, com tensiômetros, extratores de solução e frascos para reservar a solução coletada.	28
Figura 7 - Coleta de amostras indeformadas com anel volumétrico.	29
Figura 8 - Desmontagem das colunas e coleta de amostras indeformadas (agregados) e deformadas.	29
Figura 9 - Amostras na mesa de tensão.	30
Figura 10 - Agitação de amostras para análise de estabilidade de agregados.	31
Figura 11 - Etapas da análise granulométrica do solo.	32
Figura 12 - Valores médios do potencial matricial de água do solo durante os 12 ciclos de umedecimento para o Latossolo Vermelho de textura franco argilo arenosa, 2013.	40
Figura 13 - Valores médios do potencial matricial de água do solo (kPa) durante os 12 ciclos de umedecimento para o Latossolo Vermelho de textura franco arenosa, 2013.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química inicial dos solos, na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.....	22
Tabela 2 -	Caracterização granulométrica dos solos em estudos, na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.	22
Tabela 3 -	Caracterização da porosidade e densidade dos solos, na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.	22
Tabela 4 -	Caracterização da distribuição percentual das classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm) dos solos em estudo (março/2012), coletados na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.....	23
Tabela 5 -	Caracterização química dos resíduos da extração de celulose que foram utilizados nos tratamentos, 2012.....	25
Tabela 6 -	Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da porcentagem (%) de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm) do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria- MS, 2013.	34
Tabela 7 -	Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da porcentagem (%) de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1- 0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm) do Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, Três Lagoas, MS, 2013.....	36
Tabela 8 -	Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo dos Latossolos em função dos tratamentos, 2013.	37
Tabela 9 -	Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da granulometria (argila, silte e areia total) dos Latossolos em função dos tratamentos, 2013.	38
Tabela 10 -	Teste F, diferença mínima significativa (DMS) a 5% de probabilidade, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS.	42
Tabela 11 -	Teste F, diferença mínima significativa (DMS) a 5% de probabilidade, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS, 2013.	43
Tabela 12 -	Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para e os teores de K e Na ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e condutividade elétrica-CE ($\mu\text{s cm}^{-1}$) nas soluções extraídas dos Latossolos em função dos tratamentos e diferentes épocas de avaliação, 2013.	47
Tabela 13 -	Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios os teores de Ca e Mg ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) nas soluções extraídas dos Latossolos em funções dos tratamentos e diferentes épocas de avaliação, 2013.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DO CERRADO	13
2.2	DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE	14
2.3	INTERAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE.....	16
2.4	SOLUTOS NA SOLUÇÃO DO SOLO E LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	21
3.2	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM ESTUDO.....	21
3.3	MONTAGEM E ACONDICIONAMENTO DE SOLO E RESÍDUOS NAS COLUNAS	23
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	25
3.5	CICLOS DE UMEDECIMENTO	26
3.6	AVALIAÇÕES	27
3.6.1	Análises durante o período de 120 dias	27
3.6.2	Análises de solo após período de incubação	28
3.6.2.1	<i>Atributos físicos do solo</i>	30
3.6.2.2	<i>Atributos químicos do solo</i>	31
3.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	33
4.1.1	Distribuição e estabilidade de agregados em água	33
4.1.2	Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e granulometria do solo	36
4.1.3	Tensão da água no solo	39
4.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO E DO SOLO.....	41
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a produção mundial de papel e celulose cresceu bastante. O Brasil é considerado o 4º maior produtor mundial de celulose e o 10º em produção de papel. Em 2012, foram produzidos aproximadamente 10 milhões de toneladas de papel e 14 milhões de toneladas de celulose, sendo a maior parte dessa produção exportada, atividade que contribuiu significativamente com o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) do país. No Brasil, há um número de 220 empresas do setor atuando em 540 municípios localizados em 18 estados (BRACELPA, 2013).

Entretanto, com a produção de papel e celulose, as indústrias do setor têm gerado diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, os quais têm se constituído em uma grande preocupação ambiental e econômica (FLORES; FRIZZO; FOELKEL, 1998; KISSINGER et al., 2007). Para cada 100 t de celulose produzida é gerado em torno de 48 t de resíduos nas fábricas de papel e celulose (ARRUDA, 2012).

Os resíduos gerados durante os processos industriais podem ser de origem sólida, líquida ou gasosa. Todos proporcionam impacto ambiental, porém, os de origem sólida, que apresentam reatividade e ocupam grande espaço físico, devem receber um cuidado especial. Para o tratamento dos resíduos sólidos existem três técnicas principais: incineração, redução da toxicidade e, disposição no solo. Esta última depende de fatores geográficos, geológicos e climáticos, além da potencialidade de reaproveitamento (ALMEIDA et al., 2007).

A opção por aterro industrial para a disposição final destes resíduos é indesejável, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (BELLOTE et al., 1998; MAEDA et al., 2011). Com isso, diversos trabalhos de investigação têm sido realizados no intuito de buscar soluções para utilização destes resíduos, permitindo o seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental (ANDRADE et al., 2003).

A utilização desse resíduo como fornecedor de nutrientes na agricultura, em doses adequadas, pode ser uma alternativa viável para reduzir a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez do solo e melhorar o desenvolvimento das culturas, destinando adequadamente os resíduos industriais sem prejuízos ao solo (COSTA, 2002).

Contudo, a elevada concentração de Na e a elevada relação Ca/Mg do resíduo, principalmente dregs/grits, pode causar problemas potenciais quando utilizado na área agrícola. O primeiro componente pode causar a dispersão do solo com prejuízos à sua estrutura e o segundo pode ocasionar distúrbios fisiológicos às plantas (MEDEIROS, 2008).

Com base nessas premissas, pode-se verificar que o uso de resíduos da extração de celulose em áreas agrícolas pode favorecer o desenvolvimento das culturas, reduzir a quantidade de adubos inorgânicos e trazer benefícios ao solo. Contudo, apresentam restrições em seu uso, principalmente relacionados com a alteração na qualidade da estrutura do solo, sendo necessários estudos mais aprofundados.

Mediante a preocupação com o impacto ambiental que esses resíduos podem causar à região em estudo, o objetivo da pesquisa foi avaliar, em casa de vegetação, usando colunas de solo e ciclos de umedecimento e secagem, o efeito da aplicação de resíduos da extração de celulose nos atributos físicos do solo e químicos da solução e do solo, especialmente aqueles relacionados à dispersão de argila de dois Latossolos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DO CERRADO

O Cerrado brasileiro é considerado a savana de maior biodiversidade vegetal mundial e abrange aproximadamente 204 milhões de hectares. A maior parte dessa região é constituída de Latossolos, altamente intemperizados, com baixa fertilidade, elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa CTC, predominando argilas de baixa atividade (CARVALHO et al., 2004; FRAZÃO et al., 2008; MOREIRA; CARVALHO; EVANGELISTA, 2005).

Um problema nos Latossolos do Cerrado é o baixo teor de matéria orgânica, que devido ao clima tropical, sua mineralização é bastante rápida por causa da elevada temperatura e umidade do solo durante boa parte do ano, prejudicando o armazenamento e reposição de nutrientes ao solo (CARVALHO et al., 2004).

Práticas de manejo inadequadas ao solo e a agricultura podem causar mudanças no ambiente e levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo (MOS), portanto, sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (CANELLAS et al., 2007). Avaliando os atributos físicos do solo verifica-se que com a manutenção ou incorporação da matéria orgânica, pode ocasionar a diminuição da densidade do solo, criando poros de maior diâmetro, que favorecem a entrada de ar e a drenagem de água. Influencia positivamente na estrutura do solo, aumentando a estabilidade de agregados, que controlam os movimentos internos de água, ar e calor e o crescimento de raízes (VASCONCELOS et al., 2010).

A dinâmica da matéria orgânica no solo é influenciada, entre outros, pelo clima e características do solo, com destaque para a textura. Partículas de argila aumentam a estabilidade dos substratos orgânicos e a biossíntese microbiana, de forma que em solos mais argilosos há maior proteção da matéria orgânica, pela formação de complexos organo-minerais, o que resulta em acúmulo da matéria orgânica com o aumento no teor de argila (TRIGUEIRO, 2006). Em solos arenosos, de modo geral, o aporte de resíduos orgânicos sobre o mesmo, a médio e longo prazo, pode aumentar esse teor de matéria orgânica, que, é a principal responsável pela CTC deles. Isso implica em maior

capacidade de retenção de água e nutrientes, como o potássio, cálcio, magnésio, entre outros.

2.2 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE

Nas indústrias de base florestal, as sobras que não são incorporadas ao produto final e que são provenientes dos processamentos mecânico, físico ou químico utilizado na fábrica, são definidos como resíduos. No caso da celulose estes produtos chamados de resíduos são: a casca, a lama de cal, o lodo biológico, dregs/grits, a cinza de caldeira, resultante da queima de biomassa, entre outros e que são produzidos ao longo do processo de produção (BARRETO, 2008; BELLOTE et al., 1998).

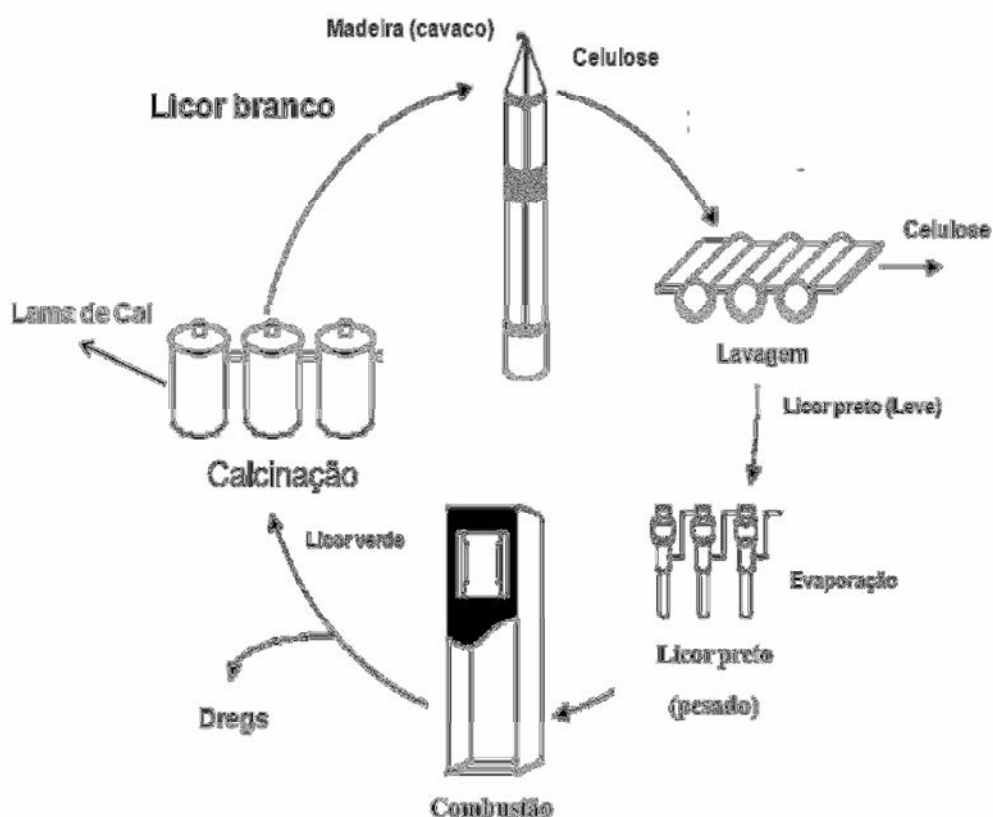
Em geral, há dois tipos de resíduos de celulose e papel: o lodo primário e o lodo secundário. O lodo primário é formado por fibras de resíduos de madeira, possui alto nível de carbono e baixo nível de nutrientes, agindo como um consumidor de nitrogênio em potencial. O lodo secundário é rico em biomassa microbiana que libera nutrientes para o solo durante a sua decomposição (HARRISON et al., 2003).

