

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO**

**Liliane Pereira Campos**

Engenheira Agrônoma

**2014**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO**

**Liliane Pereira Campos**

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

**2014**

C198a Campos, Liliâne Pereira  
Aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos atributos  
químicos e biológicos do solo / Liliâne Pereira Campos. --  
Jaboticabal, 2014  
xii, 88 p.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: José Eduardo Corá

Banca examinadora: Edson Luiz Mendes Coutinho, Carolina  
Fernandes, Aline Segnini, Paulino Ribeiro Villas Boas

Bibliografia

1. Atividade microbiana. 2. Biomassa carbonizada. 3.  
Disponibilidade de carbono. 4. Nutrientes do solo. 5. Poder tampão.  
6. Qualidade do solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:633.61


Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

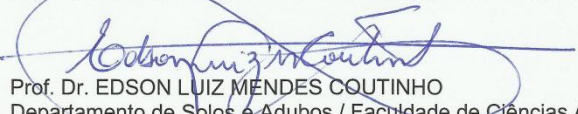
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

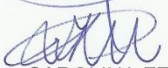
**TÍTULO:** APLICAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO

**AUTORA:** LILIANE PEREIRA CAMPOS  
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Profa. Dra. ALINE SEGNI  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / São Carlos/SP

  
Prof. Dr. PAULINO RIBEIRO VILLAS BOAS  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / São Carlos/SP

Data da realização: 17 de dezembro de 2014.

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

Liliane Pereira Campos - Nascida em 17 de outubro de 1979 na cidade de Corrente, PI, filha de Espedito Siqueira Campos (*in memorian*) e Jisélia Pereira Campos, tendo como irmãos Cristiane, Paulo e Josafá e como sobrinhos Lucas e Ana Laura, é Engenheira Agrônoma formada pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI) em 2002. Durante a graduação prestou serviços ao Banco do Nordeste do Brasil e por desempenho também foi agraciada como bolsista de nível superior pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). Em 2003 atuou como professora do Ensino Médio no Colégio Municipal Joaquim Alexandre (JASF) em Formosa do Rio Preto-BA. Em 2004 prestou serviço à Empresa Agropecuária de Planejamento Rural (AGROPLAN). No ano de 2005 prestou serviços a Secretaria de Educação e Cultura do Estado do Tocantins (SEDUC/TO) e iniciou a especialização em Solos e Nutrição de Plantas no Agronegócio pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), concluída em 2006. Em 2008 tornou-se professora de ensino superior da UESPI e da SEDUC/PI. Em 2009 ingressou no Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Agronomia com concentração em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí (UFPI), tornando-se estagiária de Pós-Graduação em Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Meio-Norte e obtendo o título de Mestre em 2010. Em 2011, iniciou o curso de Doutorado pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Jaboticabal, em que foi bolsista pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e estagiária da EMBRAPA Instrumentação (2013). Em 17 de dezembro de 2014 submeteu à banca a avaliação da tese de Doutorado e foi aprovada como Doutora em Agronomia (Produção Vegetal).

*“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”.*

**Guimarães Rosa**

*Em especial aos meus eternos amigos, melhores professores e incentivadores,  
**Maninho (in memorian) e Giza, que orgulhosamente chamo de Pai e Mãe.***

**Dedico**

*À minha família pelo amor, pelo exemplo e pelo entusiasmo.*

**Ofereço**

## AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pelo dom da vida, por fortalecer o meu espírito e alimentar a minha fé em todos os momentos.

A **minha família** pelo amor incondicional, apoio moral e financeiro para que este sonho se tornasse realidade.

A **Universidade Estadual Paulista (UNESP)**, a todo colegiado de **professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal)** por oportunizar o aprimoramento do meu conhecimento e formação.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** pelo apoio financeiro ao projeto (Processo nº 2011/10667-7) e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao **Dr. José Eduardo Corá** por sua orientação e sua contribuição para o meu crescimento pessoal, profissional e intelectual.

Aos professores **Dr. Newton La Scala Júnior** e **Dr. Everlon Cid Rigobelo** pela participação da banca do **Exame Geral de Qualificação**.

Aos pesquisadores Doutores **Paulino Ribeiro Villas Boas e Aline Segnini**, e aos professores Doutores **Edson Luiz Mendes Coutinho e Carolina Fernandes** pela participação na **banca de avaliação** da tese de doutorado e pelas sugestões de melhorias.

A **Usina Colombo** pelo fornecimento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e apoio logístico.

As **famílias Volante e Yamane** pela cessão das áreas experimentais e apoio humano e material para a condução do ensaio de campo.

A pesquisadora **Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori** pela parceria na realização das análises espectroscópicas, e a sua equipe (**Cleber, Camila, Renan, Marina, Ilcemara e Alice Raabe**) pelo auxílio no Laboratório de Óptica e Fotônica da **Embrapa Instrumentação** em São Carlos-SP.

Ao pesquisador **Dr. Wilson Tadeu Lopes da Silva** e a analista **Viviane Soares Farias** pela colaboração na análise e interpretação dos ácidos húmicos por Ressonância Magnética Nuclear.



Aos professores **Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho** e **Dr. Eli Nahas**, por ter cedido os laboratório para a realização de análises químicas e biológicas dos solos.

Ao **Instituto de Química da UNESP de Araraquara-SP** e a **Dra. Raquel Fernandes Pupo Nogueira** e sua orientada de mestrado **Laís Leite** pelo auxílio com as análises químicas dos lixiviados.

Aos **Dr. José Carlos Barbosa** pela boa vontade em dividir os seus conhecimentos estatísticos.

Ao **Tiago Fieno** e aos **funcionários do departamento de Solos e Adubos**, pela colaboração durante a realização deste trabalho.

Aos técnicos **Xeirinho** e **Assis**, pelo auxílio nas análises laboratoriais químicas e microbiológicas, respectivamente.

A funcionária da biblioteca **Tieko** pelo auxílio nas correções das referências.

Aos companheiros do **Grupo de Estudo em Manejo do Solo (GEMAS)**, **Marcos Sales, Júnior peruano, Darlene, Adolfo, Priscila Volante, Priscila Truber Danilo, Llerme, Getúlio, Márcio, Edson, Fernando, Filipe, Gabriel Faleiros e Aniele**, pela ótima convivência e momentos alegres compartilhados.

A todos os colegas do Doutorado, em especial **Flávia Brandão** pela amizade e por acompanhar diretamente o meu dia a dia e me apoiar incondicionalmente nesta caminhada.

As pessoas especiais que conheci em São Paulo: **Ricardo Vasconcelos, Elzane, Ronny, Thiago Ibiapina, Josie, Ana Carla, Iolanda, Dona Kátia, Saulo, Paula, João Fernandes, Teresa Pissarra, Anildo, Gabriel Damasceno, Allan Charles, Rose, Rafaela Nascimento, Edimar, Érika, Ariston, Lais Vinhal, Gabriel Júnior, Wallace, Lúcia, Laércio, Luiz Mancha e Claudão** meu carinho, minha gratidão.

Aos **amigos e professores do Piauí** pela torcida e por confiar em mim à grandeza de representar o nosso estado.

**Obrigada !!!**

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1. Valorização energética do bagaço de cana-de-açúcar.....	3
2.2. Cinzas geradas na combustão do bagaço de cana.....	4
2.3. Sustentabilidade e uso agrícola da cinza do bagaço de cana no solo.....	8
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	11
3.1. Caracterização da cinza (1ª etapa).....	11
3.2. Experimento de incubação (2ª etapa).....	13
3.3. Experimento de campo (3ª etapa).....	17
3.4. Experimento em colunas de solos (4ª etapa).....	23
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
4.1. Experimento de incubação.....	27
4.1.1. Evolução de CO <sub>2</sub> .....	27
4.1.2. Atributos químicos.....	30
4.1.3. Teores totais de carbono e nitrogênio - solos incubação.....	35
4.1.4. Grau de humificação da matéria orgânica (H <sub>FIL</sub> ) – solos incubação....	36
4.2. Experimento de campo.....	38
4.2.1. Atributos químicos dos solos amostrados em 2012.....	38
4.2.2. Atributos químicos dos solos amostrados em 2013.....	43
4.2.3. Atributos biológicos dos solos amostrados em 2012.....	46
4.2.4. Atributos biológicos dos solos amostrados em 2013.....	49
4.2.5. Teores totais de carbono e nitrogênio – solos campo.....	52
4.2.6 Grau de humificação da matéria orgânica (H <sub>FIL</sub> ) – solos campo.....	55

4.2.7 Ácido Húmico por Ressonância Magnética Nuclear - <sup>13</sup> C RMN.....	59
4.3. Experimento em colunas de solos.....	62
4.3.1. Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica dos lixiviados.....	62
4.3.2. Teores totais de carbono e nitrato dos lixiviados.....	64
4.3.3. Teores totais de carbono e nitrogênio – solos colunas.....	67
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>70</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>84</b>

## APLICAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO

**RESUMO** - O potencial brasileiro na produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar sinaliza para uma preocupação ambiental: a grande produção de resíduos. As indústrias paulistas, especialmente na área de produção de etanol e açúcar, são as maiores geradoras de resíduo da cinza de bagaço de cana-de-açúcar. De composição variada, rica em macro e micro nutrientes e de alguns metais tóxicos em menor concentração, o resíduo da biomassa carbonizada vem sendo aplicado ao solo, sem nenhum critério científico e amparado por lei ambiental. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos atributos químicos do solo; nos atributos biológicos do solo; no grau de humificação da matéria orgânica do solo; e no potencial de lixiviação de carbono (C) e nitrato do solo. Para isto, o estudo constou de quatro etapas: 1) caracterização da cinza; 2) experimento de incubação, com a aplicação das doses de cinza equivalentes a 0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha<sup>-1</sup> em Latossolos de diferentes texturas; 3) experimento de campo, com aplicação das doses de cinza equivalentes a 0, 5, 10, 20 e 40 t ha<sup>-1</sup> sem e com incorporação em Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de citros, sendo o solo avaliado em três períodos: úmido e seco no ano agrícola 2012/2013 e intermediário no ano agrícola de 2013/2014; 4) experimento em colunas com a aplicação das doses de cinza equivalentes a 0, 10, 20, 40 e 80 t ha<sup>-1</sup> em Latossolos de diferentes texturas com estrutura preservada. Os delineamentos utilizados foram: blocos casualizados para o experimento de campo e inteiramente casualizados para os experimentos de incubação e em colunas de solo com estrutura preservada. Nos experimentos de incubação e campo foram avaliados os atributos químicos, biológicos, teores totais de C, nitrogênio (N) e o grau de humificação da matéria orgânica, além dos grupos funcionais da fração ácido húmico no experimento de campo para as amostras das parcelas testemunha e naquelas que receberam a maior dose de cinza (40 t ha<sup>-1</sup>); no experimento em colunas de solo, foram avaliados o pH, a condutividade elétrica e os teores totais de C e nitrato nos lixiviados dos solos, além dos teores totais de C e N dos Latossolos de diferentes texturas. As doses de cinza proporcionaram aumento linear nos valores de pH, C orgânico, P, K, Ca e Mg e redução da acidez potencial, sendo este efeito condicionado ao poder tampão de cada solo. A elevação do pH do solo a partir da aplicação da cinza aumentou a atividade microbiana e favoreceu a disponibilidade do C já existente em cada solo. A maior disponibilidade de C orgânico no Latossolo de textura argilosa foi obtida com a aplicação de 29 t ha<sup>-1</sup> de cinza. A movimentação de C e N proporcionada pela cinza não modificou os grupos estruturais da fração ácido húmico do solo, porém nos solos com menores teores de argila houve uma maior movimentação de nitrato devido à ausência de cobertura vegetal. A aplicação de até 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA afeta positivamente os atributos químicos e a atividade biológica dos microrganismos dos solos, sendo a cinza capaz de fornecer nutrientes, adicionar e disponibilizar C, independentemente da textura do solo. O C fornecido pela cinza diminui a humificação da matéria orgânica. A aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar incorporada e não incorporada em Argissolos demonstrou que a cinza

possui baixo poder residual e seu efeito persistiu no solo por pouco tempo, não prejudicando a qualidade do solo.

**Palavras-chave:** atividade microbiana, biomassa carbonizada, disponibilidade de carbono, nutrientes do solo, poder tampão, qualidade do solo

## SUGAR CANE BAGASSE ASH APPLICATION IN CHEMICAL AND ORGANIC ATTRIBUTES OF THE SOIL

**ABSTRACT** - Brazilian potential in the electricity production from the burning of sugar cane bagasse signals to an environmental concern: the large production of residue. The São Paulo industries, especially in areas of ethanol and sugar production, are the largest generators of sugar cane bagasse ash residue. From varied composition, rich in macro and micro nutrients and some toxic metals in a lower concentration, the residue of carbonized biomass has been applied to the soil without any scientific criteria and supported by environmental law. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effect of application of sugar cane bagasse ash rates in soil chemical attributes; in soil biological attributes; in humification degree of soil organic matter; and in the carbon (C) and nitrate leaching potential of the soil. For this, the study consisted of four steps: 1) characterization of the ash; 2) incubation experiment with the application of rates of ash equivalent to 0, 5, 10, 20, 40 and 80 ton ha<sup>-1</sup> in Oxisols of different textures; 3) field experiment with the application of rates of ash equivalent to 0, 5, 10, 20 and 40 ton ha<sup>-1</sup> with and without incorporation into Alfisol under citrus cultivation, being the soil evaluated in three periods: humid and dry in the agricultural year of 2012/2013 and intermediate in the agricultural year of 2013/2014; 4) experiment in columns with the application of rates of ash equivalent to 0, 10, 20, 40 and 80 ton ha<sup>-1</sup> in Oxisols of different textures with preserved structure. The designs were: randomized blocks for field experiment and a completely randomized for incubation experiments and in soil columns with preserved structure. In incubation and field experiments were evaluated chemical and biological attributes, total contents of C, nitrogen (N) and the humification degree of organic matter, in addition to functional groups of humic acid fraction in the field experiment for the samples of the control plots, and in those that received the highest rates of ash (40 ton ha<sup>-1</sup>); in the experiment in soil columns were evaluated pH, electrical conductivity and the total content of C and nitrate in the leaching of the soils, in addition to the total content of C and N of Oxisols of different textures. The rates of ash provided linear increase in pH, organic C, P, K, Ca and Mg and reduction of potential acidity, and this effect was conditioned to the buffering capacity of each soil. The increase of the soil pH as from the ash application increased microbial activity and favored the availability of C existing in each soil. The greater availability of organic C in the clayey Oxisol was obtained with the application of 29 ton ha<sup>-1</sup> of ash. The movement of C and N provided by the ash did not change the structural groups of humic acid fraction of soil, but in soils with lower clay there was a greater movement of nitrate due to lack of vegetation cover. The application of up to 80 ton ha<sup>-1</sup> of sugar cane bagasse ash positively affects the chemical attributes and biological activity of soil microorganisms, being the ash able to provide nutrients, add and make available C, regardless of soil texture. The C provided by ash decreases the humification of organic matter. The application of sugar cane bagasse ash incorporated and not incorporated in Alfisol showed that the ash has low residual power and its effect persisted in the soil for a short time and does not impair the soil quality.

**Keywords:** microbial activity, carbonized biomass, carbon availability, soil nutrients, buffering capacity, soil quality

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABNT NBR</b> - Associação Brasileira de Normas Técnicas	<b>L1</b> - Latossolo Vermelho eutrófico
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> - Óxido de Alumínio	<b>L2</b> - Latossolo Vermelho distrófico
<b>ALESP</b> - Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo	<b>L3</b> - Latossolo Vermelho-Amarelo
<b>As</b> - Arsênio	<b>LAMIR</b> - Laboratório de Minerais da Universidade Federal do Paraná
<b>B</b> - Boro	<b>Mg</b> - Magnésio
<b>BaCl</b> - Cloreto de Bário	<b>mg/Nm<sup>3</sup></b> - miligrama por normal metro cúbico
<b>C</b> - Carbono	<b>MgO</b> - Óxido de Magnésio
<b>Ca</b> - Cálcio	<b>MHz</b> - mega-hertz
<b>CaCl<sub>2</sub></b> - Cloreto de Cálcio	<b>mL</b> - mililitro
<b>CaO</b> - Óxido de Cálcio	<b>mmol<sub>c</sub></b> - milimol de carga
<b>CBCA</b> - cinza de bagaço de cana-de-açúcar	<b>Mn</b> - Manganês
<b>CBM</b> - carbono da biomassa microbiana	<b>MnO</b> - Óxido de Manganês
<b>C-CO<sub>2</sub></b> - taxa de mineralização de carbono	<b>Mo</b> - Molibidênio
<b>CE</b> - condutividade elétrica	<b>MP</b> - material particulado
<b>CETESB</b> - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental	<b>MW</b> - megawatt
<b>C<sub>I</sub></b> - carbono irradiado	<b>N</b> - Nitrogênio
<b>C<sub>NI</sub></b> - carbono não irradiado	<b>Na<sub>2</sub>O</b> - Óxido de Sódio
<b>Cl</b> - Cloro	<b>NaOH</b> - Hidróxido de Sódio
<b>cm<sup>-3</sup></b> - centímetro cúbico	<b>Ni</b> - Níquel
<b>Co</b> - Cobalto	<b>NOx</b> - monóxido e dióxido de nitrogênio
<b>CO<sub>2</sub></b> - dióxido de carbono	<b>NT</b> - nitrogênio total
<b>CONAB</b> - Companhia Nacional de Abastecimento	<b>P</b> - Fósforo
<b>CONAMA</b> - Conselho Nacional do Meio Ambiente	<b>P.F.</b> - perda ao fogo
<b>COT</b> - carbono orgânico total	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> - Óxido de Fósforo
<b>Cr</b> - Cromo	<b>pH</b> - potencial hidrogeniônico
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> - Óxido de Cromo	<b>ppm</b> - partes por milhão
<b>CT</b> - carbono total	<b>PVC</b> - policloreto de vinila
<b>Cu</b> - Cobre	<b>q-CO<sub>2</sub></b> - quociente metabólico
<b>DBC</b> - Delineamento em Blocos Casualizados	<b>q-MIC</b> - quociente microbiano
<b>DIC</b> - Delineamento Inteiramente Casualizado	<b>RB</b> - respiração basal
<b>dm<sup>-3</sup></b> - decímetro cúbico	<b>RMN</b> - Ressonância Magnética Nuclear
<b>Ds</b> - densidade do solo	<b>S</b> - Enxofre
<b>Est COT</b> - estoque de carbono	<b>SB</b> - soma de bases
<b>Est NT</b> - estoque de nitrogênio	<b>SiO<sub>2</sub></b> - Óxido de Silício
<b>FAH</b> - fração ácido húmico	<b>SO<sub>3</sub></b> - Óxido de Enxofre
<b>Fe</b> - Ferro	<b>SrO</b> - Óxido de Estrôncio
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> - Óxido de Ferro	<b>t</b> - tonelada
<b>g</b> - grama	<b>T</b> - Tesla
<b>H</b> - Hidrogênio	<b>(T)</b> - capacidade do solo de reter cátions a pH 7,0
<b>H+Al</b> - acidez potencial	<b>TFSA</b> - terra fina seca ao ar
<b>ha<sup>-1</sup></b> - hectare	<b>TiO<sub>2</sub></b> - Óxido de Titânio
<b>HCl</b> - ácido clorídrico	<b>UFPR</b> - Universidade Federal do Paraná
<b>H<sub>FIL</sub></b> - grau de humificação da matéria orgânica	<b>UNICA</b> - União da Agroindústria Canaveira de São Paulo
<b>HMB</b> - hexametilbenzeno	<b>US.EPA</b> - United States Environmental Protection
<b>IHSS</b> - Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas	<b>V %</b> - porcentagem de saturação por bases
<b>IPEA</b> - Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada	<b>Zn</b> - Zinco
<b>K</b> - Potássio	<b>ZrO<sub>2</sub></b> - Óxido de Zircônio
<b>K<sub>2</sub>O</b> - Óxido de Potássio	<b>%</b> - por cento
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> - Sulfato de Potássio	<b>µm</b> - micrômetro
<b>kg</b> - quilograma	<b>° C</b> - grau Celsius

**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1. Demanda de bagaço de cana-de-açúcar	3
Tabela 2. Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar	6
Tabela 3. Uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar na indústria	8
Tabela 4. Uso agrícola da cinza do bagaço de cana-de-açúcar no solo	10
Tabela 5. Caracterização por fluorescência de raio-X da cinza de bagaço de cana-de-açúcar realizado pelo Laboratório de Minerais (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná (UFPR)	12
Tabela 6. Regiões espectrais em ppm e percentuais de alifaticidade e aromaticidade da cinza de bagaço de cana-de-açúcar obtidos por Ressonância Magnética Nuclear (RMN <sup>13</sup> C)	13
Tabela 7. Densidade, porosidade e características granulométricas dos Latossolos (experimento de incubação) da região de Jaboticabal, SP	14
Tabela 8. Propriedades químicas dos Latossolos do experimento de incubação	14
Tabela 9. Características granulométricas dos Argissolos Vermelhos, localizados nos municípios de Taquaral-SP e Taquaritinga-SP	17
Tabela 10. Características granulométricas dos Latossolos das colunas determinadas pelo método da pipeta	24
Tabela 11. Resultados da análise de variância (Teste F) dos atributos químicos dos Latossolos de diferentes texturas incubados com cinza de bagaço de cana-de-açúcar	30
Tabela 12. Valores médios de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT) em Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	36
Tabela 13. Resultados da análise de variância (Teste F) do grau de humificação (H <sub>FIL</sub> ) das amostras de Latossolos de diferentes texturas sob a aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	37



Tabela 14.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2012 para área 1 (cinza não incorporada)	39
Tabela 15.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2012 para área 2 (cinza incorporada)	40
Tabela 16.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2013 para área 1 (cinza não incorporada)	44
Tabela 17.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2013 para área 2 (cinza incorporada)	44
Tabela 18.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2012 para área 1 (cinza não incorporada)	46
Tabela 19.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2012 para área 2 (cinza incorporada)	47
Tabela 20.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2013 para área 1 (cinza não incorporada)	50
Tabela 21.	Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2013 para área 2 (cinza incorporada)	50
Tabela 22.	Valores médios de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo da área 1 (cinza não incorporada), coletado em 2012	52
Tabela 23.	Valores médios de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo da área 2 (cinza incorporada), coletado em 2012	53
Tabela 24.	Valores médios totais de carbono (CT), nitrogênio (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo das áreas 1 e 2, ambos coletados na camada de 0-0,05 m em 2013	54
Tabela 25.	Valores médios totais de carbono (CT), nitrogênio (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) dos solos coletados em 2013 após aplicação de 40 t ha <sup>-1</sup> de cinza, até a profundidade de 1,00 m	55

Tabela 26.	Resultados da análise de variância (Teste F) do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) das amostras de solo amostrado em 2012 para as áreas 1 (cinza não incorporada) e 2 (cinza incorporada)	56
Tabela 27.	Resultados da análise de variância (Teste F) do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) das amostras do solo amostrado em 2013 na camada de 0-0,05 m para as áreas 1 (cinza não incorporada) e 2 (cinza incorporada)	59
Tabela 28.	Grupos funcionais no estado sólido dos ácidos húmicos dos Argissolos amostrados em 2012 (período chuvoso) determinado por Ressonância Magnética Nuclear (RMN $^{13}C$ )	61
Tabela 29.	Valores médios de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) em Latossolos (experimento em colunas) de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	67

**LISTA DE FIGURAS**

	Página
Figura 1. Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar produzidas em grelha	5
Figura 2. Encapsulamento de 100 mg de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em rotor de zircônia, acoplamento em sonda de sólido e leitura em espectrômetro.	12
Figura 3. Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e incubados na presença de NaOH 0,5 mol L <sup>-1</sup> sob condições controladas de luminosidade, umidade e temperatura	15
Figura 4. Emissão de Fluorescência Induzida a Laser numa amostra de solo adicionado de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	16
Figura 5. Aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (dose 40 t ha <sup>-1</sup> ) sem incorporação na área 1, no município de Taquaral-SP	18
Figura 6. Aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (dose 40 t ha <sup>-1</sup> ) com incorporação por meio de gradagem na área 2 e posteriormente plantio das mudas de citros, no município de Taquaritinga-SP	18
Figura 7. Argissolo adicionado de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e incubado na presença de hidróxido de sódio 0,25 mol L <sup>-1</sup> sob condições controladas de luminosidade, umidade e temperatura	21
Figura 8. Esquema simplificado da extração e purificação das substâncias húmicas adotado para solos brasileiros	22
Figura 9. Solubilização, centrifugação e purificação da fração ácido húmico (FAH) em amostras de solo com e sem adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	22
Figura 10. Colunas contendo Latossolos com estrutura preservada adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	25
Figura 11. Etapas do fracionamento dos Latossolos das colunas: abertura; nivelamento; posicionamento; separação em camadas de 0,10 m; corte e secagem	26

Figura 12.	Taxa acumulada de mineralização de carbono (C-CO <sub>2</sub> ) dos Latossolos de diferentes texturas incubados com cinza de bagaço de cana-de-açúcar; L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo	28
Figura 13.	Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao valor de pH	31
Figura 14.	Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de C orgânico	32
Figura 15.	Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de P	32
Figura 16.	Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de K	33
Figura 17.	Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de H+Al	34
Figura 18.	Efeito das doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar sobre os teores de Ca e Mg dos Latossolos	35
Figura 19.	Espectros de fluorescência induzido por laser e valores do grau de humificação (H <sub>FIL</sub> ) obtidos nas amostras dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar; L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo	38
Figura 20.	Teores médios de potássio no solo após aplicação de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar não incorporada (área 1) e incorporada (área 2)	40
Figura 21.	Espectros de fluorescência induzida por laser obtidos para as amostras do solo da área 1 (cinza não incorporada) e do solo da área 2 (cinza incorporada), ambos coletados nas épocas chuvosa e seca de 2012	57
Figura 22.	Valores do grau de humificação (H <sub>FIL</sub> ) para doses e camadas e doses e épocas, das amostras da área 1, coletadas em 2012	58
Figura 23.	Valores do grau de humificação (H <sub>FIL</sub> ) para doses e camadas e doses e épocas, das amostras da área 2, coletadas em 2012	58
Figura 24.	Espectros de Ressonância Magnética Nuclear RMN <sup>13</sup> C da fração ácido húmico do solo da área 1 (cinza não incorporada); Testemunha e dose 40 t ha <sup>-1</sup>	60

Figura 25.	Espectros de Ressonância Magnética Nuclear RMN $^{13}\text{C}$ da fração ácido húmico do solo da área 2 (cinza incorporada); Testemunha e dose $40 \text{ t ha}^{-1}$	60
Figura 26.	Distribuição dos valores totais do potencial hidrogeniônico (pH em $\text{H}_2\text{O}$ ) entre doses e entre solos dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	63
Figura 27.	Distribuição dos valores da condutividade elétrica (CE) entre doses e entre solos dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	63
Figura 28.	Distribuição dos teores totais de carbono (C) dissolvido entre doses e entre solos dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	65
Figura 29.	Distribuição dos teores totais de nitrato entre doses e entre solos dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar	65
Figura 30.	Efeito das doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar sobre os valores de carbono (C) total e relação carbono/nitrogênio (C/N) dos Latossolos de diferentes texturas (experimento em colunas)	68
Figura 31.	Efeito da dose $80 \text{ t ha}^{-1}$ de cinza de bagaço de cana-de-açúcar sobre os valores de carbono (C) no perfil dos Latossolos de diferentes texturas (experimento em colunas)	69

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de fontes de energias renováveis em substituição aos combustíveis fósseis vem impulsionando a produção de álcool combustível (etanol) a partir da cana-de-açúcar. Atualmente, o Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo com 9.130,1 mil hectares em área cultivada, e tem no estado de São Paulo um complexo agroindustrial responsável por 51,7% da cana cultivada no País, sendo que 56,4% dessa produção é destinada a fabricação de etanol (CONAB, 2014; UNICA, 2014).

As indústrias paulistas da área de produção de etanol e açúcar têm como resíduo a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), gerado em caldeiras durante a queima do bagaço para a produção de energia (BRUNELLI; PISANI Jr., 2006). Estima-se que para cada tonelada de cana processada, são gerados em média 250 quilos de bagaço (SOUZA et al., 2011) que ao serem incinerados produzem 25 kg de cinza, ou seja, um rendimento por volta de 10% (PAULA et al., 2009).

Devido à grande importância no setor sucroenergético em produzir de forma sustentável dentro dos parâmetros calcados no protocolo de Kyoto, visando uma produção de energia limpa, a queima do bagaço de cana-de-açúcar pode representar uma ameaça ambiental. Isto porque apesar da compensação na mitigação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), causador de efeito estufa por novos plantios de biomassa energética, há produção de resíduos no processo de combustão do bagaço da cana (BRUNELLI; PISANI Jr., 2006; ESPÍRITO SANTO; ALMEIDA, 2007).

Segundo informações da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), na safra 2014/2015 serão processadas cerca de 580 milhões de toneladas de cana na região Centro-Sul. Considerando as inferências feitas por Souza et al. (2011) e Paula et al. (2009), esta produção de cana poderá gerar cerca de 145 milhões de toneladas de bagaço e 14,5 milhões de toneladas de CBCA, caso venha a ser incinerada para produção de energia. Neste sentido, a produção contínua de CBCA, pela indústria sucroenergética do estado de São Paulo, leva a necessidade

de avaliação de soluções viáveis para o destino final desse resíduo produzido em grande escala.

De acordo Brunelli e Pisani Jr. (2006), o destino corrente de CBCA tem sido a aplicação no solo em áreas sob plantio de cana-de-açúcar sem nenhum critério agrônômico. Também tem sido avaliado o uso de CBCA em pequenas proporções, misturado a compostos orgânicos como adição mineral (LIMA et al., 2009; FERREIRA et al., 2009).

