

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Área de Concentração: Solos



TESE

**Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e
condicionador do solo**

Gláucia Oliveira Islabão

Pelotas, 2013.

GLÁUCIA OLIVEIRA ISLABÃO

**Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e
condicionador do solo**

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

Orientador: Professor Dr. Luís Carlos Timm

Co-orientador: Prof. Dr. Ledemar Carlos Vahl
Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto

Pelotas, 2013.

Dados Internacionais de Publicação (CIP)

I82u Islabão, Gláucia Oliveira
 Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e
condicionador do solo / Gláucia Oliveira Islabão; Luís
Carlos Timm, orientador; Ledemar Carlos Vahl,
co-orientador. – Pelotas, 2013.
 84 f.; il.

 Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de
Agronomia, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas,
2013.

 1.Resíduo industrial. 2.Atributos físicos do solo.
I. Timm, Luís Carlos, orient. II. Vahl, Ledemar Carlos,
co-orient. III. Título.

CDD: 631.4

Catálogo na Fonte: Leda Cristina Peres Lopes CRB:10/2064
Universidade Federal de Pelotas

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luís Carlos Timm
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Prof. Dr. José Miguel Reichert, PhD
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Prof^a. Dra. Flavia Fontana Fernandes
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Pesq. Dr. Adilson Luís Bamberg
Embrapa Clima Temperado

Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa (Suplente)
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Aos meus pais, Carlinho (in memoriam) e Neiva
Aos meus irmãos Morociny, Eliézer e Glaucimara
Aos meus filhos, Murilo e Lívia
Ao meu esposo Fábio,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus que me iluminou e possibilitou minha chegada até aqui.

Ao professor Luís Carlos Timm, pela orientação desse trabalho e por tornar um sonho uma realidade.

Ao professor Ledemar Carlos Vahl, pela co-orientação, pela dedicação, sabedoria e principalmente por me conduzir em todas as etapas na execução desse trabalho, um sincero muito obrigado.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em agronomia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À amiga Juliana Brito, sempre do meu lado em todos os momentos.

Às amigas Lizete e Marília, pelas incansáveis idas ao campo, onde muito trabalhamos e muitas risadas foram dadas. Sem palavras para agradecer a vocês.

Ao bolsista Donald Paul e estagiários: Fernanda Xavier e Leandro Reis pela ajuda nas análises e principalmente na instalação do experimento.

Aos professores, amigos e funcionários do Departamento de Solos, pela amizade e convívio no decorrer destes anos.

Resumo

ISLABÃO, Gláucia Oliveira. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo.** 2013. 80p. Tese - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

Do processo de beneficiamento de arroz, tem-se como resíduo a casca de arroz, que devido ao seu alto poder calorífico e custo praticamente nulo, vêm substituindo a lenha empregada como fonte de energia nas indústrias de beneficiamento de arroz. Como resultado da queima da casca de arroz é produzido a cinza de casca de arroz (CCA). Apesar das altas quantidades de CCA geradas no processo de beneficiamento do arroz na região sul do Rio Grande do Sul (RS), observa-se poucos trabalhos de pesquisa utilizando estes resíduos como corretivo e condicionador do solo. Em virtude disto, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da cinza da casca de arroz como corretivo da acidez, fertilizante e condicionador do solo. Para tal, foi realizado um experimento de campo constituído por doze tratamentos: dez dosagens de cinza de casca de arroz 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 t ha⁻¹; e duas referências: uma testemunha absoluta e outra com calagem e adubação recomendada. Para as análises químicas foram realizadas duas amostragens de solo, aos 15 e 180 dias após a incorporação da CCA, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, determinando-se seus atributos químicos: pH em água (pH), saturação por bases (V %), poder relativo de neutralização total (PRNT), poder de neutralização (PN), teores de cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na), de H + Al, C, N, P e Si e da CTC a pH 7,0). As amostras de solo para análises físicas foram coletadas 180 dias após a incorporação da CCA nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. Os tratamentos: 0, 40, 80 e 120 t ha⁻¹ e a testemunha absoluta foram considerados para os seguintes atributos físicos do solo: densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado (DMP), capacidade de água disponível (CAD), parâmetro S e compressibilidade. Os resultados indicaram que a cinza de casca de arroz atuou como corretivo de acidez de solo reagindo mais rápido que um calcário dolomítico convencional, apesar de ter o PRNT baixo, na ordem de 3 %. O uso da cinza de casca de arroz elevou os teores de Mg e K, Na, Si

e P no solo. Como condicionador do solo, a cinza de casca de arroz promoveu diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total e da macroporosidade na camada de 0,00-0,10 m. Os valores do parâmetro S, da pressão de pré-consolidação e do índice de compressão convergem com as melhorias do espaço poroso do solo.

