

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Área de Concentração: Solos



Dissertação

**Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentes da adição
de cinza de casca de arroz**

Wilian Costa Sandrini

Pelotas, 2010

WILIAN COSTA SANDRINI

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO
DECORRENTES DA ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Solos).

Orientadora: Professora Dr^a. Rosa Maria Vargas Castilhos

Co-Orientador: Professor Dr. Danilo Dufech Castilhos

Pelotas, 2010

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Rosa Maria Vargas Castilhos:
(Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel / UFPEL)

Prof^a. Dr^a. Giani Mariza Bärwald Böhn
(IFSUL / Pelotas)

Prof^a. Dr^a. Flavia Fontana Fernandes
(Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel / UFPEL)

Prof. Dr. Ledemar Carlos Vahl
(Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel / UFPEL)

Dedico:

A Deus, por me dar força para concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, José Carlos Rosler Sandrini e Eliete Teresinha Costa Sandrini, por estarem sempre presentes e pela grande influência que tiveram na minha formação pessoal e profissional.

À minha irmã, Brenda Costa Sandrini pelo amor, carinho e por fazer parte da minha vida.

À minha sobrinha Luiza Sandrini Ribeiro por representar o amor, a felicidade e a alegria dos pequenos gestos de nossas vidas.

Aos meus familiares, pelo apoio e incentivo durante este período de aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo à pesquisa, através da concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Dr. Danilo Dufech Castilhos pela orientação, ensinamentos e dedicação durante a realização deste trabalho, sem as quais esta dissertação não teria se concretizado.

À Professora Dr^a. Rosa Maria Vargas Castilhos pela orientação, ensinamentos e incentivo durante todo o curso.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Solos FAEM/UFPEL, pelos ensinamentos e excelente ambiente de trabalho durante o curso de pós-graduação.

Aos colegas do Departamento de Solos, pelos momentos de aprendizado, descontração e alegria.

Aos bolsistas de iniciação científica André Brunes, Douglas Schulz Bergmann da Rosa, Elisa Souza Lemes e Letiane Helwig Penning, pela dedicação, amizade e por todo o trabalho que realizaram.

Aos amigos Fioravante Jaekel dos Santos e Ivan Renato Cardoso Krolow pelo companheirismo e inestimável colaboração, sempre dispostos a ajudar.

As amigas, Fernanda Sanes, Katiúscia Fonseca dos Santos Strassburger e Samira Jaber Suliman Audeh pela grande amizade, incentivo, confiança e bom humor; aprendi muito com vocês.

Ao amigo Marcio Mendes da Silveira, por representar o verdadeiro significado da palavra “amizade”.

RESUMO

SANDRINI, Wilian Costa. **Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentes da adição de cinza de casca de arroz**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Orientador (a): Dr^a. Rosa Maria Vargas Castilhos.

O aproveitamento da casca de arroz (CA) como fonte alternativa na geração de energia, produz uma elevada quantidade de cinza residual, que é depositada no meio ambiente de forma inapropriada. Pesquisas relacionadas com a utilização adequada da cinza de casca de arroz (CCA) são necessárias para a busca de alternativas sustentáveis que evitem a contaminação e ou a poluição do meio ambiente. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de cinza de casca de arroz sobre o crescimento do milho e também sobre alguns atributos químicos e microbiológicos de um Planossolo. O experimento foi realizado em duas etapas, sendo a primeira em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, RS, durante o período de janeiro a março de 2009. Os tratamentos estudados foram: T1 – testemunha (0,0 g kg⁻¹ CCA); T2 – Adubação mineral NPK + calcário; T3 – 1,09 g kg⁻¹ CCA; T4 – 2,17 g kg⁻¹ CCA; T5 – 4,34 g kg⁻¹ CCA; T6 – 6,51 g kg⁻¹ CCA; T7 – 8,68 g kg⁻¹ CCA. Nesta etapa foram avaliados o crescimento e os teores de alguns nutrientes nas plantas bem como a alteração em alguns atributos químicos e microbiológicos do solo. A segunda etapa foi desenvolvida no Laboratório de Microbiologia do Solo, utilizando vasos respirométricos, com o mesmo solo e tratamentos da etapa anterior, para a análise da respiração basal. O delineamento experimental adotado foi o completamente casualizado com quatro repetições. A aplicação de CCA aumentou o rendimento de massa seca do milho, assim como os valores de pH, condutividade elétrica e os teores de P, Na, Si no solo, proporcionando também o decréscimo nos teores de Fe e Al do solo e das plantas de milho. As doses de cinza de casca de arroz aplicadas não afetaram a biomassa microbiana avaliada pelos teores de carbono e nitrogênio microbiano. A atividade

microbiana do solo, o quociente metabólico e a relação carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico total do solo também não se alteraram com a aplicação do resíduo.

Palavras-chave: cinza de casca de arroz, milho, atributos químicos, biomassa microbiana, respiração basal.

ABSTRACT

SANDRINI, Wilian Costa. **Microbiological and chemical soil changes caused by the addition of rice husk ash.** 2010. 70 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy) – Agronomy Post-Graduation Program, concentration Area: Soil. Federal University of Pelotas, Pelotas. Adviser: Dr^a. Castilhos, Rosa Maria Vargas.

The use of rice husk (RH) as an alternative source of energy generation, produces a high amount of residual ash that is deposited in the environment inappropriately. Researches related to proper use of rice husk ash (RHA) are required for the search for sustainable alternatives to avoid contamination and / or environmental pollution. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of application of rice husk ash on the growth of corn and also on some chemical and microbiological attributes. The experiment was conducted in two stages, the first in a greenhouse in the experimental area of the Soils Department, Eliseu Maciel Agronomy College, Federal University of Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, RS, during the period January to March 2009. The studied treatments were: T1 – control (0,0 g kg⁻¹ RHA); T2 – mineral fertilization NPK + lime; T3 – 1,09 g kg⁻¹ RHA; T4 – 2,17 g kg⁻¹ RHA; T5 – 4,34 g kg⁻¹ RHA; T6 – 6,51 g kg⁻¹ RHA; T7 – 8,68 g kg⁻¹ RHA. In this stage were evaluated the growth and the levels of some nutrients in plants and the change in some chemical and microbiological soil. The second stage was developed in Microbiology Laboratory of the soil, using respirometric vessels, with the same soil and treatments of previous stage, for the analysis of soil basal respiration. The experimental design was completely randomized with four replications. The application of RHA increased the yield of dry mass of maize, as well as the values of pH, electric conductivity and the levels of P, Na, Si in the soil, providing also a decrease on the levels of the Fe and Al of the soil and of maize plants. The doses of rice husk ash did not affect microbial biomass measured by the

carbon and nitrogen microbial. The soil microbial activity, the metabolic quotient and the relation microbial biomass carbon / total organic carbon of the soil also did not change with the application of waste.

Key-words: rice husk ash, maize, chemical attributes, microbial biomass, basal respiration.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
2. ARTIGO 1 - CRESCIMENTO DO MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ.....	13
RESUMO	14
SUMMARY.....	15
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
CONCLUSÕES.....	32
LITERATURA CITADA.....	33
3. ARTIGO 2 - ALTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO DECORRENTES DA ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ	38
RESUMO	39
SUMMARY.....	40
INTRODUÇÃO.....	40
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
CONCLUSÕES.....	49
LITERATURA CITADA.....	49
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	52
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
6. APÊNDICES.....	60

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os processos agro-industriais correspondem atualmente como às maiores fontes geradoras de resíduos. O descarte indiscriminado deste passivo ambiental produzido neste processo em sua grande quantidade ainda é feito de forma inadequada, tornando-se um problema com efeitos sobre a qualidade do meio ambiente. A consequência direta deste impacto ao ecossistema requer ações imediatas da sociedade contemporânea, por meio de medidas e alternativas para o gerenciamento, tratamento e destino adequado destes resíduos. Estudos relacionados ao descarte desses materiais são necessários para a busca de alternativas sustentáveis, que evitem a contaminação e ou a poluição do meio ambiente.

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o terceiro cereal mais produzido e consumido no mundo, ocupando cerca de 150 milhões de hectares (Gomes & Junior, 2004). É uma das mais importantes culturas agrícolas do Brasil. A produção para próxima safra do arroz (em casca) é de 12 milhões de megagramas ano⁻¹, sendo a Região Sul, responsável por 61 % da produção nacional, de acordo com pesquisa realizada pelo IBGE (2009).

De acordo com Prudêncio Júnior et al. (2003), o uso de casca de arroz (CA) como fonte de energia renovável pode ser uma alternativa para a atual crise energética mundial. Porém, a queima deste resíduo, ao contrário de outros resíduos agrícolas, produz uma elevada quantidade de cinza. O aproveitamento destes resíduos agrícolas, utilizados como fonte renovável de combustíveis limpos, torna-se assim, uma opção interessante para diversas regiões brasileiras, tendo em vista, o proveito da grande disponibilidade local de biomassa residual (Diniz et al., 2004).

A CA tem poder calorífico variável, em função das características de formação, que dependem de diversos fatores, tais como, a variedade de arroz e as condições edafoclimáticas durante o cultivo da planta (Amato, 2002). Com a evolução tecnológica no beneficiamento do arroz, a casca deste grão, com poder calorífico de aproximadamente 15,84 GJ t⁻¹ (BIODIESEL, 2009), vem substituindo a lenha empregada na geração de

calor nos secadores. Sendo assim, este processo tecnológico usado para geração de energia, resulta em um novo resíduo, a cinza de casca de arroz (CCA). Della et al. (2001), constataram que 23 % do peso do total de arroz colhido no ano de 2000, corresponderam à casca e 4 % foi oriundo da cinza remanescente da geração de energia, acarretando uma produção de 443.591 megagramas deste resíduo no país. Deste total, o Estado do Rio Grande do Sul contribuiu com 199.475 megagramas e o Estado de Santa Catarina, com 31.961 megagramas de CCA neste ano.

A composição química das cinzas de materiais orgânicos é bastante variável e está relacionada diretamente com o tipo de material que foi queimado. As cinzas, de um modo geral, têm cerca de 8 a 15 % de potássio, e para finalidades agrícolas comumente são usadas de uma a duas megagramas por hectare. Já a cinza de casca de arroz possui aproximadamente 2 % de potássio e podem ser utilizadas até 5 megagramas por hectare (EMBRAPA, 2006). A combustão da casca gera 18 % de cinza com elevada concentração de sílica (> 92,8 %) que, de acordo com Foletto et al. (2005), originou no Estado do Rio Grande do Sul, 209 mil megagramas de sílica ao ano. A aplicação das cinzas de biomassa vegetal diminui a acidez e o teor de Al, e proporciona um aumento nos teores de Ca, Mg, K e P com efeitos mais pronunciados na camada de 0-10 cm (Maeda et al., 2008).

O Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da Terra, comumente encontrado na forma de dióxido de silício (SiO_2), mais conhecido como sílica (Della et al., 2006). O uso de Si na agricultura traz inúmeros benefícios como a redução da toxicidade do Fe e Mn (Horst & Marschner, 1978) e o aumento de produtividade em gramíneas (Adatia & Besford, 1986). Segundo Korndörfer et al. (2002), o Si é um elemento benéfico para a produção de várias culturas. Sua utilização no País tem sido difundida nos últimos anos, principalmente após sua inclusão como micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2004). No entanto, pesquisas com fontes de silicatos ainda são poucas e a maioria delas é realizada em casa de vegetação, evidenciando a importância da utilização desse elemento tanto para o benefício das culturas como para a melhoria das características químicas do solo (Reis et al., 2008). O Si, mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico, traz inúmeros benefícios para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Pereira et al., 2004). Sua utilização em lavouras proporciona uma elevação no rendimento de grãos através da redução da ocorrência de doenças (Barbosa Filho et al., 2000).

Segundo Ramos et al. (2008), os produtos provenientes da indústria, podem ser aproveitados como fonte de Si para as plantas e em especial para as gramíneas. O

mesmo autor relata que em alguns trabalhos científicos foram constadas à eficiência agronômica de alguns materiais silicatados, entretanto, é necessário investigar e identificar as fontes com maior potencial, observando se essas possuem as seguintes características: altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, altos teores de óxido de cálcio e óxido de magnésio, além de baixos teores de metais pesados (korndörfer et al., 2004). O uso de cinza de xisto, escórias siderúrgicas, escórias de aço inox e xisto têm sido sugeridas para uso na agricultura com o objetivo de suprir as plantas com silício, principalmente para as culturas de arroz, cana-de-açúcar e pastagens (Savant et al., 1999; Barbosa filho et al., 2000).

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação da cinza de casca de arroz no solo sobre o crescimento e o estado nutricional de plantas de milho e sobre os atributos químicos e microbiológicos de um Planossolo.

**2. ARTIGO 1 - CRESCIMENTO DO MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ**

CRESCIMENTO DO MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

SANDRINI, W.C.⁽¹⁾; CASTILHOS, D.D.⁽²⁾; CASTILHOS R.M.V.⁽³⁾

⁽¹⁾ Tecnólogo Ambiental, Esp., Discente de Mestrado em Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, RS. e-mail: ecosandrini@yahoo.com.br;

⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Associado, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. e-mail: danilodc@ufpel.edu.br.

⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr^a., Professora Associada, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. e-mail: rosamvc@ufpel.edu.br.

RESUMO

O aproveitamento da cinza de casca de arroz (CCA) utilizada como fonte renovável de combustíveis limpos nos processos de conversão de energia, torna-se uma alternativa viável do ponto de vista socioeconômico e ambiental, pois além de minimizar o potencial poluente, pode ser usado na agricultura como uma fonte rica em silício e também de outros nutrientes para os solos e plantas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de cinza de casca de arroz sobre o crescimento do milho e também sobre alguns atributos químicos de um Planossolo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, RS, durante o período de 16 de janeiro a 18 março de 2009. O experimento foi instalado em vasos com capacidade para 7 Kg de solo. Os tratamentos testados foram os seguintes: T1 – testemunha (0,0 g kg⁻¹ CCA); T2 – Adubação NPK + calcário; T3 – 1,09 g kg⁻¹ CCA; T4 – 2,17 g kg⁻¹ CCA; T5 – 4,34 g kg⁻¹ CCA; T6 – 6,51 g kg⁻¹ CCA; T7 – 8,68 g kg⁻¹ CCA. O delineamento experimental adotado foi o completamente casualizado com quatro repetições. A aplicação de CCA aumentou o rendimento de massa seca do milho, assim como os valores de pH, CE e os teores de P, Na, Si no solo, proporcionando também o decréscimo nos teores de Fe e Al do solo e Fe das plantas de milho. O uso de CCA na agricultura é uma alternativa ambientalmente sustentável para a disposição deste resíduo no solo, podendo ser aproveitada como fertilizante agrícola.

Palavras-chave: cinza de casca arroz, nutrientes, milho, atributos químicos do solo, fertilizante.

SUMMARY: *CORN GROWTH AND SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN RELATION TO THE APPLICATION OF RICE HUSK ASH*

The exploitation of rice husk ash (RHA) used as a renewable source of clean fuels in the energy conversion processes, becomes a viable alternative from the socioeconomic and environmental point of view, therefore beyond minimizing the pollutant potential, it can be used in agriculture as a rich source of silicon and also of other nutrients to the soil and plants. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of application of rice husk ash on the growth of corn and also on some chemical attributes of an Albaqualf. The experiment was conducted in a greenhouse in the experimental area of the Soils Department, Eliseu Maciel Agronomy College, Federal University of Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, RS, during the period January 16 to March 18, 2009. The experiment was conducted in pots with capacity for 7 kg of soil. The treatments tested were: T1 – control (0,0 g kg⁻¹ RHA); T2 – mineral fertilization NPK + lime; T3 – 1,09 g kg⁻¹ RHA; T4 – 2,17 g kg⁻¹ RHA; T5 – 4,34 g kg⁻¹ RHA; T6 – 6,51 g kg⁻¹ RHA; T7 – 8,68 g kg⁻¹ RHA. The adopted experimental design was completely randomized with four replications. The application of RHA increased the yield of dry mass of maize, as well as the values of pH, electrical conductivity and the levels of P, Na, Si in the soil, providing also the decrease of the levels of Fe and Al of the soil and Fe of the plants. The use of CCA in agriculture is an environmentally sustainable alternative to the disposition of this residue in the soil, being able to be utilized as an agricultural fertilizer.

Keywords: rice husk ash, nutrients, maize, soil chemical attributes, fertilizer.

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de resíduos gerados atualmente se deve principalmente às atividades agro-industriais. Sendo que, o gerenciamento final destes rejeitos, em sua grande maioria, ainda é feita de forma inadequada, podendo contaminar os recursos hídricos e o solo. Estudos relacionados ao descarte adequado desses materiais são necessários para a busca de alternativas sustentáveis que evitem a contaminação e ou a poluição do meio ambiente.

De acordo com Gomes & Junior (2004), o arroz é o terceiro cereal mais produzido e consumido no mundo, sendo considerado um dos cereais de grande importância em

termos de valor econômico e fonte de alimento básico para maioria da população mundial. É uma das culturas agrícolas mais importantes no Brasil, de acordo com pesquisa realizada pelo IBGE (2009), a Região Sul é responsável por 61 % da produção nacional.