A normatização do uso de resíduos sólidos é formulada com base nas alterações dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tanto em regiões de clima temperado como em regiões de clima quente (THE FERTILIZER INSTITUTE, 2000; CONAMA, 2006). No Brasil, o uso e aproveitamento na agricultura de resíduos da indústria estão calcados na ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos Classificação, de 30.11.2004. Entretanto, até o momento, não há normatização no estado de São Paulo que regulamente a aplicação de CBCA em solo agrícola.

Rica em elementos minerais variados além de alguns metais em diferentes concentrações, o uso indiscriminado de CBCA pode afetar negativamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, assim como provocar a contaminação dos cursos d'água por lixiviação (PITA, 2009). Substâncias presentes em cinzas oriundas de usinas termoelétricas quando aplicadas no solo, mesmo em pequenas doses, podem aumentar ou diminuir a decomposição da matéria orgânica pela microbiota do solo, devido à presença de metais e o fornecimento de nutrientes aos microrganismos (PANDEY; SINGH, 2010; NAYAK et al., 2014).

Sabendo da essencialidade dos componentes biológicos por regular as transformações e acúmulo de nutrientes, bem como da manutenção da matéria orgânica do solo para o ciclo do carbono (C) na terra, o presente trabalho tem como hipótese que a aplicação de doses crescentes de CBCA no solo afeta os atributos químicos e biológicos do solo aumentando o potencial de lixiviação do C e do nitrogênio (N).

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de CBCA nos atributos químicos do solo; nos atributos biológicos do solo; no grau de humificação da matéria orgânica do solo; na fração ácido húmico do solo; e no potencial de lixiviação de C e nitrato do solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Valorização energética do bagaço de cana-de-açúcar

A bioeletricidade produzida a partir da combustão do bagaço de cana-de-açúcar consolidou o terceiro produto das indústrias sucroenergéticas do Brasil, tendo grande importância na redução do consumo por combustíveis de fontes não renováveis. A eletricidade gerada a partir da queima do bagaço tornou as usinas autossuficientes em energia térmica, mecânica e elétrica, cujos excedentes podem ser comercializados (IPEA, 2010).

A previsão do governo brasileiro é que dos 5.915 MW de energia elétrica gerados por 393 usinas em 2009 por meio da combustão do bagaço (CONAB, 2011) venha a aumentar em 78,5 % com o processamento de cerca de 204 milhões de toneladas até 2022 e assim atender a demanda por combustíveis líquidos pelos mercados nacional e internacional (Tabela 1).

**Tabela 1.** Demanda de bagaço de cana-de-açúcar (adaptado de BRASIL, 2013).

Ano	Setor industrial <sup>(1)</sup>	Setor energético <sup>(2)</sup>
	mil toneladas	
2013	82.723	58.155
2017	89.991	87.097
2022	100.129	103.806

<sup>(1)</sup>principal consumo na produção de açúcar; <sup>(2)</sup>o maior consumo é na produção de etanol.

Obtido por meio da moagem dos colmos da cana-de-açúcar, o bagaço é considerado um dos subprodutos da indústria para fabricação de açúcar e etanol, sendo um material heterogêneo constituído por celulose, hemicelulose e lignina, que são os responsáveis pelo seu elevado conteúdo energético (KHUONG et al., 2014). Junto com a palha, o bagaço contém 2/3 do conteúdo energético da cana-de-açúcar, o que faz com que a geração de energia a partir da combustão desses subprodutos, exceda em duas vezes a energia necessária para produção de álcool (CONAB, 2011).

Apesar de sua importância econômica como matriz energética, a estocagem do bagaço de cana não possui nenhuma técnica ou planejamento, sendo depositado aleatoriamente, sem nenhum controle do tempo de armazenagem. Durante esta estocagem, a umidade em torno de 50% e a fermentação faz com que o interior da



pilha do bagaço atinja temperaturas elevadas de  $\pm 60$  °C, contribuindo para a decomposição por fungos (classe Basidiomicetos) da hemicelulose e a perda de 30% do poder calorífero em apenas cento e cinquenta dias de estocagem (SANTOS et al., 2011).

Neste sentido, a combustão excedente e imediata do bagaço de cana-de-açúcar por indústrias paulistas de alimentos e bebidas, em especial a de sucos cítricos, apresentam-se como vantajosa, principalmente devido à proximidade de suas unidades de esmagamento com as regiões canavieiras e pelo fato da sazonalidade de produção dos frutos coincidirem com a safra da cana-de-açúcar (abril-novembro), evitando o acúmulo do bagaço por mais de três meses nos pátios (COMITRE; CARMO, 2010; SANTOS et al., 2011; YAMANE, 2013). Adicionalmente, esta bioeletricidade coincide com o período seco de geração de energia por hidrelétricas, o que pode melhorar o déficit que já é um problema real no país.

Por ser um material volumoso e altamente perecível, o bagaço tem sido pesquisado para ser transformado em pellets, que são pequenos blocos de bagaço que ao serem prensados para retirada da umidade, passam a possuir menor volume e maior capacidade de armazenagem, transporte e cogeração de energia (ERLICH et al., 2005). No entanto, a valorização da queima do bagaço transformado ou não em pellet para fins energéticos produz um novo resíduo industrial, a cinza residual, que também é gerada em larga escala nas caldeiras das usinas e cuja gestão econômica e ambiental se faz necessária, pois se trata de um material rico em minerais e poluentes, tais como silício, cálcio, potássio, magnésio, fósforo, cobre, cádmio, cromo e zinco (BRUNELLI; PISANI Jr., 2006; TEIXEIRA; PENA; MIGUEL, 2010; TEIXEIRA et., 2014; SILVA et al., 2014).

## **2.2. Cinzas geradas na combustão do bagaço de cana**

Durante a combustão do bagaço, a caldeira produz resíduos que podem ser lançados na atmosfera ou contidos pelos lavadores de cinzas e gases. Estudo realizado por Coelho (2010) identificou que diferentes frações de cinzas são produzidas numa central de combustão de biomassa, as quais se distinguem em: cinza de fundo, que contém areia advinda da biomassa e outras impurezas; cinza

volante do ciclone, que contém partículas com diâmetros superiores a  $1\mu\text{m}$  e cinza volante do filtro, cujas partículas são de tamanho submicrométrico.

No Brasil, a maior parte das CBCA é produzida em sistema de produção em grelha que operam com temperaturas de até  $\pm 1.400\text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 1).



**Figura 1.** Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar produzidas em grelha (adaptado de YIN; ROSENDAHL; KAER, 2008).

O sistema em grelha é considerado uma tecnologia simples e de baixo custo, composto basicamente por quatro elementos fundamentais: sistema de alimentação do combustível, a câmara de grelhas, lavadores de gases e o sistema de descarga de cinzas (YIN; ROSENDAHL; KAER, 2008; YIN, 2013). Segundo os autores, apresenta grande potencial para a combustão de biomassa, permite a operação de combustíveis heterogêneos, com partículas de tamanhos elevados e variados teores de umidade (até 65%) além de impurezas. Apesar de ser menos eficiente que o sistema de combustão em leito fluidizado, onde 80% das cinzas produzidas são volantes, do ponto de vista ambiental, o sistema em grelha possui maiores teores de C não totalmente queimado (5-30%) que é retirado periodicamente por estas grelhas e por isso emite uma quantidade muito baixa de cinzas volantes na atmosfera (COELHO, 2010).

A resolução nº 436 de 22/12/2011 regulamentada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) especifica que os lavadores de gases das usinas brasileiras devam responder aos limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar, adotando como parâmetros de controle a potência

térmica nominal, o material particulado emitido (MP) e a soma das concentrações de monóxido e dióxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), cuja verificação do atendimento aos limites estabelecidos, deverá ser feita por meio de amostragem em chaminé, pelo menos uma vez por safra, nas condições de plena carga (Tabela 2). Tais parâmetros também são utilizados pela United States Environmental Protection (US.EPA) o qual adota como valor de referência de emissão 0,7 kg de MP/tonelada brutas e 0,6 kg de NO<sub>x</sub>/tb (US.EPA, 2014).

**Tabela 2.** Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar (adaptado de CONAMA, 2011).

Potência térmica nominal (MW) <sup>(1)</sup>	MP <sup>(2)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>(2)</sup>
MW < 50	520	Não se aplica <sup>(3)</sup>
50 ≤ MW ≤ 100	450	350
MW > 100	390	350

<sup>(1)</sup>Refere-se à condição máxima de operação da unidade de geração de calor para a qual o equipamento foi projetado; <sup>(2)</sup>Resultados devem ser expressos na unidade de concentração miligrama por normal metro cúbico (mg/Nm<sup>3</sup>), em base seca e 8% de excesso de oxigênio; <sup>(3)</sup>Para sistemas com potência de até 50 MW, poderá o órgão ambiental licenciador aceitar o monitoramento periódico apenas de monóxido de carbono.

Em atendimento as especificações feitas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), vinte e duas unidades de gerenciamento de recursos hídricos do estado de São Paulo passaram a adotar como referência os padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo decreto estadual nº 59.113 de 23/04/2013. Este decreto determina que as medições de poluentes provindos das indústrias sucroenergéticas do estado de São Paulo (maior emissor) sejam atualizadas de hora em hora para garantir que as emissões permaneçam controladas durante a safra inteira e não ultrapassem 100 t/ano de MP, 40 t/ano de NO<sub>x</sub>, 250 t/ano de óxidos de enxofre e 40 t/ano de compostos orgânicos voláteis, exceto metano (ALESP, 2013). No entanto, vale ressaltar que essa normativa não satisfaz o correto destino do MP (cinzas volantes) retirado no processo de limpeza dos filtros e lavadores de gases das usinas, independentemente de ser pelo método de disposição seca ou úmida<sup>1</sup>.

Estudos demonstram que além do N vaporizado durante a combustão da biomassa, o enxofre e o cloro também podem ser volatizados, formando compostos gasosos e/ou sólidos, capazes de reagir com as paredes metálicas dos lavadores de

<sup>1</sup> Pelo método de disposição seca, a cinza volante é despejada em aterros e pelo úmido a cinza volante é resfriada com água e disposta em lagoas artificiais, conhecidas como lagoas de cinzas. (JALA; GOIAL, 2006).

gases, provocando corrosão. Sendo assim, metais pesados altamente voláteis como o zinco, cádmio e o chumbo e outros elementos pouco voláteis como o cálcio, magnésio, silício, potássio e fósforo, após condensação têm sido encontrados precipitados em maiores concentrações na superfície das cinzas volantes mais finas presentes no filtro (OBERNBERGER; BRUNNER; BÄRNTHALER, 2006; COELHO, 2010).

De acordo Loo e Koppejan (2008) em países europeus como a Áustria, Dinamarca, Finlândia, Alemanha e Suécia a legislação tende a ser bem mais rigorosa para cinzas volantes do filtro provenientes da combustão de resíduos industriais de madeiras. Os autores especificam que as cinzas de fundo e as volantes do ciclone são ecologicamente inofensivas ao ambiente, porém as cinzas do filtro devem ser separadas, observando se há correlação direta entre a presença de metais, o teor de C orgânico (>5%) e os hidrocarbonatos aromáticos policíclicos de baixa biodegradabilidade, os quais são altamente cancerígenos.

Nas usinas sucroenergéticas do estado de São Paulo é prática comum misturar as cinzas de fundo com as volantes do ciclone e do filtro para facilitar o transporte (Figura 1). Caracterizações dessa mistura de cinzas tem demonstrado ser este resíduo um material predominantemente constituído de dióxido de silício (sílica), com presença de nutrientes essenciais, exceto o N, além de alguns metais (SOUZA et al., 2011; FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011; TEIXEIRA et., 2014). Possui composição e dimensão variada, cujas características físico-químicas estão condicionadas a variedade e ao manejo nutricional da biomassa que lhe deu origem (PITA, 2009), ao processo de combustão (SALES; LIMA, 2010) e a forma de disposição final, sujeita a intemperismo ou não (RAM; MASTO, 2014). Segundo Demeyer, Nkana e Verloo (2001), carbonatos e bicarbonatos predominam nas cinzas oriundas de biomassa queimadas em temperaturas de combustão inferior a 500 °C e os óxidos acima de 1000 °C. No entanto, a alcalinidade da cinza pode diminuir com o aumento da temperatura de combustão e com o período de armazenamento a céu aberto (NKANA et al., 2002).

Devido às suas propriedades alcalinas e por conter elementos como silício, potássio, cálcio, magnésio e fósforo, as CBCA das caldeiras depois de misturadas são enviadas as lavouras de cana-de-açúcar para serem aproveitadas como

fertilizante ou corretivo (BRUNELLI; PISANI Jr., 2006). Porém, falta conhecimento amparado em lei quanto à constituição da cinza, ao ajuste de dose e a exigência da cultura quanto ao efeito solo-planta (YAMANE, 2013).

### 2.3. Sustentabilidade e uso agrícola da cinza do bagaço de cana no solo

Caracterizada como fonte de sílica, a viabilidade sustentável do uso da CBCA tem sido reportada em diversos estudos, sendo considerada uma alternativa vantajosa, tanto para a indústria de infraestrutura urbana e construção civil, como para indústria de biocombustível (Tabela 3).

**Tabela 3.** Uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar na indústria

<b>Setor de Viabilidade</b>	<b>Uso/fabricação</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Citado por</b>
Construção civil	Cerâmicas vermelhas e/ou vítreas	Aumenta as propriedades térmicas	Teixeira et al. (2008); Teixeira et al. (2014)
Construção civil	Cimento	Substitui 20% de cimento	Paula et al. (2009)
Infraestrutura urbana	Concretos asfálticos	Aumenta em 70 % a resistência à tração	Leal; Castro (2007)
Indústria de biocombustível	Briquetes	Melhora a densidade e poder calorífero	Teixeira; Peña; Miguel (2010)

Porém, o aproveitamento desse resíduo pela indústria não tem absorvido sua alta demanda, e o descarte imediato nas lavouras canavieiras e citrícolas passou a ser vantajoso, já que aplicá-lo no solo dispensa à necessidade de custo com armazenamento, além de evitar a perda dos nutrientes pelo processo de intemperismo, caso a cinza fique exposta por longos períodos nos pátios. Segundo Volante (2013), a eficiência do uso agrícola de cinzas no solo provenientes das indústrias sucroenergéticas do estado de São Paulo parte do conhecimento empírico da presença de substâncias de alta reatividade presentes nas cinzas, que podem corrigir a acidez, fertilizar ou contaminar o solo.

A aplicação de CBCA no solo não deve ser feita sem a realização de estudos que possibilitem o conhecimento da sua composição e da quantidade para seu uso de forma segura (YAMANE, 2013). Adicionalmente, a solubilidade das substâncias presentes em cinzas volantes oriundas de combustão de biomassa deve ser conhecida, pois substâncias pouco solúveis (cálcio, magnésio, sódio e fósforo) em grandes quantidades aumentam a quantidade de sais e não serão disponibilizadas

da solução do solo para as plantas, e as muito solúveis (potássio, enxofre, cloro, ferro, cromo, zinco) mesmo em pequenas quantidades podem ser bastante tóxicas (LOO; KOPPEJAN, 2008; AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008).

Ram e Masto (2014) enfatizam que é possível modificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo por meio do uso da mistura de cinzas oriundas da combustão de biomassa advindas da cogeração de energia, porém a qualidade nutricional do solo e a dimensão das alterações nele ocorridas estarão sempre condicionadas ao tipo de solo, as características da cinza, as condições agroclimáticas e a dose de cinza empregada.

Yunusa et al. (2006) observaram em uma revisão que as cinzas de carvão das indústrias termelétricas australianas mostraram-se eficientes em corrigir solos degradados, pois além da estrutura física porosa semelhante a matriz do solo, se constitui de cálcio e magnésio na forma de óxidos ou carbonatos que interferem no pH e na disponibilidade de metais. Por meio de uma simulação matemática, os autores previram mudanças na condutividade hidráulica na camada de 0,15 m, aumentando em 100 vezes a dose recomendada de 4 t ha<sup>-1</sup>, substituindo as partículas finas silte e argila por partículas de cinzas maior que 20µm, e partículas grossas por partículas de cinzas menor que 20 µm, admitindo uma densidade global constante de 1,30 g cm<sup>-3</sup>. Os resultados demonstraram que a substituição das partículas finas do solo pela cinza grossa aumentaria em 25% a condutividade hidráulica e a substituição de partículas grossas do solo pela cinza fina diminuiriam em 35%, com reflexos negativos na porosidade do solo.

Tem sido relatado por pesquisadores indianos que a aplicação de até 200 t ha<sup>-1</sup> de cinzas volantes de carvão não causam prejuízos aos atributos físicos e químicos do solo e nem ao rendimento de culturas, porém, os impactos dessa aplicação de cinzas não repercutem somente aos níveis químicos e físicos, surgindo também alterações na atividade biológica do solo (PANDEY; SINGH, 2010; BHASKARACHARY et al., 2012; NAYAK et al., 2014).

Nayak et al. (2014) alertam que doses elevadas de cinzas volantes quando aplicadas em solo de textura arenosa e com baixo teor de matéria orgânica pode aumentar ou diminuir a população microbiana devido o fornecimento de C e nutrientes aos microrganismos do solo. Assim, a menor relação C/N favorece os

processos de mineralização e nitrificação, podendo ter como consequências a perda de N por lixiviação e a acidificação da camada superficial do solo (ODLARE; PELL, 2009; RAM; MASTO, 2014).

No Brasil, as pesquisas relacionando o uso agrícola da CBCA no solo tem se baseado em sua caracterização, efeito de doses nos atributos do solo, efeitos em compostagem e em produtividade de culturas. No entanto, o impacto na fertilidade do solo, na atividade microbiana e no ciclo do C e do N é incipiente (Tabela 4).

**Tabela 4.** Uso agrícola da cinza do bagaço de cana-de-açúcar no solo.

<b>Uso</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Citado por</b>
Corretivo/fertilizante	Solo	- A CBCA é um material fonte de potássio, com alta capacidade de corrigir o pH do solo e aumentar a saturação por bases.	Brunelli; Pisani Jr. (2006)
Fertilizante	Latossolo	- Doses de 60 a 90 t ha <sup>-1</sup> de CBCA podem substituir a adubação química recomendada para a cultura do milho.	Feitosa; Maltoni; Silva (2009)
Corretivo	Substrato	- A aplicação de CBCA nos substratos mostrou-se prejudicial ao crescimento das mudas de araticum <i>Annona crassiflora</i> Mart.	Ferreira et al. (2009)
Compostagem	Compostos orgânicos	- A presença da CBCA causou redução na concentração de C, N e capacidade de troca de cátions de compostos orgânicos.	Lima et al. (2009)
Atributos químicos	Latossolo	- O efeito na diminuição da acidez potencial do solo é mais influenciado pelo aumento da dose do que pelo tipo de CBCA.	Ferreira; Fageria; Didonet (2012)
Atributos físicos e químicos	Argissolo	- A adição de CBCA incrementou os teores de potássio e magnésio, sem alterações nos atributos físicos e químicos do solo.	Volante (2013)
Nutrientes e metais	Argissolo	- A CBCA foi classificada como resíduo não inerte, não perigoso, servindo como fonte de potássio para ser usada em pomar de citros em formação.	Yamane (2013)
Nutrição do solo	Efluente	- A mistura de efluente de esgoto tratado, adicionado de CBCA, aumentou a produtividade de feijão caupi irrigado.	Meneses et al. (2014)

Tem sido verificado em alguns estudos, que cinzas volantes quando aplicadas diretamente no solo podem reagir rapidamente ou não, provocando efeitos positivos ou negativos nos atributos físicos e químicos do solo (PANDEY; SIGH, 2010; VOLANTE, 2013; YANAME, 2013), entretanto, as alterações na microbiota do solo provocadas pelas substâncias presentes na cinza, ocorrem mais rapidamente do

que as mudanças em qualquer outro atributo do solo, servindo de alerta para eventuais desequilíbrios (ODLARE; PELL, 2009; NAYAK et al., 2014).

Diante do exposto, percebem-se divergências quanto aos efeitos da aplicação de cinzas volantes nos atributos solo. Neste contexto, estudos que relacionem o conhecimento da aplicação de cinzas provenientes das indústrias sucoenergéticas e seus impactos na fertilidade do solo, na atividade microbiana e no ciclo do C e do N, possam otimizar o uso correto desse resíduo na agricultura, sem afetar o desenvolvimento de culturas e a qualidade do solo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi constituída de quatro etapas: na **1ª etapa** foi feita a caracterização da CBCA; na **2ª etapa** o trabalho foi conduzido em condições controladas de umidade e temperatura a partir da incubação de três Latossolos de diferentes texturas; na **3ª etapa** o trabalho foi conduzido em condições de campo em Argissolos Vermelhos sob cultivo de citros; na **4ª etapa** o trabalho foi conduzido em colunas de solos com estrutura indeformada e diferentes texturas.

#### 3.1. Caracterização da cinza (1ª etapa)

A CBCA foi caracterizada quimicamente antes da utilização, sendo classificada como resíduo não inerte Classe II A, de acordo com a ABNT NBR 10004 (2004) (Anexo A). Apresentou 40,5% de umidade a 105°C, 1,2 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2,7 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; 1,2 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 0,7 g kg<sup>-1</sup> de Mg, 0,3 g kg<sup>-1</sup> de S, 20 mg kg<sup>-1</sup> de B, menos que 10 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 2800 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 100 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, menos que 0,9 mg kg<sup>-1</sup> de Mo, 10 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, menos que 1 mg kg<sup>-1</sup> de Co (Anexo B), além de conter 0,28 mg kg<sup>-1</sup> de As, 49,65 mg kg<sup>-1</sup> de Cr e 3,05 mg kg<sup>-1</sup> de Ni (Anexo C).

A CBCA apresentou pH (CaCl<sub>2</sub>) de 8,3, saturação por bases de 98%, poder de neutralização de 2,63 %, teor de C total de 190 g kg<sup>-1</sup> e área superficial específica de 39,7674 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> (Anexos D, E, F e G, respectivamente). Foi feita a fluorescência de raio-X para a CBCA com uso de equipamento Panalytical, modelo Axios Max tubo



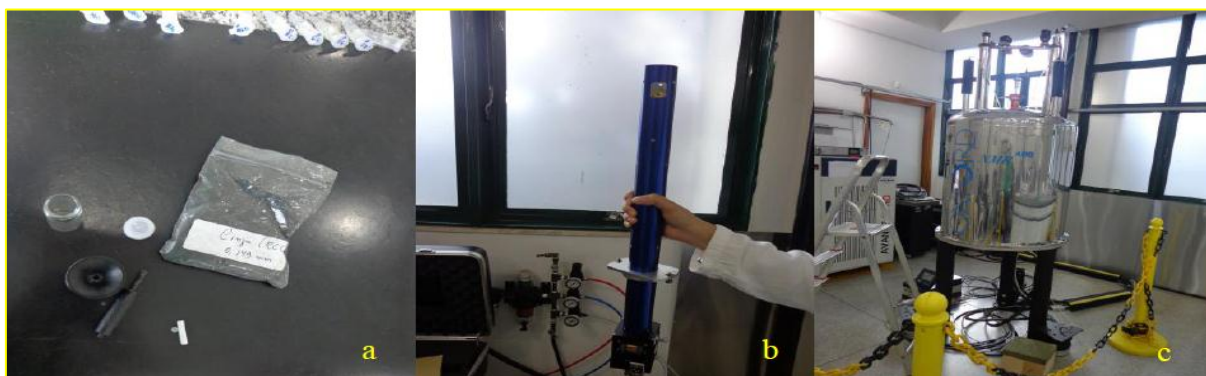
Ródio 4 kv, sendo a cinza predominantemente constituída de 82,2% de SiO<sub>2</sub> (Tabela 5).

**Tabela 5.** Caracterização por fluorescência de raio-X da cinza de bagaço de cana-de-açúcar realizado pelo Laboratório de Minerais (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>
----- g kg <sup>-1</sup> -----							
822	27	27	17	9	8	7	6
SO <sub>3</sub>	Cl	Na <sub>2</sub> O	MnO	ZrO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	P.F.
----- g kg <sup>-1</sup> -----							
5	1	1	1	1	< 1	< 1	67

P.F. = perda ao fogo

Os grupos funcionais de superfície que compõem a CBCA foram determinados por ressonância magnética nuclear (RMN) de <sup>13</sup>C, cujos espectros foram obtidos no estado sólido com polarização cruzada, amplitude variável e rotação segundo o ângulo mágico (<sup>13</sup>C VACP-MAS) utilizando espectrômetro VARIAN, modelo Unity-Inova 400, campo de 9,4 T, operando a 100,6 MHz para o <sup>13</sup>C e 400 MHz para o <sup>1</sup>H, instalado na Embrapa Instrumentação (Figura 2). A CBCA foi submetida *in natura* a análise de RMN de <sup>13</sup>C (Figura 2A).



**Figura 2.** Encapsulamento de 100 mg de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em rotor de zircônia<sup>(a)</sup>, acoplamento em sonda de sólido<sup>(b)</sup> e leitura em espectrômetro<sup>(c)</sup>.

Os rotores cilíndricos de zircônia foram preenchidos com 100 mg da CBCA e em seguida empregou-se uma sonda de sólido da VARIAN (Figuras 2A e 2B, respectivamente). A taxa de rotação segundo o ângulo mágico foi de 10 kHz. Utilizou-se a sequência de pulsos <sup>13</sup>C VACP-MAS que inclui um pulso de preparação

de  $^1\text{H}$  de 4  $\mu\text{s}$ , 1ms de tempo de espera e 1s de tempo de espera para relaxação e tempo de aquisição de 20 ms, com rampa de potência de 25% (Figura 2C).

Foi utilizado hexametilbenzeno (HMB), que apresenta banda de maior intensidade em 17,3 ppm, como referência. A integração dos espectros ocorreu em regiões distintas (Anexo H): 0-45 ppm (alifáticos não substituídos), 45-60 ppm (metoxil e N- alifáticos), 60-110 ppm (O-alifáticos), 110-140 ppm (aromáticos), 140-160 ppm (fenólicos), 160-180 ppm (carboxílicos) e 180-230 ppm (carbonílicos).

As porcentagens de aromaticidade e alifaticidade foram calculadas a partir das áreas dos espectros, segundo procedimentos descritos por Stevenson (1994), sendo a aromaticidade (%) calculada por meio da área dos sinais de C aromáticos 110-160 ppm x 100, dividida pela área dos sinais de C 0-160 ppm e a alifaticidade (%) calculada por meio da área dos sinais de C alifáticos 0-110 ppm x 100, dividida pela área dos sinais de C 0-160 ppm. Os deslocamentos químicos foram expressos em ppm (Tabela 6).

**Tabela 6.** Regiões espectrais em ppm e percentuais de alifaticidade e aromaticidade da cinza de bagaço de cana-de-açúcar obtidos Ressonância Magnética Nuclear (RMN  $^{13}\text{C}$ ).

CBCA <sup>(1)</sup>	alifáticos não substituídos (0-45 ppm)	metoxil e N-alifáticos (45-60 ppm)	O-alifáticos (60-110 ppm)	aromáticos (110-140 ppm)	fenólicos (140-160 ppm)	carboxílicos (160-180 ppm)	carbonílicos (180-230 ppm)	
	Grupos Funcionais (%)							
	4	4	21	43	10	7	11	
<b>TOTAL</b>	<b>Aromaticidade</b>		65	<b>TOTAL</b>	<b>Alifaticidade</b>			35

<sup>(1)</sup> Cinza de bagaço de cana-de-açúcar

## 3.2. Experimento de incubação (2ª etapa)

### 3.2.1. Solos e tratamentos

O experimento foi conduzido em amostras de três Latossolos de diferentes texturas coletados na região de Jaboticabal-SP. L1 é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa; L2 é um Latossolo Vermelho distrófico de textura média e L3 é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura arenosa. A coleta dos solos foi realizada na camada de 0-0,10 m. Depois de secas ao ar, as amostras foram passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para a determinação da granulometria pelo método da pipeta (CAMARGO et al., 2009). As características granulométricas dos solos do experimento de incubação se encontram na tabela 7.

**Tabela 7.** Características granulométricas dos Latossolos (experimento de incubação) da região de Jaboticabal, SP.

Classe de solo <sup>(1)</sup>	Areia	Silte	Argila
L1	172	268	560
L2	643	97	260
L3	776	64	160

<sup>(1)</sup>L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo.

Foram determinados os valores de pH (CaCl<sub>2</sub>), os teores de C orgânico por oxidação de dicromato de potássio em meio ácido, P (resina), K, Ca, Mg e acidez potencial (H+Al) conforme os procedimentos descritos por Raij et al. (2001). A partir dos resultados, calcularam-se os valores de capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), soma de bases (SB) e porcentagem de saturação por bases (V%). As características químicas dos solos antes da instalação do experimento de incubação se encontram na tabela 8.

**Tabela 8.** Características químicas dos Latossolos do experimento de incubação de acordo com os métodos proposto por Raij et al. (2001).

Solos <sup>(1)</sup>	pH	C	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			-----		(%)	
L1	5,9	7,8	31,7	2,5	27	13	21,0	42,2	63,2	67
L2	5,8	7,6	80,0	1,4	28	22	13,5	50,7	64,2	78
L3	6,7	6,4	24,2	2,0	34	15	10,7	51,0	61,7	76

<sup>(1)</sup>L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo.

Para compor o experimento utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições e seis tratamentos, totalizando 72 parcelas. Os tratamentos foram compostos por doses de CBCA (base seca) equivalentes a 0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha<sup>-1</sup>. Cada parcela foi composta de um recipiente plástico hermético de 1.000 mL de volume onde foram adicionadas 150 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e as doses de CBCA (Figura 3). Durante todo o período, procedeu-se com o ajuste da umidade com água deionizada, sendo mantida durante o experimento para cada amostra de solo 50 % da capacidade de campo e temperatura de 25° C.



**Figura 3.** Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e incubados na presença de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  sob condições controladas de luminosidade, umidade e temperatura.