Palavras-chave: resíduo industrial, pH, fertilidade, atributos físicos

Abstract

ISLABÃO, Gláucia Oliveira. **Use of rice husk ash as a soil corrective and conditioner.** 2013. 80p. Thesis – Graduate Program in Agronomy, Area of Concentration: Soils. Federal University of Pelotas, Pelotas – Brasil.

Deriving from rice processing, rice husk is a high calorific and low cost waste that has been replacing the wood used as energy source in rice industries. Rice husk ash is the product resulting from the burning of rice husk. Although high amounts of rice husk ash have been produced by rice processing in the south region of Rio Grande do Sul, few studies have been done on the use of these residues as a soil corrective and conditioner. Therefore, this investigation aimed to evaluate the potential of rice husk ash as a soil acidity corrective, fertilizer and conditioner. Thus, a field experiment was conducted with twelve treatments: ten rice husk ash dosages (0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 and 140 t ha⁻¹) and two references (an absolute control and a recommended soil lime plus fertilizer). For chemical analysis, soil samples were collected at two times: 15 and 180 days after rice husk ash incorporation in the 0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m soil layers. The following chemical properties were determined: soil pH (pH), base saturation (V %), relative power of total neutralization (PRNT), neutralization power (PN), exchangeable cation values (Ca, Mg, K, Na), H + Al, C, N, Si and P and cation exchange capacity (CEC) at pH 7.0. The soil samples for physical analysis were collected 180 days after rice husk ash incorporation in the 0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m soil layers. The treatments 0, 40, 80 and 120 t ha⁻¹ of rice husk ash and absolute control were considered for the following physical attributes were determined: soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, water stable aggregate size distribution, mean weight diameter of aggregates, available soil water, S parameter and soil compressibility. Results showed that rice husk ash acts as a soil acidity corrective, reacting faster than conventional limestone, even with its low PRNT (around 3 %). The use of rice husk ash increased the levels of Mg, K, Na, Si and P in the soil. As a soil conditioner, the rice husk ash caused a reduction of soil bulk density and increased total porosity and

macroporosity in the 0.00 to 0.10 m soil layer. The S parameter, the pre-consolidation pressure and the compression index values converges with the improvements of soil porous space.

Key words: industrial waste, pH, soil fertility, physical properties

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 A cultura do Arroz	14
2.2 Beneficiamento.....	14
2.3 Casca de Arroz	14
2.4 Cinza da casca de arroz.....	15
2.5 Cinza da casca de arroz no solo	17
2.6 Nomenclaturas utilizadas	18
3. MATERIAL E METODOS	20
3.1 Área de estudo	20
3.2 Delineamento experimental.....	21
3.3 Semeadura da aveia preta	24
3.4 Semeadura do feijão	24
3.5 Coletas de solo.....	26
4. ARTIGO 1 - USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO CORRETIVO E CONDICIONADOR DO SOLO. I - ACIDEZ DO SOLO.....	27
4.1. Resumo	27
4.2. Introdução.....	27
4.3. Material e Métodos	29
4.4. Resultados e Discussão	33
4.5. Conclusões	38
5. ARTIGO 2 - USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO CORRETIVO E CONDICIONADOR DO SOLO. II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	39
5.1. Resumo	39
5.2. Introdução.....	39
5.3. Material e Métodos	41
5.4. Resultados e Discussão	43
5.5. Conclusões	53
6. ARTIGO 3 - USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO CORRETIVO E CONDICIONADOR DO SOLO. III - ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS	54
6.1. Resumo	54
6.2. Introdução.....	54
6.3. Material e Métodos	55
6.4. Resultados e Discussão	61
6.5. Conclusões	72
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
8. REFERÊNCIAS.....	74

1. INTRODUÇÃO GERAL

O arroz é uma das mais importantes culturas produzidas no Brasil. Sua contribuição na produção nacional de grãos varia de 15 a 20 %. Cultivado em praticamente todo o país e tendo seu consumo difundido em todas as classes sociais, ocupa posição de destaque do ponto de vista econômico e social, sendo responsável por compor a dieta básica da população com um considerável aporte de calorias, proteínas e sais minerais (Gomes & Magalhães Júnior, 2004).