A casca de arroz (CA) é um resíduo agrícola, que serve como fonte alternativa de energia renovável (Prudêncio Júnior et al., 2003), entretanto, a queima deste material, ao contrário de outros, produz uma elevada quantidade de cinzas. Silva (2009), ressalva que cada vez mais o progresso tecnológico, extrai de forma indiscriminada recursos naturais que quase sempre resultam na produção de resíduos que não são aproveitados pelo homem, provocando danos ambientais irreversíveis, por serem depositados a céu aberto em beiras de estradas e margens de rios.

A CA tem poder calorífico variável, em função das características de formação, que dependem de diversos fatores, tais como a variedade de arroz e as condições edafoclimáticas durante o cultivo da planta (Amato, 2002). Com a evolução tecnológica no beneficiamento do grão, a CA com elevado poder calorífico (BIODIESEL, 2009), vem substituindo a lenha empregada na geração de calor nos secadores. Sendo assim, este processo tecnológico usado na transformação de energia, resulta em um novo resíduo, a cinza de casca de arroz (CCA). O aproveitamento de resíduos agrícolas, utilizados como fonte renovável de combustíveis limpos nos processos de conversão de energia térmica (pirólise), torna-se assim, uma opção interessante para diversas regiões brasileiras (Diniz et al., 2004). Della et al. (2001), constataram que 23 % do peso do total de arroz colhido no ano de 2000, corresponderam à casca e 4 % foi oriundo da cinza remanescente da produção de energia, acarretando uma geração de 443.591 megagramas deste resíduo no país. Deste total o Estado do Rio Grande do Sul contribuiu com 199.475 megagramas e o Estado de Santa Catarina com 31.961 megagramas de CCA neste ano.

A composição química das cinzas de materiais orgânicos é bastante variável e está relacionada diretamente com o tipo de material que foi queimado. A CCA possui aproximadamente 2 % de potássio e pode ser utilizada até 5 megagramas por hectare (EMBRAPA, 2006). A combustão da casca gera 18 % de cinza com elevada concentração de sílica (> 92,8 %) que, de acordo com Foletto et al. (2005), originou no Estado do Rio Grande do Sul, 209 mil megagramas de sílica ao ano. Segundo Madaloz & Pouey (2007), a CCA é um resíduo agroindustrial facilmente encontrado na região de Pelotas/RS, visto que o município é um dos maiores beneficiadores do grão.

O uso de CCA na agricultura, além de minimizar o potencial poluente, pode servir como corretivo do solo beneficiando a produtividade das culturas. Darolt et al. (1993),

demonstraram que a incorporação de cinza vegetal em áreas olerícolas na região metropolitana de Curitiba-PR como fertilizante e corretivo do solo, apresentou uma relação linear no aumento do pH do solo em relação às quantidades de cinza adicionadas e a diminuição gradual dos teores de alumínio trocável. Pauletto et al. (1990), constataram elevação nos valores do pH, e também o aumento dos teores de P e K dos solos estudados na região de Pelotas-RS, devido à aplicação de CCA. O estudo realizado por Sander et al. (2008a), concluiu que a adição de CCA promoveu aumento do pH (CaCl_2) e pH (SMP), aumento dos níveis de Ca, Mg, K e P, redução dos teores de alumínio trocável do solo e um maior desenvolvimento do sistema radicular da cultura do milho.

A aplicação das cinzas de biomassa vegetal diminui a acidez e o teor de Al, e proporciona um aumento nos teores de Ca, Mg, K e P, com efeitos mais pronunciados na camada de 0-10 cm (Maeda et al., 2008). Os resultados apresentados por Ferreira et al. (2008), comprovam que o uso de cinza promove alterações nos valores de pH, P e K, através da correção do pH do solo, no suprimento da deficiência de alguns nutrientes, além de contribuir como condicionador do solo diminuindo os problemas ambientais causados pelo descarte deste material no meio ambiente.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de cinza de casca de arroz sobre o crescimento do milho e também sobre alguns atributos químicos de um Planossolo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, RS. A condução do experimento foi realizada no período de 16 de janeiro de 2009 a 18 março de 2009 em casa de vegetação.

Cada unidade experimental foi composta por um vaso de plástico com capacidade para 7 kg de solo. Utilizou-se solo da camada de 0-20 cm classificado como um PLANOSSOLO Háptico distrófico (EMBRAPA, 1999) coletado na Estação Experimental da Palma da UFPEL. A cinza de casca de arroz (CCA) foi coletada da Empresa Irgovel-Indústria Riograndense de Óleos Vegetais Ltda., localizada na Avenida Presidente Goulart nº. 7351, Pelotas/RS, e foi originada da queima de casca de arroz (CA) a uma temperatura de aproximados 700 °C. A caracterização físico-química do solo, do pH e do poder de neutralização (PN) da CCA foram realizadas segundo os métodos descritos em

Tedesco et al. (1995). Os teores de silício da CCA foram obtidos de acordo com o método proposto por Gallo et al. (1974) e os resultados estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas inicial do solo e da cinza utilizada.

Solo	Concentração	CCA	Concentração
Argila (g kg^{-1})	150,0	pH (H_2O)	9,7
pH (H_2O)	5,0	Poder de Neutralização (%)	20,71
pH (SMP)	6,3	¹ Carbono (mg kg^{-1})	11
Carbono orgânico (g kg^{-1})	9,8	² Nitrogênio (mg kg^{-1})	0,11
Fósforo (mg dm^{-3})	3,7	³ Fósforo (g kg^{-1})	2,0
Potássio (mg dm^{-3})	76,0	³ Potássio (g kg^{-1})	6,0
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,3	³ Cálcio (g kg^{-1})	3,2
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,0	³ Magnésio (g kg^{-1})	2,0
Sódio (mg dm^{-3})	27,0	⁴ Ferro (g kg^{-1})	0,3
Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,5	⁴ Manganês (g kg^{-1})	0,5
H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,8	⁵ Silício (g kg^{-1})	600
CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	3,0		
V (%)	47,0		

¹ Combustão úmida / Walkey Black; ² Kjeldahl / 0,01 %; ³ Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %; ⁴ Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 4 mg kg^{-1} ; ⁵ Método colorimétrico.

Após a secagem ao ar, o solo foi peneirado (4 mm) para implantação dos seguintes tratamentos: T1 – testemunha (solo); T2 – Adubação NPK + calcário; T3 – 1,09 g kg^{-1} CCA; T4 – 2,17 g kg^{-1} CCA; T5 – 4,34 g kg^{-1} CCA; T6 – 6,51 g kg^{-1} CCA; T7 – 8,68 g kg^{-1} CCA. As doses de CCA dos tratamentos 3 a 7 equivaleram respectivamente à 2,2, 4,4, 8,8, 13,0 e 17,5 Mg ha^{-1} .

As doses de NPK e calcário do tratamento 2 foram determinadas de acordo com a análise do solo e utilizando-se a recomendação da SBCS/NRS (2004) para a cultura do milho. Deste modo, foi aplicado o equivalente a 90 kg N de ha^{-1} , 125 $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e 30 $\text{kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$. Para elevar o pH a 6,0 foi aplicado o equivalente a 1,4 Mg ha^{-1} de calcário na forma de uma mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (2:1). Como fontes de adubação mineral (NPK) foram utilizadas a uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente.

A quantidade de cinza incorporada no tratamento 5 (dose 3 de CCA), correspondente a 4,34 g kg^{-1} , foi obtida em função do poder de neutralização (PN) deste material, sendo determinada a quantidade necessária para elevar o pH a 6,0 conforme a SBCS/NRS

(2004). Nos tratamentos 3, 4, 6 e 7 foram aplicados 25, 50, 150 e 200 % da quantidade aplicada na dose 3 (T5), respectivamente.

Efetou-se a mistura e homogeneização do solo com seu respectivo tratamento, buscando um melhor assentamento das partículas de solo nos vasos para que a densidade nesta condição fosse a mais próxima da densidade natural a campo. Através da identificação do ponto ideal de umidade do solo, realizado pelo teste de friabilidade, foram adicionadas a cada unidade experimental 700 mL de H₂O destilada, conforme método descrito em Pauletto (1997. Pg.25).

Semeou-se milho da variedade *Aventis* 3662 e após 10 dias da germinação foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso. O experimento foi disposto em um delineamento completamente casualizado com quatro repetições, num total de 28 unidades. A colheita das plantas foi realizada após 60 dias de cultivo.

A parte aérea das plantas de milho foi colhida ao final do experimento e colocada em estufa a 65 °C, para a determinação da massa seca. As plantas foram moídas e submetidas à análise de N, P, K, Ca, Mg e Fe do tecido foliar segundo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

As amostras de solo de cada unidade experimental foram coletadas, secas e peneiradas (2 mm) para análise de pH (H₂O), condutividade elétrica (CE), N total (NT), P, K, Mg, Ca, Na, Fe e Al do solo, segundo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Também foi determinado o teor de Si do solo de cada tratamento, utilizando-se a solução extratora com ácido acético 0,5 mol L⁻¹ de acordo com o método adaptado por Nebel (2005. p.22).

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância, teste de médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Duncan a 5 % (P < 0,05) de probabilidade e análise de regressão polinomial, utilizando-se o programa estatístico Winstat (Machado, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MASSA SECA (MS) DAS PLANTAS

A aplicação de cinza de casca de arroz (CCA) provocou um acréscimo na produção de massa seca (MS) das plantas de milho em relação ao tratamento testemunha (Figura 1). Com a maior dose de CCA aplicada (8,68 g kg⁻¹), constatou-se uma produção de 10,01 g vaso⁻¹ de MS, quase o dobro da produção encontrada na testemunha, dose zero

de CCA, que foi de 5,45 g vaso⁻¹. Entretanto, com a aplicação de NPK + calcário o rendimento das plantas foi superior, alcançando 17,03 g vaso⁻¹, ou seja, 42 % maior que a produção obtida com a dose máxima de CCA aplicada.

Os valores de MS obtidos estão de acordo com pesquisa realizada por Faria Júnior et al. (2009), que observaram um aumento de produtividade em gramíneas correspondente ao fornecimento de doses crescentes de Si para as plantas. A ação da CCA sobre a produção de MS na cultura do milho também pode estar associada com a correção da acidez do solo. A diminuição dos teores de Al⁺³, promovida pela reação dos ânions SiO₃⁻² com a água e a liberação de OH⁻ para a solução do solo, pode ter favorecido a absorção do Si pela planta na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄) juntamente com a água, através do fluxo de massa.

Trabalhos realizados com a aplicação de diferentes fontes de Si no solo, como escórias siderúrgicas (Carvalho Pupatto et al., 2004), silicatos de Ca e Mg (Korndörfer et al., 2004), wollastonita (Ramos et al., 2008) e fertilizantes silicatados (AGRONOMIA, 2009), comprovam que fontes ricas em Si, quando incorporadas no solo influenciam diretamente no aumento da produção de MS de diversas culturas, porém, sua eficiência depende do poder de neutralização, da acidez, da granulometria e do teor de impurezas presentes no produto. Resultados semelhantes foram encontrados por Zanão Júnior et al. (2009) e Machado & Luz (2009). Isso pode ser atribuído ao fato de que a incorporação de fontes ricas em Si no solo proporcionam melhorias na arquitetura das plantas, a resistência ao estresse hídrico e a eficiência da fotossíntese (Zanão Júnior, 2007; Reis et al., 2008; Pozza et al., 2009).

Os valores médios determinados da MS foram significativos em função da aplicação de doses crescentes de CCA no solo. Neste trabalho as quantidades de Si incorporadas com as doses de CCA variaram de 0,65 a 5,21 g kg⁻¹ de solo, podendo ter contribuído para o crescimento das plantas em relação à dose zero de CCA (T1). O maior rendimento de MS foi obtido no tratamento que recebeu a adubação mineral + calcário (T2), fato que se deve à maior disponibilidade de nutrientes para as plantas e a maior correção da acidez do solo. O baixo teor de N determinado na CCA estudada pode ter limitado o crescimento das plantas de milho dos tratamentos com cinza, quando comparados ao tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada.

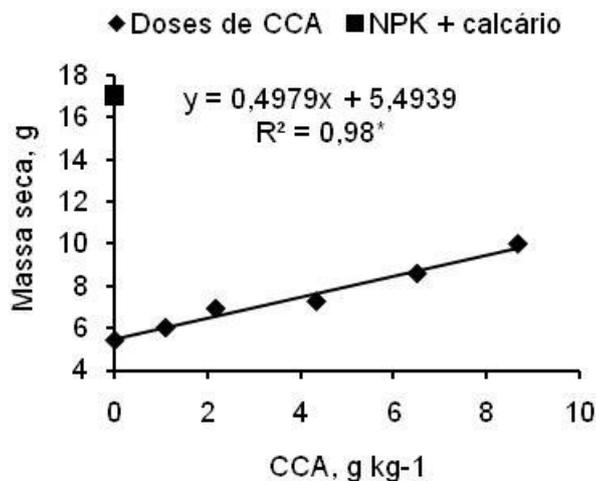


Figura 1. Variação da massa seca das plantas de milho em função das doses de cinza de casca de arroz. * $P < 0,05$.

ALTERAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO

pH (H₂O) DO SOLO

A aplicação de CCA provocou um efeito corretivo na acidez do solo, constatado pelo aumento do pH (Figura 2). Observou-se um comportamento linear crescente nos valores do pH do solo em função das doses de CCA. Entretanto, mesmo após 60 dias da aplicação do dobro da quantidade de CCA necessária para elevar o pH à 6,0 (8,68 g kg⁻¹), não foi verificada a correção total da acidez, tal como observado com a aplicação de calcário no tratamento 2. A baixa diferença entre o pH do tratamento testemunha (5,5) com o tratamento que recebeu a maior dose de CCA (5,8), pressupõe uma reatividade lenta da cinza principalmente na liberação de oxidrilas e carbonatos que interagem contra a acidez do solo. Verificou-se resposta significativa pela análise de regressão do pH (H₂O) do solo com a aplicação de 8,68 g kg⁻¹ CCA, quando comparado com o tratamento testemunha. Esta pequena variação do pH (H₂O) do solo pode estar relacionada com as baixas doses de CCA utilizadas no experimento. Korndörfer et al. (2004), observaram uma relação direta do aporte de silicatos com os valores de pH do solo. Faria (2000), também constatou um aumento progressivo no pH do solo com aplicação de fontes de silicatos. Este aumento de pH é decorrente aos ânions SiO₃⁻² que atuam como bases, capturando prótons H⁺ (acidez) dissolvidos no solo (Paim et al., 2006). Entretanto, os estudos realizados por Carvalho Filho et al. (2007), mostraram que os valores do pH do solo não foram significativos com a adição de diferentes doses de silicatos de Ca e Mg (Agrosilício), contrariando a afirmação de que ocorre o aumento do pH com o aumento

das dosagens de fontes de silicatos. Porém, o mesmo autor observou um pequeno aumento no valor do pH do solo ao passar de 20 para 30 dias após a emergência das plântulas em todos os tratamentos.

Esta pequena alteração observada do pH (H₂O), pode estar diretamente relacionada com as pequenas doses de CCA incorporadas no solo e a baixa concentração de Ca e Mg determinados na CCA analisada (Tabela 1).

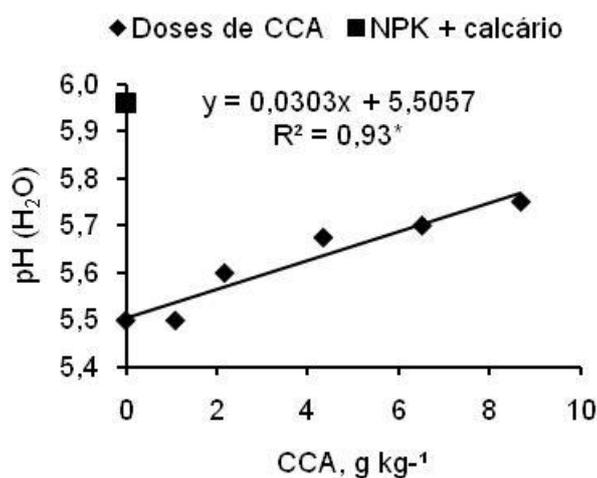


Figura 2. Variação do pH (H₂O) 1:1 no solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. *P < 0,05.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) E TEORES DE SÓDIO DO SOLO

A aplicação de CCA aumentou os valores da CE do solo, variando de 0,06 a 0,08 mS cm⁻¹, quando comparado ao tratamento testemunha, igual a 0,06 mS cm⁻¹ (Figura 3a). A elevação da CE foi mais evidente a partir da aplicação de 4,34 g kg⁻¹ de CCA (T5), observando-se quando comparado a dose 5 de CCA valores 35 % superiores ao da testemunha (T1). Apesar do aumento da CE do solo, não foi verificado ambiente salino entre os tratamentos, uma vez que, todos os valores da CE dos tratamentos com cinza foram bastante inferiores ao determinado no tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada (T2), correspondente a 0,31 mS cm⁻¹.