O resíduo de celulose, do tipo lodo secundário, é classificado como não perigoso, sendo enquadrado como Classe II A – não inerte de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). Dessa forma, uma alternativa viável para esses resíduos da indústria de celulose seria sua utilização em áreas agrícolas. Entretanto, ainda são necessários muitos estudos para caracterizá-los, definir a viabilidade e as quantidades que podem ser aplicadas no solo, pois a composição química dos resíduos pode variar de uma indústria para outra. Estes ainda apresentam alta relação carbono/nitrogênio (BELLOTE et al., 1998) necessitando que ocorra sua completa decomposição para serem utilizados no solo como fertilizante orgânico (BELLOTE et al., 1998; MORO, 1994).

Para converter a madeira em polpa celulósica, deve-se remover a lignina, ou seja, é necessário haver a separação das fibras da madeira. Para isso, existem processos industriais, sendo o mais utilizado na produção de celulose o químico, normalmente chamado de processo Kraft. Para realizar o cozimento da madeira, é utilizado o sulfeto e hidróxido de sódio (licor branco) como os agentes químicos ativos, e deve-se manter o pH ajustado entre 13 e 14 no início do cozimento. As fibras são separadas por meio da dissolução da lignina, durante o cozimento, e de parte das hemiceluloses no licor de

cozimento, transformando-o em licor negro. O processo Kraft (Figura 1) também é conhecido como “sulfato”, pois na recuperação química do licor negro no processo, as perdas dos compostos químicos inorgânicos são feitas com sulfato de sódio (BARRETO, 2008; MEDEIROS, 2008).

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção da celulose e recuperação dos elementos químicos.



Fonte: Adaptado de Pöyry et al. (2006) e Medeiros (2008).

No processamento utilizado na indústria de papel e celulose, são gerados como resíduos a lama de cal, dregs/grits, as cinzas e outros resíduos. A lama de cal é um resíduo de coloração branca formado predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3), extraída da caustificação do licor verde, ou seja, após a adição de óxido de cálcio (CaO). Dregs significa escória, sedimento. É um material sólido, de cor escura, com odor característico, sedimentado e removido na clarificação do licor verde. E grits, que significa grânulo, é o resíduo sólido e granulado de cor amarelada, sem odor e

pouco solúvel, resultante do processo de calcinação da lama de cal e do calcário nos fornos de cal (ALBUQUERQUE et al., 2002).

Dregs e grits são resíduos alcalinos sólidos que apresentam alto valor de neutralização (VN) e geralmente são descartados em aterros a céu aberto. Apresentam granulometria desuniforme, altos teores de cálcio e sódio e teores relativamente baixos de magnésio, fósforo, potássio e, podem também ter em sua composição química, metais como Pb, Zn, Cu, Ni e Cd dependendo do processo de fabricação e produtos utilizados pela indústria (MEDEIROS, 2008).

As cinzas são os resíduos gerados nas caldeiras auxiliares de energia, com a combustão de cavacos e carvão mineral. É uma mistura homogênea de frações de areia, moinha de carvão e cinzas. Indústrias com capacidade de produção de 1000 t por dia de celulose geram, aproximadamente, 80 t por dia de cinzas. O efeito benéfico das cinzas na fertilização de cobertura é devido a sua composição química e à lenta solubilização dos macro e micronutrientes, podendo ser grosseiramente comparada a uma fórmula NPK de relação (1:3:7) mais cálcio, magnésio e micronutrientes (NOLASCO; GUERRINI; BEBEDETTI, 2000).

2.3 INTERAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE CELULOSE

De acordo com Moro (1994), os resíduos provenientes da extração de celulose possuem características favoráveis, porém, apresentam variação em sua composição química e quantidade produzida segundo o processo utilizado pela indústria para a extração da celulose e produção do papel. Quando aplicados na área florestal ou agrícola podem atuar sobre os atributos físicos e químicos do solo, criando-se condições de favorecimento à produção (NOLASCO; GUERRINI; BEBEDETTI, 2000).

Segundo Harrison et al. (2003) os benefícios da aplicação de resíduos orgânicos em ecossistemas florestais podem ser classificados em três categorias: melhoria do solo; aumento na produtividade de madeira; e benefícios secundários devido à resposta do sub-bosque, que frequentemente é mais vigoroso nos seis meses seguintes à aplicação. Portanto, a aplicação de resíduo orgânico no solo é uma alternativa viável, recomendada por influenciar de forma positiva na ciclagem de nutrientes e como fator de suprimento de nutrientes aos vegetais (BELLOTE et al., 1994; GUERRINI; MORO, 1994).

Em plantios florestais, o uso de resíduos da extração de celulose como adubos apresentou alguns efeitos benéficos no solo: i) elevação do pH com consequente aumento na disponibilidade de determinados nutrientes, notadamente fósforo e micronutrientes; ii) aumento da capacidade de troca de cátions dos solos; iii) incorporação de nutrientes minerais necessários às árvores; iv) melhoria dos atributos físicos como a granulometria, a capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Além disso, a aplicação de resíduos da celulose e cinza de caldeiras aumenta a atividade biológica do solo acelerando a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes (BELLOTE et al, 1998).

Avaliando em laboratório os efeitos da aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em solos florestais, Costa et al. (2009) verificaram o aumento no pH, a diminuição no alumínio trocável, a diminuição da acidez potencial, o aumento nos teores de cálcio e magnésio, o incremento nas camadas iniciais para o fósforo e o aumento na saturação por bases, sem alteração do teor de sódio e matéria orgânica do solo.

Em estudos preliminares, realizados por Guerrini e Moro (1994), a aplicação de resíduo celulósico no solo, comparados quanto ao fornecimento de nutrientes, foi semelhante e até superior ao fornecido pela adubação química, especialmente no caso do cálcio. Dependendo da dose, tipo de resíduo e época de aplicação, os autores afirmam que é possível a substituição completa dos fertilizantes químicos pelos resíduos orgânicos.

Os resíduos dregs e grits, por exemplo, foi utilizado em diferentes tipos de solos ácidos, e melhoraram as características físicas e químicas, quando aplicados em colunas de lixiviação em laboratório (ZAMBRANO et al., 2003).

O uso de doses de carbonato de cálcio, cinza, lama de cal e lodo celulósico em atributos químicos de um Neossolo Regolítico provocou um aumento do pH e dos teores de Ca, Mg e P a medida que as doses estudadas em todos os tratamentos também aumentaram. As cinzas contribuíram com aumento de K, Ca, Mg e P. Porém, a relação Ca/Mg foi elevada pela aplicação de lama de cal e lodo celulósico a valores que podem ser prejudiciais ao solo (MAEDA; BOGNOLA, 2013).

A aplicação superficial de resíduo de celulose em um Cambissolo Húmico, favoreceu o aumento do pH, dos teores de sódio, da soma e da saturação por bases trocáveis e redução dos níveis de alumínio (MEDEIROS, 2008). Este mesmo autor

afirma que os problemas potenciais do uso agrícola desses resíduos são decorrentes, principalmente, da elevada concentração de Na^+ e da elevada relação Ca/Mg do resíduo. O primeiro causa a dispersão do solo com prejuízos à sua estrutura e o segundo pode ocasionar distúrbios fisiológicos às plantas.

A dispersão das partículas coloidais do solo está relacionada com a interação das cargas elétricas na superfície e pode ser gerada por substituição isomórfica (permanentes) ou por dissociação de radicais (variáveis). As variáveis, predominantes em Latossolos, dependem de propriedades químicas do solo: pH e concentração eletrolítica da solução do solo (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

A neutralização do Al trocável, íon que estabiliza a estrutura do solo, e a elevação do pH do solo, que, na faixa de pH menor que 7,0 tem ação dispersante contribuem para a dispersão do solo em partículas unitárias. Esse efeito também foi verificado com os fertilizantes de elevado índice salino (CARVALHO JÚNIOR; FONTES; COSTA, 1998; SPERA, 2008).

A estabilidade dos agregados do solo depende da textura, mineralogia (óxidos e silicatos), teores e tipos de cátions, pH da matéria orgânica (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; MEURER, 2006). Esses fatores são determinantes da espessura da dupla camada difusa, que é importante e fundamental fator que influencia a dispersão e floculação de partículas.

A espessura da dupla camada difusa é alterada pela concentração e tipo de eletrólitos (íons Na, K, etc.). Cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas; desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam e o sistema dispersa (MEURER, 2006). Em solos com os microagregados dispersos, a água de percolação promove a eluviação das partículas de argila dispersa e o rearranjo dessas partículas altera a matriz sólida do solo (KOCHHANN; DENARDIN; BETTON, 2000).

Assim, a porosidade natural passa a ser obstruída pelas partículas de argila iluviadas, elevando a densidade do solo. Dessa forma, a perda de estabilidade dos macroagregados e o fracionamento em microagregados, bem como a conseqüente iluviação da argila, desenvolvem a camada superficial dispersa, com estrutura maciça de grãos simples (SPERA et al, 2008).