O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do Brasil e deverá alcançar 8 milhões de toneladas, na safra 2012/2013, incrementando em 3,7 % o montante total colhido no ciclo 2011/2012 e em 1,3 % a área plantada no RS, que chega a cerca de 1 milhão de hectares (CONAB, 2013). Na região sul do estado, parte importante da produção orizícola converge para Pelotas e região, onde o grão em casca é beneficiado por um número considerável de engenhos (Pauletto et al., 1990).

Do processo de beneficiamento de arroz, tem-se como resíduo a casca de arroz. Devido ao seu alto poder calorífico e custo praticamente nulo vêm substituindo a lenha empregada como fonte de energia, necessária para os processos de secagem e parboilização dos grãos. Mediante a queima da casca de arroz em fornalhas a céu aberto ou em fornos especiais com temperatura controlada, é produzida a cinza de casca de arroz (CCA), denominada residual quando é obtida sem controle de temperatura e tempo de exposição (Della et al., 2001).

Apesar das altas quantidades de CCA gerada no processo de beneficiamento do arroz na região, observam-se poucos trabalhos utilizando estes resíduos como corretivo e condicionador do solo. No entanto, sabe-se que os efeitos imediatos que a CCA pode ter no solo são na correção da acidez (Santin & Val, 1985; Gaviolli et al., 2007; Nolla et al., 2010; Pinto et al., 2009), na estrutura do solo (Pauletto et al., 1990), no suprimento de nutrientes e no desenvolvimento das culturas (Santin & Vahl, 1985; Donega et al., 2007; Silva et al., 2008, Palma et al., 2008).

Esta pesquisa justifica-se com base no uso das cinzas de casca de arroz pelos produtores rurais da região que estão aplicando ao solo sem acompanhamento técnico e aos poucos estudos utilizando esse resíduo como corretivo e condicionador do solo.

A hipótese geral desse estudo é que a aplicação de cinza de casca de arroz ao solo melhora os atributos físico-hídricos, corrige a acidez e aumenta a disponibilidade de macronutrientes no solo.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial da cinza da casca de arroz como corretivo da acidez, fertilizante e condicionador do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do Arroz

O arroz (*Oriza sativa*), grão que alimenta mais da metade da população humana do mundo, é uma planta da família das gramíneas e é considerada a terceira maior cultura cerealífera do mundo, apenas ultrapassada pelo milho e trigo (Diniz, 2005).

Cultivado em 150 milhões de hectares no mundo, com uma produção de 600 milhões de toneladas base casca, o arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos, estando presente principalmente nos países em desenvolvimento, onde desempenha um papel estratégico em níveis econômico e social (Azambuja et al., 2004).

A produção nacional de arroz estimada para a safra 2012/2013 é de 12 milhões de toneladas, onde o estado do Rio Grande do Sul se destaca como o maior produtor, podendo alcançar nessa safra em torno de 7,5 toneladas hectare⁻¹ (CONAB, 2013).

2.2 Beneficiamento

Em Pelotas-RS, encontra-se um número considerável de engenhos, cujo processo de beneficiamento do arroz, geram produtos como o grão, o farelo e a casca de arroz. Em termos de valores produzidos, para cada tonelada de arroz em casca, 230 kg correspondem à casca e 40 kg correspondem a cinzas (Della et al., 2005).

2.3 Casca de Arroz

A casca de arroz é o revestimento ou a capa protetora dos grãos. Removidas durante o beneficiamento do arroz, esta casca possui baixo valor comercial, pois o SiO₂ e as fibras não possuem valor nutritivo e, por isso, não são usados na alimentação humana ou animal (Ferreira, 2005).

A casca de arroz é um material que sempre se constituiu em importante fonte de poluição nos grandes centros beneficiadores de arroz, sendo que, em anos

passados, quase todo esse material era disposto em lavouras e fundo de rios, num descarte prejudicial e criminoso (Hoffmann et al., 2007), criando problemas de estética e ambientais, que se agravam quando levadas pelo vento para outras áreas. Contudo, se reaproveitadas, podem passar de empecilho para fonte energética, por meio da queima já na própria unidade beneficiadora (Roessler et al., 2006).