Os teores de Na disponível no solo dos tratamentos que receberam a aplicação de CCA variaram de 47,99 a 97,55 mg kg⁻¹ (Figura 3b). Verificou-se significância nos teores de Na dos tratamentos com CCA, quando comparados aos tratamentos testemunha e adubação mineral recomendada, igual a 42,41 e 40,40 mg kg⁻¹ de Na, respectivamente. O aumento também observado dos valores da CE está diretamente relacionado ao teor de

Na disponibilizado no solo com a aplicação da CCA. A correlação linear simples entre os valores da CE e os teores de Na apresentou um $r = 0,93$, significativo a 1 %.

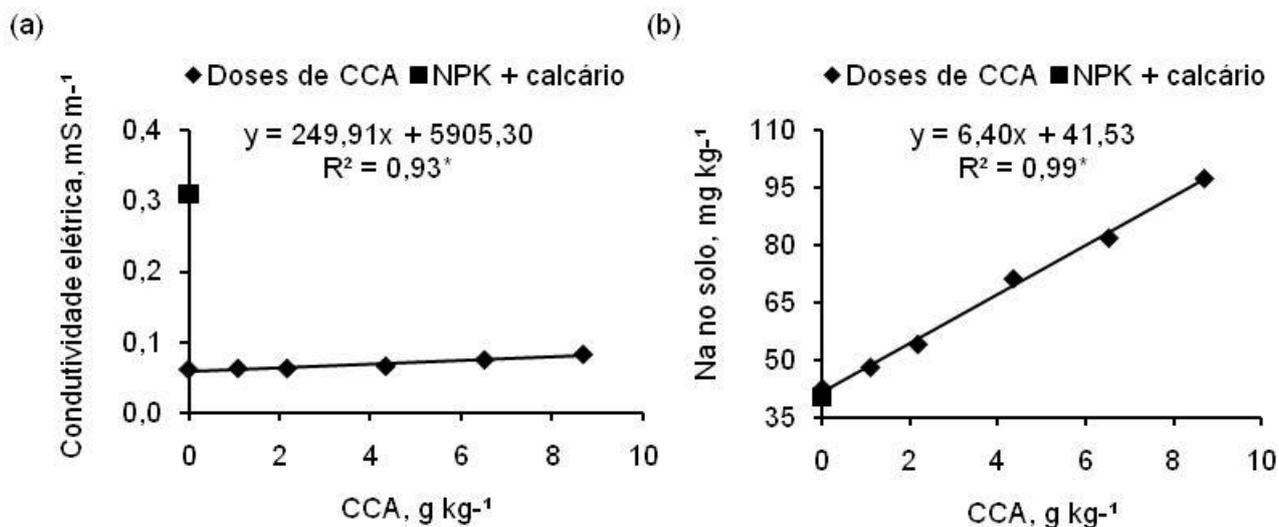


Figura 3. Variação da condutividade elétrica (a) e dos teores de sódio disponível (b) no solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. * $P < 0,05$.

A elevação da CE foi proporcional ao aumento das doses de CCA, em razão da concentração de sais deste material. Os valores analisados da condutividade elétrica ficaram bem abaixo do índice proposto por Pereira (1983), o qual considera como salinos apenas os solos cuja CE ultrapasse 4 mS cm^{-1} .

TEORES DE SILÍCIO DO SOLO

A aplicação de CCA proporcionou um efeito linear crescente dos teores de Si extraível do solo, variando de $15,01$ a $19,85 \text{ mg kg}^{-1}$ de Si (Figura 4). A análise de regressão, demonstrou que no tratamento testemunha os valores determinados de Si no solo, corresponderam quase à metade do teor determinado de Si no tratamento que recebeu a maior dosagem de cinza (T7), que foi de $19,85 \text{ mg kg}^{-1}$ de Si. Neste tratamento, a incorporação de Si via CCA foi de $5,21 \text{ g kg}^{-1}$ de solo. A maior concentração de Si no solo foi observada no tratamento com a adubação mineral recomendada, correspondente a $26,72 \text{ mg kg}^{-1}$ de Si. Machado & Luz (2009), avaliando o desenvolvimento de plantas de arroz em função de diferentes doses de CCA, constataram o aumento da concentração de Si no solo de $20,70$ a $21,80 \text{ mg kg}^{-1}$ proporcionado pela aplicação de $1,2$ e $2,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CCA, respectivamente.

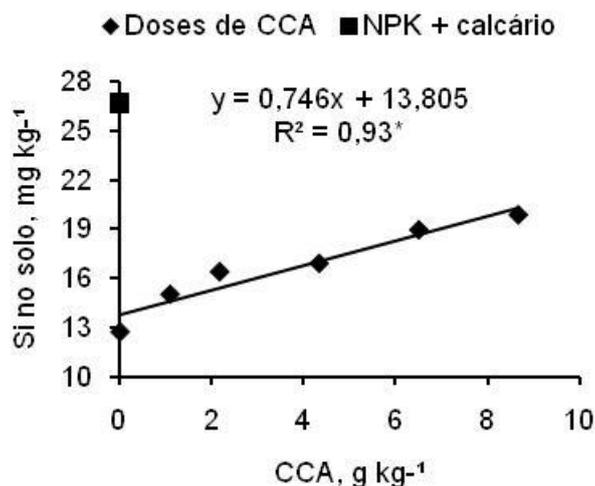


Figura 4. Variação dos teores de silício extraível do solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. * $P < 0,05$.

TEORES DE NITROGÊNIO TOTAL (NT) E POTÁSSIO DO SOLO

Os teores do NT no solo dos tratamentos que receberam as doses de CCA variaram de 0,96 a 1,11 g kg⁻¹ (Figura 5a). Observou-se efeito significativo dos teores de N no solo, apenas entre os tratamentos que receberam diferentes doses de CCA e o tratamento testemunha, dose zero de CCA (0,75 g kg⁻¹ de N). Mesmo com os baixos teores de N determinados na CCA estudada, a média do NT no solo dos tratamentos 3, 4, 5, 6 e 7 que receberam a aplicação de CCA foi de 1,02 g kg⁻¹, não diferiu estatisticamente da adubação mineral recomendada, que foi de 0,97 g kg⁻¹ de N.

Um comportamento semelhante foi observado na determinação dos teores de K disponível no solo (Figura 5b). Somente com a maior dosagem de CCA incorporada no solo, equivalente a 54,39 mg kg⁻¹ de K (T7), pode-se verificar um aumento significativo em relação ao teor de K obtido no tratamento testemunha, dose zero de CCA, correspondente a 49,21 mg kg⁻¹. O tratamento com adubação mineral foi o que apresentou os menores teores de K disponível no solo, igual a 37,75 mg kg⁻¹ ao final da pesquisa.

Apesar da pouca bibliografia sobre os efeitos da aplicação de CCA no solo, Santin & Vahl (1985), observaram que a aplicação de CCA ao solo apresenta potencial corretivo sobre o pH, servindo como fonte de K para o cultivo de hortaliças. Palma et al. (2008), estudando o crescimento de plantas de milho em um Latossolo adubado com CCA e duas fontes de N, concluíram que os teores de Ca, Mg, P e K aumentaram em função das

doses de CCA aplicadas ao solo, porém as fontes de N não influenciaram nos teores destes nutrientes no solo.

A baixa disponibilidade observada nos teores de N e K no solo dos tratamentos com cinza se deve as pequenas concentrações destes nutrientes presentes na CCA estudada (Tabela 1). Constatou-se, principalmente a maior deficiência nos teores do NT determinados na CCA, que foi de $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ de N.

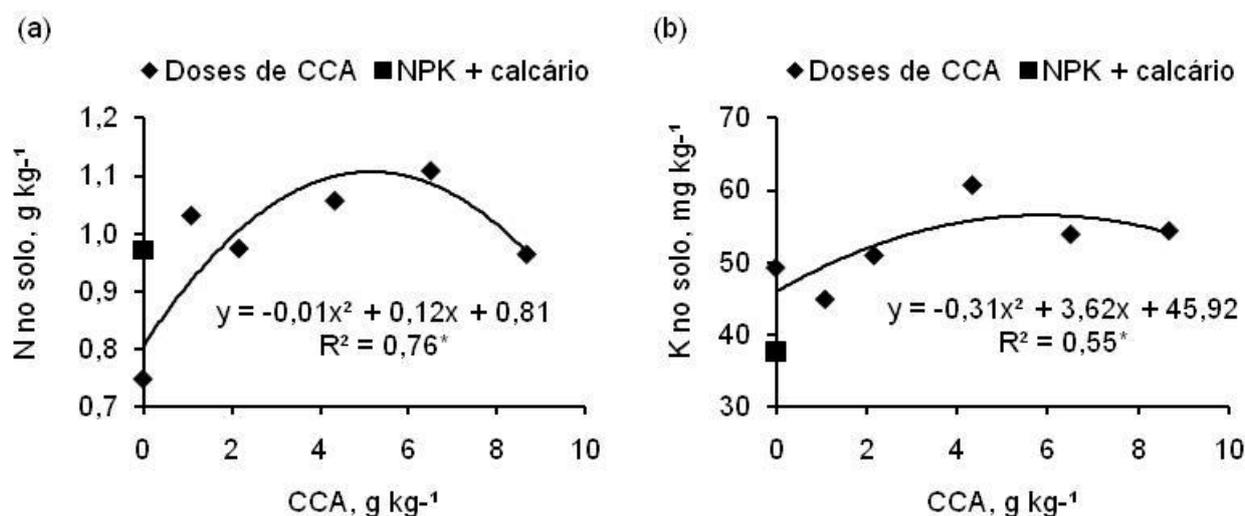


Figura 5. Variação dos teores de nitrogênio total (a) e potássio disponível (b) no solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. *P < 0,05.

TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO DO SOLO

A aplicação de CCA no solo provocou um efeito decrescente nos teores de Ca extraível do solo, conforme análise gráfica da Figura 6a. Observou-se significância estatística apenas entre o teor de Ca da maior dose de CCA aplicada (T7), correspondente a $2,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca, em comparação ao tratamento testemunha, dose zero de CCA, equivalente a $2,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca. No tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada, observaram-se teores de Ca extraível do solo superiores aos demais tratamentos, sendo que neste, determinou-se quase o dobro do teor de Ca no solo ($4,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) quando comparado ao tratamento 7.

Os teores de Mg extraível do solo nos tratamentos que receberam a aplicação de CCA variaram de $1,49$ a $1,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 6b). Não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos com cinza e o tratamento testemunha, que foi de $1,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ Mg. No tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada foi

determinado teores de Mg no solo na faixa de $2,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo quase o dobro dos tratamentos que receberam aplicação de CCA.

De uma maneira geral, a aplicação de doses crescentes de CCA ao solo não contribuiu para o fornecimento de Ca e Mg (Figura 6a e 6b). Estes resultados podem ser justificados devido à baixa concentração destes nutrientes presentes na composição da cinza, e também pelas baixas doses de CCA utilizadas na pesquisa. Estes dados contrariam os resultados encontrados por Sander et al. (2008b). Estudando o desenvolvimento do milho adubado com CCA, os respectivos autores, verificaram um aumento significativo nos teores de Ca e Mg no solo proporcionado pela incorporação de 35, 70 e 100 Mg ha^{-1} de CCA, variando de 0,65 a $1,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e 0,30 a $1,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg.

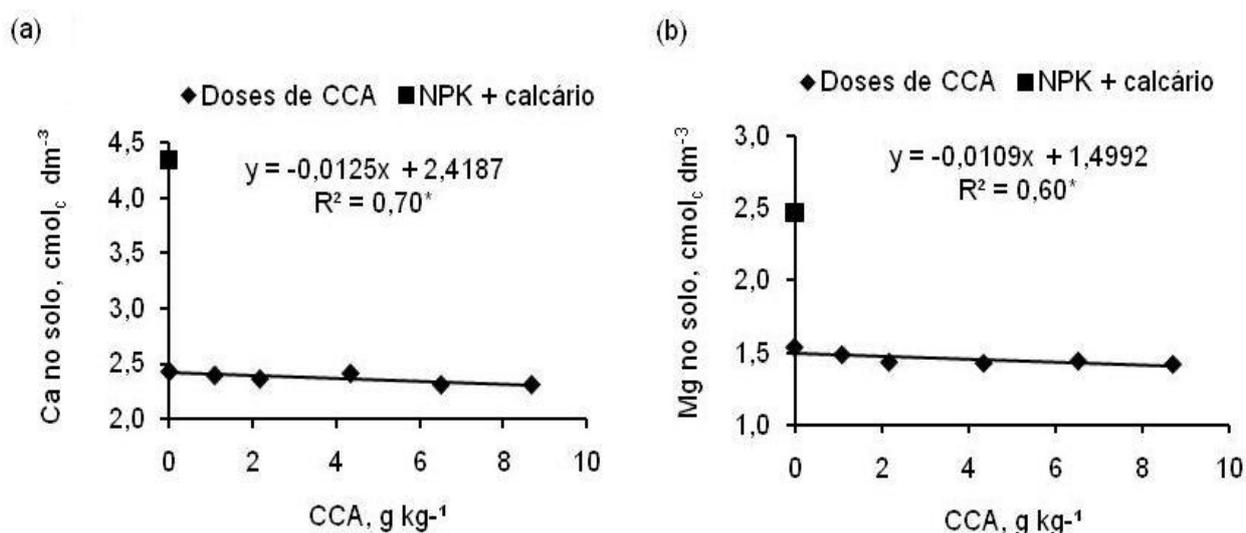


Figura 6. Variação dos teores de cálcio (a) e magnésio (b) extraíveis no solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. * $P < 0,05$.

TEORES DE FÓSFORO DO SOLO

Através da análise de regressão dos teores de P disponível no solo (Figura 7), observa-se um comportamento linear crescente deste elemento, proporcionado pelo aumento das doses de CCA, variando de $7,14 \text{ mg kg}^{-1}$ a $12,78 \text{ mg kg}^{-1}$. A adubação mineral recomendada (T2), apresentou valores de P disponível no solo cerca de 4 vezes superiores ao teor de P determinado no tratamento com a maior dose de CCA aplicada. Os maiores teores do P disponível no solo do tratamento com adubação mineral recomendada, pode estar relacionado com a baixa dissolução do P presente no adubo. Estes dados corroboram com a pesquisa realizada por Pauletto et al. (1990) em que a

aplicação de CCA elevou o pH e os teores de P e K de um Planossolo. Segundo Malavolta (1989), as plantas não conseguem utilizar mais que 10 % do P total, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em Fe e Al, ocorre a adsorção do P.

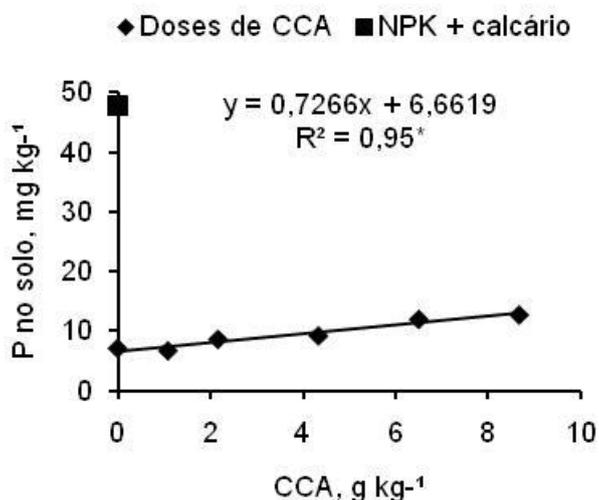


Figura 7. Variação dos teores de fósforo disponível no solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. *P < 0,05.

TEORES DE FERRO E ALUMÍNIO DO SOLO

De uma maneira geral, a aplicação de CCA proporcionou uma diminuição nos teores de Fe e Al no solo (Figura 8).

Somente no tratamento com a maior aplicação de CCA (T7), igual a 0,93 g kg⁻¹ de Fe, este valor foi estatisticamente inferior ao tratamento testemunha com 0,99 g kg⁻¹ de Fe. Os teores de Fe disponível correspondente a adubação mineral, que foi de 0,98 g kg⁻¹, não diferiu dos teores de Fe disponível no solo dos demais tratamentos que receberam as menores dosagens de CCA (Figura 8a).

Constatou-se uma diminuição proporcional nos teores de Al extraível do solo correspondente ao aumento das doses de CCA (Figura 8b). Os tratamentos com aplicação da cinza apresentaram uma variação de 0,43 a 0,35 cmol_c dm⁻³ de Al no solo, enquanto que no tratamento testemunha foram determinados teores de 0,45 cmol_c dm⁻³ de Al no solo. A adubação mineral apresentou os menores teores de Al extraível do solo, sendo este 4 vezes inferior a maior dose de CCA aplicada ao solo.