A utilização de resíduo da extração de celulose no solo pode reduzir a estabilidade dos agregados e dispersar a argila, devido à elevação do pH e da percentagem

de sódio no complexo de troca do solo. Com isso, conseqüentemente pode alterar os atributos físicos, químicos e físico-hídricos do solo. No entanto, em doses adequadas, pode ser uma alternativa viável para reduzir a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez do solo e melhorar o desenvolvimento das culturas, destinando adequadamente os resíduos industriais sem prejuízos ao solo (MEDEIROS, 2008).

2.4 SOLUTOS NA SOLUÇÃO DO SOLO E LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES

A agricultura é geralmente apontada como importante contribuinte de poluentes dentre as possíveis fontes de contaminação do solo e da água (GRUTZMACHER et al., 2008). Essa contaminação pode ocorrer por águas superficiais e subterrâneas que contém aportes de sais, resíduos de adubos minerais e orgânicos decorrentes de atividades agrícolas (D'ALMEIDA; ANDRADE; MEIRELES, 2005). Por isso é importante conhecer as características e comportamento dos adubos utilizados na agricultura (LUNA, 2013)

Para entender melhor o comportamento dos elementos químicos presentes nos resíduos da extração de celulose e sua ação nos atributos do solo é necessário conhecer sua movimentação no solo durante seu processo de decomposição quando aplicado ao mesmo. De acordo com Costa (2002), o entendimento da distribuição da água e soluto no solo é de suma importância para prevenir um desequilíbrio de nutrientes no mesmo, evitando, assim, possível contaminação no lençol freático e sua desestruturação do solo.

O movimento de solutos no solo depende de fatores relacionados às propriedades do meio poroso e suas interações, às propriedades do líquido percolante e às condições ambientais que influenciam nas propriedades de transporte dos solutos. A lixiviação de nutrientes varia com os atributos físicos do solo, como textura, estrutura, profundidade do perfil e, principalmente, porosidade. Entre os atributos químicos que afetam a lixiviação, estão a capacidade de retenção de íons e o pH do solo (SANTOS; FAGERIA; ZIMMERMANN, 2002).

Uma forma de estudar a movimentação dos íons no solo é por meio da extração de solução, o qual consiste em um ponto de fundamental importância na tomada de decisão para instalação dos extratores de solução. A mobilidade dos íons no solo é dependente de vários fatores. Para Souza (2006), o movimento de íons no solo está relacionado com a intensidade de percolação da água e com o comportamento de cada

um em relação às condições de fixação, adsorção e lixiviação, que é função de cada íon e do tipo de solo em que se encontra.

A lixiviação dos íons no perfil do solo, segundo Reichardt (1990), é uma das principais causas de perdas de nutrientes, contribuindo sensivelmente para a acidificação do solo e em excesso, pode contaminar o ambiente. Os cátions monovalentes Na^+ e K^+ são mais rapidamente lixiviados em relação aos divalentes Ca^+ e Mg^+ e os elementos-traço presentes nos resíduos. Isso ocorre porque a lixiviação de sais solúveis dos resíduos é influenciada pelo tamanho das partículas sendo mais rápida quanto menor for o tamanho das partículas, sendo assim é de suma importância conhecer a composição química de cada tipo de resíduo (TEIXEIRA, 2003).

Ao adicionar ao solo alguma substância, resíduo ou adubo, o potencial de contaminação da água decorrente dessa ação, não está restrito somente ao período posterior a adição do nutriente ou em momentos de alta precipitação pluvial, já que o solo atua como agente tamponante, e é capaz de reter nutrientes e liberá-los gradativamente a solução do solo. Como o solo mais argiloso tem maior “poder tampão” em relação ao solo mais arenoso, o primeiro demonstra menores alterações imediatas em sua composição química em relação ao segundo. Mas nos dois tipos de solo o nutriente pode chegar ao lençol freático, e passar a fazer parte da água subterrânea, a qual poderá apresentar valores elevados de alguns elementos, ocasionando problemas ao meio ambiente (PIOVESAN, 2006). Isto indica a necessidade de adotar manejo de água e nutrientes com critério.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi implantado em casa de vegetação da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (UNESP), localizada no município de Ilha Solteira, SP. A área encontra-se entre as coordenadas geográficas de 51° 20' de longitude oeste de Greenwich e 20° 25' de latitude sul, a 380 m de altitude. Apresenta médias anuais de: precipitação pluvial, 1.370 mm; temperatura, 23,5 °C; e umidade relativa do ar, entre 70 e 80%. O tipo climático, segundo Köppen, é Aw (clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno). O período chuvoso se estende de outubro a março; os meses de dezembro, janeiro e fevereiro constituem-se o trimestre mais chuvoso e os meses de junho, julho e agosto, o trimestre mais seco (UNESP, 2013).

3.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM ESTUDO

Foram estudados dois solos: Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, que foi coletado no município de Três Lagoas - MS e, Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, UNESP, em Selvíria - MS.

Para realizar a caracterização dos solos em estudo foram feitas algumas análises, de acordo com as suas especificidades, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, na camada de solo: 0,00–0,20 m.

- **Caracterizações dos solos em estudo**

- a) análise química de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001) (Tabela 1);
- b) granulometria do solo pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) (Tabela 2);
- c) a densidade do solo (Tabela 3) pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1 - Caracterização química inicial dos solos, na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.

P_{resina} mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	Na	V	m	
			-----mmol _c dm ⁻³ -----								-----%-----	
Latossolo Vermelho, textura franco arenosa												
4	12	4,0	1,1	4	4	28	9,1	37,1	0,1	25	47	
Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa												
4	18	4,3	1,2	2	4	38	7,2	45,2	0,1	16	53	

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 - Caracterização granulométrica dos solos em estudos, na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.

Solo	Argila	Silte	Areia total
	-----g kg ⁻¹ -----		
LV, textura franco arenosa	112	89	798
LV, textura franco argilo arenosa	306	74	620

Fonte: Próprio autor

d) A porosidade total pela saturação do solo (volume de poros totais do solo ocupado pela água), a microporosidade pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 6 kPa e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997) (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização da porosidade e densidade dos solos, na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.

Solo	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total	Densidade do solo
	-----m ³ m ⁻³ -----			kg dm ⁻³
LV, textura franco arenosa	0,35	0,14	0,49	1,4
LV, textura franco argilo arenosa	0,27	0,23	0,50	1,2

Fonte: Próprio autor

e) Distribuição e estabilidade de agregados em água (Tabela 4) pela metodologia de Angers e Mehuys (2000).

Tabela 4 - Caracterização da distribuição porcentual das classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm) dos solos em estudo (março/2012), coletados na camada de 0,00-0,20 m. Três Lagoas - MS e Selvíria – MS, 2012.

	Classes de tamanho de agregados						DMP
	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	
	-----%-----						mm
LV, textura franco arenosa	46,09	15,30	5,37	12,74	8,71	12,38	3,10
LV, textura franco argilo arenosa	82,78	10,39	2,42	1,08	0,66	2,67	4,50

Fonte: Próprio autor

3.3 MONTAGEM E ACONDICIONAMENTO DE SOLO E RESÍDUOS NAS COLUNAS

Foram montadas colunas de PVC, com 0,50 m de altura e 0,20 m de diâmetro interno (Figura 2). Na parte inferior foram fixadas por um “cap”, com abertura igual ao diâmetro do tubo e sobre estes foram colocados discos de manta geotêxtil do tipo Bidim (utilizada em sistemas de drenagem), para não haver perda de solo. A manta possui alta permeabilidade hidráulica e não interferiu na permeabilidade do solo. As colunas foram preenchidas com solo até 0,40 m de altura. Tentando-se obter uniformidade na confecção, evitando estratificação das partículas e camadas de compactação diferentes, o solo foi cuidadosamente acondicionado com um funil acoplado a um tubo de PVC, com diâmetro menor que a coluna.

O solo foi, inicialmente, colocado com a ajuda de uma caneca no funil até que preenchesse o tubo PVC e o funil. Uma vez cheio foi levantado suavemente para passagem do solo para a coluna. Durante e ao término do preenchimento da coluna, bateu-se na mesma com um martelo de borracha, para um melhor acondicionamento do

solo (LIBARDI, 1973). A densidade do solo foi simulada de acordo com os resultados da sua caracterização. Para o Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa foi $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ e para Latossolo Vermelho, de textura franco argilo arenosa foi de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$. Após o preenchimento das colunas com solo, os resíduos de celulose foram acondicionados em sulco nas colunas (Figura 3).

Em cada coluna, no centro da camada 0,20-0,30 m foi instalado um tensiômetro e na camada 0,30-0,40 m, um extrator de solução do solo (REICHARDT, 1977) para determinar a retenção de água do solo na coluna e a concentração de íons (lixiviação) na solução do solo.

Figura 2 - Etapas de montagem das colunas de pvc utilizadas para acondicionamento dos solos em estudo.



Fonte: Próprio autor

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O experimento foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com 7 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos utilizados foram:

T₁ – sem adição de calcário e resíduos (contole);

T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico;

T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits;

T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama de cal;

T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza;

T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal + cinza na proporção 1:3:6;

T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3.

Os resíduos de celulose foram cedidos pela empresa FIBRIA, localizada em Três Lagoas (MS), e a caracterização química dos mesmos, realizada antes da instalação do experimento (Tabela 5). A caracterização do resíduo foi realizada pelo Laboratório de fertilizantes e corretivos da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu (UNESP), localizada no município de Botucatu, SP. As doses estudadas nos tratamentos, recomendadas pela empresa FIBRIA, foram definidas em função da fertilidade do solo e necessidade da cultura do eucalipto, levando em consideração a forma de aplicação dos resíduos em sulco, até a profundidade de 0,05 m, conforme ilustra a Figura 3.

O experimento foi realizado por um período de 120 dias (17-12-2012 a 06-04-2013).

Tabela 5 - Caracterização química dos resíduos da extração de celulose que foram utilizados nos tratamentos, 2012.

Resíduo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umidade	MO	C (total)
% na matéria seca									
Lama de cal	0,35	1,66	0,22	34,20	0,71	0,11	0,28	24,00	13,30
Dregs/grits	0,22	0,56	0,11	22,10	1,36	0,70	2,90	30,00	16,70
Cinza	0,11	1,07	0,56	12,40	1,12	1,17	0,50	10,00	5,60

Fonte: Próprio autor

Resíduo	(conclusão)							
	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C/N
mg kg ⁻¹ de matéria seca								
Lama de cal	8.200	15	17	785	1.475	230	9,0	38/1
Dregs/grits	36.100	64	485	4.775	16.425	975	10,6	76/1
Cinza	3.420	148	56	10.950	5.525	307	11,1	51/1

Fonte: Próprio autor

Figura 3 - Aplicação do resíduo em sulco nas colunas de solo.