Os engenhos de arroz, na sua maioria, já utilizam a casca de arroz como combustível nas fornalhas, dada a grande disponibilidade e custo reduzido da casca em relação à lenha, tratando-se de um resíduo abundantemente gerado na própria indústria. A substituição justifica-se ainda pelo poder calorífico da casca de arroz, que é de 3730 kcal kg⁻¹, comparável à acácia negra (4550 kcal kg⁻¹) e ao eucalyptus *sp* (4525 kcal kg⁻¹) (Quirino et al., 2005), mas inferior ao carvão vegetal que apresenta valores em torno de 7500 kcal kg⁻¹ (Vale et al., 2002). Por meio dessa substituição, o problema ambiental do manejo e da disposição da casca de arroz *in natura* foi minimizado, embora tenha gerado outro de dimensões semelhantes que diz respeito aos resíduos gerados após a queima da casca de arroz (Leripio, 1996).

2.4 Cinza da casca de arroz

A cinza da casca de arroz (CCA) é um resíduo que não é gerado diretamente no processo de beneficiamento, mas nas fornalhas responsáveis pela geração de calor para os secadores dos engenhos de arroz. No caso da geração de energia pela combustão direta, temos a CCA como resíduo, podendo conter até 15% em peso de carbono residual. Se a mesma for utilizada, direta ou indiretamente, para algum fim comercial, fechar-se-á o ciclo da industrialização do arroz, sendo possível o total aproveitamento da matéria-prima proveniente da lavoura, já que o farelo, o gérmen e outras partes possuem seu destino no mercado (Foletto et al., 2005).

A CCA pode apresentar diferentes tipos de composição quanto aos elementos orgânicos e inorgânicos presentes na mesma, que podem ser resultado de condições culturais, fatores geográficos, ano da colheita, preparação da amostra e métodos de análise (Huston, 1972).

A composição química média da CCA verificada nos trabalhos com CCA encontra-se na tabela 1.

Tabela 1. Composição química média, mínimo, máximo e coeficiente de variação da cinza de casca de arroz (CCA).

Variável	Si	K	Ca	Mg	N	P	S	C
n	38	35	39	24	2	22	9	10
	g/kg							
Média	423,13	14,02	5,83	3,05	0,35	2,74	0,73	82,40
Mín	337,07	1,58	0,14	0,36	0,20	0,19	0,23	20,90
Máx	466,85	39,25	18,22	9,48	0,50	5,85	3,77	175,70
CV (%)	7,35	67,26	67,75	77,37	60	53,64	157,53	62,16

Variável	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Cl	Rb	Co
n	7	38	32	11	5	11	1	1
	mg/kg							
Média	123	3419	1357	148	654	4371	91	367
Mín	8	147	3,3	15	325	100		
Máx	256	19500	10900	435	1810	11827		
CV (%)	87,80	120,59	151,58	102,02	98,93	125,35		

Variável	Br	Cr	Na	Al	Ti	Cd
n	1	5	16	16	4	2
	mg/kg					
Média	900	124	1752	3570	165	0,443
Mín		70	148	52,9	60	0,390
Máx		200	6306	15700	300	0,495
CV (%)		44,35	111,53	151,09	75,15	16,70

Mín= valor mínimo encontrado; Máx= valor máximo encontrado; CV= coeficiente de variação e n= fontes consultadas: Asavavisithchai & Tantisiriphaiboom (2009); Akasaki, et al. (2005); Chandrasekhar et al. (2005); Chandrasekhar et al. (2006); Chindaprasit et al. (2009); Costa et al. (2007); Della et al. (2006); Ferro et al. (2007); Gonçalves & Bergmann (2007); Lerípio et al. (1996); Menezes et al. (2008); Munthoar, (2002); Omatola & Onojah (2009); Pauletto et al. (1990); Pinto et al. (2009); Prasad et al. (2011); Saleque et al. (2004); Souza et al. (2007); Umamaheswaran & Brata (2008); Zain et al. (2011) e Zemnukhova et al. (2005).

Baseado na classificação proposta por Wilding e Drees (1983), o teor de Si apresentou baixa dispersão ($CV \leq 15\%$), o Cd moderada dispersão ($15\% < CV < 35\%$) e todos os outros teores alta variabilidade ($CV \geq 35\%$).