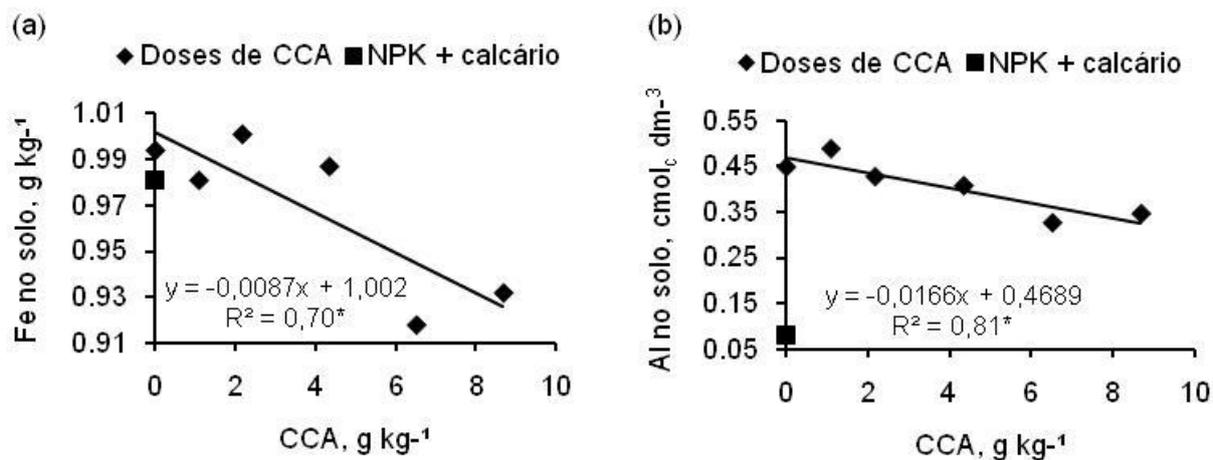


Figura 8. Variação dos teores de ferro disponível (a) e alumínio extraível (b) no solo após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. * $P < 0,05$.

O decréscimo dos teores de Fe e Al no solo podem estar relacionados com a presença de Ca na composição da CCA, contribuindo com a elevação proporcional do pH em relação ao aumento das doses de CCA incorporadas ao solo. Estas alterações químicas ocorridas no solo, tais como o fornecimento de Ca e Mg, o aumento no valor do pH e conseqüentemente a neutralização do Fe e do Al trocável, são decorrentes da reação química do material corretivo aplicado ao solo (Malavolta, 1981). A adição de doses crescentes de CCA ao solo proporciona o aumento gradual e significativo nos valores do pH e a redução nos teores do Al trocável, justificando-se pela liberação de carbonato durante a reação da cinza no solo (Ferreira et al., 2000).

TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NAS PLANTAS

Os teores de N nas plantas de milho diminuíram com a aplicação de CCA. Constatou-se efeito significativo no tratamento que recebeu a aplicação da maior dose de CCA (T7), equivalente a 17,14 g kg⁻¹ de N, quando comparado ao tratamento testemunha, com teores de 20,52 g kg⁻¹ de N e ao tratamento com adubação mineral recomendada (T2), correspondente a 24,37 g kg⁻¹ de N (Figura 9a). Os baixos teores de N determinados nas plantas de milho dos tratamentos que receberam a aplicação de CCA estão relacionados com a pouca quantidade de N fornecida via cinza, justificado pela volatilização quase que total do N presente na casca de arroz, após o seu processo de queima com aproximados 700 °C.

De acordo com Bissani et al. (2008), as faixas de suficiência do N na matéria seca do milho é de 27 a 35 g kg⁻¹, o que justifica a clorose observada nas pontas e margens das folhas mais velhas, após 30 dias da aplicação de CCA, evidenciando que os teores deste nutriente na planta foram abaixo dos teores exigidos para esta cultura em todos os tratamentos com CCA.

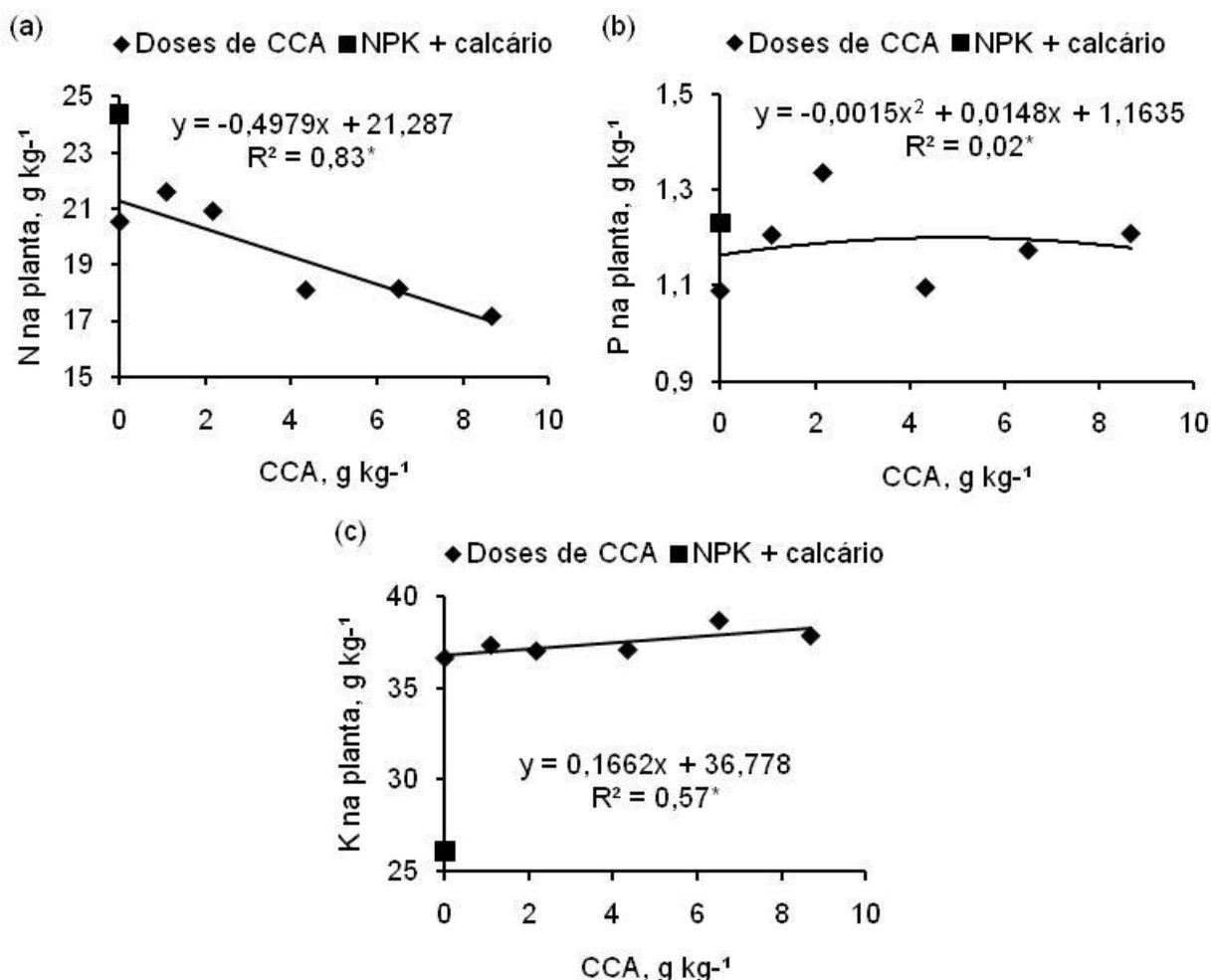


Figura 9. Teores de nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c) nas plantas de milho após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. *P < 0,05.

Os tratamentos que receberam a aplicação de doses crescentes de cinza em sua composição apresentaram uma variação de 1,10 a 1,34 g kg⁻¹ em seus teores de P (Figura 9b), não diferindo estatisticamente dos teores de P absorvidos pela planta do tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada (T2), correspondente a 1,21 g kg⁻¹ de P. Verificou-se diferença significativa apenas nos teores de 1,09 g kg⁻¹ de P absorvido pela planta do tratamento testemunha, quando comparado aos teores de 1,34 g kg⁻¹ de P correspondente ao T4 que recebeu aplicação de 2,17 g kg⁻¹ de CCA, cujos

teores, encontram-se abaixo da faixa de suficiência deste elemento exigida para o milho, variando de 2 a 4 g kg⁻¹ de material seco (Bissani et al., 2008).

A concentração dos teores de K determinados na planta de milho referente aos tratamentos que receberam a aplicação de diferentes doses de CCA variaram de 36,60 a 38,67 g kg⁻¹ de K, não diferindo do tratamento testemunha (Figura 9c). Apesar do aumento dos teores de K na planta, ser proporcional ao aumento das doses de CCA aplicadas no solo, não foi observado efeito significativo da CCA nos teores de K das plantas. Em todos os tratamentos com CCA em sua composição, foram determinados valores de K na parte aérea acima da faixa de suficiência exigida pela cultura do milho, que é de 17 a 35 g kg⁻¹ de material seco (Bissani et al., 2008).

Verificou-se que os teores de N disponíveis na planta diminuíram e que os teores de P e K não foram afetados pela aplicação de CCA (Figura 9). Poucos são os trabalhos citados na literatura que mencionam a influência da disponibilidade de nutrientes na planta em função da utilização de CCA na agricultura. Lima Filho & Tsai (2007), estudando o desenvolvimento do trigo suplementado com Si, observaram que as cultivares de trigo apresentavam um crescimento acentuado da parte aérea e, uma diminuição nos teores de N, P e K na MS correspondentes as doses crescentes de 10, 25, 50 e 100 mg litro⁻¹ de Si em condições hidropônicas. Este efeito de diluição dos nutrientes na MS do trigo se deve, ao aumento da taxa relativa de acumulação de MS ser mais rápido que a taxa relativa de acumulação dos nutrientes nas plantas supridas com Si.

TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NAS PLANTAS

A aplicação de doses crescentes de CCA não influenciou os teores de Ca absorvidos pelas plantas de milho (Figura 10a). Os tratamentos que receberam a incorporação de CCA ao solo variaram de 5,70 a 6,31 g kg⁻¹ de Ca na planta, não diferindo estatisticamente do tratamento testemunha, correspondente a 5,97 g kg⁻¹ de Ca e do tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada, igual a 6,24 g kg⁻¹ de Ca.

Os teores de Mg absorvidos pelas plantas de milho dos tratamentos que receberam a aplicação de CCA variaram de 3,72 a 4,86 g kg⁻¹. A aplicação de doses crescentes de CCA ao solo proporcionou uma diminuição nos teores de Mg nas plantas de milho (Figura 10b). Verificou-se efeito significativo nos teores de Mg da planta na maior dose de CCA (T7), correspondente a 3,72 g kg⁻¹, quando equiparado aos teores de Mg absorvidos pelas plantas do tratamento testemunha, equivalente a 4,89 g kg⁻¹ e do tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada, igual a 4,84 g kg⁻¹.

Santos et al. (2009), pesquisando os teores de Ca e Mg na parte aérea do milho sob aplicação de escória de siderurgia (SiO_2) no solo, verificaram que a aplicação das doses de 250, 500, 750 e 1000 kg ha^{-1} de SiO_2 influenciaram significativamente o aumento dos teores de Ca e Mg na MS do milho. Os teores de Ca variam de 2,5 a 8 g kg^{-1} a partir das doses de 250 kg ha^{-1} de SiO_2 e os teores de Mg variaram de 1,5 a 5,0 g kg^{-1} até a dose de 500 kg ha^{-1} de SiO_2 , estando estes dentro do limite adequado proposto por Prezzoti et al. (2007).

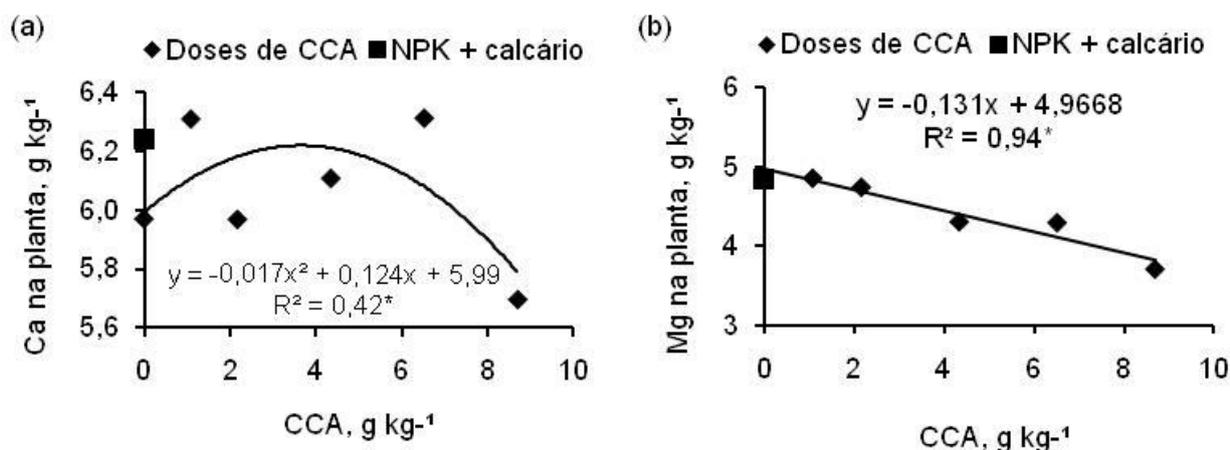


Figura 10. Teores de cálcio (a) e magnésio (b) nas plantas de milho após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. * $P < 0,05$.

TEORES DE FERRO NA PLANTA

A aplicação de doses crescentes de CCA ao solo resultou na diminuição dos teores de Fe absorvidos pelas plantas de milho (Figura 11). Constatou-se efeito significativo nos teores de Fe na planta do T7, correspondente a 105 mg kg^{-1} , quando equiparado aos teores de Fe absorvidos pelas plantas do tratamento testemunha, equivalente a 141 mg kg^{-1} . No tratamento que recebeu a adubação mineral recomendada, verificou-se os menores teores de Fe absorvidos pela planta, igual a 97 mg kg^{-1} . A correlação linear simples entre os teores de Fe no solo e os teores de Fe na planta apresentou um $r = 0,64$, significativo a 1 %, justificando a diminuição dos teores de Fe absorvidos pelas plantas de milho.

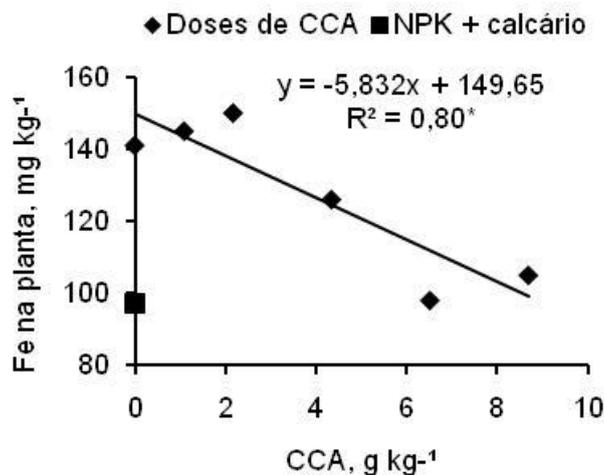


Figura 11. Teores de ferro nas plantas de milho após a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz. *P < 0,05.

CONCLUSÕES

A aplicação de cinza de casca de arroz no solo aumenta a massa seca das plantas de milho. Entretanto, para obtenção de rendimentos satisfatórios é necessário a suplementação de nitrogênio ao solo, devido à deficiência deste elemento na cinza.

A aplicação de cinza de casca de arroz altera quimicamente o solo, com aumentos nos valores de pH e da condutividade elétrica, e decréscimos nos teores do Fe e Al.

A dose de 17,5 Mg ha⁻¹ de cinza de casca de arroz aplicada ao solo promoveu os melhores resultados de crescimento das plantas de milho e a maior disponibilidade de P, Na e Si no solo.

O uso de cinza de casca de arroz na agricultura é uma alternativa ambientalmente sustentável para a disposição deste resíduo no solo, podendo ser aproveitada como fertilizante agrícola.

LITERATURA CITADA

AGRONOMIA. **Efeito de níveis de silmag (silicato) sobre a correção do solo, produção e valor nutritivo do capim elefante. Paraíso (*Pennisetum hybridum*).**

Disponível em:

<http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_efeitos_niveis_silmag.htm>

Acesso em 21 fev. 2010.

AMATO, G.W. "**Casca: agregando valor ao arroz**". IRGA, 2002. Disponível em:

<<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20050815133443.pdf>> Acesso em 12 fev. 2010.

BIODIESEL. **Casca de Arroz: Energia**. Disponível em:

<<http://www.biodieselbr.com/energia/residuo/energia-do-arroz.htm>> Acesso em 22 mar. 2010.

BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; GAINELLO, C.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 344p.

CARVALHO FILHO, A.; PEREIRA, L.J.; CORTEZ, J.W.; CARVALHO, L.C.C.; DRUMOND L.C.D. Agressividade da adubação com silicato sobre a germinação do milho. **Scientia Agraria**, v.8, n.2, p.199-203, 2007.