Fonte: Próprio autor

3.5 CICLOS DE UMEDECIMENTO

As colunas de solo foram submetidas a regime de umedecimento para influenciar na atuação do resíduo sobre a agregação do solo e na solução extraída. Foram aplicados, com auxílio de regador, 3,4 L de água em cada coluna para saturar o solo (Figura 4). Essas colunas, por apresentarem a abertura inferior com uma manta de Bidim, permitiram a livre saída da água percolada evitando a perda de solo. O solo foi saturado com água a cada dez dias, totalizando 12 ciclos.

Figura 4 - Demonstração da forma utilizada para saturar os solos nas colunas, a cada 10 dias.



Fonte: Próprio autor

3.6 AVALIAÇÕES

3.6.1 Análises durante o período de 120 dias

- **Concentração de íons na solução do solo (lixiviação) e condutividade elétrica**

Foram realizadas extrações de solução do solo em dezembro de 2012 (0 e 10 dias), janeiro (20 e 30 dias), fevereiro (40, 50 e 60 dias), março (70, 80 e 90 dias) e abril (100, 110 e 120 dias) de 2013, durante a incubação do solo, no total de 13 coletas (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Extração da solução do solo.



Fonte: Próprio autor

As extrações foram iniciadas cerca de 12 horas após a saturação, tendo-se aplicado, nos extratores, um vácuo com auxílio de seringa de 60 ml. Realizaram-se quatro análises laboratoriais das soluções extraídas, sendo: 1^a) análise composta da solução de 0, 10, 20 e 30 dias; 2^a) análise com soluções coletadas aos 40, 50 e 60 dias, 3^a) análise com soluções de 70, 80 e 90 dias e 4^a) análise com soluções coletadas aos 100, 110 e 120 dias após período de incubação. Nas soluções do solo extraídas, foram determinados diretamente em laboratório, sem filtragem ou digestão, a condutividade elétrica (CE), o teor de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Sódio (Na) conforme Raij et al. (2001).

Figura 6 - Colunas de solo utilizadas no experimento, com tensiômetros, extratores de solução e frascos para reservar a solução coletada.



Fonte: próprio autor

- **Avaliação da retenção de água no solo por tensiômetros**

Utilizando-se tensiômetros instalados em cada coluna, foram feitas leituras diárias do potencial matricial de água do solo com tensímetro digital.

3.6.2 Análises de solo após período de incubação

Após 120 dias de incubação do solo, as colunas foram desmontadas. Para as análises, de acordo com as suas especificidades, foram coletadas amostras indeformadas

de solo (Figura 7) na profundidade de 0,00-0,10 m na coluna, com anel volumétrico. Para a coleta de amostras deformadas os solos das colunas foram retirados conforme consta na Figura 8 e após secar ao ar, foram coletados os torrões para avaliar a estabilidade de agregados e para as análises de granulometria e químicas do solo foram homogeneizados dentro de um saco para posterior peneiramento e avaliação.

Figura 7 - Coleta de amostras indeformadas com anel volumétrico.



Fonte: Próprio autor

Figura 8 - Desmontagem das colunas e coleta de amostras indeformadas (agregados) e deformadas.



Fonte: próprio autor

3.6.2.1 Atributos físicos do solo

- Densidade do solo

Foi realizada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) com amostras coletadas na profundidade de 0,00-0,10 m na coluna (Figura 9);

- A porosidade total foi determinada pela saturação do solo (volume de poros totais do solo ocupado pela água), a microporosidade pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 6 kPa e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997), utilizando as amostras indeformadas.

Figura 9 - Amostras na mesa de tensão.



Fonte: próprio autor

- Distribuição e estabilidade de agregados em água

No laboratório, os agregados das amostras coletadas foram separados através de peneiras sobrepostas com malhas de 6,35 mm e 4 mm de abertura, respectivamente. De todo o material que passou através do primeiro crivo, mas que ficou retido no segundo, retirou-se 40 g da amostra e assim foi analisada segundo a metodologia de Angers e Mehuys (2000), conforme Figura 10. Os resultados foram expressos em diâmetro médio ponderado (DMP) seguindo a fórmula:

$$DMP = \sum (C_{mm} P)$$

Onde: **C** é o centro de diâmetro de cada classe; **P** é a proporção da massa de cada fração de agregados estáveis em água em relação ao total da amostra.

A porcentagem de distribuição de agregados foi calculada levando-se em consideração as classes de agregados com tamanhos de: 6,00-4,00; 4,00-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,50; 0,50- 0,25 e <0,25 mm. A fórmula empregada para o seu cálculo foi:

$$P = (M_t - \text{Areia}) / [\text{Solo} / (1 + \text{Umidade}) - \text{Areia}] * 100$$

Onde: **M_t** - é a massa total dos agregados não dispersos coletados em cada fração, seca em estufa;

Areia - é a massa da areia coletada em cada fração, seca em estufa;

Solo - é a massa de solo dispersada dos agregados, seca em estufa;

Umidade - é a umidade gravimétrica (a base de massa) contida no solo.

Figura 10 - Agitação de amostras para análise de estabilidade de agregados.



Fonte: Próprio autor

- Análise granulométrica do solo pelo método da pipeta

As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de malha, posteriormente foram submetidas a dispersão e sedimentação das partículas, conforme Figura 11.

3.6.2.2 Atributos químicos do solo

De acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001) foram avaliados nas amostras de solo, os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio a partir de extração com resina trocadora de íons. Foi determinado ainda, sódio trocável por fotometria. O

teor de matéria orgânica foi determinado pelo método colorimétrico, o pH em cloreto de cálcio e a acidez potencial (H+Al) a pH 7,0. Foram calculadas a soma de bases (SB = Ca + Mg + K), capacidade de troca catiônica (CTC = SB + (H + Al)) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$).

Figura 11 - Etapas da análise granulométrica do solo.



Fonte: próprio autor

3.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados obtidos foram analisados efetuando-se a análise de variância e teste de Tukey para as comparações de média no nível de 5% de probabilidade. Foi utilizado para a realização da análise estatística o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

4.1.1 Distribuição e estabilidade de agregados em água

Nas Tabelas 6 e 7 constam o teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para a porcentagem (%) de distribuição de agregados e diâmetro médio ponderado (DMP) dos Latossolos Vermelhos em função dos tratamentos estudados.

Entre os tratamentos, para o Latossolo Vermelho, de textura franco argilo arenosa (Tabela 6), não foram verificadas diferenças estatísticas para a estabilidade de agregados. Observou-se que o solo após a incubação apresentou para o DMP valores entre 3,85 e 4,16 mm para os tratamentos, os quais apresentam, dentro do mesmo tratamento, maiores valores quanto maior for a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras de malhas superiores. Apresentando, portanto, alta estabilidade de agregados (76% estável na classe de maior diâmetro).

A porcentagem de distribuição dos agregados antes da aplicação dos resíduos, na classe de maior diâmetro era de 82% e o DMP 4,50 mm (Tabela 4). Após a aplicação dos resíduos mudou para 76% e 4,00 mm, de forma geral (Tabela 6). Demonstrando pouca alteração. Provavelmente tanto a pequena mudança após aplicação dos resíduos e o fato de que os tratamentos não influenciaram na estrutura do solo ocorreu devido o mesmo possuir alto teor de óxido de ferro (Ker, 1999), mais o conteúdo de argila e a matéria orgânica, que o torna mais resistente as variações na degradação da estrutura ocasionada por adição de agentes químicos. A estrutura do solo relacionada à sua mineralogia foi também foi estudada e comprovada por Ferreira, Fernandes e Curi (1999), que verificaram que os minerais caulinita e gibsita e os óxidos de Fe influenciaram na estabilidade de agregados de Latossolos.

Para o Latossolo Vermelho de textura franco arenosa foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos somente na classe de agregados menores que 0,25 mm (Tabela 7). O DMP para esse tipo de solo apresentou valores entre 2,30 e 3,18 mm para os tratamentos.

Tabela 6 - Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da porcentagem (%) de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm) do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria- MS, 2013.

	Classes de tamanho de agregados (mm)						DMP
	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	
F	0,80 ^{ns}	2,54 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,58 ^{ns}
CV (%)	5,77	20,68	18,58	21,86	20,97	12,53	3,32
	-----%-----						mm
T1	76,53	8,85	2,19	2,23	2,76	7,41	4,16
T2	72,62	7,65	3,30	3,92	3,90	8,58	3,96
T3	74,82	6,79	2,83	2,79	3,68	9,05	4,03
T4	76,57	7,71	1,85	2,34	3,94	7,97	4,13
T5	74,82	11,79	1,88	2,12	2,33	6,88	4,16
T6	76,57	16,23	2,18	2,44	2,56	6,59	4,05
T7	74,98	13,91	3,20	4,11	4,21	7,86	3,85

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$). Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3.

De acordo com Castro Filho, Nuzzili e Podanoshi (1998) quanto maior for o agregado, maiores serão os DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração. A classe de diâmetro dominante (retidos na peneira de malha 6-4 mm) para o Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, foi representada por cerca de 70% dos agregados, indicando que os agregados formados ficaram bastante estáveis em água e por volta de 85% dos agregados estão na classe de tamanho maior que 2 mm.

Em pesquisa realizada por Colodro et al. (2007) a adição de material orgânico no solo (lodo de esgoto) aumentou a atividade biológica e conseqüentemente melhorou a estrutura do solo. Esse comportamento foi verificado por Arruda (2012), que ao estudar o efeito de doses crescentes (10 - 20 t ha⁻¹) de composto de resíduo de celulose

aplicadas em Latossolo Vermelho, verificou que na cultura do eucalipto não houve interferência na estabilidade de agregados, porém, ao cultivar a espécie *M. fistulifera* foram verificadas diferenças significativas somente na camada de 0,00-0,05 m.

A estabilidade dos agregados do solo depende de muitos fatores, como a textura, mineralogia (óxidos e silicatos), teores e tipos de cátions e outros. Esses fatores são determinantes da espessura da dupla camada difusa, que é importante e fundamental fator que influencia a dispersão e floculação de partículas. Os cátions com alto grau de hidratação como o Na, segundo Meurer (2006), formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas; desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam e o sistema dispersa. Portanto, quando tem-se um elevado teor de Na no solo, supõe-se que sua estrutura é comprometida.