De forma geral, a CCA tem sido utilizada em compostos de borracha natural; na preparação de catalisadores metálicos à base de níquel; na argamassa em substituição à areia, melhorando o custo e suas propriedades físico-mecânicas; na fabricação de materiais cerâmicos do tipo refratário ou isolante como componente principal ou secundário e na fabricação de blocos e painéis empregados na construção civil, onde substitui a fibra de madeira comumente utilizada.

A Figura 1 resume as aplicações da cinza da casca de arroz, seja como componente principal ou secundário, sendo, portanto uma alternativa para equacionar o problema da disposição das cinzas no meio ambiente, além de gerar produtos de maior valor agregado sem a geração de novos resíduos.

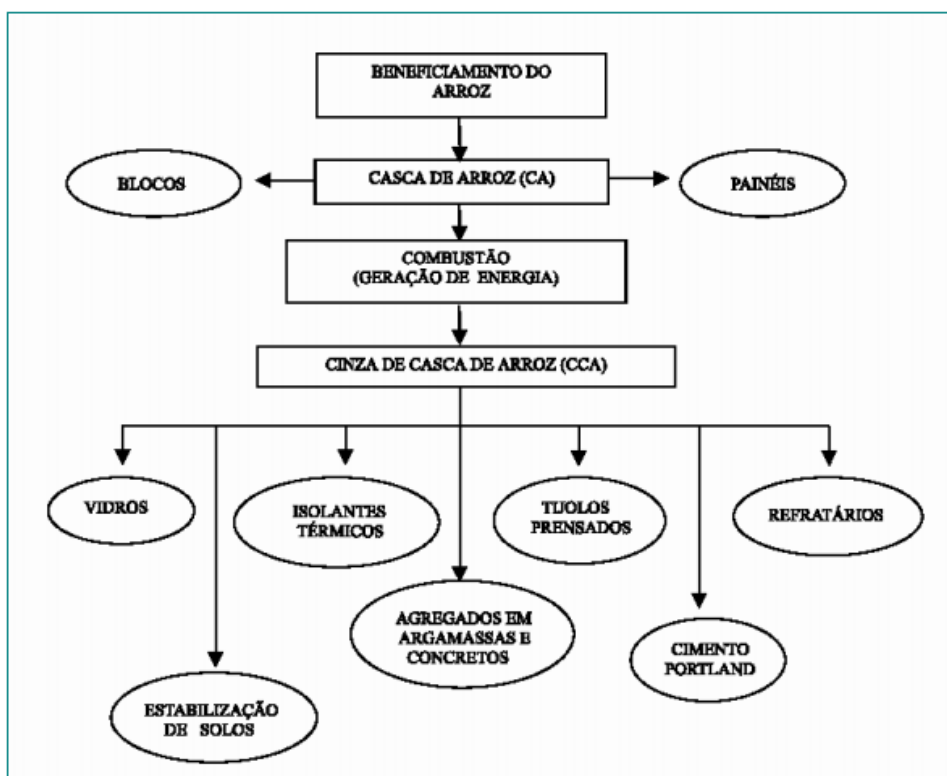


Figura 1. Diagrama de aplicação da casca de arroz (CA) e cinza da casca de arroz (CCA) resultantes do beneficiamento do arroz (Della et al., 2001).

2.5 Cinza da casca de arroz no solo

Em função da dificuldade para o aproveitamento da CCA em escala industrial, a sua utilização em solos agrícolas é a alternativa mais promissora para o aproveitamento desse resíduo. As indústrias têm colocado a CCA à disposição dos produtores a custo zero e, curiosamente, embora muitos produtores rurais já utilizem a CCA em suas lavouras, a pesquisa nessa área é incipiente.

Geralmente a CCA recebida pelos produtores é descarregada em uma área próxima à lavoura. No entanto, essa exposição da CCA aos fatores ambientais, como o vento, a chuva, dentre outros, pode provocar o carreamento da CCA para locais não desejados, como córregos e açudes, podendo causar a contaminação ambiental.

No município de Turuçu-RS, os produtores da região estão aplicando a CCA no solo, tanto em lavouras (Figura 2a) como em locais próximos a estradas (Figura 2b), formando depósitos de CCA para posterior utilização. Verifica-se que, nesta região, os produtores rurais aplicam a CCA em grandes quantidades (valores não

identificados) por não terem um conhecimento técnico-científico a respeito do efeito da CCA no solo e por consequência das dosagens ideais para aplicação.



Figura 2. Aplicação da cinza de casca de arroz (CCA) no município de Turuçu-RS: a) em lavouras de fumo b) em locais próximos a estradas. Fonte: O autor.