CARVALHO PUPATTO, J.G.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004. p.394.

DAROLT, M.R.; NETO, V.B.; ZAMBON, F.R.A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivos de solo na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.11, n.1, p.38-40, 1993.

DELLA, V.P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**. v.24. n.6. 778-782 p. 2001.

DINIZ, J.; CARDOSO, A.L.; STAHL, J.A.; VILLETTI, M.A.; MARTINS, A.F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, v.26, n.1, p.25-32, 2004.

EMBRAPA. **Adubação orgânica**. Pelotas, RS. 2006. Disponível em:

<http://www.cifers.t5.com.br/cartilha_adub_organica.pdf> Acesso em 07 jan. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PERSQUISA AGROPECUÁRIA: Centro Nacional de pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** - Brasília: EMBRAPA-Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FARIA JÚNIOR, L.A.; CARVALHO, J.G.; PINHO, P.J.; BASTOS, A.R.R.; FERREIRA, E.V.O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.33, n.4, p.1034-1040, jul./ago. 2009.

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 47p. (Tese de Mestrado).

FERREIRA, E.P.B. COELHO, L.H. MATA, W.M. SANTOS, R.F. DIDONET, A.D. Características químicas de um Latossolo influenciadas por diferentes tipos e doses de cinzas. In: FERTBIO, desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental, 2008, Londrina. **Anais**. Londrina: SBCDS, 2008. CD-ROM.

FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A.; STRECK, E.V. **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER, 2000. 95 p.

FOLETTI, E.L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R.S.; PORTUGAL JR, U.L.; JAHN, S.L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Quim. Nova**, v. 28, n. 6, p. 1055-1060, 2005.

GALLO, J.R.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C. & HIROCE, R. Teores de silício em gramíneas cultivadas e forrageiras. **Ci. e Cult.** v.26. n.4. p.286-292, 1974.

GOMES, A. da S. & JUNIOR, A.M. de M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Ed. 1ª. Brasília, DF.: EMBRAPA, informação tecnologica, 2004. 899p.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1328&id_pagina=1> Acesso em 17 dez. 2009.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi - Grupo de Pesquisa "Silício na Agricultura", 2004. 23 p. (Boletim Técnico, 01).

LIMA FILHO, O.F. & TSAI, S.M. Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2007. 34 p.: il. color.; 21 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456; 41).

MACHADO, A. **Sistema de análise estatística para Windows (Winstat)**. Universidade Federal de Pelotas, 2001.

- MACHADO, M.D. & LUZ, P.B. **Desenvolvimento de plantas de arroz de terras altas em função de doses da cinza da casca de arroz**. Universidade do Estado de Mato Grosso. Barra do Bugres-MT, 2ª Jornada Científica da Unemat. Out/2009. Disponível em: <http://www2.unemat.br/prppg/jornada2009/resumos_conic/Expandido_00428.pdf> Acesso em 15 Jan. 2010.
- MADALUZ, L.M. & POUHEY, M.T. Seleção de cinzas de casca de arroz residuais, de acordo com as características mineralógicas, com vistas ao estudo de sua compatibilidade com superplastificantes em pastas de cimento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA: PESQUISA E RESPONSABILIDADE AMBIENTAL, 16., Pelotas, 2007. **Anais**. Pelotas, UFPEL/Universidade Federal de Pelotas/RS, 2007.
- MAEDA, S.; SILVA, H.D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.43-52, jan./jun. 2008.
- MALAVOLTA, E. ABC da adubação. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1989. 292 p.
- MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. MANUAL DE QUÍMICA AGRÍCOLA: adubos e adubação. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1981. 596 p.
- NEBEL, A.L.C. **Disponibilidade do silício para o arroz irrigado por alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas, 2005. – 63f.: il. Dissertação (Mestrado). Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. 2005.
- PAIM, L.A.; CARVALHO, R.; ABREU, C.M.P.; GUERREIRO, M.C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, v.29, p.28-33, 2006.
- PALMA, I.P.; NOLLA, A.; VOLK, L.B.S.; GAVIOLLI, T.O.; SANDER, G. Crescimento de plantas de milho em um latossolo arenoso adubado com cinza de casca de arroz e duas fontes de nitrogênio. In: MOSTRA DE TRABALHOS CIENTÍFICOS DE AGRONOMIA: SEMEANDO O CONHECIMENTO, 4., Umuarama, 2008. **Anais**. Umuarama, UEM/CCA/Campus Regional de Umuarama/PR, 2008. p.64-68.
- PAULETTO, E.A. **Manual de laboratório: determinação de atributos físicos do solo**. UFPEL: Pelotas/RS, 1997. 38 p.
- PAULETTO, E.A.; NACHTIGALL, G.R.; GUADAGNIN, C.A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 14. p 255-58, 1990.

- PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M., eds. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**. p. 127-143. 1983.
- POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; GUIMARES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C.; ARAÚJO, A.R. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol. 33 nº. 6 Viçosa nov./dez. 2009.
- PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.
- PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R.; SANTOS, S.; DÁFICO, D.A. Cinza da Casca de Arroz. In: Janaíde Cavalcante Rocha; Vanderley M. John. (Org.). Utilização de Resíduos na Construção Civil - **Coletânea Habitare**. 01 ed. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v.4, p.240-261. 2003.
- RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.751-757, 2008.
- REIS, M.A.; ARF, O.; SILVA, M.G.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Sci. Agron. Maringá**, v.30, n.1, p.37-43, 2008.
- SANDER, G.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O.; PALMA, I.P. Avaliação do sistema radicular de milho adubado com cinza de casca de arroz e duas fontes de nitrogênio cultivado em latossolo arenoso. In: MOSTRA DE TRABALHOS CIENTÍFICOS DE AGRONOMIA: SEMEANDO O CONHECIMENTO, 4., Umuarama, 2008. **Anais**. Umuarama, UEM/CCA/Campus Regional de Umuarama/PR, 2008a. p.73 -76.
- SANDER, G.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O.; PALMA, I.P. Sistema radicular de milho cultivado em latossolo arenoso adubado com cinza de casca de arroz e duas fontes de nitrogênio. In: FERTBIO, desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental, 2008, Londrina. **Anais**. Londrina: SBCDS, 2008b. CD-ROM.
- SANTIN, M.J. & VAHL, L.C. **Aproveitamento da cinza de casca de arroz como corretivo de acidez e da fertilidade do solo**. Pelotas: CNPq, 1985.
- SANTOS, D.A.; PILON, L.C.; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V. Teores de cálcio e magnésio em caule e folha de milho cultivado em vaso com aplicação de escória de siderurgia no solo sob diferentes lâminas de água. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. **Anais**. Universidade do Vale do Paraíba. p.6. 2009.

SILVA, E.J. S586c **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil** / Everton Jose da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2009. 117 f.: il. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2009.

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

ZANÃO JÚNIOR, L.A. **Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês**. 2007. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; FONTES, R.L.F.; ÁVILA, V.T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.203-206, Brasília, fev. 2009.

**3. ARTIGO 2 – ALTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO DECORRENTES DA
ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ**

ALTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO DECORRENTES DA ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

SANDRINI, W.C.⁽¹⁾; CASTILHOS, D.D.⁽²⁾; CASTILHOS R.M.V.⁽³⁾

⁽¹⁾ Tecnólogo Ambiental, Esp., Discente de Mestrado em Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, RS. e-mail: ecosandrini@yahoo.com.br;

⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Associado, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. e-mail: danilodc@ufpel.edu.br.

⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr^a., Professora Associada, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. e-mail: rosamvc@ufpel.edu.br.

RESUMO

Os microrganismos do solo são os principais agentes da decomposição e mineralização de resíduos aplicados ao solo, representando assim um importante indicador ecológico. O presente trabalho avaliou os efeitos da aplicação de cinza de casca de arroz (CCA) sobre a atividade microbiana e biomassa microbiana de um Planossolo. O experimento foi realizado em duas etapas, sendo a primeira em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS, durante o período de 16 de janeiro a 18 março de 2009. Os tratamentos estudados foram: T1 – testemunha (0,0 g kg⁻¹ CCA); T2 – Adubação mineral NPK + calcário; T3 – 1,09 g kg⁻¹ CCA; T4 – 2,17 g kg⁻¹ CCA; T5 – 4,34 g kg⁻¹ CCA; T6 – 6,51 g kg⁻¹ CCA; T7 – 8,68 g kg⁻¹ CCA. A segunda etapa foi desenvolvida no Laboratório de Microbiologia do Solo, utilizando vasos respirométricos, com o mesmo solo e tratamentos da etapa anterior, para a análise da respiração basal do solo. O delineamento experimental adotado foi o completamente casualizado com quatro repetições. A biomassa microbiana e a atividade microbiana do solo não sofreram alterações com a aplicação de cinza de casca de arroz, quando comparadas aos tratamentos testemunha e NPK + calcário.

Palavras-chave: cinza de casca de arroz, atividade microbiana, biomassa microbiana, microbiologia do solo, respiração basal.

SUMMARY: SOIL MICROBIOLOGICAL CHANGES AS AFFECTED BY THE ADDITION OF RICE HUSK ASH

The soil microorganisms are the principal agents of decomposition and mineralization of waste applied to the soil, thus representing an important ecological indicator. The present work evaluated the effects of application of rice husk ash (RHA) on the microbial activity and microbial biomass. The experiment was conducted in two stages, the first in a greenhouse in the experimental area of the Soils Department, Eliseu Maciel Agronomy College, Federal University of Pelotas, Capão do Leão, RS, during the period January 16 to March 18, 2009. The treatments were: T1 – control (0,0 g kg⁻¹ RHA); T2 – mineral fertilization NPK + lime; T3 – 1,09 g kg⁻¹ RHA; T4 – 2,17 g kg⁻¹ RHA; T5 – 4,34 g kg⁻¹ RHA; T6 – 6,51 g kg⁻¹ RHA; T7 – 8,68 g kg⁻¹ RHA. The second stage was developed at the Soil Microbiology Laboratory, using respirometric vessels, with the same soil and treatment of the previous stage to the analysis of soil basal respiration. The adopted experimental design was completely randomized with four replications. The microbial biomass and soil microbial activity did not change with the application of rice husk ash, when compared to control treatments and NPK + lime.

Keywords: rice husk ash, microbial activity, microbial biomass, soil microbiology, basal respiration.

INTRODUÇÃO

A cultura do arroz constitui-se numa das principais fontes de alimento para o ser humano, sendo que o cultivo irrigado dessa cultura é a principal fonte de produção deste cereal no mundo (Berni, 2001). De acordo, com pesquisa realizada pelo IBGE (2009), a produção da safra Brasileira de 2009 do arroz (em casca) foi de 12 milhões de megagramas ano⁻¹, sendo a Região Sul, responsável por 61 % da produção nacional.

Com a evolução tecnológica do beneficiamento do arroz, a casca de arroz (CA), resíduo gerado de elevado poder calorífico, vem substituindo a lenha empregada na geração de calor nos secadores do grão. Como resultado deste processo, é gerado um novo resíduo, a cinza de casca de arroz (CCA), que contém além de matéria orgânica remanescente, pó de sílica com partículas de forma acicular (Della et al., 2006).

O descarte indiscriminado dos resíduos gerados pelos processos industriais tem se tornado um problema com efeitos sobre a qualidade do meio ambiente. A consequência direta deste impacto ao ecossistema requer ações imediatas da sociedade contemporânea, por meio de medidas e alternativas para o gerenciamento, tratamento e destino adequado destes rejeitos. A utilização de cinzas, como a da casca de arroz na agricultura, além de minimizar o potencial poluente, pode servir como corretivo do solo beneficiando a produtividade de determinadas culturas (IRGA, 2009).

A biomassa microbiana e sua atividade no solo têm implicações importantes na agricultura. O estudo das propriedades bioquímicas e microbiológicas do solo, tais como a biomassa microbiana, a taxa de respiração e o quociente metabólico são indicadores importantes para o monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola (Alcantara et al., 2007). Um maior teor de biomassa microbiana resulta em uma maior imobilização temporária de carbono, de nitrogênio e de outros nutrientes, sendo assim, uma menor perda nutricional no sistema solo-planta (Alvarez et al., 1995). A atividade microbiana é um indicativo dinâmico do carbono respirado da biomassa microbiana e da matéria orgânica e sua estimativa pode fornecer dados úteis sobre modificações nas propriedades biológicas dos solos, decorrentes de práticas agrícolas, como os diferentes tipos de manejos dos solos e de culturas. O método mais utilizado para quantificar a atividade metabólica nos solos, podendo ser avaliada através da liberação de CO₂, divide-se em dois tipos: respiração basal e respiração basal induzida pela adição de um substrato. Sua medição é considerada uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da matéria orgânica ou de algum material adicionado ao solo (Moreira et al., 2002).

Com base no exposto este trabalho objetivou avaliar a biomassa e a atividade microbiana de um Planossolo submetido a diferentes dosagens de cinzas de casca de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo se utilizou a camada de 0-20 cm de um PLANOSSOLO Háplico distrófico (EMBRAPA, 1999) coletado na Estação Experimental da Palma, UFPEL. A caracterização físico-química foi realizada conforme a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995) e apresentou a seguinte composição: pH (H₂O) = 5,0; argila = 150 g kg⁻¹; C orgânico = 9,8 g kg⁻¹; P-Mehlich = 3,7 mg dm⁻³; K = 76 mg dm⁻³; Ca = 1,3 cmol_c dm⁻³; Mg =

1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Na = 27,0 mg dm^{-3} ; Al = 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al = 2,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC efetiva = 3,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e V = 47 %, sendo realizada antes do início do experimento.

A cinza de casca de arroz (CCA) foi coletada na Empresa Irgovel-Indústria Riograndense de Óleos Vegetais Ltda., localizada na Avenida Presidente Goulart nº. 7351, Pelotas/RS, e foi originada da queima da casca de arroz a uma temperatura de aproximados 700 °C.

A determinação do pH e do poder de neutralização (PN) da CCA foi realizada segundo o método descrito em Tedesco et al. (1995). Os teores de silício da CCA foram obtidos de acordo com o método exposto em Gallo et al. (1974), e apresentou a seguinte composição: pH (H_2O) = 9,7; Poder de Neutralização (PN) = 20,71 %; C = 11 mg kg^{-1} (Combustão úmida / Walkey Black); N = 0,11 mg kg^{-1} (Kjeldahl / 0,01 %); P = 2,0 g kg^{-1} (Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %); K = 6,0 g kg^{-1} (Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %); Ca = 3,2 g kg^{-1} (Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %); Mg = 2,0 g kg^{-1} (Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 0,01 %); Fe = 0,3 g kg^{-1} (Digestão úmida nítrico-perclórica / ICP-OES / 4 mg kg^{-1}); Mn = 0,5 g kg^{-1} ; Si = 600 g kg^{-1} (Método colorimétrico).

A primeira etapa do trabalho foi realizada em casa de vegetação da área experimental do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, RS, no período de 16 de janeiro de 2009 a 18 março de 2009.

Os tratamentos estudados aplicados foram: T1 – testemunha (solo); T2 – Adubação mineral NPK + calcário; T3 – 1,09 g kg^{-1} CCA; T4 – 2,17 g kg^{-1} CCA; T5 – 4,34 g kg^{-1} CCA; T6 – 6,51 g kg^{-1} CCA; T7 – 8,68 g kg^{-1} CCA. As doses de CCA dos tratamentos 3 a 7 equivaleram respectivamente à 2,2, 4,4, 8,8, 13,0 e 17,5 Mg ha^{-1} . As doses de NPK foram determinadas de acordo com a análise do solo e segundo a SBCS/NRS (2004) para a cultura do milho. Foram aplicados ao solo 90 kg de N ha^{-1} , 125 $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e 30 $\text{kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$, utilizou-se como fonte de NPK a uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente, aplicando-se no momento da implantação do experimento, três vezes a dose recomendada. Para elevar o pH a 6,0 foi aplicado o equivalente a 1,4 Mg ha^{-1} de calcário na forma de uma mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (2:1), juntamente com os demais insumos. A quantidade de cinza de casca de arroz incorporada para a dose 3 (4,34 g kg^{-1}) foi determinada após análise do Poder de Neutralização (20,71 %) deste resíduo, sendo calculada a quantidade necessária para elevar o pH a 6,0 conforme as recomendações da SBCS/NRS (2004). As demais doses de CCA (T3, T4, T6 e T7) foram

equivalentes a 25, 50, 150 e 200 % da dose 3 de CCA (T5) e corresponderam a 1,09 g kg⁻¹, 2,17 g kg⁻¹, 6,51 g kg⁻¹ e 8,68 g kg⁻¹, respectivamente. O delineamento experimental adotado foi o completamente casualizado com quatro repetições num total de 28 unidades.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico com capacidade para 7 kg de solo. Efetuou-se a mistura e homogeneização do solo (6,2 kg) com seu respectivo tratamento, buscando um melhor assentamento das partículas de solo nos vasos para que a densidade nesta condição fosse a mais próxima da densidade natural a campo. Através da identificação do ponto ideal de umidade do solo, realizado pelo teste de friabilidade, foram adicionadas a cada unidade experimental 700 mL de H₂O destilada, conforme metodologia descrita por Pauletto (1997. Pg.25). Em cada unidade experimental foram semeadas 8 sementes de milho da variedade *Aventis* 3662. Após 10 dias foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso.