Os resultados encontrados no presente estudo permitem verificar, justamente o contrário, que a adição de resíduo celulósico não interfere na agregação do Latossolo de textura franco argilo arenosa embora contribua com o aumento de Na na solução e no solo, como no tratamento T3 (1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits). Dados que corroboram com resultados obtidos por Albuquerque et al. (2002) e Trigueiro (2006), que também verificaram ao analisar atributos físicos do solo que a estabilidade de agregados não foi influenciada com a aplicação de dregs/grits.

Comparando os valores de DMP antes e após aplicação de resíduo nesse trabalho, para os dois solos (Tabelas 4, 6 e 7), verificou-se que são similares, antes e após a incubação. Portanto, é possível afirmar que os tratamentos aplicados não promoveram agregação ou dispersão do solo, pois não foi verificada nenhuma influência nos percentuais das frações de tamanho maior.

Apesar de possuir sódio (Na) em sua constituição, o resíduo da extração de celulose também possui alto teor de cálcio e magnésio, assim as doses adicionadas não foram suficientes para afetar a estabilidade dos agregados. Os resultados encontrados nesse estudo podem ser associados ao efeito do cálcio, que pode favorecer a lixiviação do sódio das camadas mais superficiais para as camadas mais profundas, como verificado na análise de solução do solo realizada nessa pesquisa. Embora tenha aumentado o fornecimento de sódio, esse pode ser lixiviado rapidamente e a adição de cálcio e magnésio pode minimizar o efeito dispersante no solo.

Tabela 7 - Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da porcentagem (%) de distribuição de agregados para as classes de tamanho de agregados (6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1- 0,5 mm; 0,5-0,25 mm e <0,25 mm) e DMP (mm) do Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, Três Lagoas, MS, 2013.

	Classes de tamanho de agregados (mm)						DMP
	6-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	
F	2,59 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,93 ^{ns}	2,19 ^{ns}	3,19*	2,90 ^{ns}
CV (%)	25,08	21,35	33,18	29,15	29,07	22,52	15,36
	-----%-----						mm
T1	33,94	11,09	7,28	10,97	12,53	23,91a	2,30
T2	45,45	11,36	5,93	14,33	7,00	16,17ab	2,85
T3	50,68	13,08	4,85	9,01	8,37	14,00 b	3,11
T4	51,52	14,26	4,94	8,48	7,43	13,52 b	3,18
T5	33,38	15,66	7,76	12,35	10,45	18,65ab	2,42
T6	35,31	15,76	6,21	12,74	11,26	16,95ab	2,50
T7	34,56	15,59	7,68	14,45	10,59	16,98ab	2,48

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3.

4.1.2 Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e granulometria do solo

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados o teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e granulometria dos Latossolos Vermelhos em função dos tratamentos estudados. Dentre esses atributos, somente a textura do solo apresentou diferenças significativas para o teor de silte no Latossolo de textura franco arenosa . O tratamento T6 (1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6) apresentou maior valor de teor de silte em relação ao T7 (1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3).

A porosidade total é a soma da macro e microporosidade, portanto não se pode afirmar que altos valores de porosidade do solo, indicam que o solo está em condição adequada. Taboada-Castro et al. (2009) afirma que a perda de estrutura do solo implica numa diminuição da qualidade do solo e produtividade da cultura sobre esse solo. Por isso é importante conhecer a distribuição do tamanho de poros do solo para avaliar a qualidade da sua estrutura.

Tabela 8 - Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo dos Latossolos em função dos tratamentos, 2013.

Tratamentos	Macroporosidade -----m ³ m ⁻³ -----	Microporosidade -----m ³ m ⁻³ -----	Porosidade Total	Densidade do solo kg dm ⁻³
Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS				
T1	0,21	0,29	0,50	1,15
T2	0,17	0,31	0,48	1,18
T3	0,19	0,30	0,49	1,20
T4	0,17	0,29	0,47	1,20
T5	0,18	0,32	0,49	1,20
T6	0,17	0,33	0,50	1,19
T7	0,18	0,31	0,49	1,19
F	0,97 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,84 ^{ns}
CV(%)	12,41	6,44	3,03	2,37
Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, Três Lagoas, MS				
T1	0,12	0,28	0,41	1,44
T2	0,12	0,28	0,40	1,41
T3	0,14	0,25	0,39	1,45
T4	0,13	0,27	0,40	1,43
T5	0,14	0,27	0,41	1,42
T6	0,12	0,27	0,39	1,43
T7	0,14	0,26	0,39	1,44
F	0,41 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,47 ^{ns}	1,53 ^{ns}
CV(%)	21,93	8,61	2,04	1,47

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3.

Com os resultados obtidos nesse presente trabalho, não se verificou diferenças significativas quanto a porosidade do solo e densidade do solo para os tratamentos estudados. Esses dados corroboram com Rodrigues (2004), aplicando doses crescentes de até 100 t ha⁻¹ de composto de resíduo celulósico no solo sob o cultivo de *Pinus*, não

obteve diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis de densidade, porosidade total, macroporosidade, capacidade campo e água disponível, em nenhuma das profundidades até os primeiros 0,30 m.

Tabela 9 - Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da granulometria (argila, silte e areia total) dos Latossolos em função dos tratamentos, 2013.

Tratamentos	Argila	Silte	Areia Total
	----- g kg ⁻¹ -----		
Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS			
T1	329	81	589
T2	301	80	620
T3	305	88	607
T4	300	88	611
T5	299	87	614
T6	300	90	610
T7	288	91	621
F	1,57 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,63 ^{ns}
CV(%)	6,70	8,15	4,27
Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, Três Lagoas, MS			
T1	149	45 ab	805
T2	145	44 ab	811
T3	144	46 ab	805
T4	145	45 ab	810
T5	150	45 ab	804
T6	147	52 a	801
T7	149	40 b	811
F	2,31 ^{ns}	2,06 [*]	2,75 ^{ns}
CV(%)	2,19	10,68	0,60

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3.

Outra pesquisa realizada por Arruda (2012), em Latossolo Vermelho do cerrado, verificou resultados diferentes sob cultivo de eucalipto. O pesquisador observou aumento na macroporosidade na profundidade de 0,10 - 0,20 m quando utilizou composto de resíduo celulósico em relação ao uso de adubo mineral. Resultado obtido provavelmente pela influência da planta, manejo do solo e pela alta dosagem (10 - 20 t ha⁻¹) de composto nos tratamentos.

O solo ideal deve apresentar 1/3 de macroporosidade, considerando que o solo possui 50% de espaço poroso, isto corresponde a 0,17 m³ m⁻³, segundo Kiehl (1979). Para o Latossolo de textura franco argilo arenosa, nota-se que os valores ficaram iguais

ou acima do recomendado por esse autor em todos os tratamentos. Para o Latossolo de textura franco arenosa, os valores ficaram abaixo de $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Porém, não se apresentam menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor considerado crítico para um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas (GREENLAND, 1981).

4.1.3 Tensão da água no solo

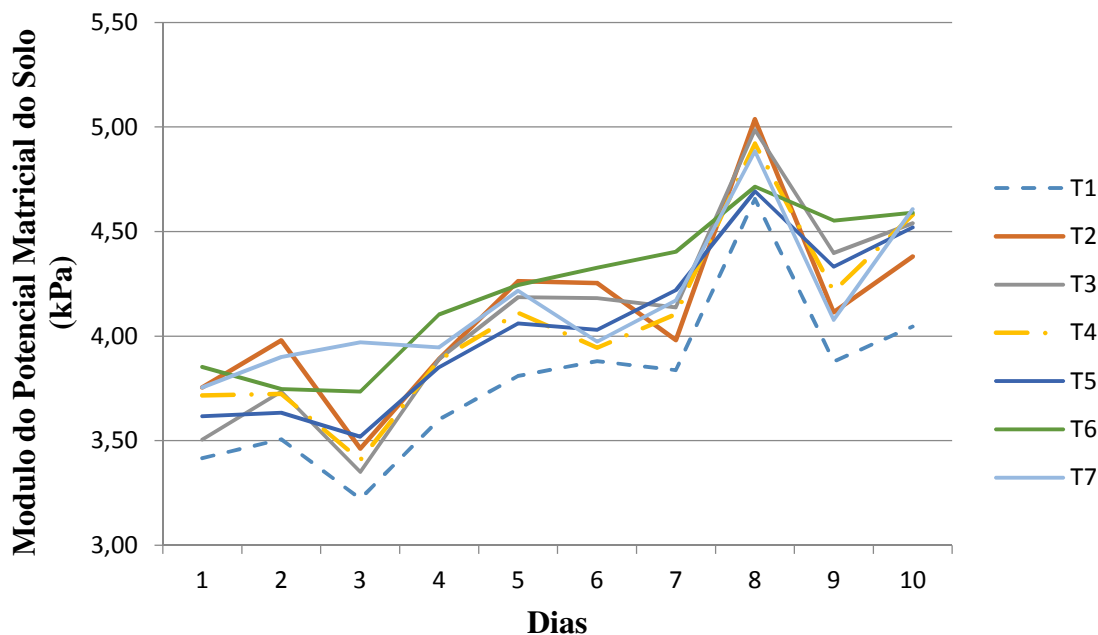
As médias dos valores da tensão da água nos solos obtidos nos 12 ciclos de umedecimento realizados durante o experimento, para o Latossolo de textura franco argilo arenosa e Latossolo de textura franco arenosa, estão apresentadas nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Analisando os dados obtidos, de modo geral, nos dois Latossolos, os valores de potencial matricial de água do solo permaneceram baixos, mostrando que o solo ficou úmido durante todo o período do experimento (120 dias).

Para o Latossolo de textura franco argilo arenosa todos os tratamentos apresentaram maiores valores do potencial matricial de água do solo comparados ao controle (Figura 12). Esse comportamento provavelmente está relacionado a melhor capacidade de drenagem do solo com a aplicação dos resíduos da extração de celulose, tendo em vista que o solo foi saturado. Essa melhoria na drenagem de um Latossolo após aplicação de efluentes da indústria de celulose também foi verificado por Almeida (2008).

Outro fato que corrobora com este comportamento foi os resultados de estabilidade de agregados (Tabela 6). Apesar de não ter ocorrido significância, nota-se que nos tratamentos T6 e T7 a porcentagem de agregados estáveis para a classe de 4-2 mm foi praticamente o dobro nestes tratamentos, comparada ao controle. Agregados maiores e mais estáveis significa melhor macroporosidade para o solo e conseqüentemente melhor movimento da água, melhor drenagem.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro et al. (2007) , que observaram que os valores de macroporosidade foram diretamente proporcionais aos de condutividade hidráulica do solo saturado, ou seja, a drenagem do solo aumentou com o incremento da macroporosidade, uma vez que esta constitui caminho preferencial ao fluxo de água no solo, sobretudo em resposta à força da gravidade (potencial gravitacional).