### 3.2.2. Avaliações

A captura do  $\text{CO}_2$  resultante da atividade biológica por meio da formação de carbonatos foi feita com a colocação em cada recipiente de um frasco com solução de 10 mL de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , seguindo procedimentos descritos por Silva, Azevedo e De-Polli (2007). A solução de NaOH foi trocada periodicamente, conforme os seguintes dias de incubação: 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140, 154, 168 e 182 dias. A quantificação do C liberado na forma de  $\text{CO}_2$  foi determinada por meio da titulação do NaOH contido no frasco removido de cada recipiente hermético, com solução padronizada de HCl  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , usando-se como indicador uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1% e 5 mL de solução de  $\text{BaCl}_2$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizado com a finalidade de precipitar os carbonatos.

A produção em mol de C foi obtida pela expressão:  $\text{CO}_2 = 0,5 \times (((\text{VNaOH} \times \text{CNaOH})/1000) - ((\text{VHCl} \times \text{CHCl}) / 1000))$ , sendo: VNaOH = volume do NaOH; CNaOH = concentração de NaOH; VHCl = volume de HCl; CHCl = concentração de HCl. A partir do valor em mol de C, foi calculada a taxa de mineralização de C em grama de solo por hora, por meio da expressão:  $\text{C-CO}_2 = \text{mol de C} / (\text{massa do solo} \times \text{tempo de incubação em horas}) \times 10^6$ , conforme procedimentos descritos por Hopkins (2008).

Após período de incubação, o solo de cada parcela foi seco ao ar visando a determinação de pH, C, P, K, Ca, Mg e H+Al conforme Raij et al. (2001). Uma

porção de cada amostra dos solos foi passada em peneira de 0,149 mm. Desse material, foram pesadas em duplicata cápsulas de estanho com 10 mg de solo para determinação dos teores totais de C (CT) e N (NT) por oxidação térmica em temperatura de 900° C com uso do equipamento Perkin Elmer PE 2400, Série II CHNS/O Analyzer com limite de detecção de 0,3%. Utilizou-se a acetanilida como padrão orgânico de composição elementar conhecida.

Para a determinação do grau de humificação da matéria orgânica ( $H_{FIL}$ ) foram preparadas pastilhas em duplicata por amostra de solo passado em peneira de 0,149 mm, sendo cada pastilha com 1 cm de diâmetro e espessura de 2 mm. Cada face de cada amostra foi excitada utilizando um laser de diodo (Coherent-modelo Innova 90-6, Coherent Inc., Santa Clara, CA) sintonizado na linha de 405 nm e potência máxima de 50 mW. A emissão de fluorescência (fluoróforos<sup>2</sup>) foi avaliada provendo informações sobre a estrutura na superfície da face de cada amostra, totalizando quatro leituras/amostra (Figura 4). Os valores de  $H_{FIL}$  foram obtidos por meio do cálculo da razão entre o valor médio da área sob o espectro de emissão de fluorescência e a média do valor de C total (MILORI et al., 2006).



**Figura 4.** Emissão de Fluorescência Induzida a Laser numa amostra de solo adicionado de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

<sup>2</sup> Fluoróforos são grupos cromóforos, responsável pela cor, os quais apresentam fluorescência em comprimento de onda específico na macromolécula húmica do solo, incluindo desde estruturas aromáticas condensadas a cadeias alifáticas insaturadas (SANTOS, 2014).

### 3.2.3. Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância seguindo esquema fatorial com três solos e seis doses de cinza. As médias entre os solos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade e o efeito das doses foi avaliado por meio de regressão polinomial, ambos utilizando o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2011).

## 3.3. Experimento de campo (3ª etapa)

### 3.3.1. Área experimental e tratamentos

A pesquisa foi desenvolvida em áreas sob Argissolos Vermelhos, localizados nos municípios de Taquaral e Taquaritinga, ambos no estado de São Paulo. O clima, segundo a classificação de Köppen (1936), é do tipo Aw, com precipitação pluvial média anual de 1.425 mm, concentrada no período de outubro a março, com temperatura média anual de 22° C e umidade relativa do ar de 70%. As características granulométricas dos Argissolos seguiram procedimentos descritos por Camargo et al. (2009) e se encontram na tabela 9.

**Tabela 9.** Características granulométricas dos Argissolos Vermelhos, localizados nos municípios de Taquaral-SP e Taquaritinga-SP.

Município <sup>(1)</sup>	Camada (m)	Areia	Silte ----- g kg <sup>-1</sup> -----	Argila
Área 1	0,00 – 0,20	782	79	139
	0,20 – 0,40	629	98	273
	0,40 – 0,60	577	99	324
	0,60 – 0,80	613	66	321
	0,80 – 1	612	63	325
Área 2	0,00 – 0,20	873	15	112
	0,20 – 0,40	783	26	191
	0,40 – 0,60	695	33	272
	0,60 – 0,80	643	34	323
	0,80 – 1	604	36	360

<sup>(1)</sup>Área 1: refere-se ao Argissolo Vermelho localizado no município de Taquaral, SP; Área 2: refere-se ao Argissolo Vermelho localizado no município de Taquaritinga, SP.

O experimento foi implantado no mês de maio do ano agrícola 2011/2012. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos (doses) de CBCA e cinco repetições. As doses utilizadas foram equivalentes a: 0, 5, 10, 20, 40 t ha<sup>-1</sup>. A parcela experimental foi constituída por uma área de 25 m<sup>2</sup>, correspondente a cinco plantas de laranja Valencia, enxertada em limão cravo, com



espaçamento entre plantas de 2,5 m (12,5 m de comprimento) e 2,0 m de largura, correspondente a 1,0 m de cada lado das plantas, totalizando 25 parcelas em cada área experimental.

Na área 1 (localizada em Taquaral/SP) a CBCA foi aplicada manualmente na superfície do solo sem incorporação, na cultura (laranja Valencia) com idade de 1,5 ano (Figura 5). Na área 2 (localizada em Taquaritinga/SP), a CBCA foi aplicada manualmente em superfície e incorporada por meio de gradagem nos primeiros 0,15 m do solo (Figura 6). Posteriormente, foi realizado plantio de mudas de mesma variedade (laranja Valencia), porta-enxerto (limão cravo) e os mesmos espaçamentos utilizados na área 1. Os tratos culturais do pomar de ambas as áreas foram feitos de acordo com as especificações técnicas para a cultura.



**Figura 5.** Aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (dose  $40 \text{ t ha}^{-1}$ ) sem incorporação na área 1, no município de Taquaral-SP.



**Figura 6.** Aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar<sup>(a)</sup> (dose  $40 \text{ t ha}^{-1}$ ) com incorporação por meio de gradagem na área 2<sup>(b)</sup> e posteriormente plantio das mudas de citros<sup>(c)</sup>, no município de Taquaritinga-SP.

### 3.3.2. Amostragem do solo

A amostragem do solo nas duas áreas experimentais foi realizada em três momentos após aplicação da CBCA: com o solo apresentando alta umidade (março/12); com o solo apresentando baixa umidade (setembro/12); e no período intermediário ao chuvoso e seco (maio/2013). Em cada parcela foram abertas minitrincheiras com o auxílio de um trado holandês onde foram retiradas cinco amostras simples por camada para compor uma amostra composta sem estrutura preservada. No ano agrícola de 2012/2013 as amostras de terra foram coletadas aos 10 e 16 meses após a aplicação da CBCA nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m na área 1 e nas camadas de 0-0,15 e 0,15-0,30 m na área 2.

No ano agrícola de 2013/2014, houve coleta única de solo aos 24 meses após aplicação de CBCA, considerando-se as mesmas camadas de amostragem para ambas as áreas de estudo de 0-0,05; 0,05-0,15 e 0,15-0,30 m. Adicionalmente, foi realizada amostragem do solo nas parcelas que receberam a maior dose ( $40 \text{ t ha}^{-1}$ ) em intervalos de 0,10 m até a profundidade de 1 m.

### 3.3.3. Avaliações

Para a avaliação dos atributos químicos, dos teores totais de C e N, do grau de humificação da matéria orgânica ( $H_{FIL}$ ) e dos grupos estruturais da fração ácido húmico (FAH), as amostras de terra foram secas ao ar e passadas através de peneira de 2 mm. Para a avaliação do carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração basal (RB) as amostras de terra foram mantidas com a mesma umidade encontrada por ocasião da coleta, permanecendo sob refrigeração de  $\pm 4^\circ \text{C}$  até serem analisadas.

Nas amostras de solo secas foram determinados pH, C, P, K, Ca, Mg e H+Al seguindo métodos descritos por Raij et al. (2001), cujos valores foram usados para calcular T, SB e V%. O teor de C orgânico total (COT) foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio (YEOMANS; BREMNER, 1988) e o teor de N total (NT), quantificado por digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldahl (BREMNER, 1996). Os teores de COT e NT foram utilizados para determinar a relação C/N e calcular os estoques de COT e NT nas camadas de solo analisadas. Os estoques de COT e NT foram calculados com a seguinte expressão: estoque de



C ou de N = teor de C ou N ( $\text{kg Mg}^{-1}$ ) x  $D_s$  x E, sendo  $D_s$  = Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), determinada pelo método do anel volumétrico em cada camada, segundo EMBRAPA (1997); E = a espessura (m) da camada considerada.

Outra porção das amostras trazidas do campo após secas ao ar foram passadas em peneira de 0,149 mm. Em seguida pesou-se em duplicada cápsulas de papel alumínio com 100 mg de solo para determinação dos teores médios de CT e NT. A análise elementar das amostras de solo foi feita por oxidação térmica com uso do equipamento da marca LECO, modelo CN628, operado com hélio (99,99%) e oxigênio (99,99%) com temperatura de fornalha a 950° C. O equipamento foi calibrado com um padrão de ácido etileno diamino tetra-acético (41,0% C; 5,5% H e 9,5% N) usando massa na faixa entre 10-200 mg. O limite de detecção do analisador elementar LECO é de 0,04% para C e 0,02% para N.

Os valores médios de CT e NT serviram para determinar a relação C/N dos Argissolos adicionados de CBCA. A média do valor de CT foi usada para normalizar a relação entre a intensidade de emissão e concentração de fluoróforos presentes na matéria orgânica de cada amostra, cuja estimativa do  $H_{\text{FIL}}$  segue metodologia proposta por Milori et al. (2006) e anteriormente descrita no experimento de incubação.

Nas amostras úmidas a determinação do CBM foi feita pelo método da irradiação-extração, o qual consiste na utilização de energia eletromagnética (microondas) para promover o rompimento celular, liberando os compostos intracelulares para posterior extração e quantificação do C. Utilizou-se solução extratora de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) para as amostras irradiadas (I) e não irradiadas (NI) cuja presença de C nos extratos foi feita de acordo Tedesco et al. (1995). Os valores de CBM foi dado pela expressão:  $\text{CBM} = (C_I - C_{\text{NI}})/K_c = \mu\text{g g}^{-1}$  ou  $\text{mg kg}^{-1}$  de C no solo, considerando um  $K_c = 0,33$ . O quociente microbiano (q-MIC) foi definido pela relação entre o CBM e o COT (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

Para compor o ensaio da RB as amostras úmidas de cada período de coleta (chuvoso, seco e intermediário) foram homogeneizadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Cada parcela foi composta de um recipiente hermético de 1,350 mL de volume onde foram adicionadas 150 g de solo com umidade em torno de 30% da capacidade de campo. Dentro de cada parcela foi colocado um recipiente contendo

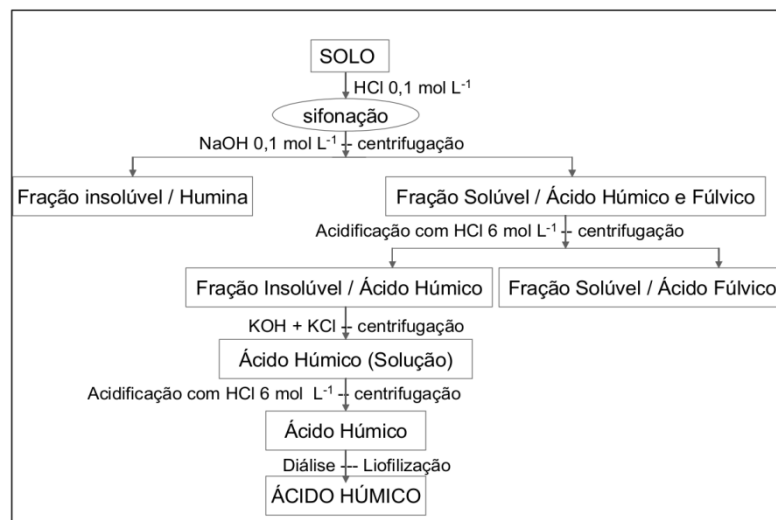
água para manter a umidade do solo e outro contendo NaOH para capturar o CO<sub>2</sub> (Figura 7).



**Figura 7.** Argissolo adicionado de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e incubado na presença de hidróxido de sódio 0,25 mol L<sup>-1</sup> sob condições controladas de luminosidade, umidade e temperatura.

As amostras de solo da área 1 foram incubadas em ambiente fechado, com temperatura de  $\pm 25^{\circ}$  C pelos períodos em horas de 48, 72, 120, 168, 168, 168, 168, 168, totalizando 1.080 horas (período chuvoso); 48, 72, 120, 168, 168, totalizando 576 horas (período seco) e 48, 72, 120, 168, 168, 168, totalizando 744 horas (período intermediário). As amostras de solo da área 2 também foram incubadas por 48, 72, 120, 168, 168, 168 totalizando 744 horas em cada período. O CO<sub>2</sub> foi capturado em solução de 10 mL de NaOH 0,25 mol L<sup>-1</sup>, adicionado de 5 mL de BaCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, que foi titulada com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup> na presença de indicador ácido/base fenolftaleína 1%, seguindo os procedimentos descritos por Silva, Azevedo e De-Polli (2007). O quociente metabólico (q-CO<sub>2</sub>) do solo foi obtido através da razão entre a RB e CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

As avaliações dos grupos funcionais da FAH foram realizadas nas amostras dos solos coletadas em março/12 (1ª coleta) na camada superficial, sendo escolhidas as doses de 0 e 40 t ha<sup>-1</sup>. O processo simplificado para extração e fracionamento químico das substâncias húmicas por diferença de solubilidade, seguiu a metodologia recomendada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) (SWIFT, 1996) que utiliza solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> diluída para extrair a FAH e HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> para sua precipitação (Figura 8).



**Figura 8.** Esquema simplificado da extração e purificação das substâncias húmicas adotado para solos brasileiros (adaptado de SANTOS, 2014).

A FAH foi separada por centrifugação e purificada em solução mista de ácido clorídrico + ácido fluorídrico para remoção de íons metálicos e o teor de cinzas que pudessem interferir em sua caracterização. Foi feita diálise utilizando membranas Spectra/Por 6000-8000 D durante dias em água deionizada Milli-Q (Figura 9).



**Figura 9.** Solubilização<sup>(a)</sup>, centrifugação<sup>(b)</sup> e purificação<sup>(c)</sup> da fração ácido húmico (FAH) em amostras de solo com e sem adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Na sequência as amostras da FAH foram congeladas, liofilizadas e armazenadas em recipientes plásticos e mantidas em dessecador. Em seguida, carregou-se individualmente cerca de 100 mg da FAH em rotor de zircônia, cuja amostra no estado sólido foi submetida à polarização cruzada e rotação do ângulo mágico para obtenção dos espectros em um espectrômetro VARIAN, modelo Unity 400. As regiões espectrais foram expressos em ppm e os percentuais de

alifaticidade e aromaticidade da FAH dos solos seguiram os mesmos procedimentos descritos por Stevenson (1994) e anteriormente descritos para a CBCA.

### **3.3.4. Análise dos dados**

Os dados referentes ao primeiro ano agrícola 2012/2013 foram analisados seguindo o esquema de parcelas subdivididas para os atributos químicos e biológicos, além do  $H_{FIL}$ . As parcelas principais foram constituídas das doses equivalentes a 0, 5, 10, 20 e 40 t ha<sup>-1</sup>. As subparcelas foram constituídas das camadas, sendo: na área 1 de 0-0,05 e 0,05-0,10 m e na área 2 de 0-0,15 e 0,15-0,30 m. E as subsubparcelas foram constituídas de duas épocas: chuvosa e seca. Foi avaliado o efeito das interações entre parcelas, subparcelas e subsubparcelas. Para o período intermediário no segundo ano agrícola 2013/2014 foi utilizado o esquema anterior, sendo avaliadas as parcelas principais (doses) e subparcelas (camadas: 0-0,05; 0,05- 0,15 e 0,15-0,30 m) para ambos os experimentos.

Os dados foram submetidos à análise de variância. A comparação das médias foi realizada utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade e o efeito das doses, quando significativo, foi avaliado por meio de regressão polinomial, ambos utilizando o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2011).

## **3.4. Experimento em colunas de solos (4ª etapa)**

### **3.4.1. Colunas de solos e tratamentos**

Para a 4ª etapa do estudo foram coletadas colunas de solo de 0,80 m altura com estrutura preservada. Os solos utilizados foram Latossolos com porcentagem de argila entre: 30-40, 40-50 e acima de 50, ou seja, três diferentes texturas (Tabela 10).

**Tabela 10.** Características granulométricas dos Latossolos das colunas determinadas pelo método da pipeta, segundo Camargo et al. (2009).

Classes do Solo <sup>(1)</sup>	Camadas (m)	Areia	-----g kg <sup>-1</sup> -----	
			Silte	Argila
I – Latossolo	0,00 – 0,20	652	31	317
	0,20 – 0,40	607	31	362
	0,40 – 0,60	615	21	364
	0,60 – 0,80	607	20	373
	0,80 – 1,00	607	14	379
II – Latossolo	0,00 – 0,20	564	36	400
	0,20 – 0,40	501	49	450
	0,40 – 0,60	499	30	471
	0,60 – 0,80	483	42	475
	0,80 – 1,00	481	36	483
III – Latossolo	0,00 – 0,20	214	194	592
	0,20 – 0,40	202	168	630
	0,40 – 0,60	184	171	645
	0,60 – 0,80	198	157	645
	0,80 – 1,00	208	158	634

<sup>(1)</sup>I – Latossolo, com argila entre 30-40 por cento; II – Latossolo, com argila entre 40-50 por cento; III – Latossolo, com argila acima de 50 por cento.

Os solos em condição friável foram coletados no final do ano agrícola de 2012/2013 utilizando-se tubos de policloreto de vinila (PVC), com 1m de altura, diâmetro interno de 200 mm e espessura de parede de 9 mm. Para facilitar a retirada das colunas no interior de cada solo, cada tubo teve sua borda inferior desgastada e foi feito uso de vaselina para lubrificar a parede externa do tubo. As colunas foram retiradas individualmente com o auxílio de uma retroescavadeira, e em seguida transportadas para casa-de-vegetação. Cada coluna foi colocada sobre um prato de plástico perfurado, sendo mantida a umidade por meio da adição diária de 1L de água deionizada, visando manter a estrutura de cada solo intacta até a instalação do experimento.

A instalação do experimento em colunas realizou-se no início do mês maio do ano agrícola 2013/2014. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos (doses de CBCA) utilizados foram equivalente a: 0, 10, 20, 40 e 80 t ha<sup>-1</sup>. Cada tubo contendo solo constitui uma parcela experimental. O volume de terra dos primeiros 0,10 m das colunas foi retirado e misturado com as diferentes doses de CBCA, simulando uma incorporação realizada por um implemento agrícola com grade.

Em seguida, os tubos com os solos adicionados com as doses de CBCA foram colocados sobre funis plásticos, de forma casualizada em uma bancada de madeira para permitir a passagem dos lixiviados (Figura 10). Também foi disposto um kit de soro hospitalar suspenso numa altura de 0,70 m sobre cada coluna, cuja finalidade foi simular a distribuição de chuvas. Adicionalmente, foi colocado um pedaço de feltro com diâmetro 0,5 cm no centro da superfície de cada solo em cada parcela para minimizar a indução de fluxo preferencial através da parede interna do tubo de PVC.



**Figura 10.** Colunas contendo Latossolos com estrutura preservada adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

A frequência e a quantidade de água aplicada sobre os solos das colunas foram calculadas a partir de dados de pluviosidade coletados na estação climatológica da UNESP, Câmpus Jaboticabal- SP, seguindo o histórico de chuvas ocorridas semanalmente no período de outubro de 2012 a março de 2013 (Anexo I).

A água utilizada foi deionizada, sendo aplicada no máximo 1000 mL ao dia por gotejamento, na superfície do solo de cada coluna. Quando houve lixiviados, os mesmos foram coletados em reservatórios plásticos de 1.000 mL, sendo que do volume total coletado semanalmente foram retirados 300 mL, que permaneceram refrigerados em temperatura de  $\pm 4$  °C até serem analisados em dez dias. Transcorrido o tempo de seis meses de condução do experimento, as colunas de solo foram desmontadas e os solos retirados para serem analisados.



### 3.4.2. Avaliações

O teor de C total (orgânico + inorgânico) dissolvido nos lixiviados foi determinado indiretamente a partir da oxidação catalítica do C inorgânico por meio da acidificação de uma alíquota de 4 mL de lixiviado em 25% v/v de  $H_3PO_4$ , que após aquecida a 680 °C teve sua leitura feita em equipamento Shimadzu Total Carbon Analyzer – TOC 5050 A, seguindo o procedimento descrito por Campos et al. (2007).

O teor de nitrato dos lixiviados foi determinado por colorimetria com uso de ácido salicílico e leitura em espectrofotômetro com absorvância de  $\lambda = 410$  nm (CATALDO et al., 1975). O pH dos lixiviados foram determinados em água com uso de peagâmetro e a condutividade elétrica (CE) com uso de condutivímetro, ambos digitais.

Após seis meses, as colunas de solo foram fracionadas em camadas de 0,10 m, num total de 7 camadas (Figura 11).



**Figura 11.** Etapas do fracionamento dos Latossolos das colunas: abertura<sup>(a)</sup>; nivelamento<sup>(b)</sup>; posicionamento<sup>(c)</sup>; separação em camadas de 0,10 m<sup>(d)</sup>; corte<sup>(e)</sup> e secagem<sup>(f)</sup>.

O solo de cada camada foi seco ao ar e passado através de peneiras de 0,149 mm de malha para determinação em duplicata dos teores totais de C e N por meio de oxidação térmica com uso do equipamento da marca LECO, modelo CN628. Os valores médios de CT e NT foram utilizados para determinar a relação C/N dos Latossolos das colunas.

### **3.4.3. Análise dos dados**

Os teores totais de C dissolvido e nitrato além do pH e CE dos lixiviados dos Latossolos das colunas foram analisados em caráter exploratório, por meio de valores médios, em virtude da grande quantidade e do alto custo por análise de C. Apenas os dados referentes aos valores dos teores totais de C, N e relação C/N encontrados nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m dos solos das colunas foram analisados seguindo o esquema de parcelas subdivididas (três solos x cinco doses x duas profundidades).

Os dados foram submetidos à análise de variância. A comparação das médias foi realizada utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade e o efeito das doses, quando significativo, foi avaliado por meio de regressão polinomial, ambos utilizando o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2011). Adicionalmente, foi feita análise dos teores médios totais de C das camadas do perfil dos três Latossolos que receberam a dose de  $80 \text{ t ha}^{-1}$  de CBCA.

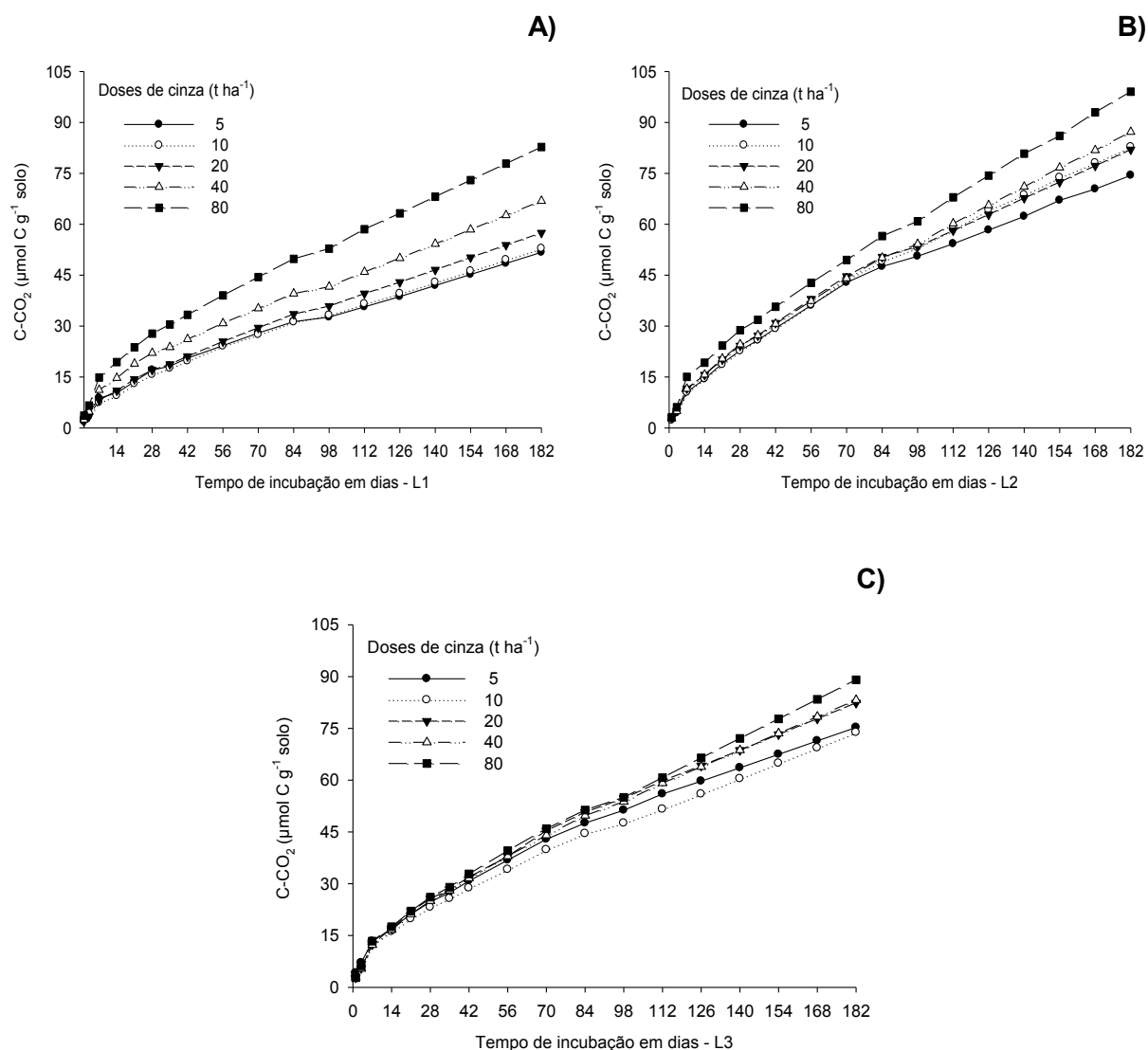
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Experimento de incubação**

#### **4.1.1. Evolução de CO<sub>2</sub>**

A adição de doses de CBCA proporcionou aumento na taxa de mineralização de C entre os solos (Figura 12). Os valores de C-CO<sub>2</sub> estão associados à atividade de microrganismos decompositores como relatado por Pandey e Singh (2010), os quais atribuíram o aumento do CO<sub>2</sub> em solos tratados por cinzas vegetais como sendo o resultado de dois fatores paralelos: um processo químico, a partir da reação de hidrólise dos carbonatos obtidos pelo método de captura; e um processo biológico, causado pela atividade de bactérias tolerantes ao aumento de pH proporcionado pelas substâncias alcalinas presentes na cinza.





**Figura 12.** Taxa acumulada de mineralização de carbono (C-CO<sub>2</sub>) dos Latossolos de diferentes texturas incubados com cinza de bagaço de cana-de-açúcar; L1 - Latossolo Vermelho eutroférico<sup>(A)</sup>; L2 – Latossolo Vermelho distrófico<sup>(B)</sup>; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo<sup>(C)</sup>.

Estudos têm demonstrado que o processo de mineralização de C em solos ou substratos adicionados de cinzas vegetais caracteriza-se por ambos os processos, sendo o químico inicial (LIMA et al., 2009) e o biológico final (ODLARE; PELL, 2009). Nayak et al. (2014) afirmaram que o aumento do pH do solo, proporcionado pela adição de cinzas vegetais, afeta a população de microrganismos, reduzindo a diversidade deles no solo. No entanto, os autores especificam que esse efeito depende do tipo de solo, da composição da cinza e da dose aplicada.

Zimmermann e Frey (2002) observaram que a aplicação em superfície de 8 e 21 t ha<sup>-1</sup> de cinza de madeira em um Cambissolo distrófico sob floresta resultou em elevação da respiração basal do solo, com a maior taxa de C-CO<sub>2</sub> observada aos quatro dias. Os autores relacionaram o efeito ao aumento no pH e a oferta de nutrientes pela cinza, os fatores que favoreceram o crescimento e, a atividade de bactérias e consequentemente a mineralização da matéria orgânica.

Observou-se nos solos L2 e L3 com menores teores de argila a maior taxa acumulada de C-CO<sub>2</sub> entre os solos, e no solo L1 a maior taxa acumulada de C-CO<sub>2</sub> entre as doses (Figura 12). A maior taxa acumulada de C-CO<sub>2</sub> entre as doses no solo L1 com maior teor de argila, deve-se a maior quantidade de C orgânico (Tabela 8), cuja decomposição microbiana pode ter sido favorecida com o aumento do pH proporcionado com a elevação da dose da CBCA. Ram e Masto (2014) revisando a literatura em relação ao efeito da aplicação de cinzas vegetais na atividade microbiana do solo relataram que a mineralização de C tende a ser maior em solos com textura arenosa devido a menor resistência a mudança de pH, a maior aeração e a menor proteção do C ao ataque microbiano, fatores estes que favorecem a atividade de bactérias decompositoras.