Realizou-se a colheita após 60 dias de cultivo de milho, sendo o solo de cada unidade experimental destorroado, peneirado (4 mm), e retiradas amostras, as quais foram mantidas em geladeira, com temperatura aproximada de 4 °C, para análises microbiológicas. Os teores de carbono e de nitrogênio da biomassa microbiana foram determinados com base no método descrito por Vance et al. (1987). Entretanto, para eliminação dos microrganismos, substituiu-se a fumigação com clorofórmio pela irradiação em forno de microondas a 2.450 MHz, durante quatro minutos (Ferreira et al., 1999). A relação CBM/COT foi obtida pela razão entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT) do solo. Para a análise de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo, as amostras foram secas ao ar, peneiradas (2 mm) e analisadas segundo o método descrito em Tedesco et al. (1995).

A segunda etapa do experimento foi desenvolvida no Laboratório de Microbiologia do Solo/FAEM/UFPEL. Amostras de 100 g de solo acrescidas dos mesmos tratamentos do experimento anterior foram acondicionadas em vasos respirométricos, para a análise da respiração basal (RB) normal (RBN) e induzida pela aplicação ao solo de 1 g de sacarose (RBI). A respiração basal do solo foi avaliada durante um período de incubação de 63 dias, efetuando-se a determinação do C-CO₂ liberado através da captação em solução de NaOH 1 M conforme metodologia descrita por Stotzky (1965). A respiração basal normal do solo foi determinada após 21 dias, 42 dias e 63 dias de incubação, e a induzida semanalmente até o 63º dia de incubação. A quantidade de dióxido de carbono (CO₂)

liberado em cada tratamento e período de avaliação foi calculada conforme a equação 1, e expressos em mg C-CO₂ 100 g⁻¹.

Equação 1:

$$RB = (VPB-VA) \times M \text{ ácido} \times \text{Eq. C-CO}_2$$

Sendo:

VPB = volume de HCl gasto na prova em branco;

VA = Volume de HCl gasto na amostra;

M ácido = concentração do HCl;

Eq. C-CO₂ = Equivalente grama do C-CO₂.

A taxa de respiração por unidade de biomassa ou quociente metabólico (qCO₂), foi obtida pela relação entre a taxa de respiração basal, que consiste na medida da produção de CO₂, resultante da atividade metabólica do solo, e biomassa microbiana (Anderson & Domsch, 1990).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Duncan a 5 % (P < 0,05) de probabilidade de erro e análise de regressão polinomial utilizando-se o programa estatístico Winstat (Machado, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

BIOMASSA MICROBIANA

Os teores de carbono microbiano, nitrogênio microbiano e a relação do carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico total (CBM/COT) no solo dos tratamentos que receberam a aplicação de CCA, não diferiram do tratamento testemunha e adubação mineral recomendada (Tabela 1).

A assimilação de carbono pela microbiota do solo não variou, em função das estimativas de carbono e nitrogênio microbiano serem realizadas no período final de experimentação, ou seja, 63 dias após a aplicação de CCA ao solo e o resíduo na forma de cinza não promoveu a incorporação de carbono orgânico a ser assimilado pela microbiota do solo.

Os teores de carbono orgânico total (COT) no solo dos tratamentos que receberam cinza variaram de 10,09 a 10,83 g kg⁻¹, e não diferiram estatisticamente do tratamento adubação mineral que foi de 10,29 g kg⁻¹. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos que receberam a aplicação de CCA no solo.

Os teores de carbono microbiano do solo variaram de 486,23 a 579,11 mg kg⁻¹, não diferindo dos teores de carbono microbiana do tratamento testemunha e da adubação mineral, que foram de 491,69 e 453,45 mg kg⁻¹, respectivamente. Assim, constata-se que a CCA não interferiu sobre esses parâmetros microbiológicos do solo.

Tabela 1. Teor do carbono microbiano, COT, nitrogênio microbiano, NT e quociente metabólico do solo, relação CBM/COT e C/N, após 63 dias de incubação com a aplicação de CCA no solo.

Tratamentos	Carbono microbiano	COT	CBM/COT	Quociente metabólico	Nitrogênio microbiano	NT	C/N
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	%	x 10 ⁻³	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	
T1 = Testemunha	491,69 a ¹	11,04 a	4,5 a	0,34 bc	29,17 a	0,75 b	14,82 a
T2 = NPK + calcário	453,45 a	10,29 bc	4,4 a	0,51 a	23,49 a	0,97 a	10,68 b
T3 = 1,09 g kg ⁻¹ CCA	579,11 a	10,42 abc	5,6 a	0,27 c	26,74 a	1,03 a	10,35 b
T4 = 2,17 g kg ⁻¹ CCA	486,23 a	10,83 bc	4,5 a	0,42 ab	25,93 a	0,97 a	11,16 b
T5 = 4,34 g kg ⁻¹ CCA	491,15 a	10,09 c	4,9 a	0,34 bc	32,41 a	1,06 a	9,60 b
T6 = 6,51 g kg ⁻¹ CCA	562,72 a	10,42 abc	5,4 a	0,29 bc	29,17 a	1,11 a	9,51 b
T7 = 8,68 g kg ⁻¹ CCA	543,59 a	10,17 bc	5,3 a	0,30 bc	17,82 a	0,96 a	10,64 b
CV (%)	15,15	4,19	14,62	24,40	35,23	12,28	10,71

¹ Médias (4 repetições) seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan em nível de 5 %.

As doses de CCA (T3, T4, T6 e T7) foram respectivamente 25 %, 50 %, 150 % e 200 % da dose 3 (T5).

A relação do CBM/COT no solo dos tratamentos com cinza não apresentou diferença estatística significativa, com resultado médio de 5,1 % para os tratamentos com CCA. A taxa do CBM/COT dos tratamentos que receberam a aplicação de CCA, também não diferiu do tratamento testemunha e adubação mineral + calcário. Segundo Anderson & Domsch (1989), a relação CBM/COT aumenta e diminui rapidamente conforme ocorram elevação ou redução da matéria orgânica do solo num sistema ecológico, e a permanência desta relação indica o novo equilíbrio do sistema (Tabela 1).

A aplicação de CCA não influenciou estatisticamente nos valores do quociente metabólico do solo. O tratamento que recebeu a maior dose de CCA (T7), correspondente a 0,30, não apresentou diferença significativa, quando comparado ao tratamento testemunha e adubação mineral + calcário, equivalente a 0,34 e 0,30, respectivamente (Tabela 1). O quociente metabólico tem sido usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo, podendo ser utilizado como sensível indicador de estresse quando o carbono da biomassa microbiana do solo é afetado (Anderson & Domsch, 1993).

Os teores do nitrogênio microbiano no solo dos tratamentos com CCA, testemunha e adubação mineral + calcário, variaram entre 17,82 e 32,41 mg kg⁻¹, não sendo observada diferença significativa entre eles. Os teores do NT dos tratamentos que receberam CCA variaram de 0,96 a 1,11 g kg⁻¹, também não foram afetados pelo aumento das doses de CCA aplicadas ao solo. Verificou-se efeito significativo dos teores de NT no solo, apenas entre os tratamentos com CCA e o tratamento testemunha, que foi de 0,75 g kg⁻¹ de N. Mesmo com os baixos teores de N determinados na CCA estudada, a média do NT no solo dos tratamentos 3, 4, 5, 6 e 7 que receberam a aplicação de CCA foi de 1,02 g kg⁻¹, não diferiu estatisticamente da adubação mineral recomendada, que foi de 0,97 g kg⁻¹ de N (Tabela 1).

Determinou-se uma relação C/N dos tratamentos que receberam a aplicação de CCA no solo ao redor de 10/1, encontrando-se dentro da faixa que predomina a mineralização, ou seja, uma relação C/N maior que 30 ocorre a imobilização, entre 20 e 30 a mineralização é igual à imobilização e uma relação C/N menor que 20 ocorre a mineralização (Stevenson, 1986).

Vasconcelos et al. (2010), avaliando os efeitos de diferentes sistemas de preparo, usando a queima da vegetação sobre a biomassa microbiana do solo, verificaram que a cinza vegetal não influenciou nos teores do carbono orgânico do solo e proporcionou uma redução nos teores do nitrogênio total do solo nas áreas queimadas, em virtude da maior volatilização do N para a atmosfera. De acordo com Iwata et al. (2010), os maiores teores de COT, quociente microbiano e os maiores estoques de C e N foram observados na floresta nativa, quando comparada a uma área submetida ao corte e queima. O baixo valor do quociente microbiano do sistema corte e queima, pode estar relacionado à baixa disponibilidade de nutrientes deste sistema devido às perdas de matéria orgânica pelo processo de queima.

A adição de resíduos orgânicos carbonizados (cinzas) são práticas de manejo utilizadas para aumentar a fertilidade do solo em algumas áreas, através do estímulo da atividade microbiana do solo. Entretanto, alguns resíduos queimados contêm poucas substâncias facilmente degradáveis que possam ser utilizadas pelos microrganismos (Steiner et al., 2010).

ATIVIDADE MICROBIANA

A liberação de C-CO₂ apresentou comportamento quadrático em todos os tratamentos como se pode observar na Figura 1. A maior velocidade de liberação ocorreu até os 20 dias de incubação das amostras havendo após, um declínio da atividade microbiana, provavelmente devido à diminuição da quantidade de carbono orgânico prontamente oxidável no solo.

O tratamento adubação mineral + calcário foi o que apresentou a maior taxa de respiração ao longo do tempo, este comportamento está relacionado à pronta disponibilidade de nutrientes e correção imediata da acidez em solos que recebem adubação mineral.

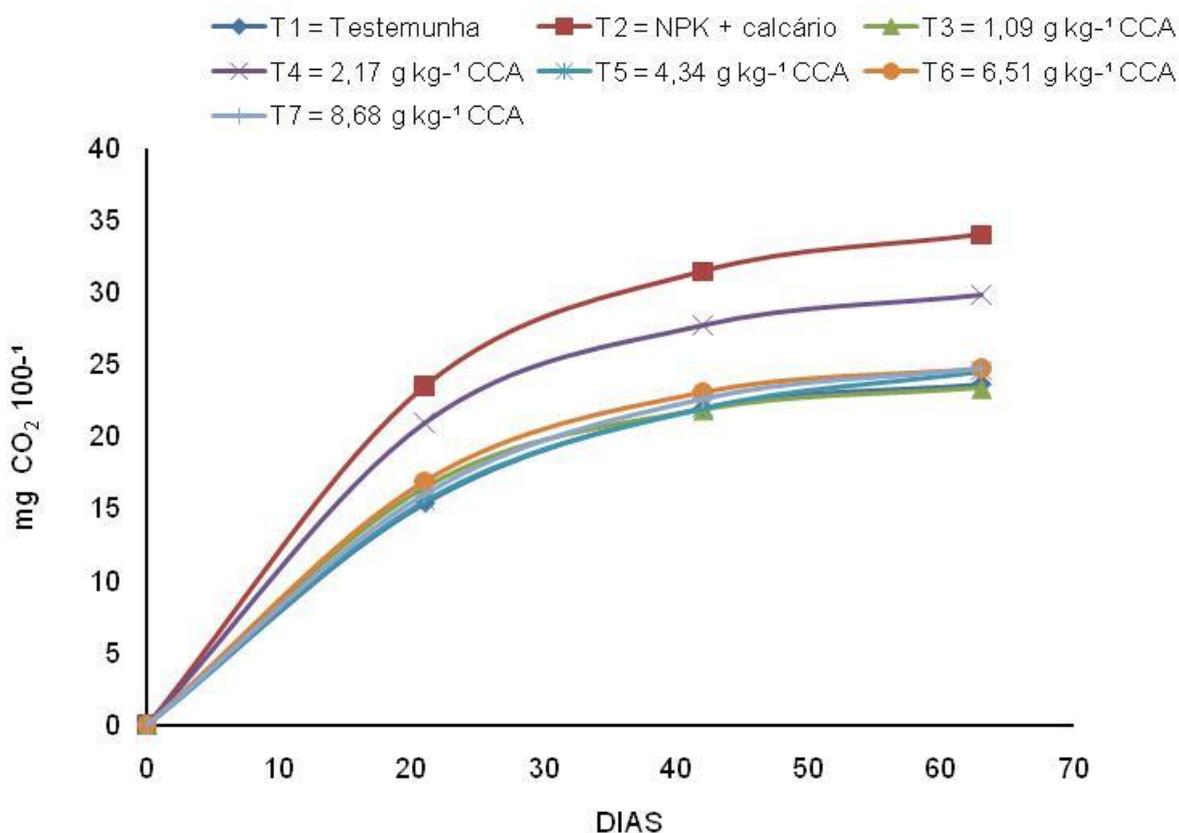


Figura 1. Liberação acumulada de CO₂ em função da aplicação de cinza de casca de arroz (Respiração Basal Normal).

Os tratamentos com doses de CCA apresentaram liberação de C-CO₂ ao longo do tempo de incubação, semelhantes a do tratamento testemunha, exceto o tratamento 4 (2,17 g kg⁻¹ de CCA), que foi superior, quando equiparado aos tratamentos com cinza e testemunha, porém não foi constatada diferença significativa entre eles.

De modo geral, a aplicação de CCA ao solo não afetou a respiração basal normal quando comparado a amostra de solo testemunha. Também no solo onde foi realizada a respiração basal induzida os tratamentos constituídos por CCA não apresentaram redução na taxa de respiração quando comparados com a testemunha, exceto ao T6 que recebeu 6,51 g kg⁻¹ CCA apresentou valores inferiores ao tratamento testemunha, entretanto não diferiu dos demais tratamentos constituídos por CCA (Tabela 2).

O tratamento adubação mineral + calcário foi o que apresentou a maior taxa de respiração basal induzida, mas não diferiu do tratamento que recebeu a maior dose de CCA (8,68 g kg⁻¹).

Tabela 2. Liberação total de CO₂ no solo normal (Respiração Basal Normal), com adição de sacarose (Respiração Basal Induzida) e biodegradação de sacarose afetadas pela aplicação de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	Respiração Basal		C biodegradado da sacarose ²	Biodegradação ³
	Sem sacarose	Com sacarose		
	..... mg CO ₂ 100g ⁻¹			(%)
T1 = Testemunha	23,70 c ¹	198,75 ab	262,58 a	65,64
T2 = NPK + calcário	34,05 a	202,80 a	253,13 ab	63,28
T3 = 1,09 g kg ⁻¹ CCA	23,40 c	189,45 bc	249,08 ab	62,27
T4 = 2,17 g kg ⁻¹ CCA	29,85 ab	192,60 bc	244,13 b	61,03
T5 = 4,34 g kg ⁻¹ CCA	24,60 bc	191,55 bc	250,43 ab	62,61
T6 = 6,51 g kg ⁻¹ CCA	24,75 bc	186,60 c	242,78 b	60,69
T7 = 8,68 g kg ⁻¹ CCA	24,75 bc	193,20 abc	252,68 ab	63,17
CV (%)	14,92	3,42	4,27	-

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan em nível de 5%.

Doses de cinza de casca de arroz: 1, 2, 4 e 5 foram respectivamente 25%, 50%, 150% e 200% da dose 3.

² (mg CO₂ com sacarose - mg CO₂ sem sacarose) x 1,5.

³ (C Biodegradação da sacarose/400mg C) x 100.

O percentual de biodegradação do carbono aplicado via sacarose dos tratamentos constituídos por CCA não diferiram do tratamento adubação mineral + calcário, sendo o tratamento testemunha superior aos tratamentos que receberam $2,17 \text{ g kg}^{-1}$ e $6,51 \text{ g kg}^{-1}$ de CCA, respectivamente.

CONCLUSÕES

A biomassa do solo, expressa pelos teores de carbono e nitrogênio microbianos e as respirações basais, normal e induzida não são afetadas com a aplicação de cinza de casca de arroz, quando comparadas aos tratamentos testemunha e NPK + calcário.

LITERATURA CITADA

- ALCANTARA, R.M.C.M.; ARAÚJO, A.M.S.; LIMA, A.A.; HAIM, P.G.; SILVA, E.E. Avaliação da biomassa microbiana do solo em sistemas orgânicos. **Rev. Bras. de Agroecologia**/out. 2007. v.2 n.2; p.991-994.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTA NATOGLIA, O.; BLOTA, L. Soil Organic carbon. microbial biomass and CO_2 -C production from three tillage systems. **Soil & Tillage Research**. v.33. p.17-28. 1995.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.21, n.4, p.471-479, 1989.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quociente ($q\text{CO}_2$ and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, 22:251-255, 1990.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO_2 ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford. v.25, n.3, p.393-395, mar. 1993.
- BERNI, F.P. Efeito da cinza da casca do arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31,n.1, p.71-78, 2001.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004. p. 394.