Figura 12 - Valores médios do potencial matricial de água do solo durante os 12 ciclos de umedecimento para o Latossolo Vermelho de textura franco argilo arenosa, 2013.



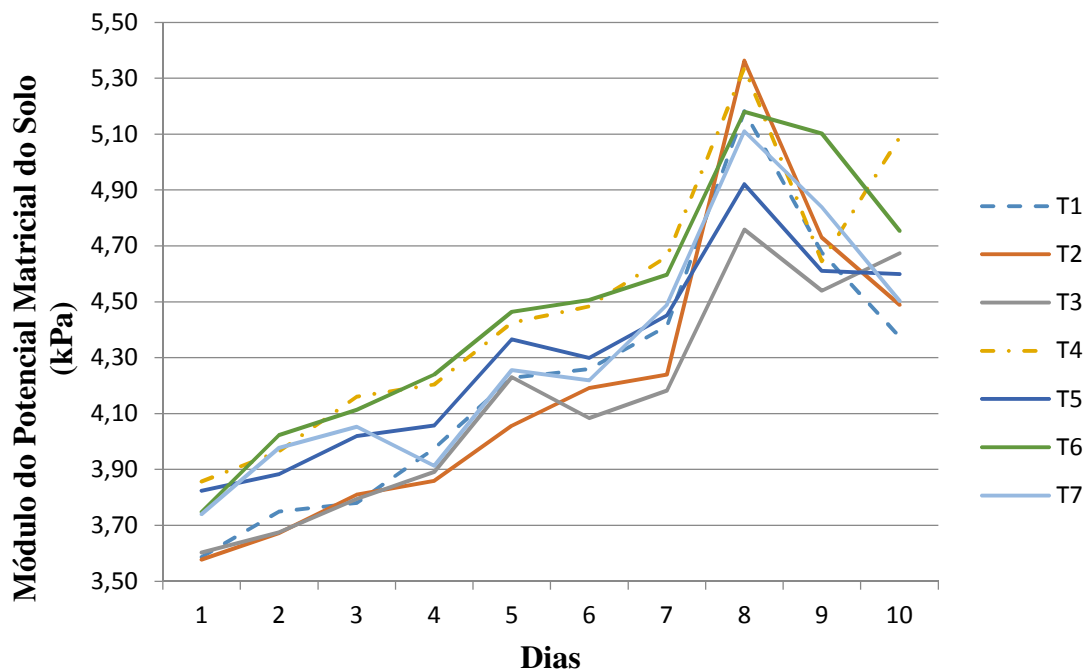
Fonte: Próprio autor

Legenda: T1 – sem adição de calcário e resíduo (controle); T2 – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T3 – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T4 – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T5 – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T6 – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T7 – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3.

Para o Latossolo de textura franco arenosa, as curvas, em geral, tiveram comportamentos semelhantes, com exceção dos 7 primeiros dias dos ciclos, onde os tratamentos, T4 (0,8 t ha⁻¹ de lama cal), T5 (2,4 t ha⁻¹ de cinza) e T6 (1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6) apresentaram valores mais altos em relação ao controle. Provavelmente devido ao comportamento promissor relacionado a estabilidade dos agregados nas classes de maior diâmetro (6-4 e 4-2 mm) (Tabela 7), melhorando a macroporosidade e drenagem do solo. O comportamento semelhante ocorreu devido a matriz do solo (textura franco arenosa). A tensão da água no solo é resultante da afinidade da água com a matriz do solo, por causa das forças de adsorção e capilaridade, oriundas das forças coesivas e adesivas, que se desenvolvem entre as três fases do solo (TEIXEIRA, 2011).

Nos dois Latossolos, entre os dias 8 e 10, os valores do potencial matricial de água do solo apresentaram uma redução brusca. Provavelmente, esses valores foram encontrados devido às chuvas fortes que ocorreram no período. Os dias que choveu entre 60 e 130 mm corresponderam às datas: 13 e 14/01/13; 02,03 e 23/02/13 e 25/03/13 (UNESP, 2013).

Figura 13 - Valores médios do potencial matricial de água do solo (kPa) durante os 12 ciclos de umedecimento para o Latossolo Vermelho de textura franco arenosa, 2013.



Fonte: Próprio autor

Legenda: T1 – sem adição de calcário e resíduo (controle); T2 – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T3 – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T4 – 0,8 t ha⁻¹ de lama cal; T5 – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T6 – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal + cinza na proporção 1:3:6; T7 – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama cal na proporção 1:3.

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO E DO SOLO

O teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa e textura franco arenosa, são apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Para o solo de textura franco argilo arenosa (Tabela 10) verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, somente para teores de MO e K. Para o solo de textura franco arenosa (Tabela 11) houve diferença significativa para os atributos MO, pH, Ca, Na e Al. Verificou-se que a composição química do solo após a incubação com resíduos da extração de celulose, em geral, foi alterada com aumento ou diminuição dos atributos em função dos tratamentos e tipos de solos.

Tabela 10 - Teste F, diferença mínima significativa (DMS) a 5% de probabilidade, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS.

Tratamento	P-resina mg dm ⁻³	MO g dm ³	pH CaCl ₂	K -----mmolc dm ⁻³ -----	Ca	Mg	Na	H+Al	Al	CTC	V %
T1	4	18 b	4,5	0,5 b	6	5	0,50	34	7	45,0	24
T2	4	18 b	4,5	0,4 c	7	4	0,48	33	8	44,4	25
T3	7	20 a	4,4	0,4 c	5	5	0,55	34	7	44,2	22
T4	5	19 ab	4,6	0,4 c	7	4	0,48	33	7	43,9	26
T5	6	19 ab	4,6	0,6 a	7	4	0,50	34	6	46,5	24
T6	6	18 b	4,6	0,5 b	8	5	0,48	34	6	46,3	28
T7	6	19 ab	4,7	0,5 b	8	5	0,53	32	6	45,8	29
F	1,21 ^{ns}	2,65*	1,87 ^{ns}	9,27*	1,21 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,55 ^{ns}
CV(%)	15	4	3	9	28	15	9	9	21	5	18
DMS (5%)	4,69	1,72	0,34	0,10	4,32	1,49	0,11	7,21	3,386	5,53	10,68

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$) para teores de P-resina.

Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama de cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinzas; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal + cinzas na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3.

Analisando os dados de MO (Tabelas 10 e 11) verificou-se maiores teores para o tratamento T3, em ambos os Latossolos. Esse resultado foi obtido, provavelmente, devido ao maior teor de MO que os dregs/grits apresentam na sua matéria seca quando comparados aos outros resíduos (Tabela 5). Além de um alto teor de C orgânico esse resíduo também possui alta relação C/N. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2007) que verificaram que a MO, proveniente do resíduo da indústria de papel e celulose, adicionada ao solo sob cultivo de feijão e milho, melhorou a estrutura do mesmo. E conseqüentemente, aumentou sua capacidade de retenção de água, formação de agregados estáveis e diminuiu a lixiviação de nutrientes minerais por fornecer cargas negativas ao solo. Entretanto, esse resíduo por ter relação C/N muito alta imobilizou o nitrogênio e dificultou a ação de microrganismos, causando assim deficiência nutricional deste nutriente às plantas de milho. Porém, os autores observaram aumento na produção de feijão e redução na do milho, com isso concluíram que o uso de resíduo de celulose em solos com plantas leguminosas seria uma boa alternativa, pois as raízes dessas plantas utilizam mecanismo da fixação biológica de nitrogênio, não dependendo somente do N fornecido pelo solo.

Quanto ao K (Tabela 10) todos os tratamentos apresentaram teores menores quando comparados ao teor de K determinado no solo antes do início do experimento, o que demonstra a capacidade de perda do íon por lixiviação. Isto pode ser confirmado

pela análise da solução do solo (Tabela 12), retiradas e analisadas em 4 épocas durante os 120 dias do experimento.

Tabela 11 - Teste F, diferença mínima significativa (DMS) a 5% de probabilidade, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS, 2013.

Tratamento	P-resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Na	H+Al	Al	CTC	V
	-----mmol _c dm ⁻³ -----										%
T1	3	13 ab	4,6 c	0,4	5 b	3	0,43 b	18	4 a	26,4	30
T2	3	13 ab	5,0 a	0,5	10 a	4	0,50 b	17	1 c	31,5	44
T3	3	14 a	4,7 bc	0,5	6 ab	4	0,63 a	20	3 a,b	30,1	34
T4	4	13 ab	4,9 ab	0,5	7 ab	4	0,50 b	18	2 bc	29,0	38,
T5	4	13 ab	4,5 c	0,5	7 ab	6	0,43 b	20	3 ab	33,1	38,
T6	3	13 ab	4,7 bc	0,6	6 ab	3	0,45 b	19	3 ab	28,3	35
T7	4	12 b	4,7 bc	0,5	6 ab	4	0,50 b	18	2 bc	27,8	35
F	1,77 ^{ns}	2,89*	6,98*	2,45 ^{ns}	2,86*	1,20 ^{ns}	7,05*	1,32 ^{ns}	3,49*	1,82 ^{ns}	1,69 ^{ns}
CV(%)	19	5	3	13	14	16	11	8	16	12	19
DMS (5%)	1,14	1,53	0,30	0,25	4,80	4,21	0,12	3,60	2,00	7,97	15,98

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$) para teores de Ca, Mg, Al e CTC.

Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama de cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinzas; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal + cinzas na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3.

No solo de textura franco argilo arenosa (Tabela 10), o tratamento que foi aplicado 2,4 t ha⁻¹ de cinzas apresentou maior concentração de K em relação aos tratamentos que foram aplicados os demais resíduos de celulose. Além da maior concentração de K com relação aos outros resíduos, as cinzas possuem a MO praticamente toda decomposta, assim o K é facilmente liberado às plantas, reduzindo sua perda por lixiviação. Esses dados corroboram com Maeda e Bognola (2013) que consideram as cinzas mais efetivas como fontes de K, sem prejuízos à estrutura do solo. Outro benefício das cinzas, citado por Nolasco, Guerrini e Bebedetti (2000), é sua utilização na fertilização de cobertura devido a sua composição química e à lenta solubilização dos macro e micronutrientes que podem favorecer o desenvolvimento das plantas.

Para o solo de textura franco arenosa (Tabela 11), o pH e o Al no tratamento T2, no qual se aplicou 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico apresentou-se maior e menor valor, respectivamente, comparado a todos os outros tratamentos, exceto aquele em que se utilizou 0,8 t ha⁻¹ de lama cal (para o pH).