Tais inferências discordam dos resultados encontrados por Perucci et al. (2006) ao avaliar o efeito da aplicação de cinza de madeira na atividade microbiana de diferentes classes de solos. Os autores observaram que com o aumento da dose de cinza, houve elevação do pH dos solos nos primeiros quatro meses, sendo verificado posteriormente diminuição do teor de C microbiano dos solos em decorrência de elevados teores de metais (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni e Cr) presentes na cinza, que causaram a morte de parte dos microorganismos.

Isso implica que a composição química da cinza e a textura do solo são atributos importantes a serem considerados, na tomada de decisão de se aplicar cinzas de origem vegetal no solo. Acredita-se, portanto, que as maiores taxas de mineralização de C acumulada observadas no presente estudo estão associadas ao aumento da atividade microbiana do solo devido a elevação do pH proporcionado pela adição da CBCA, sendo este efeito relacionado ao poder tampão em cada tipo de solo.

#### 4.1.2. Atributos químicos

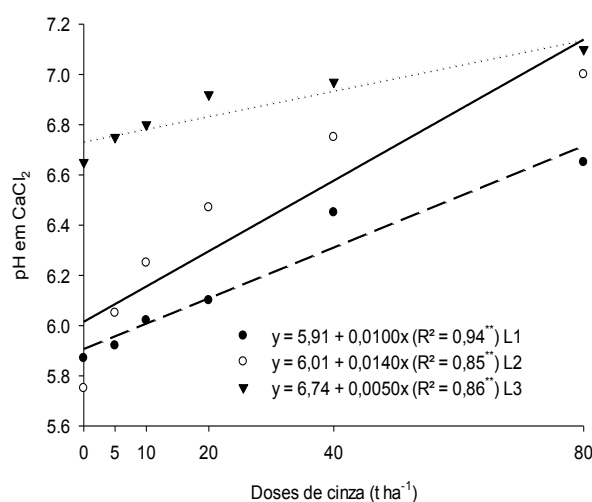
A interação entre solos e doses de CBCA exerceu efeito significativo sobre os valores de pH, C, P, K e H+Al, situação que evidencia interdependência entre os fatores estudados para estas variáveis, conforme tabela 11.

**Tabela 11.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos atributos químicos dos Latossolos de diferentes texturas incubados com cinza de bagaço de cana-de-açúcar<sup>(1)</sup>.

Latosolos (L) <sup>(2)</sup>	pH	C	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			
L1	6,2 c	10,0 a	99,7 c	12,6 a	37 ab	21 a	17,5a
L2	6,4 b	7,3 b	144,8 a	11,5 a	32 b	21 a	11,3 b
L3	6,9 a	6,8 c	111,5 b	8,9 b	40 a	17 b	9,4 c
F	623,7**	256,9**	54,4**	7,1**	5,6**	7,6**	1090,9**
----- Doses (D) de cinza (t ha <sup>-1</sup> ) -----							
0	6,1	7,8	45,3	2,0	30	16	15,1
5	6,2	8,0	50,2	3,5	28	14	14,1
10	6,3	7,9	72,7	5,6	33	17	12,9
20	6,5	8,0	103,6	9,7	34	18	12,7
40	6,7	8,1	169,6	18,9	41	22	11,3
80	6,9	8,3	270,4	26,4	51	30	10,3
F	231,4**	1,3 <sup>n.s.</sup>	379,0**	95,9**	13,5**	21,5**	91,0**
L x D							
F	20,4**	4,3**	3,7**	2,2*	0,1 <sup>n.s.</sup>	1,7 <sup>n.s.</sup>	9,6**
CV (%) <sup>(3)</sup>	1,1	6,5	13,1	31,1	22,4	21,5	4,9

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01); médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade <sup>(2)</sup>L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo; <sup>(3)</sup>CV – Coeficiente de variação.

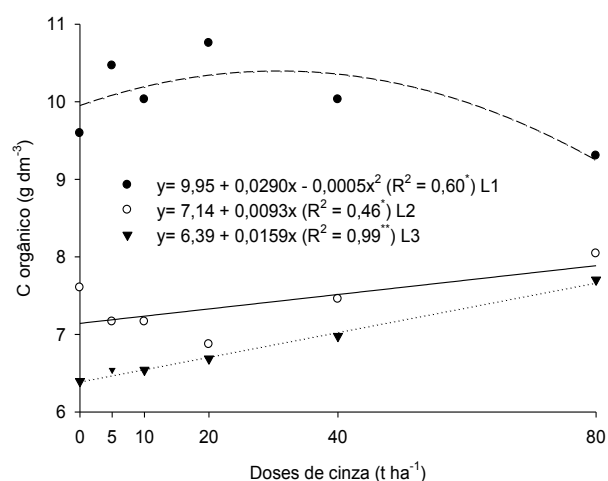
Entre os solos, o maior valor de pH foi observado no solo L3 de textura arenosa (Tabela 11). Houve acréscimos lineares no pH de cada solo, sendo que a dose de 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA aumentou a escala de pH em 0,8 no solo L1, 1,1 no solo L2 e 0,4 no solo L3, com os menores acréscimos verificados nos solos cujos valores de pH já estavam elevados (Figura 13). O efeito da correção do pH dos solos avaliados está associado às substâncias alcalinas presentes na CBCA, as quais provocam a diminuição da acidez potencial, conforme relatado por Ferreira, Fageria e Didonet (2012).



**Figura 13.** Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao valor de pH.

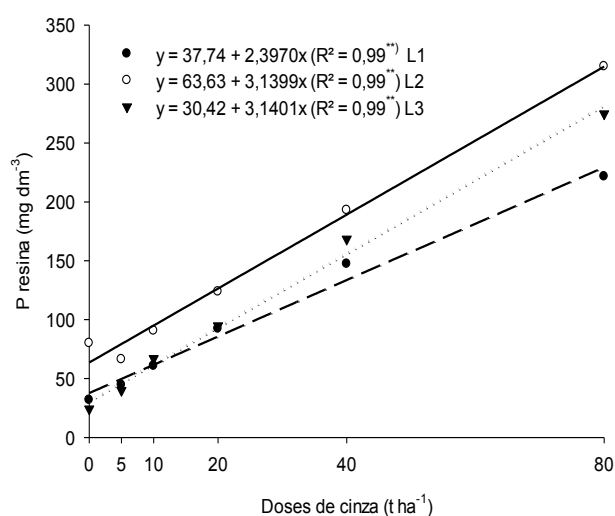
O maior teor de C orgânico foi observado no solo L1 de textura argilosa, no entanto não houve efeito individual das doses de CBCA no teor C orgânico (Tabela 11). Este fato está relacionado à ausência de C orgânico na CBCA, visto que a cinza foi queimada, passando a ser um material carbonizado com estrutura molecular composta com 43% de anéis aromáticos. De acordo Simpson e Hatcher (2004) o C do solo pode ser determinado por oxidação a seco ou úmida, porém o agente oxidante (dicromato de potássio em meio ácido) via úmida oxida apenas C orgânico de cadeia simples presente no solo, sendo este método ineficiente para oxidar as formas de C aromático adicionados aos solos.

A interação doses de CBCA e tipos de solos exerceu efeito significativo, com aumento na disponibilidade de C orgânico entre os solos (Figura 14). Os resultados estão de acordo com Zimmermann e Frey (2002) ao observarem que aplicação de cinzas vegetais leva a mais C disponível no solo, desde que o teor de C orgânico seja suficientemente elevado. Este foi o caso para o presente estudo, porém houve decréscimos no teor de C orgânico a partir da dose de 29 t ha<sup>-1</sup> no solo L1 (Figura 14). O decréscimo no teor de C orgânico do solo está associado ao aumento da mineralização dos compostos orgânicos por bactérias decompositoras, cuja atividade aumenta com a elevação do pH do solo proporcionado pela cinza (ODLARE; PELL, 2009; NAYAK et al., 2014).



**Figura 14.** Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor C orgânico.

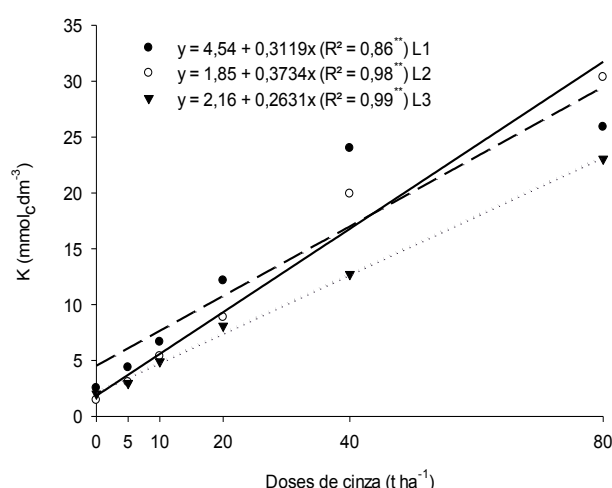
O solo L2 de textura média apresentou o maior teor de P entre os solos (Tabela 11). O teor de P também foi influenciado pelas doses de CBCA dentro de cada solo, sendo verificado aumento de 608 % no solo L1, 495% no solo L2 e 926 % no solo L3 com a aplicação de 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA (Figura 15). Nota-se então, que 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA com 8 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em sua constituição forneceu aos solos cerca 274,8 kg de P. Esse valor justifica o aumento de 270,4 mg dm<sup>-3</sup> de P para os solos observados na tabela 11, sendo o maior incremento (251,2 mg dm<sup>-3</sup>) verificado para os solos com menor teor de argila (Figura 15).



**Figura 15.** Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de P.

Tais resultados corroboram com os encontrados por Ferreira, Fageria e Didonet (2012) ao adicionarem 30 t ha<sup>-1</sup> de CBCA (concentração de P=21,4 g kg<sup>-1</sup>) em um Latossolo com 480 g kg<sup>-1</sup> de argila obtiveram aos 132 dias após aplicação, uma concentração de 510,2 mg dm<sup>-3</sup> de P. Quanto ao incremento de P ter sido maior nos solos com menores teores de argila, isso pode estar relacionado ao aumento do pH e da atividade microbiana que pode ter favorecido a maior disponibilidade de P observado nos solos L2 e L3.

Para o K, os maiores teores foram observados nos solos L1 e L2 (Tabela 11). Os maiores incrementos de K aos solos pela CBCA foram de 29,9 mmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> no solo L2, 24,9 no solo L1 e 21,0 mmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> no solo L3 (Figura 16). O menor incremento de K no solo L3 pode ser devido a maior ocupação da CTC pelo Ca cujo valor foi o mais elevado entre os solos antes da aplicação da CBCA.

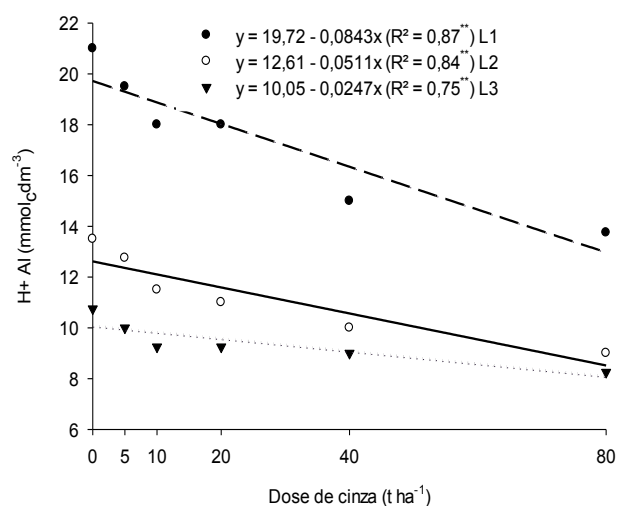


**Figura 16.** Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de K.

O aumento nas concentrações de K na solução do solo após a aplicação de cinzas vegetais tem sido reportado na literatura como sendo o principal efeito encontrado em solos tropicais (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008; FERREIRA; FAGERIAE; DIDONET, 2012). Porém o excesso de K na CBCA (17 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) do presente estudo deve-se ao fato de que a cana responde muito bem a aplicação de K, sendo este o nutriente mais exportado pela cultura (OLIVEIRA et al., 2010). A dose de 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA adicionou aos solos 1.129 kg de K

correspondente a  $28,9 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$  de K. Este valor está de acordo com o encontrado na tabela 11 ( $26,4 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ ).

A acidez potencial mostrou-se superior no solo L1 de textura argilosa (Tabela 11). Isso pode está relacionado aos íons  $\text{H}^+$  associados às cargas negativas dependentes de pH dos colóides orgânicos em maior quantidade no solo L1 (Figura 17). Quanto ao efeito das doses de CBCA na acidez potencial de cada solo, verificaram-se diminuição em todas as doses, porém com a aplicação de  $80 \text{ t ha}^{-1}$  houve decréscimos de  $6,7 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$  no solo L1,  $4,1 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$  no solo L2 e  $2,0 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$  no solo L3 (Figura 17).

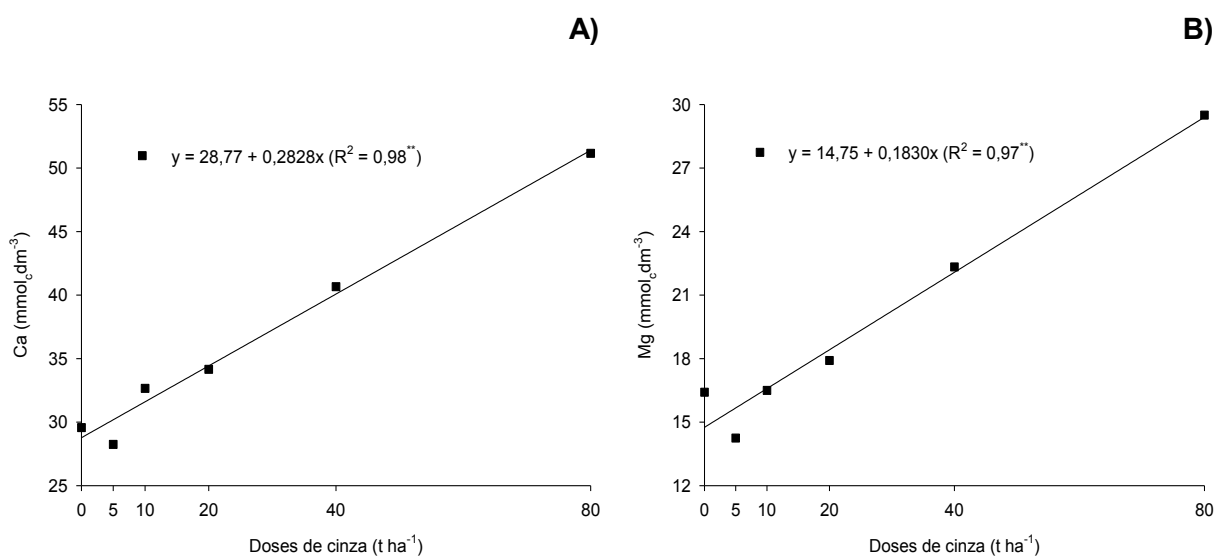


**Figura 17.** Interação entre doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e os Latossolos de diferentes texturas em relação ao teor de H+Al.

O maior decréscimo da acidez potencial no solo L1 está relacionado com o incremento de pH proporcionado pelo aumento da dose de CBCA. A redução da acidez potencial do solo por meio do uso de cinzas de biomassa tem sido relatada na literatura (PANDEY; SINGH, 2010; RAM; MASTO, 2014). Entretanto, esse efeito depende da quantidade de Ca e Mg na forma de óxidos ou carbonatos contidos na cinza (YUNUSA et al., 2006). Ferreira, Fageria e Didonet (2012) ao aplicar três diferentes fontes de CBCA (cinza da grelha, cinza do ciclone e cinza da grelha + composto orgânico) em um Latossolo de textura argilosa atribuíram a redução da acidez do solo ao aumento da dose aplicada de CBCA.

A análise de regressão mostra a influência das doses da CBCA nos valores médios do Ca e Mg entre os solos (Figuras 18A e 18B, respectivamente). A CBCA

possui  $9 \text{ g kg}^{-1}$  de CaO e  $7 \text{ g kg}^{-1}$  de MgO, os quais forneceram aos solos na dose de  $80 \text{ t ha}^{-1}$  cerca de  $514,3 \text{ kg}$  de Ca e  $337,7 \text{ kg}$  de Mg. Estes resultados estão de acordo com o incremento dos teores médios de Ca  $22,6 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$  e Mg  $14,6 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$  observados entre os solos com a adição de  $80 \text{ t ha}^{-1}$  da CBCA (Figuras 18A e 18B, respectivamente). No entanto, a ausência de interação significativa entre as doses de CBCA e os solos para os teores de Ca e Mg pode estar relacionado a baixa quantidade desses elementos presente na cinza em estudo.



**Figura 18.** Efeito das doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar sobre os teores de Ca<sup>(A)</sup> e Mg<sup>(B)</sup> dos Latossolos.

#### 4.1.3. Teores totais de carbono e nitrogênio - solos incubação

Os valores médios de C total foram crescentes nos solos quanto maior foi a dose de CBCA adicionada (Tabela 12). Isso pode estar relacionado a dois fatores: o efeito da dose de CBCA em elevar o pH do solo e, conseqüentemente, provocar a disponibilidade de C microbiano, como também foi observado por Zimmermann e Frey (2002); ao acréscimo de C proporcionado pela CBCA, a qual possui  $190 \text{ g kg}^{-1}$  de C total e cujas doses adicionadas do resíduo, correspondentes a  $5; 10; 20; 40$  e  $80 \text{ t ha}^{-1}$ , forneceram C nas quantidades equivalentes de  $950; 1.900; 3.800; 7.600; 15.200 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo verificado entre os solos incremento médio de  $100\%$  na maior dose.



**Tabela 12.** Valores médios de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT) em Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Latossolos (L) <sup>(1)</sup>	L1		L2		L3	
	CT	NT	CT	NT	CT	NT
Doses (D) (t ha <sup>-1</sup> )	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
0	13,8	< LD	12,2	< LD	10,4	< LD
5	14,2	< LD	12,8	< LD	11,8	< LD
10	14,1	< LD	13,4	< LD	12,7	< LD
20	15,4	< LD	16,3	< LD	16,4	< LD
40	17,8	< LD	17,2	< LD	17,4	< LD
80	21,9	< LD	23,6	< LD	21,4	< LD

<sup>(1)</sup>L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo; CT e NT foram determinados por analisador elementar Perkin Elmer 2400, com limite de detecção de 0,3% para CHNS/O. LD – abaixo do limite de detecção.

Perucci et al. (2006) observaram mudanças na atividade microbiana e diminuição da relação C/N de diferentes classes de solos a partir da aplicação 20 t ha<sup>-1</sup> de cinza de madeira, e relacionaram este efeito à morte dos microrganismos provocada pelo aumento da dose em virtude do excesso de metais presentes na cinza. Para este estudo verificou-se que a aplicação de até 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA beneficiou a atividade microbiana dos solos, sendo a cinza capaz de adicionar e disponibilizar C aos mesmos, independentemente da textura.

Como pode ser observado na tabela 12 o teor de NT entre os solos adicionados de CBCA foi inferior a 0,3%, que é o limite de detecção do analisador elementar de CHNS/O Perkin Elmer 2400. Basu et al. (2009) relatam que a quantidade de N em cinzas vegetais é nula ou muito baixa, pois durante o processo de combustão da biomassa o N é vaporizado e por isso gera cinzas pobres em N. Tal fato também pode ter contribuído para o não incremento de N aos solos por meio da adição de CBCA.

#### 4.1.4. Grau de humificação da matéria orgânica (H<sub>FIL</sub>) – solos incubação

Observou-se aumento significativo nos valores de H<sub>FIL</sub> nos Latossolos em função do menor teor de argila (Tabela 13). Os espectros evidenciaram uma única banda de 575 nm para todos os Latossolos (Figura 19A). Houve mudança na intensidade de fluorescência quanto à classe textural, sendo a maior intensidade de fluorescência para o solo L3 de textura arenosa, seguido pelo solo L2 de textura média e o solo L1 de textura argilosa. A maior fluorescência deve-se a maior

quantidade de fluoróforos presentes na fração orgânica do solo em estágio avançado de humificação (MILORI et al., 2006). Porém, a maior humificação da matéria orgânica do solo está condicionada a fatores como a aceleração da decomposição microbiana com redução do C orgânico do solo (FONTAINE et al., 2007) e a solos com maior pH (SILVA; MENDONÇA, 2007). Este fato pode explicar os maiores valores de  $H_{FIL}$  entre os solos L2 e L3, onde foram observados os menores teores de C orgânico, as maiores taxas de mineralização de C e os maiores valores de pH.

**Tabela 13.** Resultados da análise de variância (Teste F) do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) das amostras de Latossolos de diferentes texturas sob a aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar<sup>(1)</sup>.

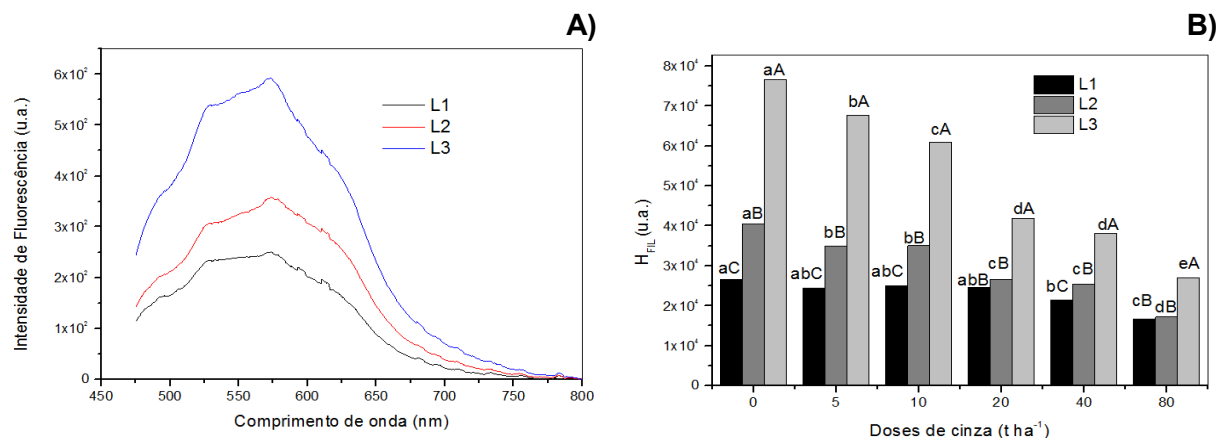
Solos (S) <sup>(2)</sup>	$H_{FIL}$ (u.a.)
L1	23.109,46 c
L2	29.954,20 b
L3	52.002,66 a
F	1.431,89**
Doses (D) de cinza (t ha <sup>-1</sup> )	
0	47.873,36
5	42.303,63
10	40.300,19
20	31.019,48
40	28.343,96
80	20.292,01
F	328,90**
Interação S x D	72,94**
CV <sup>(3)</sup>	5,58

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>L1 - Latossolo Vermelho eutroférico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo; <sup>(3)</sup>CV – Coeficiente de variação.

A interação entre as doses da CBCA e os solos foi significativa, sobre os valores do  $H_{FIL}$  (Tabela 13), sendo observada diminuição dessa variável a partir do aumento da dose de CBCA (Figura 19B). A redução observada nos valores de  $H_{FIL}$  dos solos deve-se ao aumento do C proporcionado pela CBCA. Segundo Cunha et al. (2007) o  $H_{FIL}$  da matéria orgânica do solo é inversamente proporcional ao aumento da relação C/N, sendo seu decréscimo um indicativo de pouca mineralização e menor decomposição microbiana.

Quanto a redução do valor de  $H_{FIL}$  no solo L1 de textura argilosa somente a partir das maiores doses da CBCA está associado a maior resistência a mudança do pH. Neste sentido, ressalta-se a importância fundamental do conhecimento da

textura do solo para melhor definir a quantidade de CBCA a ser aplicada e assim evitar efeitos negativos (imobilização > mineralização) na relação C/N, os quais podem prejudicar a atividade biológica do solo e a disponibilidade de nutrientes.



**Figura 19.** Espectros de fluorescência induzido por laser<sup>(A)</sup> e valores do grau de humificação ( $H_{FIL}$ )<sup>(B)</sup> obtidos em nas amostras dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA); L1 - Latossolo Vermelho eutroférrico; L2 – Latossolo Vermelho distrófico; L3 – Latossolo Vermelho-Amarelo.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas diferem doses de cinza dentro de cada solo e as maiúsculas diferem os solos dentro de cada dose de cinza, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4.2. Experimento de campo

### 4.2.1. Atributos químicos dos solos amostrados em 2012

Entre os solos amostrados em 2012 foram observados efeitos significativos aos 10 e 16 meses após adição de doses de CBCA apenas para o K, independentemente do manejo adotado (Tabelas 14 e 15). Resultados semelhantes foram encontrados por Yamane (2013) na área 1 e por Volante (2013) na área 2, ambos os solos também amostrados em 2012, aos 6 e 12 meses após a aplicação da CBCA. Os autores atribuem ao K ser o nutriente presente em maior proporção na constituição da cinza da queima do bagaço de cana-de-açúcar (2,7 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O conforme caracterização da ABNT NBR 10004 (2004)) (Anexo B), sendo que as doses adicionadas do resíduo, correspondentes a 0; 5; 10; 20 e 40 t ha<sup>-1</sup>, forneceram K<sub>2</sub>O nas quantidades equivalentes de 0; 13,5; 27; 54 e 108 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, justificando o aumento linear em função das doses de CBCA aplicadas (Figura 20).

Entretanto, os valores encontrados no experimento de incubação, demonstraram por meio da caracterização da CBCA feita por fluorescência de raio-X (Tabela 5) que a quantidade de  $K_2O$  fornecida aos solos é bem maior ( $17 \text{ g kg}^{-1}$ ). Tal fato coloca em evidência que há necessidade da CBCA ser avaliada por métodos espectroscópicos. No entanto, a quantidade de K a ser fornecida a partir da CBCA depende de fatores que estão condicionados a variedade e ao manejo nutricional da cana, ao processo de moagem, a combustão e a forma de disposição final, sujeita a intemperismo ou não (TURN et al., 2003; PITA, 2009).

**Tabela 14.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2012 para área 1 (cinza não incorporada)<sup>(1)</sup>.

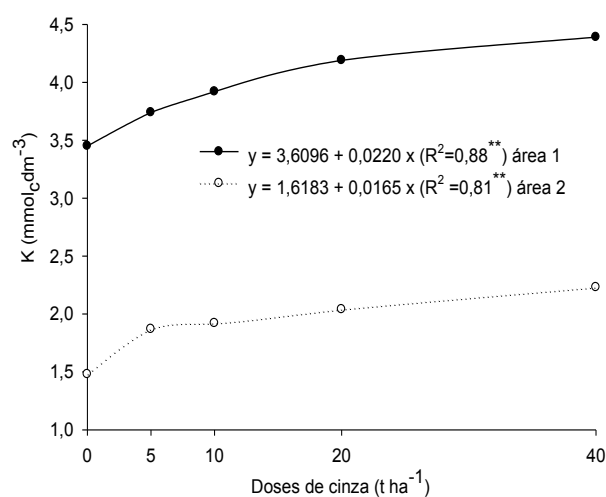
Doses (D) (t ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g dm <sup>-3</sup> )	P (resina) (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SB	T	V (%)
0	4,5	8,0	94,5	3,5	15	5	39,6	23,3	62,9	36
5	4,6	7,8	85,7	3,7	15	5	36,0	23,8	59,8	40
10	4,5	8,0	92,8	3,9	15	5	40,3	23,5	63,7	36
20	4,7	8,0	91,8	4,2	16	6	35,5	25,6	61,0	42
40	4,6	8,1	96,5	4,4	16	6	39,3	25,6	64,9	40
F	0,4 n.s.	0,1 n.s.	0,3 n.s.	3,4 *	0,0 n.s.	0,4 n.s.	1,2 n.s.	0,1 n.s.	0,8 n.s.	0,4 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	10,5	20,1	34,9	22,7	72,4	54,6	23,0	58,4	15,9	44,5
----- Camada (C) m -----										
0-0,05	4,3 b	8,4 a	102,6 a	3,9	12 b	5	44,8 a	21,6 b	66,4 a	32 b
0,05 – 0,10	4,7 a	7,4 b	81,8 b	3,9	17 a	5	31,4 b	27,0 a	58,4 b	46 a
F	221,7 **	43,3 **	61,3 **	0,3 n.s.	55,0 **	3,3 n.s.	312,4 **	46,7 **	93,3 **	180,0 **
Interações										
D x C	1,8 n.s.	0,1 n.s.	1,3 n.s.	7,2 **	1,0 n.s.	0,4 n.s.	0,2 n.s.	1,2 n.s.	1,2 n.s.	1,1 n.s.
CV (%)	3,1	9,5	14,4	8,3	22,2	18,7	10,0	16,3	6,7	13,0
----- Época (E) -----										
Chuvosa	4,6	8,2 a	91,7	4,4 a	15	5	38,9	24,7	62,3	38
Seca	4,6	7,7 b	92,7	3,4 b	15	5	37,3	24,0	61,3	39
F	4,6 n.s.	14,2 **	0,0 n.s.	104,6 **	0,0 n.s.	0,7 n.s.	3,3 n.s.	0,9 n.s.	8,0 n.s.	0,1 n.s.
Interações										
D x E	0,9 n.s.	0,8 n.s.	1,0 n.s.	0,7 n.s.	1,5 n.s.	0,9 n.s.	0,7 n.s.	1,4 n.s.	1,3 n.s.	0,7 n.s.
C x E	0,2 n.s.	2,7 n.s.	0,0 n.s.	1,3 n.s.	1,9 n.s.	1,7 n.s.	2,3 n.s.	2,4 n.s.	1,9 n.s.	0,0 n.s.
D x C x E	0,6 n.s.	0,5 n.s.	1,2 n.s.	1,4 n.s.	0,4 n.s.	0,5 n.s.	1,1 n.s.	0,5 n.s.	0,9 n.s.	0,7 n.s.
CV (%)	3,4	9,6	17,3	13,0	19,3	26,6	11,2	17,1	6,7	14,2

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01): médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação.