DELLA, V.P.; HOTZA, D.; JUNKES, J.A.; OLIVEIRA, A.P.N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**. v.29. n.6. p.1175-1179. 2006.

DELLA, V.P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**. v.24. n.6. p.778-782. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PERSQUISA AGROPECUÁRIA: Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado. Práticas agroecológicas: Caldas e Biofertilizantes – Rio Grande do Sul: **EMBRAPA**. Pelotas, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PERSQUISA AGROPECUÁRIA: Centro Nacional de pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** - Brasília: EMBRAPA-Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **R. Bras. C. Solo**, Viçosa, v.23, p.991-996, 1999.

GALLO, J.R.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C. & HIROCE, R. Teores de silício em gramíneas cultivadas e forrageiras. **Ci. e Cult.** v.26. n.4. p.286-292, 1974.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1328&id_pagina=1> Acesso em 17 dez. 2009.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Sílica da casca de arroz garante resistência e durabilidade na construção civil**. Disponível em:

<http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=noticia_detalhe&id=1674> Acesso em: 25 set. 2009.

IWATA, B.F.; LEITE, L.F.C.; CAMPOS, L.P.; ARAÚJO, A.S.F.; COSTA, C.N. Estoques de carbono e nitrogênio e biomassa microbiana de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado piauiense. In: FERTBIO, fontes de nutrientes e produção agrícola – modelando o futuro, 2010, Guarapari. **Anais**. Guarapari: SBCDS, 2010. CD-ROM.

MACHADO, A. Sistema de análise estatística para Windows (Winstat). Universidade Federal de Pelotas, 2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Ecologia do Solo. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA. 2002. p. 81-152.

PAULETTO, E.A. **Manual de laboratório: determinação de atributos físicos do solo**. UFPEL: Pelotas/RS, 1997. 38p.

STEINER C.; TEIXEIRA, W.G.; NARAYAN, S.; MAJOR, J.; LEHMANN, J.; ZECH, W.; BLUM, W.E.H. Corte e carbonização como uma alternativa ao corte e queima: estudos na Amazônia. Disponível em:

<www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_23_Christoph.pdf> Acesso em 06 out. 2010.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil - carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients**. John Wiley & Sons, NY, 1986. 380p.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. *Methods of Soil Analysis*, Madison: **American Society of Agronomy**, 1965, v.2, p.1151-1572.

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

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 19:703-107, 1987.

VASCONCELOS, J.M.; BARROS, G.M.; JÚNIOR, M.L.S.; MELO, V.S.; PEDROSO, A.J.S.; TEIXEIRA, O.M.M.; MARICHAL, R. Avaliação da biomassa microbiana em solo submetido ao sistema de preparo de área usando a queima e a trituração da vegetação no nordeste paraense. In: FERTBIO, fontes de nutrientes e produção agrícola – modelando o futuro, 2010, Guarapari. **Anais**. Guarapari: SBCDS, 2010. CD-ROM.

4. CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos, nas condições em que o trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- A aplicação de cinza de casca de arroz no solo proporcionou o aumento no rendimento da massa seca do milho;
- É necessária a suplementação de N no solo, devido à deficiência deste elemento na cinza de casca de arroz;
- Os valores de pH e condutividade elétrica aumentaram com a aplicação de cinza de casca de arroz;
- Os teores de P, Na e Si no solo, apresentaram uma tendência de aumento com a aplicação de cinza;
- A aplicação de cinza de casca de arroz proporcionou o decréscimo nos teores de Fe e Al do solo e do teor de Fe na planta de milho;
- A biomassa microbiana e a atividade microbiana do solo não sofreram alterações com a aplicação de cinza de casca de arroz;
- A cinza de casca de arroz apresenta potencial para a utilização como fertilizante agrícola;
- O uso de cinza de casca de arroz na agricultura pode ser uma alternativa ambientalmente adequada para o gerenciamento deste resíduo;
- Recomenda-se a realização de pesquisa de campo, com outras culturas e doses superiores a 17,5 Mg ha⁻¹ de cinza de casca de arroz.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M.H. & BESFORD, A.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Ann. Bot.**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 343-351, 1986.

AGRONOMIA. **Efeito de níveis de silmag (silicato) sobre a correção do solo, produção e valor nutritivo do capim elefante. Paraíso (*Pennisetum hybridum*).**

Disponível em:

<http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_efeitos_niveis_silmag.htm>

Acesso em 21 fev. 2010.

ALCANTARA, R.M.C.M.; ARAÚJO, A.M.S.; LIMA, A.A.; HAIM, P.G.; SILVA, E.E. Avaliação da biomassa microbiana do solo em sistemas orgânicos. **Rev. Bras. de Agroecologia/out.** v.2. n.2. p.991-994. 2007.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTA NATOGLIA, O.; BLOTA, L. Soil Organic carbon. microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil & Tillage Research.** v.33. p.17-28. 1995.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.21, n.4, p.471-479, 1989.

AMATO, G.W. "**Casca: agregando valor ao arroz**". IRGA, 2002. Disponível em:

<<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20050815133443.pdf>> Acesso em 12 fev. 2010.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quociente (qCO₂ and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, 22:251-255, 1990.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford. v.25, n.3, p.393-395, mar. 1993.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDORFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações agronômicas**. Piracicaba, n.89, p.1-8, mar. 2000. Encarte técnico.

BERNI, F.P. Efeito da cinza da casca do arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. V.31. n.1. p.71-78, 2001.

BIODIESEL. **Casca de Arroz: Energia**. Disponível em:

<<http://www.biodieselbr.com/energia/residuo/energia-do-arroz.htm>> Acesso em 22 mar. 2010.

BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; GAINELLO, C.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 344p.

BRASIL. Decreto n.o 2954. Aprova o regulamento da lei 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas Jurídicas** (Texto Integral) – DEC 004954, 14 jan., 2004, 27 p.

CARVALHO FILHO, A.; PEREIRA, L.J.; CORTEZ, J.W.; CARVALHO, L.C.C.; DRUMOND L.C.D. Agressividade da adubação com silicato sobre a germinação do milho. **Scientia Agraria**, v.8, n.2, p.199-203, 2007.

CARVALHO PUPATTO, J.G.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004. p. 394.

DAROLT, M.R.; NETO, V.B.; ZAMBON, F.R.A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivos de solo na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.11, n.1, p.38-40, 1993.

DELLA, V.P.; HOTZA, D.; JUNKES, J.A.; OLIVEIRA, A.P.N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**. v. 29. n.6. p.1175-1179. 2006.

DELLA, V.P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**. v.24. n.6. p.778-782. 2001.

DINIZ, J.; CARDOSO, A.L.; STAHL, J.A.; VILLETTI, M.A.; MARTINS, A.F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, v.26. n.1. p.25-32, 2004.

EMBRAPA. **Adubação orgânica**. Pelotas, RS. 2006. Disponível em:

<http://www.cifers.t5.com.br/cartilha_adub_organica.pdf> Acesso em 07 jan. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PERSQUISA AGROPECUÁRIA: Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado. Práticas agroecológicas: Caldas e Biofertilizantes – Rio Grande do Sul: **EMBRAPA**. Pelotas, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PERSQUISA AGROPECUÁRIA: Centro Nacional de pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** - Brasília: EMBRAPA-Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FARIA JÚNIOR, L.A.; CARVALHO, J.G.; PINHO, P.J.; BASTOS, A.R.R.; FERREIRA, E.V.O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.33, n.4, p.1034-1040, jul./ago. 2009.

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 47p. (Tese de Mestrado).

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **R. Bras. C. Solo**, Viçosa, v.23, p.991-996, 1999.

FERREIRA, E.P.B. COELHO, L.H. MATA, W.M. SANTOS, R.F. DIDONET, A.D. Características químicas de um Latossolo influenciadas por diferentes tipos e doses de cinzas. In: FERTBIO, desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental, 2008, Londrina. **Anais**. Londrina: SBCDS, 2008. CD-ROM.

FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A.; STRECK, E.V. **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER, 2000. 95 p.

FOLETTTO, E.L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R.S.; PORTUGAL JR, U.L.; JAHN, S.L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Quim. Nova**, v.28, n.6, p.1055-1060, 2005.

GALLO, J.R.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C. & HIROCE, R. Teores de silício em gramíneas cultivadas e forrageiras. **Ci. e Cult.** v.26. n.4. p.286-292, 1974.

GOMES, A. da S. & JUNIOR, A.M. de M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Ed. 1ª. Brasília, DF.: EMBRAPA, informação tecnologica, 2004. 899p.

HORST, W.J. & MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus L.*), **Plant Soil**, Dorbrecht, v.50, n.2, p.287-303, feb, 1978.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1328&id_pagina=1> Acesso em 17 dez. 2009.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Sílica da casca de arroz garante resistência e durabilidade na construção civil**. Disponível em:

<http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=noticia_detalhe&id=1674> Acesso em: 25 set. 2009.

IWATA, B.F.; LEITE, L.F.C.; CAMPOS, L.P.; ARAÚJO, A.S.F.; COSTA, C.N. Estoques de carbono e nitrogênio e biomassa microbiana de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado piauiense. In: FERTBIO, fontes de nutrientes e produção agrícola – modelando o futuro, 2010, Guarapari. **Anais**. Guarapari: SBCDS, 2010. CD-ROM.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S de. **Silicatos de cálcio e magnésio**. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. 23 p. (Boletim Técnico, 01).

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi - Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura”, 2004. 23 p. (Boletim Técnico, 01).

LIMA FILHO, O.F. & TSAI, S.M. Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2007. 34 p.: il. color.; 21 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456; 41).

MACHADO, A. **Sistema de análise estatística para Windows (Winstat)**. Universidade Federal de Pelotas, 2001.

MACHADO, M.D. & LUZ, P.B. **Desenvolvimento de plantas de arroz de terras altas em função de doses da cinza da casca de arroz**. Universidade do Estado de Mato Grosso. Barra do Bugres-MT, 2ª Jornada Científica da Unemat. Out/2009. Disponível em: <http://www2.unemat.br/prppg/jornada2009/resumos_conic/Expandido_00428.pdf> Acesso em 15 Jan. 2010.

MADALUZ, L.M. & POUHEY, M.T. Seleção de cinzas de casca de arroz residuais, de acordo com as características mineralógicas, com vistas ao estudo de sua compatibilidade com superplastificantes em pastas de cimento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA: PESQUISA E RESPONSABILIDADE AMBIENTAL, 16., Pelotas, 2007. **Anais**. Pelotas, UFPEL/Universidade Federal de Pelotas/RS, 2007.

- MAEDA, S.; SILVA, H.D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.43-52, jan./jun. 2008.
- MALAVOLTA, E. ABC da adubação. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1989. 292 p.
- MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. MANUAL DE QUÍMICA AGRÍCOLA: adubos e adubação. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1981. 596 p.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Ecologia do Solo. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA. 2002. p.81-152.
- NEBEL, A.L.C. **Disponibilidade do silício para o arroz irrigado por alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas, 2005. – 63f.: il. Dissertação (Mestrado). Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. 2005.
- PAIM, L.A.; CARVALHO, R.; ABREU, C.M.P.; GUERREIRO, M.C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, v.29, p.28-33, 2006.
- PALMA, I.P.; NOLLA, A.; VOLK, L.B.S.; GAVIOLLI, T.O.; SANDER, G. Crescimento de plantas de milho em um latossolo arenoso adubado com cinza de casca de arroz e duas fontes de nitrogênio. In: MOSTRA DE TRABALHOS CIENTÍFICOS DE AGRONOMIA: SEMEANDO O CONHECIMENTO, 4., Umuarama, 2008. **Anais**. Umuarama, UEM/CCA/Campus Regional de Umuarama/PR, 2008. p.64-68.
- PAULETTO, E.A. **Manual de laboratório: determinação de atributos físicos do solo**. UFPEL: Pelotas/RS, 1997. 38p.
- PAULETTO, E.A.; NACHTIGALL, G.R.; GUADAGNIN, C.A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.14: p.255-58, 1990.
- PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Silicon sources for rice crop. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.61, n.5, p.522-528, Sept./Oct. 2004.
- PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M., eds. Acidez e calagem no Brasil. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, p.127-143. 1983.
- POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; GUIMARES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C.; ARAÚJO, A.R. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.33 n.6 Viçosa nov./dez. 2009.

- PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.
- PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R.; SANTOS, S.; DÁFICO, D.A. Cinza da Casca de Arroz. In: Janaíde Cavalcante Rocha; Vanderley M. John. (Org.). Utilização de Resíduos na Construção Civil - **Coletânea Habitare**. 01 ed. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2003, v.4, p.240-261.
- RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.751-757, 2008.
- REIS, M.A.; ARF, O.; SILVA, M.G.; SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Sci. Agron. Maringá**, v.30, n.1, p.37-43, 2008.
- SANDER, G.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O.; PALMA, I.P. Avaliação do sistema radicular de milho adubado com cinza de casca de arroz e duas fontes de nitrogênio cultivado em latossolo arenoso. In: MOSTRA DE TRABALHOS CIENTÍFICOS DE AGRONOMIA: SEMEANDO O CONHECIMENTO, 4., Umuarama, 2008. **Anais**. Umuarama, UEM/CCA/Campus Regional de Umuarama/PR, 2008a. p.73 -76.
- SANDER, G.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O.; PALMA, I.P. Sistema radicular de milho cultivado em latossolo arenoso adubado com cinza de casca de arroz e duas fontes de nitrogênio. In: FERTBIO, desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental, 2008, Londrina. **Anais**. Londrina: SBCDS, 2008b. CD-ROM.
- SANTIN, M.J. & VAHL, L.C. **Aproveitamento da cinza de casca de arroz como corretivo de acidez e da fertilidade do solo**. Pelotas: CNPq, 1985.
- SANTOS, D.A.; PILON, L.C.; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V. Teores de cálcio e magnésio em caule e folha de milho cultivado em vaso com aplicação de escória de siderurgia no solo sob diferentes lâminas de água. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. **Anais**. Universidade do Vale do Paraíba. p.6. 2009.
- SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v.22, n.12, p.1853-1903, out, 1999.
- SILVA, E.J. S586c **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil** / Everton Jose da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2009. 117 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2009.

STEINER C.; TEIXEIRA, W.G.; NARAYAN, S.; MAJOR, J.; LEHMANN, J.; ZECH, W.; BLUM, W.E.H. Corte e carbonização como uma alternativa ao corte e queima: estudos na Amazônia. Disponível em:

<www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_23_Christoph.pdf> Acesso em 06 out. 2010.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil - carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients**. John Wiley & Sons, NY, 1986. 380p.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. *Methods of Soil Analysis*, Madison: **American Society of Agronomy**, 1965, v.2, p.1151-1572.

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

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19. p.703-107, 1987.

VASCONCELOS, J.M.; BARROS, G.M.; JÚNIOR, M.L.S.; MELO, V.S.; PEDROSO, A.J.S.; TEIXEIRA, O.M.M.; MARICHAL, R. Avaliação da biomassa microbiana em solo submetido ao sistema de preparo de área usando a queima e a trituração da vegetação no nordeste Paraense. In: FERTBIO, fontes de nutrientes e produção agrícola – modelando o futuro, 2010, Guarapari. **Anais**. Guarapari: SBCDS, 2010. CD-ROM.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. **Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês**. 2007. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; FONTES, R.L.F.; ÁVILA, V.T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n.2, p.203-206, Brasília, fev. 2009.