Verificou-se na Tabela 11, que o teor de Ca no solo onde se aplicou $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário calcítico foi maior significativamente do que os outros tratamentos, provavelmente devido ao alto teor de Ca nesse tipo de calcário. Esses resultados corroboram com Balbinot Jr. et al. (2006), Maeda e Bognola (2013) em estudo conduzido para avaliar o efeito do lodo na reciclagem de papel e Cabral et al. (2008) com a aplicação de cinza de biomassa florestal para avaliação das características químicas do solo. Esses autores justificaram esse comportamento pela composição dos resíduos de celulose, como por exemplo, a lama de cal, que embora apresente em sua composição alto teor de Ca, o calcário calcítico (cerca de 40% de CaO) pode contribuir mais nesse aumento por ter concentração maior desse elemento. Outros pesquisadores como Medeiros et al. (2009) discordam dessa afirmação, pois utilizando doses mais altas de resíduos nos tratamentos, verificaram um aumento de Ca mais intenso pelo resíduo de celulose em relação ao calcário.

O resíduo da extração de celulose utilizado no estudo apresenta concentração elevada de Na em sua composição, sendo o dregs/grits com maior teor desse elemento. Embora o tratamento T3 ($1,2 \text{ t ha}^{-1}$ de dregs/grits) forneça MO ao solo ele pode também aumentar os teores de Na, como foi verificado no Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa, tanto na análise química do solo (Tabela 11) como na análise da composição da solução do solo (Tabela 12). Esse aumento de Na proveniente da aplicação de dregs/grits ao solo também foi verificado em pesquisa realizada por Branco et al. (2013) em um Cambissolo e Neossolo Quartzarênico.

Em solos ácidos, como os Latossolos estudados nessa pesquisa, Raij (2011) menciona que os teores de Na em solução podem variar entre $0,4$ a $2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e de acordo com McIntyre (1979) o valor ideal a partir da análise de solo deve estar abaixo de 5% da CTC. Com base no primeiro autor, o T3 não seria ideal para sua utilização, pois forneceu à solução do solo teores mais altos de Na do que o recomendado por Raij (2011).

Quando se adiciona ao solo alto teor de Na, seus atributos físicos, químicos e biológicos podem ser comprometidos dificultando o seu manejo. Souza, Villas Bôas e Quaggio (2012) ao avaliar fertilizantes salinos em área com citros observaram que o Ca e o Mg, que normalmente ficam mais retidos ao complexo de troca, permaneceram livres na solução do solo com a diminuição das cargas negativas ocupadas posteriormente por Na, e ficaram passíveis de serem lixiviados.

Outro atributo importante do solo que o Na pode prejudicar é a sua estabilidade dos agregados, a qual depende da textura, mineralogia (óxidos e silicatos), pH da matéria orgânica e principalmente dos teores e tipos de cátions presentes. A dupla camada difusa, que é importante e fundamental fator que influencia a dispersão e flocculação de partículas, é determinada por esses fatores. A concentração e tipo de eletrólitos (íons Na, K, etc.) altera sua espessura, assim esses cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas; desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam e o sistema dispersa (MEURER, 2006).

A substituição isomórfica (permanentes) ou por dissociação de radicais (variáveis) pela interação do cátion Na^{+2} com as cargas elétricas na superfície das partículas ocasiona a dispersão das partículas coloidais do solo. Essas variáveis, predominantes em Latossolos, dependem de propriedades químicas do solo como pH e concentração eletrolítica da solução do solo (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Quando há alta concentração de Na no solo a água de percolação promove a eluviação das partículas de argila dispersa e o rearranjo dessas partículas altera a matriz sólida do solo, pois os microagregados ficam dispersos (SPERA et al, 2008). Conseqüentemente pode ocorrer aumento nos valores de densidade do solo, pois a porosidade natural passa a ser obstruída pelas partículas de argila iluviadas. Para evitar estes problemas, a frequência e as doses aplicadas, principalmente do resíduo dregs/grits devem ser rigorosamente controladas.

Nas Tabelas 12 e 13 constam o teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os teores de K, Na, Ca e Mg ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e condutividade elétrica-CE ($\mu\text{s cm}^{-1}$) nas soluções extraídas dos Latossolos nos tratamentos e diferentes épocas de avaliação.

Na análise de fertilidade do solo o Mg não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, mas na composição da solução do solo houve diferenças significativas em ambos os Latossolos (Tabela 13). No Latossolo Vermelho, de textura franco argilo arenosa os valores mais altos foram para T5 e T6, porém, no Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa o tratamento T2 apresentou uma contribuição maior para o aumento desse elemento ao solo, embora tenha relação Ca/Mg alta. Porém, Costa et al. (2009) avaliando em laboratório os efeitos da aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em solos florestais nos atributos químicos de dois tipos de

solo (Neossolo e Cambissolo), verificaram, o aumento nos teores de Ca e Mg. Neste estudo, somente o Mg apresentou comportamento semelhante ao trabalho desenvolvido por esses pesquisadores.

Os teores de K na solução do solo diferiram significativamente entre os tratamentos somente quando foram coletadas soluções no período 100-120 dias (Tabela 12), para os dois solos estudados. O tratamento T5, no qual se aplicou 2,4 t ha⁻¹ de cinzas (solo de textura franco argilo arenosa) apresentou na sua solução maior teor de K entre tratamentos que se aplicou resíduo da extração e celulose, o que pode provocar um aumento da taxa de contaminação do lençol freático por esse elemento, quando da utilização desse resíduo.

Observou-se, também, que para o solo de textura franco argilo arenosa os teores de K na solução aumentaram da 1^a para o 4^a período de coleta. Para o solo de textura franco arenosa, esses teores diminuíram com o passar do tempo, para todos os tratamentos estudados. A maior quantidade de K determinada na 1^a coleta de solução, no solo de textura franco arenosa, afirma a baixa capacidade de retenção e consequentemente aumento de lixiviação do íon, para esse solo.

Para o Na (Tabela 12), os tratamentos diferiram entre si quando as soluções foram coletadas no período 100-120 dias, para o solo de textura franco argilo arenosa e nos períodos 40-60, 70-90 e 100-120 dias para o solo de textura franco arenosa. Realizando a saturação do solo a cada dez dias e observando essa diminuição brusca dos teores dos elementos na última avaliação da composição da solução do solo, é possível que os íons tenham sido lixiviados pelo excesso de água nas colunas ao longo das avaliações.

Com auxílio dos extratores de solução por cápsulas porosas, é possível monitorar a concentração de sais na solução do solo e manter a salinidade em nível desejado (DIAS; DUARTE; GUEYI, 2005). Partindo desse conceito, a CE também foi monitorada (Tabela 6). O Latossolo de textura franco arenosa, não apresentou resultados significativos. Entretanto, no Latossolo de textura franco argilo arenosa, os maiores valores, no geral, foram do tratamento T3, comportamento semelhante ao teor de Na nas análises realizadas.

Tabela 12 - Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para e os teores de K e Na ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e condutividade elétrica-CE ($\mu\text{s cm}^{-1}$) nas soluções extraídas dos Latossolos em função dos tratamentos e diferentes épocas de avaliação, 2013.

Tratamentos	K				Na				CE							
	----- $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ -----												$\mu\text{s cm}^{-1}$			
	Avaliações															
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a				
Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS																
T1	0,33AB	0 B	0 B	0,46aA	1,33A	1,33A	1,35A	0,86abB	396abA	268abB	220C	132 C				
T2	0,33 A	0 A	0 A	0,27bcA	1,33A	1,33A	1,35A	0,70bcB	413abA	293abB	282 C	128 C				
T3	0 A	0 A	0 A	0,30bcA	1,33 B	1,66A	1,35B	0,96aC	434 aA	339 aB	200 C	148 C				
T4	0 A	0 A	0 A	0,23cA	1,33A	1,33A	1,35A	0,63bcB	395abA	237abB	180 C	87 C				
T5	0 B	0 B	0 B	0,40abA	1,33A	1,33A	1,35A	0,76bcB	492aA	199 bB	206 B	104 B				
T6	0 A	0 A	0 A	0,30bcA	1,33A	1,33A	1,35A	0,80abcB	415abA	314abB	274 C	137 C				
T7	0 A	0 A	0 A	0,30bcA	1,33A	1,33A	1,35A	0,80abcB	275 bA	244abA	250 B	122 B				
F trat	0,78 ^{ns}	-	-	7,62*	-	1,00 ^{ns}	-	7,04*	3,50*	3,33*	1,85 ^{ns}	1,95				
CV %	24	0	0	18	0	18	0	10	22	19	26	24				
Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, Três Lagoas, MS																
T1	1,33A	1,33A	0,33B	0,76aB	2,32A	1,66bAB	1,66bAB	0,99bB	519 A	355AB	380 B	232 B				
T2	1,33A	1,33A	0,33B	0,83aAB	2,32A	1,66bAB	1,66bAB	1,33abB	693 A	293AB	386 B	233AB				
T3	1,33A	1,33A	0 C	0,73aB	2,32B	2,66aA	2,66aA	1,52abC	492 A	546AB	598 B	194 B				
T4	1,33A	1,33A	0 C	0,76aB	1,33A	1,33bA	1,33bA	1,19abA	397 A	270AB	288 B	201 B				
T5	1,66A	1,33A	0 C	0,70aB	1,33A	1,33bA	1,33bA	1,02bA	430A	286AB	282 B	165 B				
T6	1,33A	1,33A	0 C	0,70aB	1,99A	1,33bAB	1,33bAB	1,16bB	504 A	281C	318 B	151 C				
T7	0,99A	0,99A	0 B	0,43bB	1,33A	1,33bA	1,33bA	1,03bA	431 A	270AB	230 B	160 B				
F trat	1,23 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,78 ^{ns}	6,62 *	3,60 ^{ns}	7,10*	7,10*	5,34*	0,81 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,49 ^{ns}	3,03 ^{ns}				
CV %	26	20	24	14	28	23	23	14	19	16	13	20				

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$) para teores de K e CE.

Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama de cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinzas; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal + cinzas na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3.

1^a, 2^a, 3^a e 4^a - períodos de coletas de soluções 0-30, 40-60, 70-90 e 100-120 dias, respectivamente.

O entendimento da distribuição da água e soluto no solo é de suma importância para prevenir um desequilíbrio de nutrientes no mesmo, evitando, assim, possível contaminação no lençol freático e a desestruturação do solo, segundo Costa (2002). Avaliando as soluções extraídas observou-se que ao longo das quatro análises realizadas, os valores mais altos de concentração de íons foram na terceira avaliação e os mais baixos foram na quarta avaliação, em geral, para todos os elementos.