**Tabela 15.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2012 para área 2 (cinza incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	pH	C	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
(t ha <sup>-1</sup> )	(CaCl <sub>2</sub> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			-----			(%)
0	5,2	7,4	25,3	1,4	23	12	20,7	36,4	57,0	61
5	5,3	7,2	53,9	1,8	31	11	19,3	44,1	63,4	64
10	5,3	6,3	29,8	1,9	21	10	18,9	32,9	51,8	61
20	5,1	6,9	17,6	2,0	18	11	20,3	30,2	50,5	59
40	5,3	7,0	30,4	2,0	23	11	19,0	36,1	55,1	62
F	0,7 n.s.	1,0 n.s.	0,7 n.s.	4,2 *	1,1 n.s.	0,9 n.s.	0,4 n.s.	1,0 n.s.	1,3 n.s.	0,5 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	7,6	25,2	222,0	33,9	89,5	27,7	26,4	62,6	35,0	20,1
----- Camada (C) m -----										
0-0,15	5,4 a	9,1 a	51,7 a	2,2 a	31 a	13 a	19,1 b	47,7 a	66,9 a	68 a
0,15 – 0,30	5,0 b	4,8 b	10,9 b	1,5 b	14 b	8 b	20,1 a	24,1 b	44,2 b	54 b
F	119,7 **	258,0 **	13,5 **	60,7 **	26,0 **	149,9 **	5,6 *	45,4 **	45,0 **	215,7 **
Interações										
D x C	1,4 n.s.	2,1 n.s.	0,8 n.s.	0,5 n.s.	1,1 n.s.	0,3 n.s.	0,8 n.s.	1,1 n.s.	1,2 n.s.	1,0 n.s.
CV (%)	3,2	19,5	176,6	25,1	73,0	21,2	10,1	48,9	30,4	8,3
----- Época (E) -----										
Chuvosa	5,1 b	7,6 a	30,2	1,7 b	25	11a	20,7 a	37,9	58,6 a	62
Seca	5,2 a	6,3 b	32,4	2,0 a	22	10 b	18,5 b	33,9	52,4 b	61
F	10,6 **	17,3 **	0,2 n.s.	12,0 **	2,5 n.s.	7,5 **	40,5 **	3,4 n.s.	8,9 **	0,2 n.s.
Interações										
D x E	0,8 n.s.	1,4 n.s.	1,0 n.s.	0,2 n.s.	1,6 n.s.	1,7 n.s.	0,3 n.s.	1,8 n.s.	1,7 n.s.	1,9 n.s.
C x E	0,5 n.s.	0,3 n.s.	0,5 n.s.	0,2 n.s.	0,2 n.s.	0,7 n.s.	0,5 n.s.	0,1 n.s.	0,5 n.s.	1,2 n.s.
D x C x E	0,6 n.s.	1,0 n.s.	0,5 n.s.	0,3 n.s.	0,4 n.s.	0,0 n.s.	0,3 n.s.	0,3 n.s.	0,2 n.s.	0,2 n.s.
CV (%)	3,0	20,9	77,8	23,3	40,5	22,5	8,6	29,9	18,5	8,2

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01); médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação.



**Figura 20.** Teores médios de potássio no solo após aplicação de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar não incorporada (área 1) e incorporada (área 2).

Observou-se aumento de K apenas na camada superficial entre os solos (Tabelas 14 e 15). Na área 1, o maior teor de K foi encontrado na época chuvosa e na área 2 na época seca. O efeito não significativo nas camadas da área 1 (Tabela 14) deve-se a mobilidade do K adicionado no solo por meio de cinzas vegetais (PARK et al., 2004), sendo relatado por Yamane (2013) movimentação vertical de K da camada superficial para a camada de 0,10-0,20 m na área 1, com maior disponibilidade de K observada aos seis meses posteriores à aplicação da CBCA, resultado este semelhante ao encontrado neste estudo. Entretanto, o aumento significativo de K na área 2, na camada de 0-0,15 m após 10 meses da aplicação de CBCA (Tabela 15) é explicado por Volante (2013) como sendo devido a incorporação da cinza ter sido realizada, no máximo, até 0,15 m de profundidade.

Possivelmente o aumento de K observado na época seca na área 2 (Tabela 15) pode ser atribuído a decomposição da matéria orgânica que em estágio final de oxidação pode liberar nutrientes para a solução do solo (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Tais resultados corroboram com os encontrados por Volante (2013) ao avaliar a área 2, aos 6 e aos 12 meses após a aplicação de CBCA. Apesar da CBCA do presente estudo ter apresentado valor de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) de 8,3 e saturação por bases de 98%, houve ausência de efeitos significativos em função da aplicação da cinza no pH, nos teores de Ca e Mg trocáveis e consequentemente na SB e no V% do solo (Tabelas 14 e 15). Possivelmente isso ocorreu devido o baixo poder de neutralização da cinza ( $\text{PN}=2,63\%$ ).

Estudos demonstraram que os óxidos e hidróxidos presentes em cinzas provenientes da queima de biomassa são muito mais solúveis que os carbonatos presentes em calcários (VAMVUKA; ZOGRAFOS, 2004; YUNUSA et al., 2006; FEITOSA; MALTONI; SILVA, 2009). Dessa forma, reagem com o solo com maior celeridade resultando num aumento do pH mais rápido, mas por um curto período de tempo (NKANA et al., 2002; PITA, 2009; PANDEY; SINGH, 2010). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Yamane (2013) e Volante (2013). Os autores especificam que a CBCA do presente estudo é constituída principalmente por óxidos ( $\text{K}_2\text{O}>\text{CaO}>\text{MgO}$ ) sendo o excesso de K capaz de deslocar o Ca e o Mg do complexo coloidal e interferir nos valores de SB e V%, efeito esse observado na área 1 (cinza não incorporada), na camada de 0,05-0,10 m no pH e nos valores de

Ca, SB e V% (Tabela 14). Assim, como as doses de CBCA não influenciaram o pH, os cátions e os componentes da acidez do solo nos períodos avaliados, também não houve efeito na acidez potencial e T, em ambas as áreas (Tabelas 14 e 15).

A diminuição da acidez potencial ocorre devido ao aumento da dose de CBCA, como observado por Ferreira, Fageria e Didonet (2012) em um Latossolo de textura argilosa, cujo incremento na concentração de nutrientes do solo por CBCA pura e misturada a subproduto bovino, possibilitaram elevar o pH, o V%, os teores de Mg, P e K na camada de 0-0,20 m. Ressalta-se que a concentração dos nutrientes da cinza utilizada por esses autores foram maiores ( $Ca > K > Mg$ ) que a cinza utilizada no presente estudo, sendo possível observar efeito significativo no solo, quatro meses após a aplicação.

No presente estudo, não foi constatado efeito significativo da aplicação da CBCA nos teores de C orgânico, P, Ca e Mg dos solos das áreas 1 e 2 (Tabelas 14 e 15, respectivamente). A ausência de efeitos no teor de C está associada ao fato de que a cinza foi queimada, impossibilitando a leitura pelo método Walkley Black utilizado nesse ensaio, o qual segundo Simpson e Hatcher (2004) não se mostra eficiente para oxidar formas de C pirogênico. Em relação ao P, Ca e Mg, Yamane (2013) e (Volante, 2013) associam a ausência de efeito significativo a fatores como baixa quantidade desses elementos na CBCA, a maior quantidade desses elementos presentes no solo no início do experimento, elevada solubilidade do Ca e Mg presente na cinza e a capacidade do P em fixar-se ao solo ácido e com alto teor de argila.

Yunusa et al (2006) revisando a literatura em relação a durabilidade do efeito corretivo e fertilizante de cinza de carvão em solos ácidos, observaram que ambos estão relacionados às características como alto poder de neutralização da cinza que aumenta o pH do solo, proporcionado por valores elevados de Ca e Mg na forma de óxidos ou carbonatos. Tais características divergem das encontrados na CBCA do presente estudo, o que justifica o efeito não significativo nos atributos químicos dos solos avaliados aos 10 e 16 meses.

Também foram observados na área 1 maiores valores para o C, P, H+Al e T na camada de 0-0,05 m (Tabela 14). A presença do maior teor de C orgânico na camada superficial deve-se ao fato da adição de resíduos vegetais serem maior

nessa camada, cuja presença contribui para aumentar os valores de H+Al e T. Quanto ao P, o seu acúmulo na camada superficial está associado a sua baixa mobilidade no solo, que segundo Augusto, Bakker e Meredieu (2008) isso é devido ao P estar ligado por adsorção a compostos pouco solúveis como óxidos de Fe e Al, presentes em solos tropicais. Este fato foi evidenciado por Yamane (2013), que atribui o acúmulo de P na camada superficial da área 1 a não incorporação da CBCA e de adubos anteriormente aplicados.

Na área 2, houve aumento nos valores de todos os atributos na camada de 0-0,15 m, exceto H+Al (Tabela 15). Foram observados valores superiores para C, Mg, H+Al e T na época chuvosa e para pH e K na época seca. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Volante (2013) que justifica a mudança dos atributos na camada superficial da área 2 como sendo devido a área já ter sido cultivada e a presença da CBCA que foi incorporada até a profundidade de 0,15 m. No entanto, o valor superior de C observado na época chuvosa pode estar associado a atividade microbiana que tende a diminuir neste período, devido o aumento de umidade e o decréscimo de temperatura. Assim, a maior presença de C na época chuvosa pode ter favorecido o aumento dos valores de H+Al e o valor de T na área 2 (Tabela 15).

#### **4.2.2. Atributos químicos dos solos amostrados em 2013**

Entre os solos amostrados em maio de 2013 não foram observados efeitos significativos da adição de CBCA sobre os atributos químicos (Tabelas 16 e 17, respectivamente). Assim, a discussão se limitará as observações feitas apenas para as camadas de 0-0,05 m na área 1 e 0,15-0,30 m na área 2, igualmente coletadas nos três períodos (março/12, setembro/12 e maio/13).

Para os atributos químicos do período intermediário às épocas chuvosa e seca observou-se na área 1 aumento no pH e nos valores de P, Ca, Mg, SB, T e V%, com conseqüente redução dos valores de H+Al na camada de 0-0,05 m (Tabela 16) além da redução do teor de C quando comparado ao ano de 2012 (Tabela 14). O aumento de pH, das bases e a redução da acidez potencial ocorreu devido a aplicação de calcário na camada superficial em fevereiro de 2013 no pomar de laranja, antes da coleta de solo.



**Tabela 16.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2013 para área 1 (cinza não incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	pH	C	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
(t ha <sup>-1</sup> )	(CaCl <sub>2</sub> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----						(%)
0	5,1	7,0	71,1	2,5	29	8	24,7	38,7	63,4	57
5	5,0	6,7	61,9	2,8	21	6	24,2	29,8	54,0	54
10	5,1	6,9	79,1	2,8	25	7	25,1	34,7	59,8	56
20	5,2	7,1	66,2	2,6	26	7	23,1	36,0	59,1	58
40	5,0	7,0	65,7	2,9	21	6	25,4	28,1	53,5	52
F	0,2 n.s.	0,2 n.s.	1,2 n.s.	0,7 n.s.	0,9 n.s.	0,9 n.s.	0,2 n.s.	0,8 n.s.	1,8 n.s.	0,3 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	9,1	19,9	33,0	27,4	62,9	49,5	28,6	54,1	20,6	29,8
----- Camada (C) m -----										
0-0,05	5,2 a	8,0 a	94,8 a	2,7	31 a	8a	24,6 b	42,9 a	67,5 a	60a
0,05-0,15	4,7 b	7,0 b	76,8 b	2,5	17 b	4 b	28,8 a	24,1 b	53,0 b	44b
0,15-0,30	5,2 a	5,8 c	34,7 c	2,7	23 b	7a	20,0 c	33,1 b	53,2 b	61a
F	20,3 **	98,0 **	71,1 **	1,3 n.s.	10,5 **	15,6 **	28,9 **	11,8 **	13,7 **	20,5 **
Interações										
D x C	0,7 n.s.	1,1 n.s.	0,6 n.s.	0,9 n.s.	0,7 n.s.	0,8 n.s.	0,5 n.s.	0,7 n.s.	0,7 n.s.	0,7 n.s.
CV (%)	5,4	7,7	26,5	14,7	46,6	39,4	16,6	40,7	19,3	18,2

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01): médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação.

**Tabela 17.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2013 para área 2 (cinza incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	pH	C	P (res.)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
(t ha <sup>-1</sup> )	(CaCl <sub>2</sub> )	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----						(%)
0	5,3	6,9	27,7	2,0	21	10	18,1	32,5	50,6	62
5	5,4	7,4	65,7	2,1	30	11	17,6	42,9	60,5	66
10	5,3	7,3	24,1	2,0	20	10	17,6	32,9	50,5	64
20	5,2	6,5	27,0	2,1	20	10	19,2	31,8	51,0	61
40	5,3	7,9	42,7	2,5	24	11	18,4	37,2	55,6	64
F	0,2 n.s.	1,8 n.s.	1,1 n.s.	1,3 n.s.	1,2 n.s.	0,2 n.s.	0,1 n.s.	1,2 n.s.	1,6 n.s.	0,4 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	6,6	22,6	167,7	21,8	66,1	21,5	34,0	45,7	24,9	19,6
----- Camada (C) m -----										
0-0,05	5,5 a	10,5 a	70,7 a	2,8 a	35a	13 a	16,3 b	52,1 a	68,4 a	74 a
0,05-0,15	5,2 b	6,4 b	33,4 b	1,9 b	19b	9b	18,2 a	31,0 b	49,3 b	62 b
0,15-0,30	5,0 c	4,5 c	8,0 b	1,5 c	13b	7c	19,9 a	23,2 c	43,1 b	53 c
F	84,2 **	176,7 **	12,4 **	97,8 **	28,1**	89,6 **	12,5 **	44,5 **	34,8 **	113,5 **
Interações										
D x C	0,3 n.s.	1,6 n.s.	0,9 n.s.	0,9 n.s.	1,4 n.s.	0,6 n.s.	0,6 n.s.	1,4 n.s.	1,6 n.s.	0,3 n.s.
CV (%)	2,7	15,8	119,4	16,1	45,6	16,1	13,8	31,6	20,9	7,6

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01): médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação.

Quanto à redução do teor de C em relação ao ano de 2012, deve-se ao aumento da atividade microbiana do solo proporcionada pela calagem, como observado por Marcelo, Corá e La Scala Jr. (2012) ao encontrarem correlação positiva entre a emissão de CO<sub>2</sub> e o aumento nos valores de pH, Ca, Mg e P, devido a aplicação de doses crescentes de calcário. A melhoria dos atributos químicos pela calagem eleva o pH do solo e favorece a atividade de bactérias decompositoras, aumentando a emissão de CO<sub>2</sub> e diminuindo os teores de matéria orgânica (ARANTES; LAVORENTI; TORNISIELO, 2007).

Também houve redução nos teores de P e K para o período intermediário na área 1 (Tabela 16), possivelmente, em função do consumo desses nutrientes pela cultura da laranja ou das perdas por lixiviação no caso do K e adsorção no caso do P, como observado por Yamane (2013). O autor relata que ao avaliar a concentração de K no solo da área 1, percebeu mobilidade para a camada de 0,10-0,20 m, e ao avaliar as laranjeiras encontrou efeitos significativos da CBCA na folha, sendo que a máxima concentração estimada de K, equivalente a 17,4 g kg<sup>-1</sup>, foi obtida na dose de cinza de 22,4 t ha<sup>-1</sup>. Tal comportamento das perdas de K no solo é comum, devido a maior exigência da variedade Valência por este nutriente (QUAGGIO; MATTOS Jr; BOARETTO, 2011) e da sua solubilidade e mobilidade para as camadas mais profundas (YAMANE, 2013). Entretanto, a mobilidade e disponibilidade no solo de elementos adicionados por cinzas é dependente de pH, como é o caso do P que pode ser adsorvido em solos ácidos (PANDEY; SINGH 2010).

Na área 2 em que a CBCA foi incorporada, os valores dos atributos químicos mantiveram-se semelhantes para a camada de 0,15-0,30 m entre os três períodos avaliados (Tabelas 15 e 17). Os resultados não significativos nos atributos químicos para esta camada é atribuído por Volante (2013) como sendo devido a incorporação da CBCA ter sido feita até a profundidade de 0,15 m. Adicionalmente, após dois anos de aplicação, a CBCA não apresentou efeito residual em nenhuma das camadas da área 2 (Tabela 17).

### 4.2.3. Atributos biológicos dos solos amostrados em 2012

Não foram observados efeitos significativos da CBCA no COT, no NT e no CBM, tanto quando foi aplicada em cobertura na superfície do solo sem incorporação (Tabela 18), como quando foi incorporada ao solo por meio de gradagem (Tabela 19).

**Tabela 18.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2012 para área 1 (cinza não incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	COT	NT	C/N	Est COT	Est NT	CBM	q-MIC	RB	q-CO <sub>2</sub>	Ds
(t ha <sup>-1</sup> )	--- g kg <sup>-1</sup> ---			--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		mg CBM kg <sup>-1</sup> solo	%	mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> C-BMS hora <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>
0	9,9	0,8	12	7,0	0,6	114,4	1,2	95,9	0,8	1,4
5	9,4	0,8	12	6,7	0,6	109,8	1,2	85,5	0,8	1,4
10	9,5	0,8	11	6,9	0,6	113,2	1,2	89,2	0,9	1,5
20	9,6	0,8	12	6,8	0,6	114,4	1,2	93,0	0,8	1,4
40	9,6	0,8	12	6,9	0,6	111,5	1,2	91,1	0,8	1,4
F	0,2 n.s.	0,1 n.s.	1,5 n.s.	0,1 n.s.	0,3 n.s.	0,1 n.s.	0,1 n.s.	0,7 n.s.	0,1 n.s.	1,8 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	17,5	14,7	5,8	17,0	14,1	19,4	30,8	22,2	34,8	3,5
----- Camada (C) m -----										
0-0,05	9,7 a	0,8	12	6,7 b	0,5 b	112,7	1,1	94,3	0,8	1,3 b
0,05 – 0,10	9,4 b	0,8	12	6,9 a	0,6 a	112,5	1,2	87,4	0,7	1,4 a
F	8,4 **	0,9 n.s.	2,2 n.s.	4,8 *	24,4 **	0,0 n.s.	0,6 n.s.	4,2 n.s.	2,3 n.s.	231,0 **
Interações										
D x C	1,2 n.s.	0,9 n.s.	0,5 n.s.	0,9 n.s.	0,8 n.s.	2,1 n.s.	1,8 n.s.	1,1 n.s.	1,5 n.s.	0,2 n.s.
CV (%)	6,7	6,1	8,4	7,1	5,8	16,5	19,2	18,3	36,3	2,3
----- Época (E) -----										
Chuvosa	10,1 a	0,8 a	12	7,2 a	0,6 a	128,7 a	1,3 a	112,8 a	0,8	1,4
Seca	9,1 b	0,7 b	12	6,4 b	0,5 b	96,6 b	1,0 b	69,0 b	0,7	1,4
F	27,5 **	22,9 **	0,0 n.s.	27,8 **	20,4 **	71,8 **	22,4 **	172,6 **	3,0 n.s.	0,8 n.s.
Interações										
D x E	1,1 n.s.	0,1 n.s.	0,3 n.s.	1,0 n.s.	0,1 n.s.	0,3 n.s.	0,3 n.s.	0,9 n.s.	0,3 n.s.	0,5 n.s.
C x E	0,1 n.s.	0,0 n.s.	0,0 n.s.	0,9 n.s.	0,4 n.s.	0,1 n.s.	0,3 n.s.	3,0 n.s.	3,6 n.s.	2,5 n.s.
D x C x E	0,9 n.s.	0,3 n.s.	0,9 n.s.	0,8 n.s.	0,4 n.s.	1,8 n.s.	2,1 n.s.	1,1 n.s.	1,8 n.s.	1,7 n.s.
CV (%)	10,0	10,3	13,0	10,3	11,4	16,8	20,7	18,4	37,9	2,4

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01); médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação. NT foi determinado pelo método Kjeldahl.

**Tabela 19.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2012 para área 2 (cinza incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	COT	NT	C/N	Est COT	Est NT	CBM	q-MIC	RB	q-CO <sub>2</sub>	Ds
(t ha <sup>-1</sup> )	--- g kg <sup>-1</sup> ---			--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		mg CBM kg <sup>-1</sup> solo	%	mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> C-BMS hora <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>
0	10,2	1,0	11	26,9	2,6	109,9	1,1	128,9	1,3	1,8
5	10,0	0,9	11	26,3	2,4	110,0	1,0	121,2	1,5	1,8
10	9,1	0,9	10	23,9	2,4	104,5	1,2	124,1	1,5	1,7
20	10,1	0,9	11	26,5	2,5	120,5	1,3	126,3	1,2	1,7
40	10,2	1,0	10	26,8	2,6	101,0	1,0	126,2	1,5	1,7
F	0,8 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>	0,7 <sup>n.s.</sup>	0,7 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>	0,7 <sup>n.s.</sup>	0,4 <sup>n.s.</sup>	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>	0,0 <sup>n.s.</sup>
CV <sup>(2)</sup> (%)	23,3	15,4	22,0	24,8	15,8	38,4	65,9	18,0	50,6	3,1
----- Camada (C) m -----										
0-0,15	11,7 a	1,0 a	11 a	30,4 a	2,7 a	124,9 a	1,0	143,5 a	1,3	1,8 a
0,15 – 0,30	8,1 b	0,8 b	10 b	21,6 b	2,2 b	92,2 b	1,1	107,0 b	1,4	1,7 b
F	141,9 **	112,3 **	14,1 **	107,6 **	85,2 **	22,1 **	1,2 <sup>n.s.</sup>	87,3 **	1,0 <sup>n.s.</sup>	48,6 **
Interações										
D x C	1,5 <sup>n.s.</sup>	1,4 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>	1,1 <sup>n.s.</sup>	0,7 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>	1,7 <sup>n.s.</sup>	1,4 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>
CV (%)	15,4	11,8	18,0	16,2	11,9	32,0	35,4	15,6	45,7	2,4
----- Época (E) -----										
Chuvosa	10,3 a	1,0 a	10 b	27,5 a	2,7 a	135,9 a	1,4 a	123,9	1,1 b	1,7 a
Seca	9,5 b	0,8 b	11 a	24,5 b	2,1 b	81,2 b	0,8 b	126,7	1,7 a	1,7 b
F	4,3 *	37,5 **	11,2 **	8,4 **	46,4 **	39,3 **	41,6 **	0,4 <sup>n.s.</sup>	15,5 **	54,5 **
Interações										
D x E	0,6 <sup>n.s.</sup>	0,2 <sup>n.s.</sup>	0,4 <sup>n.s.</sup>	0,5 <sup>n.s.</sup>	0,2 <sup>n.s.</sup>	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,4 <sup>n.s.</sup>
C x E	0,7 <sup>n.s.</sup>	4,2 *	0,5 <sup>n.s.</sup>	2,0 <sup>n.s.</sup>	6,3 *	0,8 <sup>n.s.</sup>	3,6 <sup>n.s.</sup>	22,9 **	0,3 <sup>n.s.</sup>	18,6 **
D x C x E	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,2 <sup>n.s.</sup>	0,1 <sup>n.s.</sup>	0,3 <sup>n.s.</sup>	0,2 <sup>n.s.</sup>	1,9 <sup>n.s.</sup>	1,7 <sup>n.s.</sup>	1,2 <sup>n.s.</sup>	1,6 <sup>n.s.</sup>	0,6 <sup>n.s.</sup>
CV (%)	19,8	17,1	17,3	20,2	17,6	40,1	42,7	17,6	55,6	2,1

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01); médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação. NT foi determinado pelo método Kjeldahl.

A ausência de efeito da cinza observado a partir da determinação de C orgânico ou microbiano dos solos do presente estudo pode ser atribuída ao método Walkley Black, o qual não se mostrou eficiente em oxidar a forma de C presente na cinza. Adicionalmente, a CBCA não possui N, devido esse elemento ser perdido durante o processo de combustão da cinza. Assim, a ausência de efeitos da CBCA dos teores de COT e NT também refletiram na relação C/N e nos estoques desses elementos no solo de ambas as áreas nos períodos avaliados.

Também não foram observadas mudanças na RB e no índice de estresse microbiano representado por q-CO<sub>2</sub> aos 10 e 16 meses após a aplicação da CBCA (Tabelas 18 e 19, respectivamente). Este fato pode ser explicado a partir do baixo poder de neutralização da cinza em estudo, a qual possui em sua constituição óxidos de alta solubilidade capazes de aumentar o pH e estimular a atividade

microbiana, porém por pouco tempo, refletindo efeitos não significativos como foi observado por Yamane (2013) na área 1 e Volante (2013) na área 2, ao medirem a atividade microbiana por meio da evolução de CO<sub>2</sub> em situação semelhante. Conforme Pati e Sahu (2004) a atividade microbiana do solo tende a se relacionar com as modificações dos atributos químicos logo após a aplicação da cinza ao solo.

Resultados encontrados por Silveira (2010) em Podzólico Vermelho Escuro, textura média, cultivado com cana-de-açúcar, demonstrou que a adição das doses 20, 40, 60, 80 e 100 t ha<sup>-1</sup> de CBCA misturada a efluente líquido oriundo das indústrias de suco de laranja, proporcionou aumento nos valores de pH, P, Ca, Mg, SB e V%, além de diminuir a acidez potencial, sendo verificado efeito das doses de cinza na atividade heterotrófica global do solo com acréscimos equivalentes de 3,8%, 24,3%, 19,0%, 52,5% e 33,8%, respectivamente, por apenas trinta dias. O autor atribui à presença do efluente rico em material orgânico ter aumentado a atividade microbiana e a dose elevada da cinza ter inibido a atividade heterotrófica global, após trinta dias. Nayak et al. (2014) especificam que doses elevadas de cinzas ao serem aplicadas ao solo aumentam o pH e favorece o processo de nitrificação, cujo excesso de nitrato produzido pode imobilizar a microbiota do solo. Percebe-se para este estudo que a aplicação de até 40 t ha<sup>-1</sup> de CBCA não prejudicou a atividade microbiana do solo.

Na área 1, houve efeito significativo do COT que se concentrou na camada de 00-0,05 m, porém o estoque de COT e NT foi maior na camada de 0,05-0,10 m, em função do aumento de densidade nesta mesma camada (Tabela 18). Possivelmente o tráfego de máquinas para execução dos tratamentos culturais e da colheita da laranja pode ter favorecido o aumento da densidade na camada subsuperficial, porém o aumento de COT em superfície deve-se a constante deposição de material orgânico.

Os maiores teores e estoques de COT e NT observados na época chuvosa na área 1 favoreceram o aumento dos valores do CBM, q-MIC e RB (Tabela 18). O acréscimo desses valores está relacionado com a menor decomposição da matéria orgânica pela microbiota e a maior entrada de material orgânico do solo na época chuvosa, que conforme Silva e Mendonça (2007) 95 % do N orgânico e o C microbiano que corresponde de 1-3 % do C total, ambos presentes no solo, estão associados à matéria orgânica do solo. Adicionalmente, também foi observado na

área 2 os maiores valores dos atributos biológicos e densidade na camada superficial, na época chuvosa (Tabela 19).

Para ambas as áreas avaliadas, os valores de q-MIC foram semelhantes, caracterizando a mesma qualidade nutricional da matéria orgânica entre os solos (Tabelas 18 e 19). Porém, foi observado na área 2 na época seca um q-MIC de 0,8 (Tabela 19). De acordo Jenkinson e Ladd (1981) o q-MIC em condições normais, varia de 1 a 4 % e valores inferiores a 1 % podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana. Tem sido sugerido pelos autores que em torno de 2,2 % expressaria um equilíbrio no solo, entretanto esse índice revela a baixa qualidade da matéria orgânica no solo de ambas às áreas avaliadas.

Observou-se interação significativa entre camada e época apenas para os valores de NT, Est NT, RB e densidade, com maior atividade para área 2, onde foi feito revolvimento do solo (Tabela 19). De acordo com Silva e Mendonça (2007), a matéria orgânica presente nas camadas do solo pode sofrer maior decomposição por microrganismos quanto maior for à temperatura e a perturbação do ambiente. O revolvimento da camada superficial do solo da área 2 pode ter favorecido a atividade de microrganismos aeróbicos decompositores de matéria orgânica, cuja atividade aumenta a quantidade de nitrato no solo (Nayak, et al., 2014). Tais observações feitas por estes autores justificam a interação significativa dos teores e estoques de NT e da RB do solo da área 2 (Tabela 19).

#### **4.2.4. Atributos biológicos dos solos amostrados em 2013**

Como não houve efeito significativo da CBCA nos atributos biológicos dos solos amostrados em 2013 (Tabelas 20 e 21), serão feitas observações para as camadas de 0-0,05 m na área 1 e 0,15-0,30 m na área 2, igualmente coletadas nos três períodos (março/12, setembro/12 e maio/13).

**Tabela 20.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2013 para área 1 (cinza não incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	COT	NT	C/N	Est COT	Est NT	CBM	q-MIC	RB	q-CO <sub>2</sub>	Ds
(t ha <sup>-1</sup> )	--- g kg <sup>-1</sup> ---			--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		mg CBM kg <sup>-1</sup> solo	%	mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> C-BMS hora <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>
0	9,0	0,8	11	14,7	1,3	92,7	1,1	135,0	1,5	1,7
5	9,1	0,8	11	14,6	1,3	80,1	0,9	140,7	2,0	1,7
10	9,4	0,8	12	15,3	1,3	77,1	0,8	117,0	1,8	1,7
20	9,3	0,9	11	15,2	1,5	77,9	0,8	126,1	2,0	1,7
40	9,1	0,8	11	14,8	1,5	86,2	0,9	104,6	1,3	1,7
F	0,3 n.s.	0,2 n.s.	0,3 n.s.	0,3 n.s.	0,7 n.s.	0,4 n.s.	0,5 n.s.	1,5 n.s.	0,7 n.s.	0,2 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	13,5	21,4	15,0	14,0	21,7	49,1	57,9	35,9	77,8	4,4
----- Camada (C) m -----										
0-0,05	10,0 a	0,8	12 a	8,2 c	0,6 c	106,4 a	1,0 a	202,9 a	2,1 a	1,6 b
0,05-0,15	9,1 b	0,8	11 ab	15,4 b	1,3 b	82,6 b	0,9 ab	107,5 b	1,6 ab	1,7 a
0,15-0,30	8,4 c	0,8	11 b	21,0 a	2,0 a	59,2 c	0,7 b	64,2 c	1,3 b	1,7 ab
F	22,0 **	0,0 n.s.	5,6 **	393,8 **	119,9 **	19,1 **	8,9 **	74,8 **	6,2 **	3,3 *
<b>Interações</b>										
D x C	0,3 n.s.	0,7 n.s.	0,6 n.s.	0,4 n.s.	0,8 n.s.	0,4 n.s.	0,4 n.s.	1,9 n.s.	0,6 n.s.	0,4 n.s.
CV (%)	9,3	18,6	15,9	10,8	22,5	32,5	32,7	32,7	48,3	4,3

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01); médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação. NT foi determinado pelo método Kjeldahl.