6. APÊNDICES

Apêndice A – Valores de N, P, K, Ca e Mg do solo, das 4 repetições, em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹	..... mg kg ⁻¹.....		..... cmol _c dm ⁻³	
T1R1	0,78	7,10	47,24	2,41	1,53
T1R2	0,77	6,57	43,31	2,48	1,53
T1R3	0,72	7,63	49,21	2,41	1,56
T1R4	0,72	7,28	57,09	2,41	1,53
T2R1	0,86	49,69	35,43	4,29	2,42
T2R2	0,88	48,62	38,39	4,42	2,48
T2R3	1,09	45,43	39,37	4,42	2,45
T2R4	1,05	47,91	37,40	4,22	2,51
T3R1	0,82	6,92	46,26	2,35	1,38
T3R2	1,20	6,74	46,26	2,48	1,59
T3R3	1,20	6,57	51,18	2,35	1,44
T3R4	0,90	6,57	43,31	2,41	1,53
T4R1	0,92	8,34	49,21	2,35	1,44
T4R2	1,03	8,70	51,18	2,35	1,47
T4R3	1,03	8,70	43,31	2,35	1,41
T4R4	0,92	8,87	53,15	2,41	1,41
T5R1	0,99	9,05	58,07	2,41	1,38
T5R2	1,23	9,23	60,04	2,41	1,44
T5R3	0,95	9,23	66,93	2,41	1,41
T5R4	1,06	9,41	47,24	2,41	1,47
T6R1	1,13	12,07	55,12	2,35	1,47
T6R2	1,23	12,07	44,29	2,28	1,44
T6R3	0,92	12,07	52,17	2,41	1,47
T6R4	1,15	11,89	56,10	2,21	1,38
T7R1	0,95	12,60	56,10	2,28	1,41
T7R2	1,04	13,13	55,12	2,35	1,44
T7R3	0,83	12,60	51,18	2,35	1,47
T7R4	1,04	12,78	51,18	2,28	1,35

Apêndice B – Valores de Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Al, Si, pH e CE do solo, das 4 repetições, em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	Al	Si	pH	CE
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	..... mg dm ⁻³	.....	.....	cmol _c dm ⁻³	mg kg ⁻¹	H ₂ O	mS m ⁻¹
T1R1	41,96	0,99	11,04	1,47	0,65	0,41	13,20	5,0	0,64
T1R2	41,96	0,99	11,04	1,72	0,49	0,57	12,26	5,2	0,75
T1R3	42,86	0,99	17,67	1,72	0,49	0,65	12,73	4,8	0,88
T1R4	42,86	0,99	17,67	1,77	0,49	0,65	12,73	4,8	0,71
T2R1	41,07	0,97	8,83	1,67	0,65	0,08	12,73	5,4	2,89
T2R2	37,50	0,99	11,04	1,77	0,65	0,08	11,16	5,3	3,03
T2R3	41,96	0,99	11,04	1,67	0,49	0,08	15,48	5,4	3,07
T2R4	41,07	0,97	13,25	2,07	0,49	0,08	14,07	5,4	3,11
T3R1	49,11	0,94	15,46	1,36	0,49	0,57	16,51	5,0	0,65
T3R2	47,32	0,97	17,67	1,77	0,49	0,65	13,68	4,9	0,75
T3R3	49,11	1,02	15,46	1,36	0,65	0,73	15,72	5,0	0,59
T3R4	46,43	0,99	17,67	1,36	0,65	0,65	14,15	5,0	0,66
T4R1	55,36	0,99	19,88	2,07	0,65	0,57	16,35	4,9	0,79
T4R2	55,36	1,02	22,09	2,12	0,49	0,57	15,25	5,0	0,66
T4R3	52,68	0,99	19,88	1,52	0,65	0,57	16,82	5,2	0,62
T4R4	52,68	0,99	17,67	1,31	0,49	0,65	17,13	5,1	0,58
T5R1	69,64	0,94	15,46	2,07	0,65	0,57	17,76	5,2	0,64
T5R2	69,64	1,02	13,25	1,77	0,49	0,57	18,08	5,0	0,83
T5R3	76,79	0,99	13,25	1,77	0,65	0,57	17,13	5,0	0,69
T5R4	68,75	0,99	15,46	1,87	0,49	0,57	14,62	5,2	0,60
T6R1	81,25	0,91	15,46	2,32	0,49	0,49	20,12	5,1	0,75
T6R2	82,14	0,91	15,46	2,02	0,49	0,49	19,18	5,2	0,82
T6R3	82,14	0,94	15,46	2,43	0,49	0,49	19,34	5,0	0,97
T6R4	82,14	0,91	13,25	2,02	0,65	0,49	17,13	5,2	0,74
T7R1	94,64	0,94	17,67	1,62	0,49	0,57	18,39	5,1	0,85
T7R2	100,00	0,91	13,25	1,47	0,49	0,49	20,75	5,2	0,83
T7R3	97,32	0,97	17,67	1,62	0,49	0,49	19,81	5,1	0,75
T7R4	98,21	0,91	13,25	1,36	0,65	0,49	20,44	5,2	0,82

Apêndice C – Valores de N, P, K, Ca e Mg da massa seca do milho, das 4 repetições, em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	g Kg ⁻¹				
T1R1	20,52	0,98	35,12	6,04	4,84
T1R2	17,79	0,96	30,21	5,49	4,52
T1R3	21,89	1,33	40,80	6,31	5,12
T1R4	21,89	1,08	40,28	6,04	5,03
T2R1	22,92	1,28	22,21	5,76	4,84
T2R2	25,82	1,23	28,92	6,59	4,91
T2R3	24,28	1,23	25,31	6,31	4,73
T2R4	24,45	1,18	27,89	6,31	4,89
T3R1	21,89	1,17	37,44	6,31	4,85
T3R2	22,23	1,17	37,70	6,31	4,57
T3R3	21,38	1,27	37,18	6,31	4,85
T3R4	20,86	1,21	36,92	6,31	5,12
T4R1	21,72	1,33	38,47	5,76	4,64
T4R2	19,84	1,28	38,22	5,76	4,29
T4R3	21,03	1,43	34,60	6,59	5,21
T4R4	21,03	1,30	36,67	5,76	4,80
T5R1	17,10	1,10	33,05	6,04	4,31
T5R2	18,13	1,01	38,47	5,76	4,26
T5R3	19,84	1,21	42,61	6,59	4,48
T5R4	17,27	1,06	34,08	6,04	4,19
T6R1	18,13	1,17	40,02	6,04	4,04
T6R2	17,61	1,21	35,63	6,31	4,33
T6R3	18,98	1,21	42,35	6,59	4,50
T6R4	17,79	1,10	36,67	6,31	4,33
T7R1	17,96	1,17	40,28	5,76	3,85
T7R2	17,27	1,23	34,60	5,49	3,71
T7R3	15,73	1,20	36,67	6,04	3,57
T7R4	17,61	1,23	39,77	5,49	3,69

Apêndice D – Valores de Fe, Mn, Cu e Zn da massa seca do milho e quantidade da massa seca produzida, nas 4 repetições, e em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	Fe	Mn	Zn	Cu	MS Tecido
	..... mg kg ⁻¹				g
T1R1	140,02	198,86	64,62	7,90	5,04
T1R2	157,53	213,07	64,62	6,32	7,09
T1R3	126,02	213,07	72,14	7,11	5,27
T1R4	140,02	238,64	64,62	6,32	4,35
T2R1	87,51	71,02	70,63	2,37	19,27
T2R2	98,02	79,55	77,40	2,37	15,26
T2R3	98,02	79,55	67,63	2,37	17,36
T2R4	101,52	65,34	72,14	2,37	16,23
T3R1	140,02	196,02	57,11	7,11	6,79
T3R2	140,02	230,11	60,11	6,32	5,52
T3R3	126,02	190,34	58,61	7,11	5,44
T3R4	171,53	184,66	58,61	7,11	6,40
T4R1	112,02	198,86	66,12	6,32	5,52
T4R2	150,53	178,98	56,36	5,53	7,44
T4R3	171,53	181,82	49,59	5,53	8,13
T4R4	164,53	181,82	54,85	6,32	6,68
T5R1	126,02	113,64	60,86	4,74	7,30
T5R2	126,02	161,93	60,86	5,53	6,23
T5R3	126,02	119,32	61,62	5,53	6,70
T5R4	126,02	105,11	52,60	4,74	8,89
T6R1	112,02	207,39	74,39	3,95	9,32
T6R2	94,52	187,50	73,64	3,95	8,87
T6R3	87,51	196,02	66,88	3,95	7,80
T6R4	94,52	156,25	75,89	4,74	8,42
T7R1	105,02	178,98	60,86	4,74	8,25
T7R2	101,52	164,77	57,86	3,95	10,74
T7R3	105,02	164,77	61,62	3,95	11,54
T7R4	108,52	156,25	50,34	3,95	9,51

Apêndice E – Comparação de médias dos teores de nutrientes do solo em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Al
	g kg ⁻¹	..... mg kg ⁻¹ .....	.... cmol _c dm ⁻³	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³
T1	0,75 b	7,14 d	49,21 cd	2,43 b	1,54 b	42,41 f	0,99 a	0,45 ab
T2	0,97 a	47,91 a	37,75 e	4,34 a	2,47 a	40,40 f	0,98 a	0,08 d
T3	1,03 a	6,70 d	44,78 d	2,40 bc	1,49 bc	47,99 e	0,98 a	0,49 a
T4	0,97 a	8,65 c	50,94 bc	2,40 bc	1,43 c	54,02 d	1,00 a	0,43 b
T5	1,06 a	9,23 c	60,78 a	2,41 b	1,43 c	71,21 c	0,99 a	0,41 b
T6	1,11 a	12,02 b	53,89 bc	2,31 c	1,44 c	81,92 b	0,92 b	0,36 c
T7	0,95 a	12,78 b	54,39 b	2,31 c	1,49 c	97,55 a	0,93 b	0,35 c
C.V. (%)	12,28	4,84	6,24	2,28	3,16	3,19	2,41	10,43

Apêndice F – Comparação de médias dos teores de silício do solo em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	Si
	mg kg ⁻¹
T1	12,73 e
T2	26,72 a
T3	15,01 de
T4	16,39 cd
T5	16,90 cd
T6	18,94 bc
T7	19,85 b
C.V. (%)	9,68

Apêndice G – Comparação de médias dos valores de pH do solo em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	pH (H ₂ O)
T1	5,5 c
T2	5,9 a
T3	5,5 c
T4	5,6 bc
T5	5,7 bc
T6	5,7 b
T7	5,8 b
C.V. (%)	1,89

Apêndice H – Comparação de médias dos valores da condutividade elétrica do solo em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	CE
	mS m ⁻¹
T1	0,62 e
T2	3,07 a
T3	0,62 de
T4	0,62 de
T5	0,66 d
T6	0,75 c
T7	0,83 b
C.V. (%)	2,79

Apêndice I – Comparação de médias da quantidade da massa seca da planta de milho em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	Massa Seca
	(g)
T1	5,45 d
T2	17,03 a
T3	6,04 d
T4	6,94 cd
T5	7,28 cd
T6	8,60 bc
T7	10,01 b
C.V. (%)	13,55

Apêndice J – Comparação de médias dos teores de nutrientes da massa seca do milho em função da aplicação de NPK + calcário e doses de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Fe
	..... g Kg ⁻¹					mg kg ⁻¹
T1	20,52 b	1,09 c	36,60 a	5,97 ab	4,89 a	141 ab
T2	24,37 a	1,23 ab	26,08 b	6,24 a	4,84 a	97 d
T3	21,59 b	1,21 abc	37,31 a	6,31 a	4,86 a	145 ab
T4	20,91 b	1,34 a	36,99 a	5,97 ab	4,75 a	150 a
T5	18,09 c	1,09 c	37,05 a	6,11 ab	4,31 b	126 bc
T6	18,13 c	1,17 bc	38,67 a	6,31 a	4,30 b	98 d
T7	17,143c	1,21 abc	37,83 a	5,70 b	3,72 c	105 cd
C.V. (%)	5,65	6,96	9,02	5,02	4,87	11,57

Apêndice K – Teor de nitrogênio total, relação carbono/nitrogênio e nitrogênio microbiano/nitrogênio total do solo após 63 dias de incubação com a aplicação de cinza de casca de arroz.

Tratamentos	NT	C/N	NM/NT
	g kg ⁻¹ %	
T1	0,75 b	14,82 a	0,0040 ab
T2	0,97 a	10,68 b	0,0024 bc
T3	1,03 a	10,35 b	0,0059 a
T4	0,97 a	11,16 b	0,0026 bc
T5	1,06 a	9,60 b	0,0031 bc
T6	1,11 a	9,51 b	0,0026 bc
T7	0,96 a	10,64 b	0,0018 c
CV (%)	12,28	10,71	33,43

Apêndice L – Equações de regressão da liberação de CO₂ em função do tempo de incubação.

Tratamentos	Equação	R ²
T1	$y = - 0,007x^2 + 0,862x + 0,195$	0,997
T2	$y = - 0,011x^2 + 1,274x + 0,510$	0,992
T3	$y = - 0,008x^2 + 0,848x + 0,360$	0,992
T4	$y = - 0,010x^2 + 1,133x + 0,480$	0,991
T5	$y = - 0,007x^2 + 0,848x + 0,262$	0,996
T6	$y = - 0,008x^2 + 0,929x + 0,315$	0,994
T7	$y = - 0,007x^2 + 0,883x + 0,247$	0,996

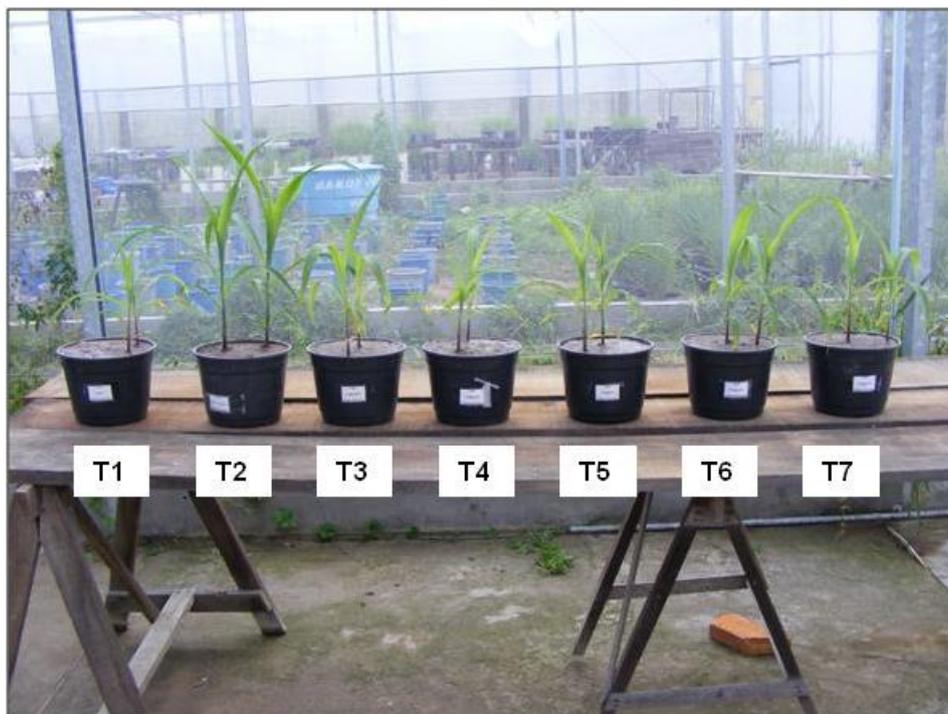
Apêndice M – Unidades experimentais com 8 plantas de milho vaso⁻¹, após 10 dias da germinação.



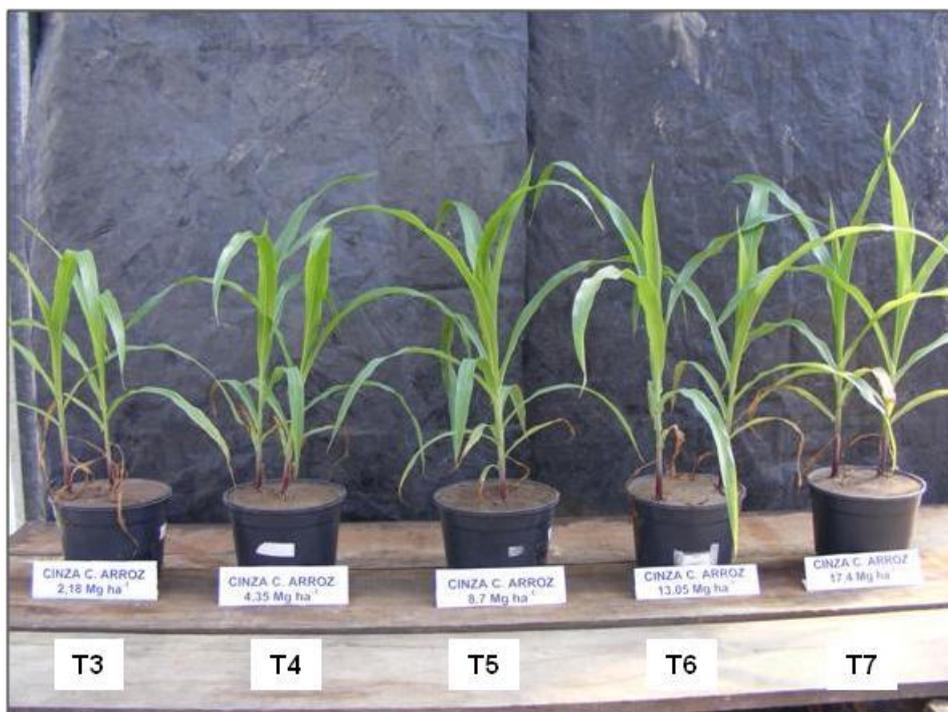
Apêndice N – Unidades experimentais com 2 plantas de milho vaso⁻¹, após realização do desbaste.



Apêndice O – Curva de resposta das plantas de milho do T1 (Testemunha), T2 (Adubação NPK + calcário), T3 – 1,09 g kg⁻¹ CCA, T4 – 2,17 g kg⁻¹ CCA, T5 – 4,34 g kg⁻¹ CCA, T6 – 6,51 g kg⁻¹ CCA e T7 – 8,68 g kg⁻¹ CCA do dia 25 de fevereiro de 2009.



Apêndice P – Curva de resposta das plantas de milho do T3, T4, T5, T6 e T7 que receberam a aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz no solo correspondente ao dia 16 de março de 2009.



Apêndice Q – Curva de resposta das plantas de milho do T1, T2 e T7 correspondete ao dia 16 de março de 2009.