2.6 Nomenclaturas utilizadas

Nos trabalhos pesquisados para esse estudo, tem-se verificado o confundimento dos autores quanto a nomenclatura utilizada para denominar os resíduos gerados a partir da queima da casca de arroz. Em geral, utilizam o termo “cinza da casca de arroz” como sendo o produto obtido a partir da queima da casca de arroz, sem levar em conta o ambiente em que este foi gerado.

Lerípio (1996) sugeriu utilizar a seguinte designação:

- cinza da casca de arroz (CCA): material resultante da combustão completa da casca de arroz, obtida tão somente em fornalhas de leito fluidizado ou similares, apresentando cor branca acinzentada e granulometria fina;
- casca de arroz carbonizada (CAC): material resultante da combustão parcial da casca de arroz, processo semelhante ao usado para obter carvão vegetal, possuindo cor predominantemente preta e granulometria mais grosseira (ainda se distingue a estrutura original da casca de arroz);
- casca de arroz queimada (CAQ): resultante de uma queima ou combustão incompleta, que apresenta mistura de cinza (material completamente queimado) com

casca de arroz carbonizada (parcialmente queimado), este em maior proporção, e ainda casca de arroz *in natura*.

Neste trabalho, apesar de se utilizar o resíduo gerado da queima da casca de arroz nos fornos das indústrias, adotou-se o termo CCA por ser a terminologia mais usada na literatura.

3. MATERIAL E METODOS

3.1 Área de estudo

O experimento de campo foi realizado no Centro Agropecuário da Palma, pertencente à Universidade Federal de Pelotas, situado no município do Capão do Leão – RS, coordenadas E357.860 N6.480.490, UTM zona 22 datum WGS84. O solo da área experimental é descrito como um Argissolo Vermelho Amarelo (Severo, 1999).

A área experimental possui 1152 m², onde foram instalados 4 blocos com 12 parcelas de 24 m² cada (Figura 3). Para escolher a melhor posição de locação dos blocos experimentais, fez-se um estudo prévio baseando-se nos mapas de distribuição espacial dos valores de pH do solo e de altimetria. Para tal, foi estabelecida uma malha retangular de 100 m x 40 m, com 80 pontos georreferenciados, distanciados de 10 em 10 m na horizontal e de 5 em 5 m na vertical, onde foram coletadas amostras de solo deformadas na camada de 0,00-0,20 m, para determinação do pH do solo.



Figura 3. Localização das parcelas na área experimental com cinza de casca de arroz (CCA). Fonte: O autor.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi casualizado por blocos com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em 12 parcelas cada (6m x 4m), das quais dez corresponderam a tratamentos com doses crescentes de CCA (0; 10; 20; 30; 40; 60; 80; 100; 120 e 140 t ha⁻¹) e mais dois tratamentos de referência, sendo um tratamento denominado de testemunha absoluta (TA) e outro tratamento testemunha com calagem e adubação recomendada para a cultura (AR), de acordo com CQFS (2004).

A CCA foi colocada em cada parcela em abril de 2010, utilizando-se uma caixa de madeira de 0,80 m x 0,60 m x 0,54 m (Figura 4a), totalizando dessa forma um volume de 260,1 L. Utilizando-se a densidade média da cinza úmida como sendo de 0,184 kg L⁻¹, calculou-se que cada caixa representava 48 kg de cinza de casca de arroz (equivale a 20 t ha⁻¹ de CCA). A caixa facilitou o carregamento e a distribuição uniforme da CCA sobre a parcela (Figura 4b), já que as dosagens foram convertidas de massa seca para volume.