**Tabela 21.** Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos biológicos do solo amostrado em 2013 para área 2 (cinza incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses (D)	COT	NT	C/N	Est COT	Est NT	CBM	q-MIC	RB	q-CO <sub>2</sub>	Ds
(t ha <sup>-1</sup> )	--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		mg CBM kg <sup>-1</sup> solo	%	mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> C-BMS hora <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>
0	11,3	0,9	12	16,9	1,4	103,6	0,9	146,0	1,7	1,7
5	12,3	0,0	14	17,8	1,3	106,6	0,9	183,2	1,8	1,6
10	11,4	1,0	12	16,7	1,4	114,2	1,0	138,5	1,2	1,6
20	12,1	1,0	13	17,5	1,4	99,9	0,8	144,2	1,5	1,6
40	12,6	0,9	13	18,2	1,4	99,9	0,8	149,1	1,9	1,6
F	1,2 n.s.	0,5 n.s.	2,4 n.s.	1,0 n.s.	0,8 n.s.	0,5 n.s.	1,0 n.s.	1,7 n.s.	0,9 n.s.	0,9 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	16,2	12,2	14,6	13,6	13,0	32,5	43,2	34,1	73,0	5,1
----- Camada (C) m -----										
0-0,05	15,7 a	1,2 a	13	12,3 c	0,9 c	163,6 a	1,0 a	233,4 a	1,4 ab	1,5 b
0,05-0,15	11,2 b	0,8 b	13	19,3 b	1,5 b	93,4 b	0,8 b	150,5 b	2,0 a	1,7 a
0,15-0,30	8,8 c	0,7 c	13	20,4 a	1,6 a	58,5 c	0,6 c	72,6 c	1,3 b	1,5 b
F	205,1 **	321,3 **	0,4 n.s.	213,1 **	173,7 **	90,8 **	17,9 **	135,4 **	5,0 *	49,1 **
<b>Interações</b>										
D x C	1,0 n.s.	0,8 n.s.	1,6 n.s.	0,6 n.s.	0,7 n.s.	1,1 n.s.	1,2 n.s.	1,0 n.s.	1,8 n.s.	0,5 n.s.
CV (%)	10,3	7,7	10,2	8,6	10,0	26,7	27,6	22,7	55,3	4,2

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \*: significativo (P < 0,05); \*\*: significativo (P < 0,01); médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação. NT foi determinado pelo método Kjeldahl.

Na área 1 os valores de COT, NT, relação C/N, estoques de COT e NT, CBM e q-MIC mantiveram-se estáveis para a camada 0-0,05 m, porém a atividade microbiana do período intermediário aumentou os valores de RB em 115 % e do q-CO<sub>2</sub> em 150% (Tabela 20), quando comparado às épocas chuvosa e seca (Tabela 18). Possivelmente os nutrientes ofertados pela calagem em fevereiro de 2013 tornaram-se alimento para os microrganismos que teve sua atividade aumentada. Arantes, Lavorenti e Tornisielo (2011) trabalhando diferentes classes de solos brasileiros demonstrou que a atividade dos microrganismos pode ser aumentada com a prática de calagem. Este fato está associado ao aumento de pH pela calagem que favorece a atividade de microrganismos decompositores que passam a utilizar compostos orgânicos em suas atividades, aumentando a emissão de CO<sub>2</sub> (MARCELO; CORÁ; LA SCALA JR., 2012).

Na área 2 os valores do estoque de NT, além do CBM, q-MIC, RB e q-CO<sub>2</sub> foram inferiores no período intermediário do ano de 2013 para a camada de 0,15-0,30 m (Tabela 21) em comparação as mesmas variáveis avaliadas em 2012 (Tabela 19). Tais resultados favoreceram o aumento da relação C/N (Tabela 21), fato este explicado pela diminuição do pH e oxigênio nesta profundidade, prejudicando a atividade de bactérias produtoras de nitrato, que de acordo Odlare e Pell, (2009) se desenvolvem em pH alcalino e são aeróbicas obrigatórias.

Em comparação ao ano de 2012 (Tabelas 18 e 19), no ano de 2013 houve aumento nos valores de densidade da área 1 (1,6 g cm<sup>-3</sup>) na camada de 0-0,05 m e diminuição dos valores da área 2 (1,5 g cm<sup>-3</sup>) na camada de 0,15-0,30 m, ambos no período intermediário (Tabelas 20 e 21, respectivamente). Possivelmente o tráfico de máquinas para execução dos tratos culturais e a colheita da laranja pode ter favorecido o aumento da densidade na área 1 do ano de 2013 (Tabela 20), o que também favoreceu o incremento nos valores dos estoques de COT e NT, em relação ao ano de 2012 (Tabelas 18 e 20). Já na área 2 o estabelecimento da cultura e o crescimento radicular da laranja pode ter proporcionado a redução nos valores de densidade na camada de 0,15-0,30 m (Tabelas 19 e 21).



#### 4.2.5. Teores totais de carbono e nitrogênio – solos campo

O teor de C variou de 11,9 g kg<sup>-1</sup> a 15,5 g kg<sup>-1</sup> na área 1 (Tabela 22) e de 12,3 g kg<sup>-1</sup> a 22,6 g kg<sup>-1</sup> na área 2 (Tabela 23), sendo observado para ambas as áreas, o maior índice de C na época chuvosa na camada superficial. A CBCA do presente estudo não possui N em sua constituição e isso justifica o não incremento de N no solo, entretanto foram observadas mudanças na relação C/N, sendo que o solo da área 1 apresentou os maiores valores na época chuvosa (Tabela 22) e o solo da área 2 na época seca (Tabela 23).

**Tabela 22.** Valores médios de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo da área 1 (cinza não incorporada), coletado em 2012.

N ° amostra	Época	Camada	Dose de cinza (t ha <sup>-1</sup> )	CT (g kg <sup>-1</sup> )	NT (g kg <sup>-1</sup> )	C/N
1	CH	0-0,05 m	0	15,5	1,0	14
2	CH	0-0,05 m	5	13,8	1,0	13
3	CH	0-0,05 m	10	13,5	1,0	12
4	CH	0-0,05 m	20	15,0	1,0	14
5	CH	0-0,05 m	40	14,2	1,0	13
6	CH	0,05-0,10 m	0	14,3	1,0	13
7	CH	0,05-0,10 m	5	12,3	1,0	11
8	CH	0,05-0,10 m	10	13,5	1,0	12
9	CH	0,05-0,10 m	20	14,0	1,0	13
10	CH	0,05-0,10 m	40	13,1	1,0	12
11	SC	0-0,05 m	0	13,0	1,0	12
12	SC	0-0,05 m	5	13,7	1,0	13
13	SC	0-0,05 m	10	14,9	1,0	14
14	SC	0-0,05 m	20	12,8	1,0	12
15	SC	0-0,05 m	40	13,7	1,0	12
16	SC	0,05-0,10 m	0	12,7	1,0	12
15	SC	0,05-0,10 m	5	12,0	1,0	11
18	SC	0,05-0,10 m	10	12,1	1,0	11
19	SC	0,05-0,10 m	20	11,9	1,0	11
20	SC	0,05-0,10 m	40	12,2	1,0	11

CH=época chuvosa; SC=época seca. CT e NT foram determinados por analisador elementar LECO modelo CHN628, com limite de detecção de C: 0,02% e N: 0,04%.

A maior relação C/N da área 1 na época chuvosa na camada superficial deve-se a fatores como: maior deposição de resíduos orgânicos (pomar de laranjas com dois anos); aumento da população microbiana como consequência de temperaturas mais amenas; o excesso de água no solo que diminui a atividade dos microrganismos do solo; e a maior concentração da CBCA, que em altas doses pode fornecer C pirogênico, além de bases trocáveis que aumentam o pH e consequentemente provoca a disponibilidade de C microbiano, conforme também foi

observado por Zimmermann e Frey (2002) e confirmado no experimento controlado de incubação.

Quanto a época seca, com maior relação C/N na área 2 na camada de 0-0,15 m (Tabela 23), pode ser atribuído ao efeito residual da CBCA e principalmente a diminuição da umidade condicionada a falta de cobertura vegetal (pomar de laranjas em formação), que segundo Rodrigues et al. (2011) a atividade de bactérias heterotróficas decompositoras tende a diminuir com a redução da água do solo e da matéria orgânica fresca, que é essencial para realizar as suas atividades. Tais fatores justificam o aumento da relação C/N > 16 no período seco da área 2 (Tabela 23). Segundo Moreira e Siqueira (2006) a relação C/N > 16 do solo pode provocar efeito negativo quanto à disponibilidade de N às culturas. Percebe-se então para área 1 que a relação C/N < 16 manteve-se favorável a atividade microbiana, com o menor índice encontrado no período seco, na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 22).

**Tabela 23.** Valores médios de carbono total (C), nitrogênio total (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo da área 2 (cinza incorporada), coletado em 2012.

N <sup>o</sup> amostra	Época	Camada	Dose de cinza (t ha <sup>-1</sup> )	CT (g kg <sup>-1</sup> )	NT (g kg <sup>-1</sup> )	C/N
1	CH	0-0,15 m	0	21,1	1,5	14
2	CH	0-0,15 m	5	22,6	1,5	15
3	CH	0-0,15 m	10	17,3	1,5	12
4	CH	0-0,15 m	20	19,4	1,5	13
5	CH	0-0,15 m	40	20,5	1,5	14
6	CH	0,15-0,30 m	0	14,1	1,0	14
7	CH	0,15-0,30 m	5	12,5	1,0	13
8	CH	0,15-0,30 m	10	13,1	1,0	13
9	CH	0,15-0,30 m	20	12,5	1,0	13
10	CH	0,15-0,30 m	40	13,1	1,0	13
11	SC	0-0,15 m	0	16,7	1,0	17
12	SC	0-0,15 m	5	17,4	1,0	17
13	SC	0-0,15 m	10	17,2	1,0	17
14	SC	0-0,15 m	20	19,1	1,0	19
15	SC	0-0,15 m	40	19,2	1,0	19
16	SC	0,15-0,30 m	0	13,0	1,0	13
15	SC	0,15-0,30 m	5	13,0	1,0	13
18	SC	0,15-0,30 m	10	12,3	1,0	12
19	SC	0,15-0,30 m	20	13,5	1,0	14
20	SC	0,15-0,30 m	40	14,9	1,0	15

CH=época chuvosa; SC=época seca. CT e NT foram determinados por analisador elementar LECO modelo CHN628, com limite de detecção de C: 0,02% e N: 0,04%.

Possivelmente a maior presença de cobertura vegetal da área 1 favoreceu este resultado. Alguns autores têm observado que os fatores limitantes para a

atividade microbiana dos solos após adição de cinzas vegetais tem sido a presença de metais (JALA; GOIAL, 2006), a falta de substrato de C como uma fonte de energia para os microorganismos heterotróficos (RAM; MASTO, 2014) e um fornecimento adequado de N (ODLARE; PELL, 2009). Nayak et al. (2014) ao aplicar 100 t ha<sup>-1</sup> de cinza de carvão em um Cambissolo de textura arenosa perceberam redução significativa na população microbiana de fungos e actinomicetos devido à falta de substrato de C suficiente, porém as bactérias autotróficas sobreviventes tiveram sua atividade (produção e imobilização de nitrato) aumentada com a elevação do pH proporcionado pela cinza.

Nota-se para este estudo que a presença de cobertura vegetal da área 1 (tabela 22) também mitigou os possíveis efeitos residuais da CBCA quanto a atividade microbiana em imobilizar N, mantendo a relação C/N < 16. A estabilidade percebida para a relação C/N 16 meses após a aplicação das doses crescentes de CBCA no solo de ambas as áreas (Tabelas 22 e 23) demonstra que o C pirogênico (190 g kg<sup>-1</sup>), além dos minerais e metais identificados na análise de raio-X (Tabela 5) não prejudicou a atividade microbiana do solo em estudo, mesmo quando a CBCA foi aplicada em altas doses.

No ano de 2013 foi avaliado no solo de ambas as áreas os valores médios de C, N e relação C/N da camada superficial (Tabela 24) e da parcela que recebeu a maior dose da CBCA (Tabela 25).

**Tabela 24.** Valores médios totais de carbono (CT), nitrogênio (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo das áreas 1 e 2, ambos coletados na camada de 0-0,05 m em 2013.

Doses de cinza (t ha <sup>-1</sup> )	Área 1 <sup>(1)</sup>			Área 2 <sup>(2)</sup>		
	CT	NT	C/N	CT	NT	C/N
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----		
0	14,8	1,2	12	20,0	1,7	12
5	14,7	1,0	15	23,2	2,0	12
10	14,5	1,0	14	20,8	1,7	12
20	14,9	1,1	14	22,1	1,7	13
40	14,8	1,1	13	25,6	1,8	14

<sup>(1)</sup>Área 1: cinza não incorporada; <sup>(2)</sup>Área 2: cinza incorporada. CT e NT foram determinados por analisador elementar LECO modelo CHN628, com limite de detecção de C: 0,02% e N: 0,04%.

Os índices de C, N e a relação C/N mantiveram-se estáveis para a camada de 0-0,05 m das áreas 1 e 2 (Tabela 24). Considerando que a CBCA possui teor de C total de 190 g kg<sup>-1</sup>, não foi possível perceber acréscimos de C em profundidade para

a dose de 40 t ha<sup>-1</sup> da CBCA aplicada no solo das áreas 1 e 2 (Tabela 25). Entretanto, houve aumento da relação C/N no perfil do solo, sendo observado na área 2 o predomínio do processo de imobilização com relação C/N>30 a partir da profundidade de 0,50 m.

**Tabela 25.** Valores médios totais de carbono (CT), nitrogênio (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) dos solos coletados em 2013 após aplicação de 40 t ha<sup>-1</sup> de cinza, até a profundidade de 1,00 m.

Dose 40 ton ha <sup>-1</sup> de cinza	Área 1 <sup>(1)</sup>			Área 2 <sup>(2)</sup>		
	CT	NT	C/N	CT	NT	C/N
Profundidades (m)	g kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>		
0 - 0,10	10,5	0,8	13	17,4	1,1	16
0,10 - 0,20	10,8	0,8	13	15,7	0,7	22
0,20 - 0,30	10,4	0,6	17	13,5	0,8	17
0,30 - 0,40	8,9	0,6	15	12,0	0,6	20
0,40 - 0,50	9,4	0,6	16	10,5	0,5	21
0,50 - 0,60	8,6	0,5	17	9,3	0,2	46
0,60 - 0,70	8,4	0,4	21	8,8	0,2	44
0,70 - 0,80	7,6	0,4	19	9,0	0,2	45
0,80 - 0,90	7,2	0,3	24	8,7	0,2	43
0,90 - 1,00	6,7	0,3	22	7,9	0,1	79

<sup>(1)</sup> Área 1: cinza não incorporada; <sup>(2)</sup> Área 2: cinza incorporada. CT e NT foram determinados por analisador elementar LECO modelo CHN628, com limite de detecção de C: 0,02% e N: 0,04%.

Possivelmente o maior tempo de plantio das laranjeiras aumentou a quantidade de raízes, que funcionam como fonte de matéria orgânica fresca e cuja presença pode ter favorecido a aeração do solo e conseqüentemente a atividade de bactérias nitrificantes aeróbicas em produzir nitrato de forma equilibrada, fato este evidenciado na área 1, com a obtenção da menor relação C/N (Tabela 25). A rizosfera das plantas cria um ambiente mais aeróbico no solo, o qual estimula a atividade microbiana, que passa a aumentar a oxidação de resíduos orgânicos (KIRK et al., 2005).

#### 4.2.6 Grau de humificação da matéria orgânica (H<sub>FIL</sub>) – solos campo

O valor de H<sub>FIL</sub> de ambas as áreas não foi influenciado pelas doses de CBCA, sendo observados apenas efeitos isolados de camadas e épocas de amostragem, com interação entre dose, camada e época indicando alta complexidade entre os fatores que governam o H<sub>FIL</sub> do solo (Tabela 26). Para facilitar a apresentação dos resultados e permitir a visualização do comportamento do H<sub>FIL</sub> em cada camada ao longo do tempo de acordo com as doses de CBCA, os resultados foram

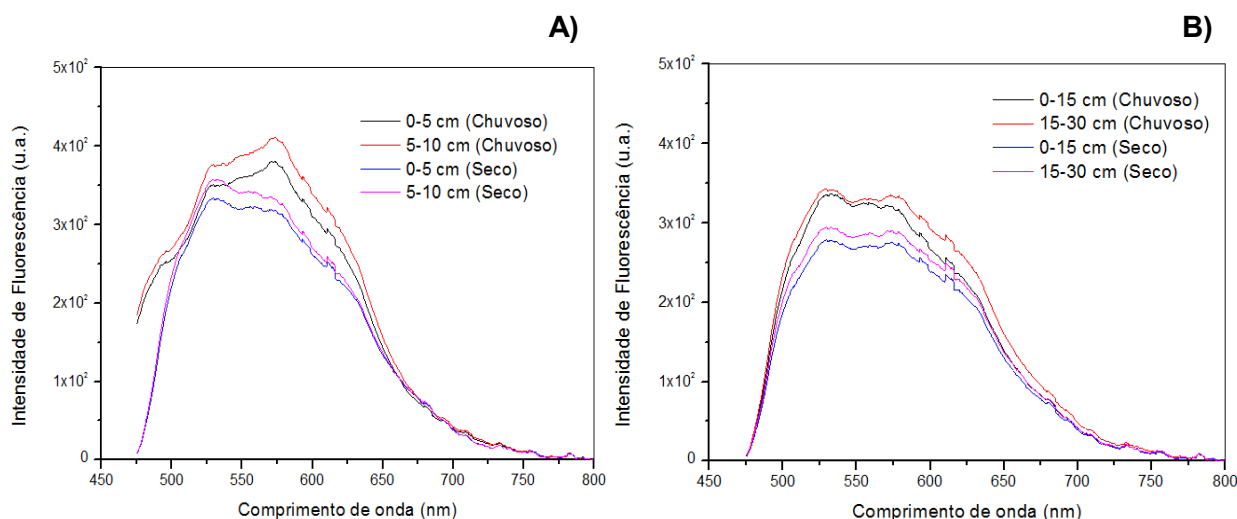
apresentados com base na relação entre C/N (Tabelas 22 e 23, respectivamente) e nas interações entre doses e camadas e doses e épocas.

**Tabela 26.** Resultados da análise de variância (Teste F) do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) das amostras de solo amostrado em 2012 para as áreas 1 (cinza não incorporada) e 2 (cinza incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses de cinza (D) (t ha <sup>-1</sup> )	Grau de humificação $H_{FIL}$ (u.a.)	
	Área 1	Área 2
0	38.774,42	29.443,32
5	39.933,56	30.159,44
10	38.654,81	31.488,24
20	38.379,95	30.379,51
40	39.297,77	28.336,08
F	2,83 <sup>n.s.</sup>	2,18 <sup>n.s.</sup>
CV <sup>(2)</sup> (%)	4,19	11,78
<b>Camada (C) m</b>		
0-0,05 m (NI) e 0-0,15 m (I)	37.582,35 b	24.674,49 b
0,05 – 10 m (NI) e 0,15-0,30 m (I)	40.433,86 a	35.248,14 a
F	94,17 <sup>**</sup>	1.676,16 <sup>**</sup>
<b>Interações</b>		
D x P	2,12 <sup>n.s.</sup>	12,33 <sup>**</sup>
CV (%)	3,77	4,31
<b>Época (E)</b>		
Chuvosa	43.361,41 a	29932,89 a
Seca	34.654,79 b	29989,74 a
F	894,71 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
<b>Interações</b>		
D x E	20,17 <sup>**</sup>	10,27 <sup>**</sup>
C x E	9,95 <sup>**</sup>	25,45 <sup>**</sup>
D x C x E	17,88 <sup>**</sup>	8,23 <sup>**</sup>
CV (%)	3,73	5,60

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo ( $P > 0,05$ ); \* : significativo ( $P < 0,05$ ); \*\* : significativo ( $P < 0,01$ ); NI.: não incorporado; I.: incorporado; <sup>(2)</sup> CV – Coeficiente de variação.

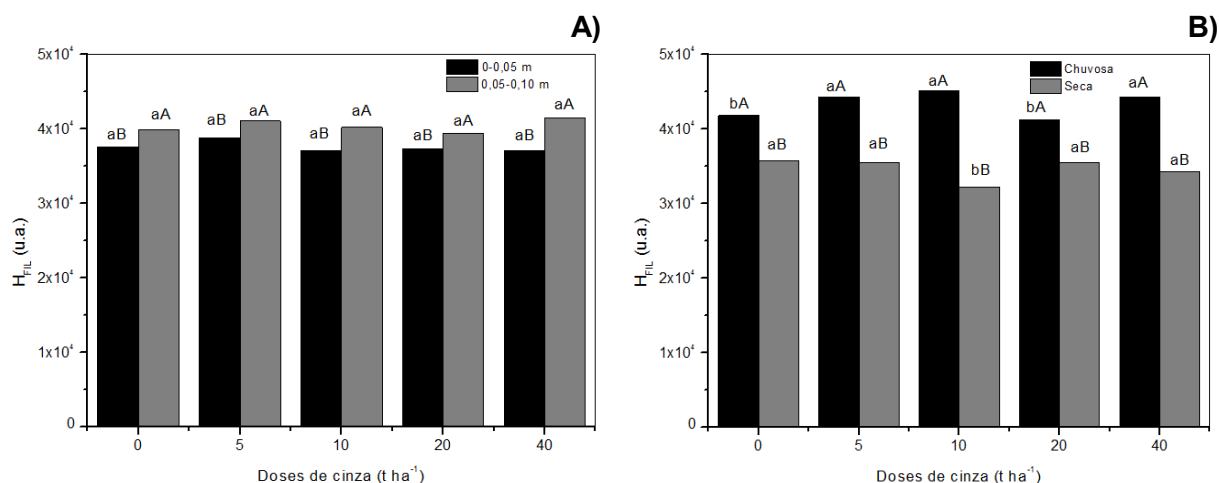
Os espectros de emissão apresentaram a maior banda (575 nm) para a área 1 na época chuvosa e a menor banda (525 nm) para a área 2 na época seca (Figura 21). A maior fluorescência observada na época chuvosa (Figura 21A) deve-se a maior humificação a qual está associada a fatores como maior disponibilidade da matéria orgânica fresca adicionada no solo da área 1 e a aceleração da sua decomposição por microrganismos, cuja atividade pode ter sido aumentada pela mudança do pH proporcionada pela maior concentração da CBCA não incorporada. O grau de humificação da matéria orgânica do solo aumenta devido o consumo de compostos orgânicos por microrganismos decompositores (FONTAINE et al., 2007).



**Figura 21.** Espectros de fluorescência induzida por laser obtidos para as amostras do solo da área 1 (cinza não incorporada)<sup>(A)</sup> e do solo da área 2 (cinza incorporada)<sup>(B)</sup>, ambos coletados nas épocas chuvosa e seca de 2012.

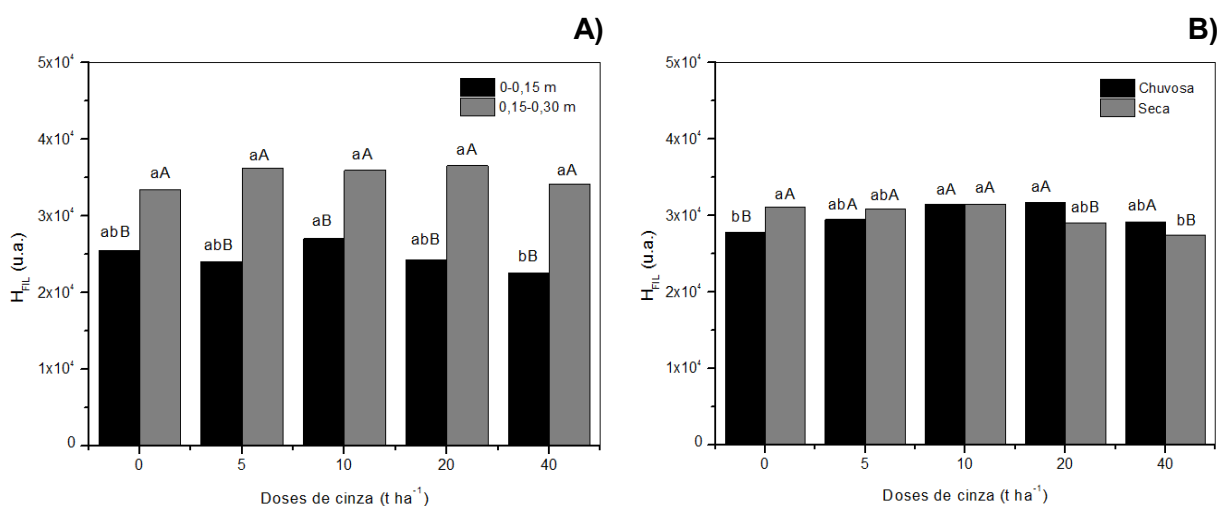
A partir dos espectros de fluorescência das amostras dos solos foi possível perceber que também houve aumento dos valores de  $H_{FIL}$  em profundidade para ambas as áreas avaliadas (Tabela 26, Figura 21). Quanto maior for à área total sobre o espectro e intensidade de fluorescência, maior será o índice de humificação, podendo este aumentar em profundidade devido a menor presença de estruturas lábeis e/ou maior recalcitrância da matéria orgânica do solo em subsuperfície (MILORI et al., 2002, 2006; FAVORETTO et al., 2008).

Isso explica os valores de  $H_{FIL}$  terem sido maiores na camada subsuperficial (Figuras 22A e 23A, respectivamente). Quanto ao efeito residual das doses da CBCA, houve diminuição do valor de  $H_{FIL}$  somente para a área 2 (cinza incorporada) a partir da adição de 40 t ha<sup>-1</sup> na camada 0-0,15 m (Figura 23A). Tais resultados corroboram com os encontrados no experimento de incubação, sendo observado que o efeito da CBCA em aumentar a relação C/N provoca a diminuição do valor de  $H_{FIL}$  no solo de textura argilosa a partir do aumento da dose aplicada.



**Figura 22.** Valores do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) para doses e camadas<sup>(A)</sup> e doses e épocas<sup>(B)</sup>, das amostras da área 1, coletadas em 2012.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas diferem doses de cinza dentro de cada camada e/ou época e as maiúsculas diferem as camadas e/ou épocas dentro de cada dose de cinza, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 23.** Valores do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) para doses e camadas<sup>(A)</sup> e doses e épocas<sup>(B)</sup>, das amostras da área 2, coletadas em 2012.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas diferem doses de cinza dentro de cada camada e/ou época e as maiúsculas diferem as camadas e/ou épocas dentro de cada dose de cinza, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O  $H_{FIL}$  do solo da área em que a CBCA não foi incorporada (área 1) apresentou valores superiores no período chuvoso, entretanto, o solo da área sob incorporação (área 2) permaneceu estável em ambos os períodos (Tabela 26). Os maiores valores de  $H_{FIL}$  observados na área 1 (Figura 22B) no período chuvoso pode ser atribuído a incorporação de N na estrutura das substâncias húmicas por meio da maior deposição de material orgânico (pomar de laranja com mais tempo de

formação) e do efeito da CBCA (sem incorporação) em disponibilizar C orgânico. O aumento de N é relatado por Madari et al. (2009) como sendo da maior presença de matéria orgânica de fácil decomposição, com baixa relação C/N. Menores relações C/N indicam maior grau de humificação da matéria orgânica do solo e quanto mais acentuado será o caráter aromático do C (FONTAINE et al., 2007; MADARI, et al., 2009). Percebe-se então, que o efeito da CBCA também pode ter sido influenciado pelo “input” de material orgânico recebido pelo solo, provocando variabilidade do efeito entre as doses e períodos avaliados de ambas as áreas (Figuras 22B e 23B, respectivamente).

Os valores de  $H_{FIL}$  observados na camada superficial dos solos coletados em 2013 foram semelhantes aos valores de  $H_{FIL}$  em 2012 (Tabela 27). A observação na estabilidade para camada considerada de maior relevância dentro desse estudo permitiu desconsiderar a necessidade de avaliação das demais camadas.

**Tabela 27.** Resultados da análise de variância (Teste F) do grau de humificação ( $H_{FIL}$ ) das amostras do solo amostrado em 2013 na camada de 0-0,05 m para as áreas 1 (cinza não incorporada) e 2 (cinza incorporada)<sup>(1)</sup>.