Entre as épocas de avaliação foi observado, em geral, maiores valores na terceira avaliação para Ca e Mg e na primeira avaliação para CE. O deslocamento do Ca²⁺ no perfil pode estar relacionado com a movimentação física de partículas finas do corretivo (AMARAL et al., 2004), bem como à formação de pares iônicos com ânions, que

carreiam este elemento no perfil, como já constatado em estudos envolvendo calagem superficial (KAMINSKI et al., 2005, MEDEIROS et al., 2009).

Com os dados obtidos nesse trabalho pode-se afirmar que, os resíduos provenientes da extração de celulose, em doses adequadas podem ser utilizados como fornecedores de nutrientes ao solo, tornando-se uma alternativa viável à agricultura. Dessa forma pode-se reduzir a quantidade de fertilizantes e melhorar o desenvolvimento das culturas, destinando adequadamente os resíduos industriais sem prejuízos ao solo, com exceção do resíduo dregs/grits, na quantidade que foi estudada.

Tabela 13 - Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios os teores de Ca e Mg ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) nas soluções extraídas dos Latossolos em funças dos tratamentos e diferentes épocas de avaliação, 2013.

tratamentos	Ca				Mg			
	----- $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ -----							
	Avaliações							
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Latossolo Vermelho, textura franco argilo arenosa, Selvíria, MS								
T1	3,89 A	1,24 B	5,44 A	0,75 B	0,54 abB	0,19 cC	1,92 aA	0,44 aBC
T2	4,08 B	1,86 C	8,02 A	1,01 C	0,57 aB	0,21 cC	1,96 aA	0,27 abBC
T3	3,47 AB	2,06 BC	4,54 A	1,04 C	0,58 aB	0,25 abcC	1,23 bA	0,30 abBC
T4	3,62 A	2,66 AB	4,08 A	0,75 B	0,54 abB	0,28 bcC	1,13 bA	0,16 bBC
T5	4,74 A	1,33 B	4,18 A	0,66 B	0,59 aB	0,23 bcC	1,39 abA	0,24 bC
T6	4,14 AB	2,41 BC	6,07 A	0,80 C	0,58 aB	0,54 aBC	1,71 abA	0,27 abC
T7	3,05 B	2,14 AB	6,07 A	0,84 C	0,41 bB	0,43 abB	1,63 abA	0,24 bB
F	1,07 ^{ns}	1,25 ^{ns}	2,69 ^{ns}	1,82 ^{ns}	3,71*	5,15*	6,44*	4,58*
CV(%)	11	15	13	25	12	29	16	28
Latossolo Vermelho, textura franco arenosa, Três Lagoas, MS								
T1	6,67 A	5,78 A	4,89 AB	0,60 B	0,57 C	1,11ab B	1,66 abA	0,55 aC
T2	6,91 A	6,76 A	6,61 A	0,55 B	0,59 C	1,51 aB	2,43 aA	0,52 abC
T3	4,26 A	4,22 A	4,18 A	0,30 A	0,57 BC	0,98 abAB	1,40 abA	0,39 abC
T4	4,79 A	4,07 A	3,36 A	0,39 A	0,57 BC	1,07 abAB	1,57 abA	0,53 abC
T5	7,39 A	5,52 A	3,66 AB	0,29 B	0,56 BC	1,00 abAB	1,44 abA	0,37 abC
T6	5,72 A	5,32 A	4,91 A	0,24 B	0,60 BC	1,11 abAB	1,63 abA	0,33 abC
T7	4,94 A	3,89 AB	2,84 AB	0,33 B	0,56 A	0,67 bA	0,78 bA	0,29 bA
F	0,44 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,09 ^{ns}	3,10 ^{ns}	0,26 ^{ns}	4,52*	4,34*	3,97*
CV(%)	24	20	22	9	9	22	30	25

Fonte: Próprio autor

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Dados transformados ($\sqrt{x+0,5}$) para teores de Ca.

Legenda: T₁ – sem adição de calcário e resíduo (controle); T₂ – 1,0 t ha⁻¹ de calcário calcítico; T₃ – 1,2 t ha⁻¹ de dregs/grits; T₄ – 0,8 t ha⁻¹ de lama de cal; T₅ – 2,4 t ha⁻¹ de cinza; T₆ – 1,8 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal + cinza na proporção 1:3:6; T₇ – 1,0 t ha⁻¹ de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3.

1^a, 2^a, 3^a e 4^a - períodos de coletas de soluções 0-30, 40-60, 70-90 e 100-120 dias, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

- a) os resíduos originados da extração de celulose afetaram a composição química dos dois solos e também da solução, apresentando maiores alterações nos teores de sódio (Na) e potássio (K) durante e após o período de incubação;
- b) o tratamento $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ de dregs/grits, embora contribua com o aumento de MO no solo, pode não ser considerado adequado para utilização no solo, dependendo da finalidade ou cultivo, pois forneceu maior quantidade de Na à solução do solo;
- c) a aplicação de $2,4 \text{ t ha}^{-1}$ de cinza pode ser utilizado como fonte de K;
- d) o tratamento $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ de lama de cal se destacou no incremento do pH do solo, principalmente do Latossolo Vermelho, textura franco arenosa;
- e) os tratamentos não afetaram os atributos físicos de ambos os Latossolos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR: 10004**: resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T.D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1065-1073, 2002.

ALMEIDA, I. C.C. **Atributos físicos do solo em reposta à adição de efluente tratado de indústria de celulose**. 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ALMEIDA, H. C.; SILVEIRA, C. B.; ERNANI, P. R.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1669-1672, 2007.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHIS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 359-367, 2004.

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*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

ANGERS, D. A.; MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M.R. (Ed.) **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis, 2000. p. 529-539.

ARRUDA, O. G. **Uso do resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 609-617, 2004.

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

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

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

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 USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994, p. 167-187.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Avaliação do setor de celulose e papel: desempenho do setor em 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em: 2 jan. 2014.

BRANCO, S. B. SILVEIRA, C. B.; CAMPOS, M. L.; GATIBONI, L. C.; MIQUELLUTI, D. J. Atributos químicos do solo e lixiviação de compostos fenólicos após adição de resíduo sólido alcalino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 543-550, 2013.

CABRAL, F.; RIBEIRO, H. M.; HILÁRIO, L.; MACHADO, L.; VASCONCELOS, E. Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 8294-8298, 2008.

CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com canade- açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, 2007.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. F. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um latossolo vermelho-escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 505-514, 1998.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função desistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 195-198, 2007.

COSTA, A. S. de V.; RUFINII, J. C. F.; SILVA, M. B.; GALVÃO, E. R.; RIBEIRO J. M. O. Efeito do resíduo de celulose e esterco no solo sobre o desenvolvimento do (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Ceres**, Piracicaba, v. 54, n. 314, p. 339-344, 2007.

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

COSTA, P. O. da S. **Avaliação em laboratório do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/BA**. 2002. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2002.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 25, n. 3, p. 615-621, 2005.

DIAS, N. da S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p.496-504, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSO, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia a fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudoeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 515-524, 1999.

FLORES, D. M. M.; FRIZZO, S. M. B.; FOELKEL, C. E. B. Tratamentos alternativos do efluente de uma indústria de celulose branqueada e papel. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 93-107, 1998.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. de C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 5, 2008 .

GREENLAND, D. J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v. 31, p. 301-322, 1981.

GRUTZMACHER, D. D.; GRUTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A.E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008.

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: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 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**: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), Piracicaba, n. 198, p. 1-20, 2003.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1999.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KISSINGER, M.; FIX, J.; REES, W. E. Wood and non-wood pulp production: comparative ecological foot printing on Canadian prairies. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 62, p. 552-558, 2007.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20 p.

LIBARDI, P. L. **Infiltração de água no solo**: uma generalização. 1973. 46 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.

LUNA, N. R. S.; ANDRADE, E. M. de; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agroambiente Online**, Roraima, v. 7, n. 1, p. 53-62, 2013. Disponível em: <www.agroambiente.ufr.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

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

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; COSTA, E. R. O.; BOGNOLA, I. **Aplicação de lodo celulósico em plantio de pinus**. Colombo: EMBRAPA, 2011. (Comunicado Técnico, n. 238)

MCINTYRE, D.S. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. **Australian Journal Soil Research**, Collingwood, v. 17, p. 115-120, 1979.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; BATISTELLA, F.; GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1657-1665, 2009.

MEDEIROS, J. C. **Resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na correção da acidez de um Cambissolo Húmico Álico**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285 p.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um latossolo vermelho escuro distrófico cultivado com alfafa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, 2005.

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

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 385-414.

PIOVESAN, R. P. **Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob adubação mineral e orgânica**. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PÖÖYKIÖ, R.; NURMESNIEMI, H.; KUOKKANEN, T.; PERÄMÄKI, P. Green liquor dregs as an alternative neutralizing agent at a pulp mill. **Environmental, Chem. Lett**, v. 4, p. 37-40, 2006.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K. Extração e análise de nitratos em solução de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, p. 130-132, 1977.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

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

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p.12-16, 2002.

SOUZA, T. R. **Dinâmica de nutrientes no perfil do solo em sistemas de adubação sólida e fertirrigação na citricultura**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Recursos Ambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2006.

SOUZA, T. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; QUAGGIO, J. A.. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 846-854, 2012.

SPERA, T. S.; DENARDIN, J. F.; ESCOSTEGUV, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com clacário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2613-2620, 2008. Número Especial.

TABOADA-CASTRO, M. M.; ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; TABOADACASTRO, T. Revegetation on a removed topsoil: effect on aggregate stability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, p. 77-786, 2009.

TEIXEIRA, J. R. **Utilização de resíduos sólidos alcalinos de indústria de celulose na correção da acidez do solo**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TEIXEIRA, R. P. **Efeito de tensões de água no solo em cultivo de morangueiro submetido a poda**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

TRIGUEIRO, R. M. **Efeito de dregs e grits nos atributos de um Neossolo Quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 85 f. Tese (Doutorado

em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Canal clima da Unesp de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP, 2013. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

VASCONCELOS, R. F. B. de; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S de.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 1, p. 309-316, 2010.

ZAMBRANO, M.; PARODI, V., GALLARDO F.; VIDAL, G. Characterization of dregs and grits from cellulose paste industry: study for its application to acid soils. **Afinidad**, Barcelona, v. 503, p.16-25, 2003.