Doses de cinza (D) (t ha <sup>-1</sup> )	Grau de humificação $H_{FIL}$ (u.a.)	
	Camada (C) 0-0,05 m	
	Área 1	Área 2
0	37.655,91	23.943,67
5	38.029,89	23.281,70
10	38.852,62	23.727,38
20	37.043,42	24.052,82
40	36.790,77	23.549,60
F	1,94 <sup>n.s.</sup>	0,48 <sup>n.s.</sup>
CV <sup>(2)</sup> (%)	3,50	4,20

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \* : significativo (P < 0,05); \*\* : significativo (P < 0,01); <sup>(2)</sup>CV – Coeficiente de variação

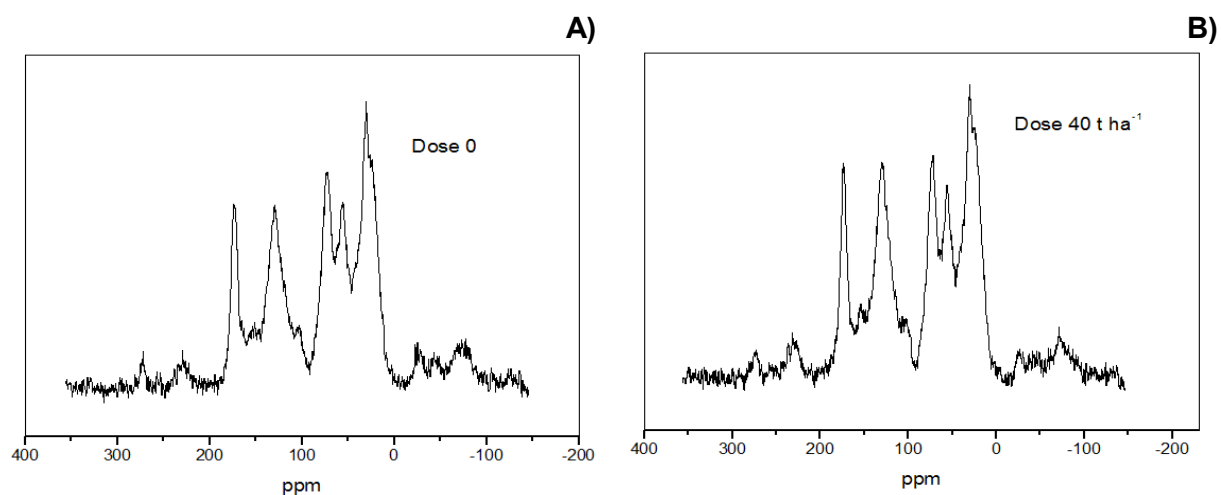
#### 4.2.7 Ácido Húmico por Ressonância Magnética Nuclear - <sup>13</sup>C RMN

A avaliação da fração ácido húmico (FAH) foi feita nas amostras de solo das áreas 1 e 2, coletadas na camada superficial em março de 2012 (1ª coleta, período chuvoso), nas parcelas testemunha (dose zero) e naquelas que receberam a maior dose (40 t ha<sup>-1</sup>) de CBCA.

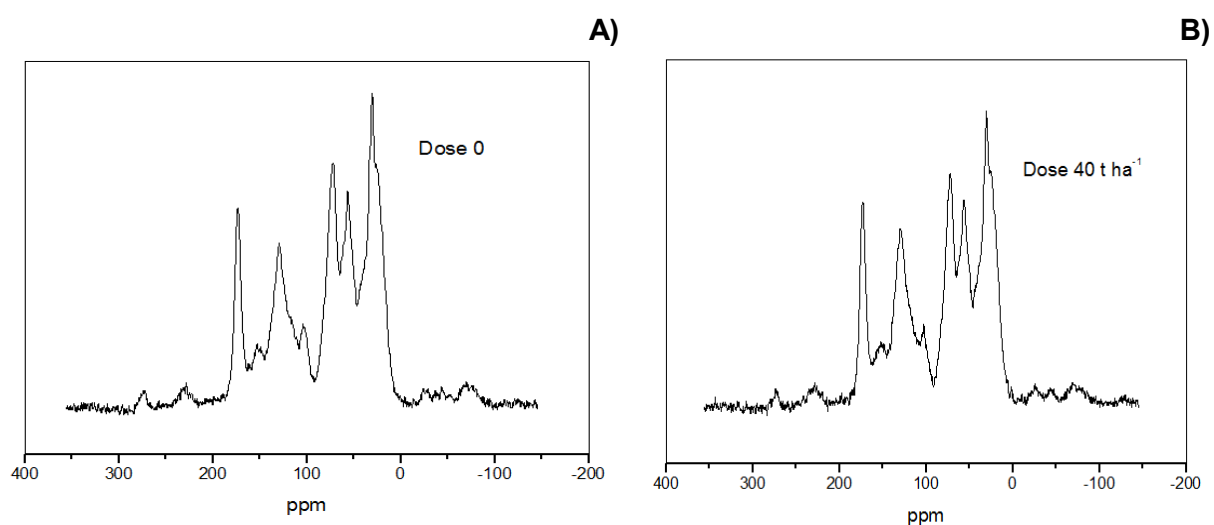
De um modo geral, os espectros de <sup>13</sup>C RMN VACP/MAS das amostras da FAH foram semelhantes (Figuras 24 e 25, respectivamente). As FAH são



substâncias com alta massa molecular, de estrutura complexa que apresentam bandas largas nos espectros de RMN, como mostrados nas figuras 24 e 25.



**Figura 24.** Espectros de Ressonância Magnética Nuclear RMN  $^{13}\text{C}$  da fração ácido húmico do solo da área 1 (cinza não incorporada); Testemunha<sup>(A)</sup> e dose 40 t ha<sup>-1(B)</sup>.



**Figura 25.** Espectros de Ressonância Magnética Nuclear RMN  $^{13}\text{C}$  da fração ácido húmico do solo da área 2 (cinza incorporada); Testemunha<sup>(A)</sup> e dose 40 t ha<sup>-1(B)</sup>.

Observou-se nos espectros da FAH do solo das áreas 1 e 2 o máximo das bandas, cuja descrição seguiu os critérios descritos por Santos (2008).

Na primeira região dos espectros (0-45 ppm), as amostras da FAH apresentam dois picos em 27 e 31 ppm, característicos de grupos metileno e metil.

A segunda região dos espectros (45-60 ppm) é caracterizada por um pico bem definido a 56 ppm, típico de ésteres e éteres alifáticos (metoxílicos) e N-alifáticos.

A terceira região dos espectros (60-110 ppm) apresenta um pico em 72 ppm, característico de C alifáticos ligado a grupos éter e de anéis de polissacarídeos, e um pico em 104 ppm, atribuído a C ligado a dois átomos de oxigênio e a C anomérico em polissacarídeos.

Na quarta região dos espectros característica de C aromático (110-140 ppm), as amostras apresentam um pico em 129 ppm, atribuído a C aromáticos não substituídos ou alquil substituídos.

Na quinta região dos espectros (140-160 ppm), as amostras apresentam um pico duplo em 149 e 152 ppm, referente a C fenólicos ou O-aromáticos, podendo ter também contribuições de C aromáticos contendo nitrogênio ou grupo éter.

Na sexta região dos espectros (160-180 ppm), é possível observar um pico centrado em 173 ppm, atribuído a C de grupos carboxílicos.

Na sétima região dos espectros (180-230 ppm), aparece um pico de baixa intensidade em 196 ppm, associado ao C carbonílico de aldeídos e cetonas.

Do ponto de vista químico-estrutural, a adição de 40 t ha<sup>-1</sup> da CBCA incorporada e não incorporada não modificou a FAH do solo, 10 meses após a sua aplicação (Tabela 28).

**Tabela 28.** Grupos funcionais no estado sólido dos ácidos húmicos dos Argissolos amostrados em 2012 (período chuvoso) determinado por Ressonância Magnética Nuclear (RMN <sup>13</sup>C).

ÁREAS <sup>(1)</sup>	Dose (t ha <sup>-1</sup> )	alifáticos não subst. (0-45 ppm)	metoxil e N-alif. (45-60 ppm)	O- alifáticos (60-110 ppm)	aromáticos (110-140 ppm)	fenólicos (140-160 ppm)	carboxílicos (160-180 ppm)	carbonílicos (180-230 ppm)
<b>Grupos funcionais %</b>								
Área 1	0	30	11	23	18	6	10	2
Área 1	40	30	11	21	19	6	10	3
Área 2	0	31	12	26	16	5	9	1
Área 2	40	30	12	25	17	5	10	1
<b>TOTAL</b>		<b>Aromaticidade</b>		<b>27</b>	<b>Alifaticidade</b>			<b>73</b>

<sup>(1)</sup>área 1: cinza não incorporada; área 2: cinza incorporada; subst. = substituído; alif. = alifáticos

Tem sido reportado na literatura que a aplicação de cinzas vegetais no solo modifica as propriedades químicas e biológicas do solo, porém por um curto período de tempo (PANDEY; SINGH, 2010; NAYAK et al., 2014; RAM; MASTO, 2014). Os

autores atribuem este fato à presença de substâncias alcalinas (óxidos e hidróxidos) extremamente solúveis de tal forma que são os principais responsáveis pela rápida capacidade de neutralização da acidez do solo pelas cinzas. Contudo, pelas mesmas razões, persistem no solo por pouco tempo. Segundo Mandre (2006), a persistência do efeito de cinzas vegetais nos atributos do solo depende do tipo de cinza e da dose.

Ferreira, Fageria e Didonet (2012) trabalhando diferentes fontes de CBCA em um Latossolo até  $30 \text{ t ha}^{-1}$ , perceberam efeitos significativos com acréscimos nos valores de pH, P, Mg e K e redução da acidez potencial, independente da fonte da cinza, aos 132 dias após aplicação. Silveira (2010) avaliando a respiração heterotrófica global do solo após aplicar até  $100 \text{ t ha}^{-1}$  de CBCA percebeu efeito significativo por apenas 30 dias. Nota-se para estudo que a aplicação de  $40 \text{ t ha}^{-1}$  de CBCA após dez meses não modificou os grupos funcionais no estado sólido dos ácidos húmicos. Atribui-se estes resultados as características químicas da CBCA a qual possui baixo poder residual.

As medidas de  $^{13}\text{C}$  RMN VACP/MAS mostraram que as FAH dos Argissolos são predominantemente alifáticas (alto conteúdo de O-Alquil-C e Alquil C) em relação ao conteúdo de aromáticas (Tabela 28). Estes resultados estão de acordo com o modelo proposto por Schulten e Schnitzer (1993), sendo a FAH do solo representada por grandes porções alifáticas. Este fato tem sido evidenciado na literatura por meio do uso de  $^{13}\text{C}$  RMN (PEREZ et al., 2004; SANTOS, 2008).

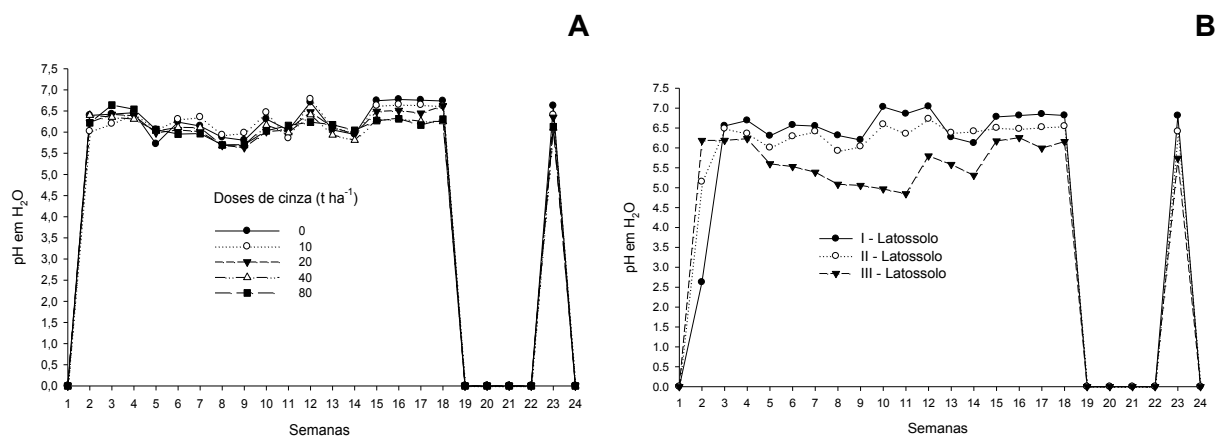
### **4.3. Experimento em colunas de solos**

As observações feitas nos lixiviados dos solos adicionados de CBCA foram discutidas a partir da 3ª semana de adição de água deionizada, quando todas as colunas passaram a ter lixiviados. Também não houve lixiviados entre a 19ª à 21ª e 24ª devido à precipitação nestas semanas terem sido abaixo de 40 mm (anexo I).

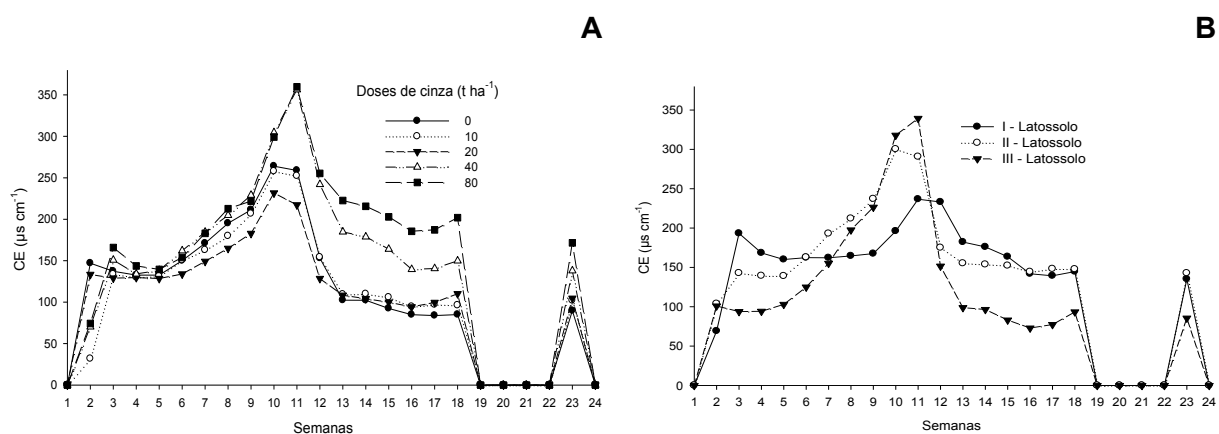
#### **4.3.1. Potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica dos lixiviados**

As doses crescentes de CBCA elevou o pH dos lixiviados nos primeiros 28 dias (Figura 26A) e a CE durante as 24 semanas (Figura 27A). Foram observados

decréscimos nos valores de pH dos lixiviados entre as maiores doses de CBCA a partir da 6ª semana (Figura 26A).



**Figura 26.** Distribuição dos valores totais do potencial hidrogeniônico (pH em H<sub>2</sub>O) entre doses<sup>(A)</sup> e entre solos<sup>(B)</sup> dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.



**Figura 27.** Distribuição dos valores da condutividade elétrica (CE) entre doses<sup>(A)</sup> e entre solos<sup>(B)</sup> dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

A diminuição do pH está associada à fatores como a lixiviação dos cátions presentes na cinza em função do aumento do volume pluviométrico (60 mm, anexo I) e também do baixo poder de neutralização (2,63%, Anexo E) da CBCA. Quanto a CE, esta pode ter sido influenciada por duas fases: a primeira caracterizada por alto nível de ionização dos sais solúveis presentes na CBCA, principalmente potássio; e a segunda pode ter sido controlada pelo aumento da mineralização da matéria orgânica, sobretudo pelo processo de nitrificação do N orgânico, que resulta na

elevação do teor de nitrato, conforme também foi relatado por Lima et al. (2009) ao avaliar extratos de compostos orgânicos adicionados de CBCA.

Os solos com maiores teores de argila mantiveram o pH elevado durante o período avaliado (Figura 26B). Com o aumento da pluviosidade (Anexo I) observou-se para o Latossolo de textura arenosa decréscimo no valor de pH e aumento na CE entre a 5<sup>a</sup> e 11<sup>a</sup> semana (Figuras 26B e 27B, respectivamente). A perda de nutrientes em subsuperfície tende a ser maior em solos de textura arenosa devido ao maior movimento da água (PIOVESAN, 2006) e a sua menor capacidade de retenção (ERNANI et al., 2007). Possivelmente este fato também contribuiu para diminuir o pH e aumentar a CE em virtude da maior quantidade de íons perdidos por lixiviação. Lange (2012) também relata após observação em colunas de solo de textura franco arenosa com e sem adição de cinza de carvão, que os maiores valores de CE foram nos percolados do tratamento que recebeu a cinza após 28 dias de incubação, porém aos 112 dias, a CE de todos os tratamentos se igualaram.

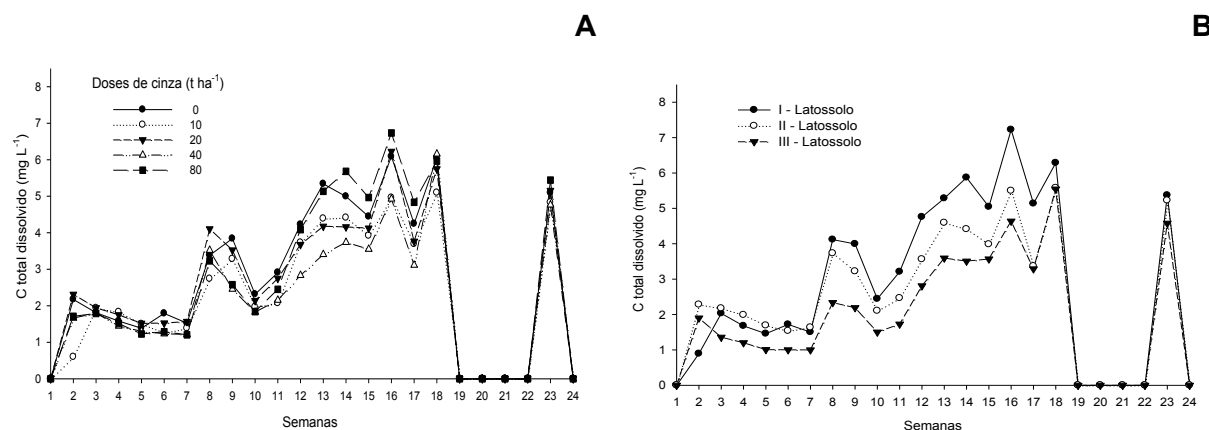
Percebe-se para este estudo que o maior teor de argila favoreceu a retenção de íons, inclusive os fornecidos pela cinza, sendo observado na 23<sup>a</sup> semana os maiores valores de pH e condutividade elétrica para os solos de textura argilosa (Figuras 26B e 27B, respectivamente). Restrições quanto à aplicação de CBCA poderão ocorrer em solos com textura arenosa, devido a fatores como baixo poder de tamponamento e baixa capacidade de retenção de água, os quais favorecem a lixiviação de nutrientes e a acidificação da camada arável do solo.

#### **4.3.2. Teores totais de carbono e nitrato dos lixiviados**

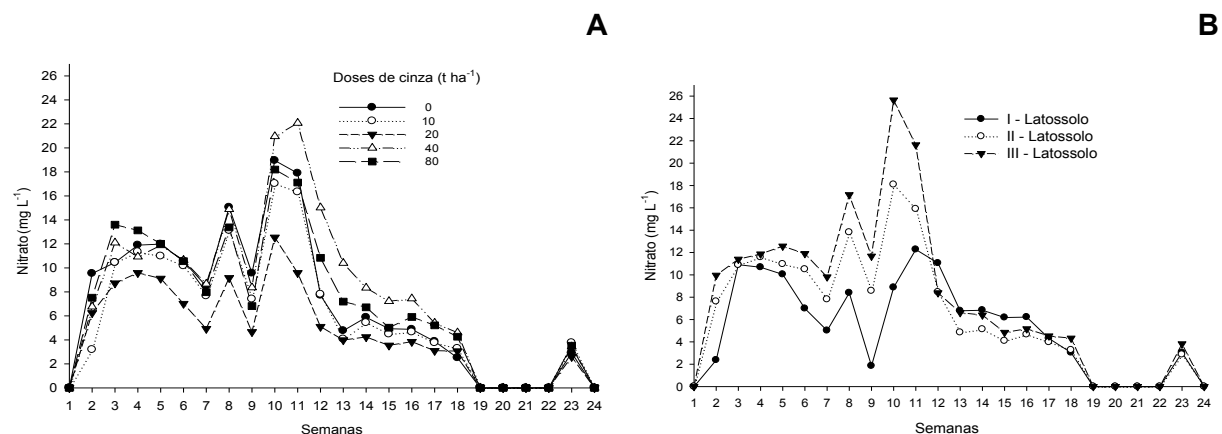
Houve distribuição no comportamento das doses de CBCA, sendo a dose de 80 t ha<sup>-1</sup> a que influenciou nas maiores concentrações de C total dissolvido (Figura 28A). Considerando-se estudos com cinza, os resultados obtidos no presente experimento corroboram com aqueles obtidos por Lange (2012) ao demonstrar que a aplicação de cinza de carvão em colunas de solo de textura franco arenosa aumentou o pH e influenciou na liberação do C orgânico e inorgânico do percolado do solo.

O aumento do pH do solo promove a decomposição da matéria orgânica e o aumento dos ácidos fúlvicos, que são moléculas orgânicas alifáticas facilmente

perdidas por lixiviação (FILEP; KINCSES; NAGY, 2003; OLIVEIRA Jr. et al., 2008). Tais resultados estão de acordo com os encontrados no experimento de incubação quanto ao efeito da CBCA em fornecer C pirogênico, além de elevar o pH do solo e consequentemente provocar a disponibilidade de C microbiano, conforme também foi observado por Zimmermann e Frey (2002). Esses fatores justificam o aumento da concentração de C dissolvido nos lixiviados a partir do aumento da dose de CBCA.



**Figura 28.** Distribuição dos teores totais de carbono (C) dissolvido entre doses<sup>(A)</sup> e entre solos<sup>(B)</sup> dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.



**Figura 29.** Distribuição dos teores totais de nitrato entre doses<sup>(A)</sup> e entre solos<sup>(B)</sup> dos lixiviados dos Latossolos de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Percebeu-se para os mesmos períodos, que o aumento nas concentrações de C total dissolvido foi inverso ao nitrato (Figuras 28A e 29A, respectivamente). Possivelmente o preenchimento com água dos poros dos Latossolos pelo aumento da precipitação observada entre a 11<sup>a</sup> e 18<sup>a</sup> semana (Anexo I) diminuiu o consumo

de oxigênio pelos microrganismos aeróbicos decompositores de matéria orgânica, proporcionando aumento do C total do solo e do lixiviado (Figura 28A).

Por outro lado, o aumento nas concentrações de nitrato na 11<sup>a</sup> semana (Figura 29A) está relacionado com a diminuição da precipitação (38,6 mm) para esta semana (Anexo I), cujo ambiente mais aeróbico e o aumento da dose da CBCA podem ter favorecido a elevação do pH e atividade de bactérias nitrificantes em produzir uma maior quantidade de nitrato. Resultados semelhantes foram encontrados por Odlare e Pell (2009) sete dias após incubação de um Cambissolo de textura argilosa com cinza de madeira. Os autores relatam que a elevação do pH em 0,8 unidade proporcionou aumento de 205 % do potencial de nitrificação do solo avaliado.

Os teores de argila influenciaram na distribuição dos teores totais de C dissolvido e nitrato dos lixiviados dos Latossolos adicionados de CBCA (Figuras 28B e 29B, respectivamente). Entre a 10<sup>a</sup> e a 11<sup>a</sup> semana os Latossolos com textura arenosa apresentaram maiores concentrações de nitrato (Figura 29B) coincidindo com os maiores picos de CE (Figura 27B) e diminuição dos teores de C dissolvido (Figura 28B). A lixiviação de nitrato no solo pode ser influenciada por fatores como: maior fluxo de água (ANDRADE et al., 2009); maior decomposição da matéria orgânica (SANGOI et al., 2003); maior mobilidade do íon nitrato, que em solos com textura arenosa tende a aumentar devido sua menor capacidade de reter cargas em sua superfície (DONAGEMMA et al., 2008).

Pathan, Aylmore e Colmer (2003) conduziram experimento com uso lisímetros de campo colocados em um solo de textura arenosa com e sem cobertura vegetal sob a aplicação de doses (0, 5, 10 e 20 % do volume do solo) de cinza de carvão. O estudo demonstrou que a cinza não influenciou na concentração de nitrato devido a mesma possuir baixo pH (5,6), porém a perda de nitrato no solo sem cobertura vegetal foi sete vezes maior. As observações quanto à ausência de cobertura vegetal feitas por estes autores justificam o aumento nas concentrações de nitrato observadas na dose zero e no solo com menor teor de argila (Figura 29).

Estudos demonstram que o potencial de nitrificação em solos adicionados de cinzas vegetais pode ser reduzido, desde que seja aumentada a fonte de C (ODLARE; PELL, 2009; NAYAK et al., 2014; RAM; MASTO, 2014). No caso desse

experimento, o aumento de C orgânico dissolvido observado no Latossolo de textura argilosa (Figura 28B) pode estar relacionado com a maior disponibilidade de matéria orgânica rica em ácidos orgânicos de fácil decomposição, conforme descrição feita por Oliveira Jr. et al. (2008). Neste sentido, antes da aplicação da CBCA faz-se necessário conhecer a qualidade da matéria orgânica e sua relação C/N, tendo em vista que doses elevadas da cinza podem também diminuir o teor de C orgânico em solo de textura argilosa, como foi observado no experimento de incubação a partir da aplicação de 29 t ha<sup>-1</sup>.

#### 4.3.3. Teores totais de carbono e nitrogênio – solos colunas

Seis meses após a aplicação da CBCA, os solos com os maiores teores de argila retiveram as maiores concentrações de C total e N total, porém, independentemente da textura a relação C/N foi semelhante (Tabela 29).

**Tabela 29.** Valores médios de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) em Latossolos (experimento em colunas) de diferentes texturas adicionados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar<sup>(1)</sup>.

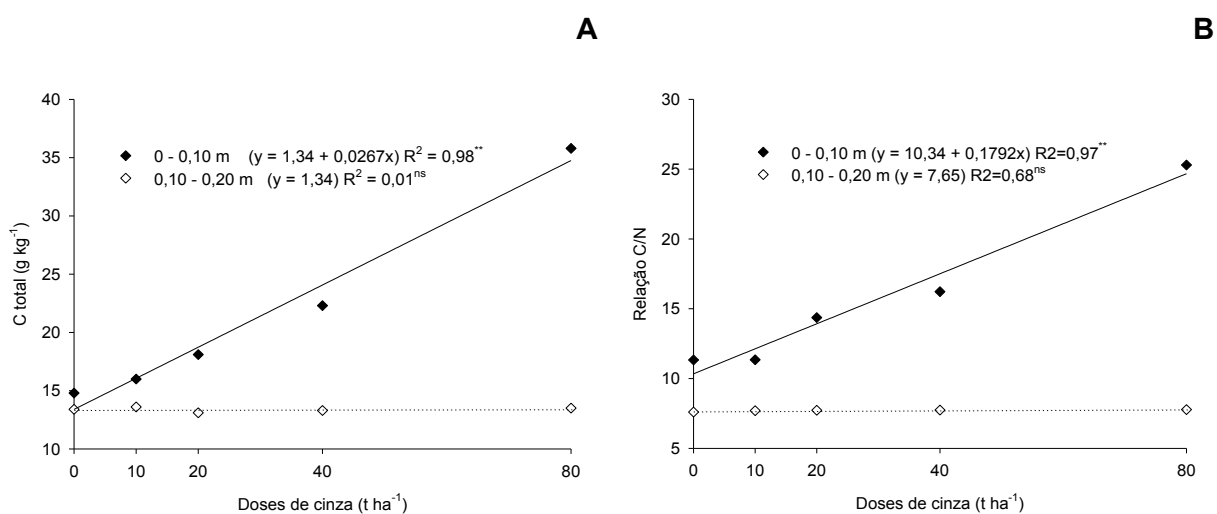
Solos (S)	CT (g kg <sup>-1</sup> )	NT (g kg <sup>-1</sup> )	C/N
I - Latossolo	18,5 a	1,6 a	12
II - Latossolo	17,4 ab	1,6 a	11
III - Latossolo	16,3 b	1,5 b	11
F	9,09 **	3,54 *	3,05 n.s.
Doses de cinza (D) (t ha <sup>-1</sup> )			
0	14,1	1,5	10
10	14,8	1,6	10
20	15,6	1,5	11
40	17,8	1,6	12
80	24,7	1,6	16
F	82,22 **	0,53 n.s.	21,21 **
Interações			
S x D	1,57 n.s.	1,59 n.s.	0,96 n.s.
Camada (C) m			
0-0,10 m	21,4 a	1,3 b	16 a
0,10-0,20 m	13,4 b	1,8 a	7 b
F	357,90 **	93,73 **	236,67 **
Interações			
S x C	3,73 *	3,22 *	3,46 *
D x C	80,08 **	0,72 n.s.	23,59 **
S x D x C	2,02 n.s.	1,06 n.s.	0,96 n.s.
CV <sup>(2)</sup> (%)	11,55	14,15	22,07

<sup>(1)</sup>n.s.: não significativo (P > 0,05); \* : significativo (P < 0,05); \*\* : significativo (P < 0,01); I - Latossolo, com argila entre 30-40 por cento; II – Latossolo, com argila entre 40-50 por cento; III – Latossolo, com argila acima de 50 por cento; <sup>(2)</sup> CV – Coeficiente de variação. CT e NT foram determinados por analisador elementar LECO modelo CHN628, com limite de detecção C: 0,02% e N: 0,04%.



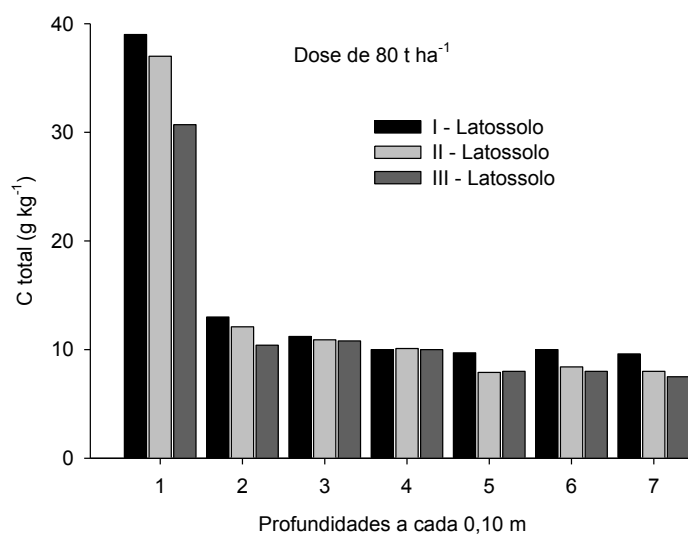
Foi observado efeito individual das doses de CBCA na camada de 0,10 m, com acréscimos para o teor de C e relação C/N (Figuras 30A e 30B, respectivamente). Esses resultados estão de acordo os encontrados no experimento de incubação, sendo a CBCA responsável por adicionar e disponibilizar C aos solos.

Para este estudo, verificou-se que a aplicação de até 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA também beneficiou a atividade microbiana, com predomínio do processo de mineralização (relação C/N≤16) (Tabela 29). Este fato foi responsável por aumentar o teor de nitrato observado na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 29).



**Figura 30.** Efeito das doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) sobre os valores de carbono (C) total<sup>(A)</sup> e relação carbono/nitrogênio (C/N)<sup>(B)</sup> dos Latossolos de diferentes texturas (experimento em colunas).

Não houve interação significativa entre os solos, as doses e as camadas (Tabela 29). A ausência de interação está relacionada às características da CBCA, a qual apresentou baixo poder residual. Estes resultados estão de acordo aos encontrados no experimento de campo, quanto ao efeito das doses de CBCA nos teores de C total e N total. Porém, para o experimento de campo houve efeito significativo na relação C/N e o H<sub>FIL</sub> possivelmente devido à entrada de material orgânico que pode ter prolongado o efeito residual da CBCA. Foi possível perceber estabilidade para os teores de C total 6 meses após a aplicação de 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA (Figura 31).



**Figura 31.** Efeito da dose 80 t ha<sup>-1</sup> de cinza de bagaço de cana-de-açúcar sobre os valores de carbono (C) no perfil dos Latossolos de diferentes texturas (experimento em colunas).

## 5. CONCLUSÕES

- As doses de cinza proporcionaram aumento linear nos valores de pH, C orgânico, P, K, Ca e Mg e redução da acidez potencial, sendo este efeito condicionado ao poder tampão de cada solo.
- A elevação do pH do solo a partir da aplicação da cinza aumentou a atividade microbiana e favoreceu a disponibilidade do C já existente em cada solo.
- A maior disponibilidade de C orgânico no Latossolo de textura argilosa foi obtida com a aplicação de 29 t ha<sup>-1</sup> de cinza.
- A movimentação de C e N proporcionada pela cinza não modificou os grupos estruturais da fração ácido húmico do solo, porém nos solos com menores teores de argila houve uma maior movimentação de nitrato devido à ausência de cobertura vegetal.
- A aplicação de até 80 t ha<sup>-1</sup> de CBCA afeta positivamente os atributos químicos e a atividade biológica dos microrganismos dos solos, sendo a cinza capaz de fornecer nutrientes, adicionar e disponibilizar C, independentemente da textura do solo.
- O C fornecido pela cinza diminui a humificação da matéria orgânica.
- A aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar incorporada e não incorporada em Argissolos demonstrou que a cinza possui baixo poder residual e seu efeito persistiu no solo por pouco tempo, não prejudicando a qualidade do solo.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990. Disponível em: <[http://dx.doi.org/doi:10.1016/0038-0717\(90\)90094-G](http://dx.doi.org/doi:10.1016/0038-0717(90)90094-G)>.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 88-95, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000100014>>.

ARANTES, S. A. C. M.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da calagem na mineralização de <sup>14</sup>C-glifosato em solos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 234-241, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000200002>>.

ARANTES, S. A. C. M.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da calagem e do glifosato na atividade microbiana de diferentes classes de solos. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 19-28, 2007. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/arquimedes/calagem.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2014

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. ALESP. **Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas.** Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>>. Acesso em: 23 maio 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 10004:** resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.

AUGUSTO, L.; BAKKER, M. R.; MEREDIEU, C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems: potential benefits and drawbacks. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 306, n. 1-2, p. 181-198, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-008-9570-z>>.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat** - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos, versão 1.1.0.626. 2011.

BASU, M.; PANDE, M.; BHADORIA, P. B. S.; MAHAPATRA, S. C. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. **Progress in Natural Science**, London, v. 19, n. 10, p. 1173-1186, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.12.006>>.

BHASKARACHARY, K.; RAMULU, P.; UDAYASEKHARARAO, P.; BAPURAO, S.; KAMALA, K.; SYED, Q.; UDAYKUMAR, P.; SESIKERAN, B. Chemical composition, nutritional and toxicological evaluation of rice (*Oryza sativa*) grown in fly ash amended soils. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 92, n. 13, p. 2721–2726, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5698>>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. MME/ Empresa De Pesquisa Energética. EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Brasília, 2013. cap. 2, p. 64.

BREMNER, J. M. Nitrogen Total. In SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 3. ed. Madison: SSA Book, 1996. p. 1085-1121.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI Jr., R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1, p. 1-8.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2009. p. 47-50. (Boletim Técnico, 106).

CAMPOS, M. L. A. M.; NOGUEIRA, R. F. P.; DAMETTO, P. R.; FRANCISCO, J. G.; COELHO, C. H. Dissolved organic carbon in rainwater: glassware decontamination and sample preservation and volatile organic carbon. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 41, n. 39, p. 8924-8931, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.08.017>>.

CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00103627509366547>>.

COELHO, A. M. S. L. **Gestão de cinzas produzidas em centrais de cogeração operadas com biomassa**. 2010. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

COMITRE, V.; CARMO, M. S. **Produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar**: cenários de substituição na indústria de alimentos e bebidas do estado de São Paulo. 2010. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/07P082.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB. **A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil análise do desempenho da safra 2009-2010**. Brasília, 2011. p. 14, 129.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2014**. Brasília, 2014. v.1, n. 1, p. 14, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. **Resolução n. 436, de 26 de dezembro de 2011**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. p. 8.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p.1-32.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000100010>>.

DEMEYER, A.; NKANA, J. C. V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, New York, v. 77, n. 3, p. 287-295, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00043-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2)>.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; FERREIRA, P. A.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, A. T.; COUTINHO, G. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de Latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32 n. 6, 2008. <Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600026>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERLICH, C.; OHMAN, M.; BJORNBO, E.; FRANSSON, T. H. Thermochemical characteristics of sugar cane bagasse pellets. **Fuel**, London, v. 84, n. 5, p. 569-575, 2005. <Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.005>>.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000200022>>.

ESPÍRITO SANTO, Z. N.; ALMEIDA, L. T. **Etanol**: impactos sócio-ambientais de uma commodity em ascensão. 2007. Disponível em: <[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii\\_en/mesa2/trabalhos/etanol\\_impactos\\_socio\\_ambientais.pdf](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa2/trabalhos/etanol_impactos_socio_ambientais.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2014.

FAVORETTO, C. M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D. M. B. P.; ROSA, J. A.; LEITE, W.C.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um Latossolo e de suas frações organo-minerais. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 1994-1996, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000800015>>.

FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L.; SILVA, I. P. F. Avaliação da cinza, oriunda da queima do bagaço da cana de açúcar, na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 2412-2415, 2009.

FERREIRA, E. P. B.; FAGERIA, N. K.; DIDONET, A. D. Chemical properties of an Oxisol under organic management as influenced by application of sugarcane bagasse ash. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 228-236, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000200004>>.

FERREIRA, R. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; NEVES, R. V.; SALGADO, A. L. Desenvolvimento de mudas de *Annona crassiflora* Mart. (araticum) em substratos com cinza de bagaço de cana. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 18-24, 2009.

FILEP, T.; KINCSES, I.; NAGY, P.T. Dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) content of an arenosol as affected by liming in a pot experiment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 49, n. 1, p. 111-117, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/0365034031000079793>>.

FONTAINE S.; BAROT, S.; BARRÉ, P.; BDIOUI, N.; MARY, B.; CORNÉLIA, R. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, London, v. 450, p. 277–280, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature06275>>.

FRÍAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO, H. Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 33, n. 4, p. 490-496, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.02.003>>.

HOPKINS, D. W. Carbon mineralization, In: CARTER, M. R., GREGORICH, E. G. (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. 2<sup>nd</sup>. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. p. 589–598.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA. IPEA. **Biocombustível no Brasil: etanol e biodiesel**. Brasília, 2010. 62 p. (Séries Eixos do Desenvolvimento; Comunicado Técnico, 53).

JALA, S.; GOYAL, D. Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production: a review. **Bioresource Technology**, New York, v. 97, n. 9, p. 1136-1147, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.004>>.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. p. 415-471.

KHUONG, L. D.; KONDO, R.; LEON, R.; , ANH, T. K.; SHIMIZU, K.; KAMEI, I. Bioethanol production from alkaline-pretreated sugarcane bagasse by consolidated bioprocessing using *Phlebia* sp. MG-60. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 88, p. 62-68, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.12.008>>.

KIRK, J. L.; KLIRONOMOS, J. N.; LEE, H.; TREVORS, J. T. The effects of perennial ryegrass and alfalfa on microbial abundance and diversity in petroleum contaminated soil. **Environmental Pollution**, Barking, v. 133, n. 3, p. 455-465, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2004.06.002>>.



KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. p. 1-44.

LANGE, C. N. **Contaminação do solo e mobilidade de As, Cd, Mo, Pb e Zn em colunas de solo franco arenoso com cinza de carvão**. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LEAL, C. L. D.; CASTRO, P. F. Aproveitamento da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como filler em concreto asfáltico. **Vértices**, São Paulo, v. 9, n. 1/3, 2007. Disponível em: <file:///C:/Users/Admin/Downloads/47-165-1-PB.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2014.

LIMA, C. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H. M.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 334–340, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000300016>>.

LOO, S. V.; KOPPEJAN, J. **The handbook of biomass combustion and co-firing**. Londres: Earthscan, 2008. 464 p.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.

MANDRE, M. Influence of wood ash on soil chemical composition and biochemical parameters of young Scots pine. **Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: biology, ecology**, Tallin, v. 55, n. 2, p. 91-107, 2006.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; LA SCALA Jr., N. Influence of liming on residual soil respiration and chemical properties in a tropical no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 45-50, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100005>>.

MENESES, J. A. G.; SANTOS, V. S.; MENEZES, A. R. V.; ALVES, F. K. S.; PEREIRA, J. A. Produtividade do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.Walp) utilizando cinzas de bagaço da cana-de-açúcar e esgoto tratado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 9, n.1, p. 8-12, 2014. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2175>>. Acesso em: 21 jun. 2014.

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZALEZ PEREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laser - induced fluorescence spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p. 57-63, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/doi:10.2136/sssaj2004.0270>>.

MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; BAGNATO, V. S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, Baltimore, v. 167, n. 11, p. 739-749, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-200211000-00004>>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

NAYAK, A. K.; RAJA, R.; RAO, K. S.; SHUKLA, A. K.; MOHANTY, S.; SHAHID, M.; TRIPATHI, R.; PANDA, B. B.; BATTACHARYYA, P.; KUMAR, A.; LAL, B.; SETHI, S. K.; PURI, C.; NAYAK, D.; SWAIN, C. K. Effect of fly ash application on soil microbial response and heavy metal accumulation in soil and rice plant. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Orlando, jul. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.033>>.

NKANA, J. C. V.; DEMEYER, A.; VERLOO, M. G. Effect of wood ash application on soil solution chemistry of tropical acid soils: incubation study. **Bioresource Technology**, New York, v. 85, n. 3, p. 323-325, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00140-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00140-2)>.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T.; BÄRNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels—significance and impact. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 30, n. 11, p. 973-982, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.011>>

ODLARE, M.; PELL, M. Effect of wood fly ash and compost on nitrification and denitrification in agricultural soil. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 86, n.1, p. 74-80, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.004>>.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400031>>.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURTI, N.; LIMA, J. M.; RANGEL, O. J. P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de Latossolos Vermelhos sob influência de calcário e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1261-1271, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300034>>.

PANDEY, V. C.; SINGH, N. Impact of fly ash incorporation in soil systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 1-2, p. 16-27, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.013>>.

PARK, B. B.; YANAI, R. D.; SAHM, J. M.; BALLARD, B. D.; ABRAHAMSON, L. P. Wood ash effects on soil solution and nutrient budgets in a willow bioenergy plantation. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 159, n. 1, p. 209-224, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/B:WATE.0000049177.60761.37>>.

PATHAN, S. M.; AYLMOORE, L. A. G.; COLMER, T. D. Soil properties and turf growth on a sandy soil amended with fly ash. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 256, n. 1, p. 103–114, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1026203113588>>.

PATI, S. S.; SAHU, S. K. CO<sub>2</sub> evolution and enzyme activities (dehydrogenase, protease and amylase) of fly ash amended soil in the presence and absence of earthworms (*Drawilda willsi* Michaelsen) under laboratory conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 118, n. 3-4, p. 289-301, 2004. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00213-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00213-1)>.

PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000300019>>.

PÉREZ, M. G.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. B. P.; BAGNATO, V. S.; COLNAGO, L. A.; MELO, W. J.; KNICKER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, <sup>13</sup>C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy, **Geoderma**, Amsterdam, v. 118, n. 3-4, p. 181-190, 2004. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00192-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00192-7)>.

PERUCCI, P.; MONACI, E.; CASUCCI, C.; VISCHETTI, C. Effect of recycling wood ash on microbiological and biochemical properties of soils. **Agronomy Sustainable Development**, Les Ulis, v. 26, n. 3, p. 157–165, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1051/agro:200600901/2006>>.

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

PITA, P. V. V. **Valorização agrícola de cinza da co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa**. 2009. 120 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2009.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR., D.; BOARETTO, R. M. Sources and rates of potassium for sweet orange production. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 369-375, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000300015>>.

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

RAM, L. C.; MASTO, R. E. Fly ash for soil amelioration: A review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 128, p. 52-74, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.003>>.

RODRIGUES, H. J. B.; SÁ, L. D. A.; RUIVO, M. L. P.; COSTA, A. C. L.; SILVA, R. B.; MOURA, Q. L.; MELLO, I. F. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v. 26, n. 4, p. 629-638, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000400012>>.

SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, New York, v. 30, n. 6, p. 1114-1122, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.026>>.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000100010>>.

SANTOS, C. H. **Estudo da matéria orgânica e composição elementar de solos arenosos de regiões próximas a São Gabriel da Cachoeira no Amazonas**. 2014. 155 p. Tese (Doutorado em Química Analítica e Inorgânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2014.

SANTOS, M. L.; LIMA, O. J.; NASSAR, E. J.; CIUFFI, K. J.; CALEFI, P. S. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 507-511, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422011000300024>>.

SANTOS, C. H. **Análise espectroscópicas de matéria orgânica de solos sob aplicação de águas residuárias**. 2008. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. A state of the art structural concept for humic substances. **Naturwissenschaften**, Zurich, v. 80, n. 1, p. 29-30, 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF01139754>>.

SILVA, D. A. L.; DELAI, I.; MONTES, M. L. D.; OMETTO, A. R. Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 32, p. 532-547, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.056>>.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 99).

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVEIRA, T. **Avaliação de cinza de caldeira de indústria de concentrados de frutas cítricas sobre as propriedades de solo degradado e solo cultivado com cana-de-açúcar**. 2010. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

SIMPSON, M. J.; HATCHER, P. G. Determination of black carbon in natural organic matter by chemical oxidation and solid-state <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 35, n. 8, p. 923-935, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.orggeochem.2004.04.004>>.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, A. E.; TEIXEIRA, S. R.; SANTOS, G. T. A.; COSTA, F. B.; LONGO, E. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. **Journal of Environmental Management**, London, v. 92, n. 10, p. 2774-2780, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.020>>.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction**. New York: Wiley Interscience, 1994. 443 p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 3**. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1069. (Chemical Methods-SSSA Book Series, 5.).

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, S. R.; MAGALHÃES, R. S.; ARENALES, A.; SOUZA, A. E.; ROMERO, M.; RINCÓN, J. M. Valorization of sugarcane bagasse ash: producing glass-ceramic materials. **Journal of Environmental Management**, v. 134, p. 15-19, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.029>>.

TEIXEIRA, S. R. .; PEÑA, A. F. V.; MIGUEL, A. G. Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. **Waste Management**, New York, v. 30, n. 5, p. 804-807, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.018>>.

TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, A. E.; SANTOS, G. T. A.; PEÑA, A. F. V.; MIGUEL, A. G. Sugarcane bagasse ash as a potential quartz replacement in red ceramic. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 91, n. 6, p. 1883-1887, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.02212.x>>.

THE FERTILIZER INSTITUTE. **Health evaluation of selected metals in inorganic fertilizers post application**. Washington: The Weinberg Group, 2000. 56 p.

TURN, S. Q.; KINOSHITA, C. M.; JAKEWAY, L. A.; JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; WU, B. C.; BLEVINS, L. G. Fuel characteristics of processed, higher-fiber sugarcane. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 35-55, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3820\(02\)00252-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3820(02)00252-7)>.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. UNICA. 2014. **Acompanhamento da safra**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=80> > Acesso em: 16 maio 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USSEPA. **NOx reductions under the acid rain program**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airmarkets/progsregs/arp/nox.html>>. Acesso em: 26 maio 2014.

VAMVUKA, D.; ZOGRAFOS, D. Predicting the behaviour of ash from agricultural waste during combustion. **Fuel**, London, v. 83, n. 14-15, p. 2051-2057, 2004

VOLANTE, P. R. **Atributos físicos e químicos do solo e desenvolvimento de laranja-pera em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar**. 2013. 35 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

YAMANE, D. R. **Desenvolvimento de laranja valência e caracterização dos atributos do solo sob a aplicação de cinza de bagaço de cana**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n. 13, p.1467-1476, 1988. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00103628809368027>>.

YIN, C. Biomass co-firing. **Biomass Combustion Science, Technology and Engineering**, Cambridge, p. 84-105, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1533/9780857097439.2.84>>.

YIN, C.; ROSENDAHL, L. A.; KAER, S. Grate-firing of biomass for heat and power production. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 34, n. 6. p. 725-754, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2008.05.002>>.



YUNUSA, I. A. M.; EAMUS, D.; DESILVA, D. L.; MURRAY, B. R.; BURCHETT, M. D.; SKILBECK, G. C.; HEIDRICH, C. Fly-ash: an exploitable resource for management of Australian agricultural soils. **Fuel**, London, v. 85, n. 16, p. 2337-2344, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2006.01.033>>.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 11, p. 1727–1737, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00160-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00160-8)>.




## ANEXOS

## Anexo A. Classificação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar segundo especificações da ANBT NBR 10004 (2004).

 <b>Laboratório de Análises Ambientais</b> <b>Laudo de Classificação de Resíduos Sólidos</b>			
Interessado:	José Eduardo Corá		
Endereço:	Unesp-Campus de Jaboticabal, Via de Acesso Prof.Paulo Donato Castellane s/n, Zona Rural, Jaboticabal, SP		
DADOS DA AMOSTRA			
<b>Identificação da Amostra:</b>			
Identificação:	Cinzas		
Data da Coleta:	24/1/2011	Hora da Coleta:	10:43
		Data de Recebimento:	24/1/2011
1.0 Origem do Resíduo			
Cinza de bagaço de cana-de-açúcar gerado em caldeira para produção de vapor (energia) em usinas sucro-alcóoleiras.			
2.0 Amostragem			
A coleta foi realizada conforme NBR 10007. A armazenagem foi realizada em sacos plásticos, até a chegada no laboratório, onde foram iniciadas as análises imediatamente.			
3.0 Objetivo			
Caracterização do Resíduo conforme ABNT NBR 1004 (2004)			
4.0 Avaliação das Características do Resíduo			
4.1 – Inflamabilidade: A amostra não apresentou a característica Inflamabilidade de acordo com os termos referidos na Norma;			
4.2 – Corrosividade: A amostra apresentou pH (1:1) igual a 9,93 não apresentando a característica Corrosividade de acordo com os termos referidos na Norma;			
4.3 – Reatividade: De acordo com os produtos utilizados no processo industrial e baseados nos resultados analíticos a amostra não apresenta a característica Reatividade;			
4.4 – Toxicidade: A amostra não apresentou a característica Toxicidade de acordo com os termos referidos na Norma;			
4.5 – Patogenicidade: O resíduo não apresentou a característica Patogenicidade de acordo com os termos referidos na Norma;			
5.0 Avaliação Química do Resíduo			
5.1 pH do Extrato			
O pH do extrato solubilizado foi de 6,46.			
5.2 Avaliação do Extrato Lixiviado			
Parâmetro	Resultado	Unidade	Limite Máximo
Arsênio	<0,002	mg/L	1
Bário	0,748	mg/L	70
Cádmio	0,009	mg/L	0,5
Chumbo	0,241	mg/L	1
Cromo	0,023	mg/L	5
Fluoreto	1,71	mg/L	150
Merúrio	<0,0002	mg/L	0,001
Prata	<0,002	mg/L	0,05
Selênio	<0,0002	mg/L	0,01

Continua ...

		<b>Laboratório de Análises Ambientais</b> <b>Laudo de Classificação de Resíduos Sólidos</b>		<b>Nº: CA 727/2011</b>	
Interessado:	José Eduardo Corá				
Endereço:	Unesp-Campus de Jaboticabal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, Zona Rural, Jaboticabal, SP				
DADOS DA AMOSTRA					
<b>Identificação da Amostra:</b>					
Identificação:	Cinzas				
Data da Coleta:	24/1/2011	Hora da Coleta:	10:43	Data de Recebimento:	24/1/2011
<b>5.2 Avaliação do Extrato Solubilizado</b>					
Extrato Solubilizado (NBR 10006)					
Parâmetro	Resultado	Unidade	Limite Máximo		
Alumínio	0,065	mg/L	0,2		
Bário	0,02	mg/L	0,7		
Cádmio	0,004	mg/L	0,005		
Chumbo	0,058	mg/L	0,01		
Cobre	<0,006	mg/L	2		
Cromo	0,012	mg/L	0,05		
Ferro	0,027	mg/L	0,3		
Manganês	0,006	mg/L	0,1		
Sódio	5,2	mg/L	200		
Zinco	0,01	mg/L	5		
Arsênio	<0,002	mg/L	0,01		
Merúrio	<0,0002	mg/L	0,001		
Prata	<0,002	mg/L	0,05		
Selênio	<0,0002	mg/L	0,01		
Fluoreto	1,18	mg/L	1,5		
Nitrato	0,2	mg/L	10		
Sulfato	420	mg/L	250		
6.0 Classificação					
Considerando os resultados obtidos nos testes realizados, o resíduo pode ser classificado como <b>RESÍDUO NÃO INERTE CLASSE II A</b> .					
<p>O resultado da análise não contempla a incerteza da amostragem.  Os resultados obtidos obedecem às técnicas preconizadas pelo "Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater" - 21ª Edição, da AWWA/American Water Works Association) e/ou pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e devem ser interpretados como parte da composição da amostra no momento da análise. Os resultados apresentados restringem-se somente às amostras analisadas.</p> <p>É expressamente proibida a reprodução parcial deste certificado.</p>					
<p>Paracatu - MG, 20/08/11</p> <p><i>Fernando Vilela</i></p> <p>Fernando Vilela, MSc  CRQ - MG 02102119  Responsável Técnico</p>					
<p>Campo Fertilidade do Solo e Nutrição Vegetal Ltda, CNPJ: 05.043.119/0001-65  Rua Lindolfo Garcia Adjuto, 1000, Bairro Alto do Córrego, Paracatu - MG, CEP: 36800-000, Telefax: (38) 3671-1164.</p>					

**Anexo B.** Caracterização como corretivo e/ou fertilizante da cinza do bagaço de cana-de-açúcar realizada por Laboratório Campo Análises Agrícolas e Ambientais.

Características	Valores (%)
CaO	0,65
MgO	0,31
Soma de CaO e MgO	0,96
Umidade 105° C	40,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	0,12
K <sub>2</sub> O	0,27
Ca	0,12
Mg	0,07
S	0,03
B	0,002
Zn	0,001
Fe	0,27
Mn	0,01
Cu	<0,001
Co	<LQ
Mo	<LQ

LQ = limite de quantificação em mg kg<sup>-1</sup>: Co=1,006, Mo=0,904

**Anexo C.** Determinação de metais pesados na cinza do bagaço de cana-de-açúcar realizada por Laboratório Campo Análises Agrícolas e Ambientais.

Características	Valores (mg kg <sup>-1</sup> )
As	0,28
Cd	<LQ
Pb	<LQ
Cr	49,65
Ni	3,05
Se	<LQ
Hg	<LQ

Observação: elementos determinados na matéria seca a 105°C. LQ (Limite de quantificação em mg kg<sup>-1</sup>): Cd=0,88; Pb=4,81; Se=0,02; Hg=0,01.

**Anexo D.** Análise química da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (RAIJ et al., 2001).

Análise	pH	C (orgânico)	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Cinza	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
	8,3	11	1004	54,5	126	56	5	236,5	241,5	98

pH – Potencial Hidrogeniônico; M.O. – Matéria Orgânica; P – Fósforo; K - Potássio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; H+Al - Acidez Potencial; SB – Soma de Bases; T – Capacidade de Troca de Cátions Potencial; V – Índice de Saturação por Bases.

**Anexo E.** Análise da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como corretivo do solo realizada por Laboratório Campo Análises Agrícolas e Ambientais.

Composição	Quantidade (%)
CaO	0,65
MgO	0,31
Soma de CaO e MgO	0,96
Passante - ABNT 10	99,32
Passante - ABNT 20	98,12
Passante - ABNT 50	85,46
Poder de neutralização	2,63
Poder relativo de neutralização total	2,45

**Anexo F.** Valor médio total de carbono e nitrogênio presente na cinza de bagaço de cana-de-açúcar analisados por oxidação térmica.

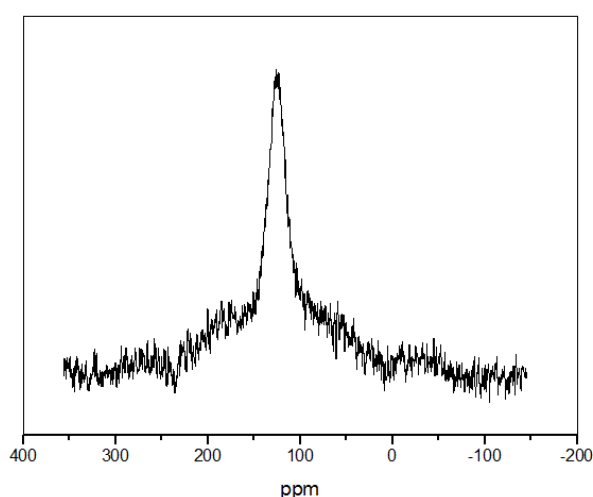
Material	Teor de Carbono%	Teor de Nitrogênio%
Cinza	19%	<LD

LD = abaixo do limite de detecção de 0,3% do analisador elementar (CHNS/O) da marca Perkin Elmer modelo 2400, pertencente à Embrapa Instrumentação.

**Anexo G.** Área superficial da cinza de bagaço de cana-de-açúcar obtido por método de Brunauer, Emmett and Teller – BET, realizado pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Identificação do CCDM	Área superficial $m^2g^{-1}$
Amostra de cinza nº 130126	39,7674

CCDM = Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais



**Anexo H.** Espectro de Ressonância Magnética Nuclear RMN de  $^{13}C$  da cinza.

**Anexo I.** Valores de precipitação do município de Jaboticabal-SP do ano agrícola 2012/2013 e quantidades de água adicionadas nas colunas dos Latossolos.

<b>Semana (s) N<sup>o</sup></b>	<b>Ocorrência de chuva</b>	<b>Precipitação (mm)/semana</b>	<b>H<sub>2</sub>O adicionada/semana (mL)*</b>	<b>Precipitação (mm/mês)</b>
1 <sup>a</sup>	17 a 21 Out/12	11,9	374	
2 <sup>a</sup>	22 a 28 Out/12	31,1	977	43,0
3 <sup>a</sup>	01 a 04 Nov/12	31,7	995	
4 <sup>a</sup>	05 a 11 Nov/12	41,5	1.303	
5 <sup>a</sup>	12 a 18 Nov/12	31,6	992	
6 <sup>a</sup>	19 a 26 Nov/12	60,0	1884	164,8
7 <sup>a</sup>	01 a 09 Dez/12	36,3	1.140	
8 <sup>a</sup>	10 a 16 Dez/12	50,4	1.583	
9 <sup>a</sup>	17 a 23 Dez/12	44,9	1.410	
10 <sup>a</sup>	24 a 31 Dez/12	80,6	2.531	212,2
11 <sup>a</sup>	01 a 06 Jan/13	38,6	1.212	
12 <sup>a</sup>	07 a 13 Jan/13	152,4	4.785	
13 <sup>a</sup>	14 a 20 Jan/13	141,9	4.456	
14 <sup>a</sup>	21 a 27 Jan/13	14,8	465	
15 <sup>a</sup>	28 a 31 Jan/13	36,3	1.140	384,0
16 <sup>a</sup>	01 a 10 Fev/13	62,1	1.950	
17 <sup>a</sup>	11 a 17 Fev/13	32,5	1.021	
18 <sup>a</sup>	18 a 24 Fev/13	42,6	1.338	
19 <sup>a</sup>	25 a 28 Fev/13	8,0	251	145,2
20 <sup>a</sup>	01 a 03 Mar/13	8,4	264	
21 <sup>a</sup>	04 a 10 Mar/13	4,8	151	
22 <sup>a</sup>	11 a 17 Mar/13	37,0	1.162	
23 <sup>a</sup>	18 a 24 Mar/13	71,0	2.229	
24 <sup>a</sup>	25 a 31 Mar/13	20,4	641	141,6

\* corresponde o valor da precipitação semanal x a área (A) do solo dentro do cilindro  $A = 0,0314 \text{ m}^2$ .