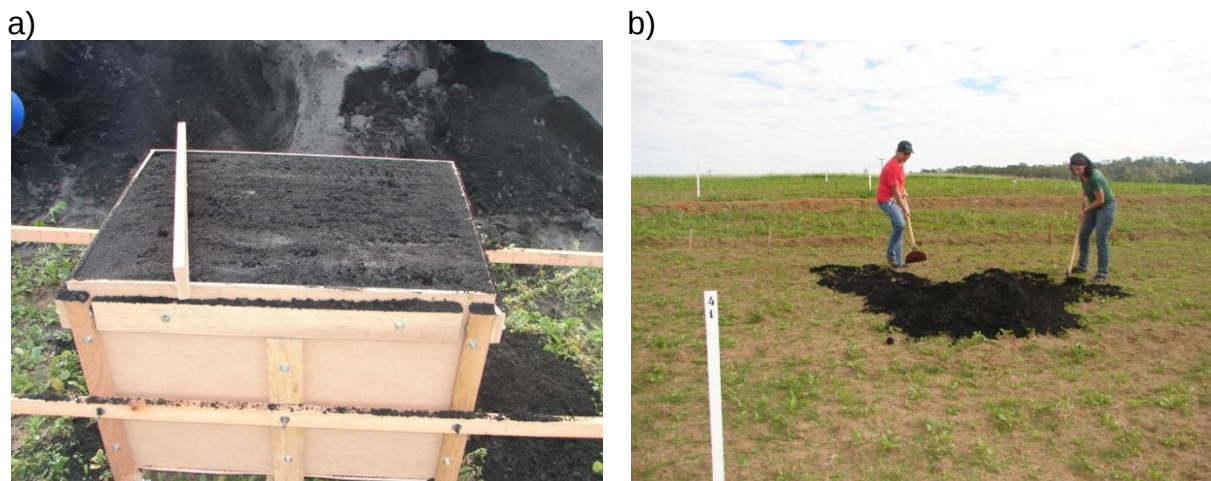


Figura 4. Caixa de madeira utilizada para medir a cinza de casca de arroz (CCA) (a) e distribuição da cinza de casca de arroz (CCA) na parcela (b). Fonte: O autor.

Nas parcelas referentes a AR, somente receberam o calcário aquelas que possuíam pH inferior a 6,0, conforme Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – CQFS RS/SC (2004). Na primeira adubação, calcularam-se os valores de fósforo (P) e de potássio (K) para adubação de correção + manutenção das parcelas (AR). Assim, as parcelas referentes à AR (9, 14, 29 e 40) receberam as seguintes doses: 0; 104,9; 145,8 e

354,1g m⁻² de calcário, 83,3 g m⁻² de fósforo (super fosfato simples) e 13,8 g m⁻² de potássio (KCl) (Figura 5a).

A incorporação da cinza, dos fertilizantes e do calcário no solo, na camada de 0,00-0,10 m, foi realizada com enxada rotativa (Figura 5b).

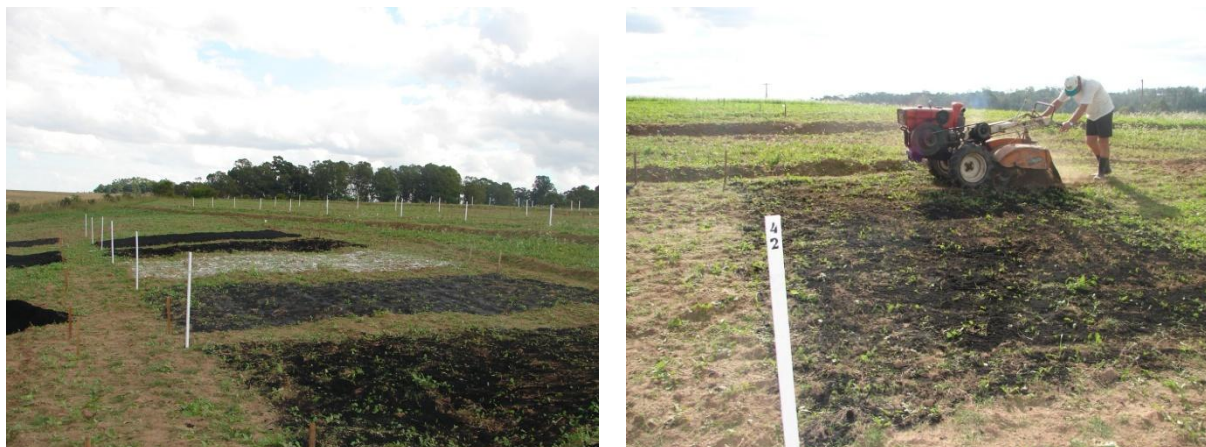


Figura 5. Parcelas com cinza de casca de arroz (CCA) e adubação recomenda (a) e incorporação da cinza de casca de arroz (CCA) com enxada rotativa (b). Fonte: O autor.

A localização dos blocos dentro da área experimental e a disposição das parcelas dentro de cada bloco com suas respectivas doses de CCA em t ha⁻¹ está representada na Figura 6.

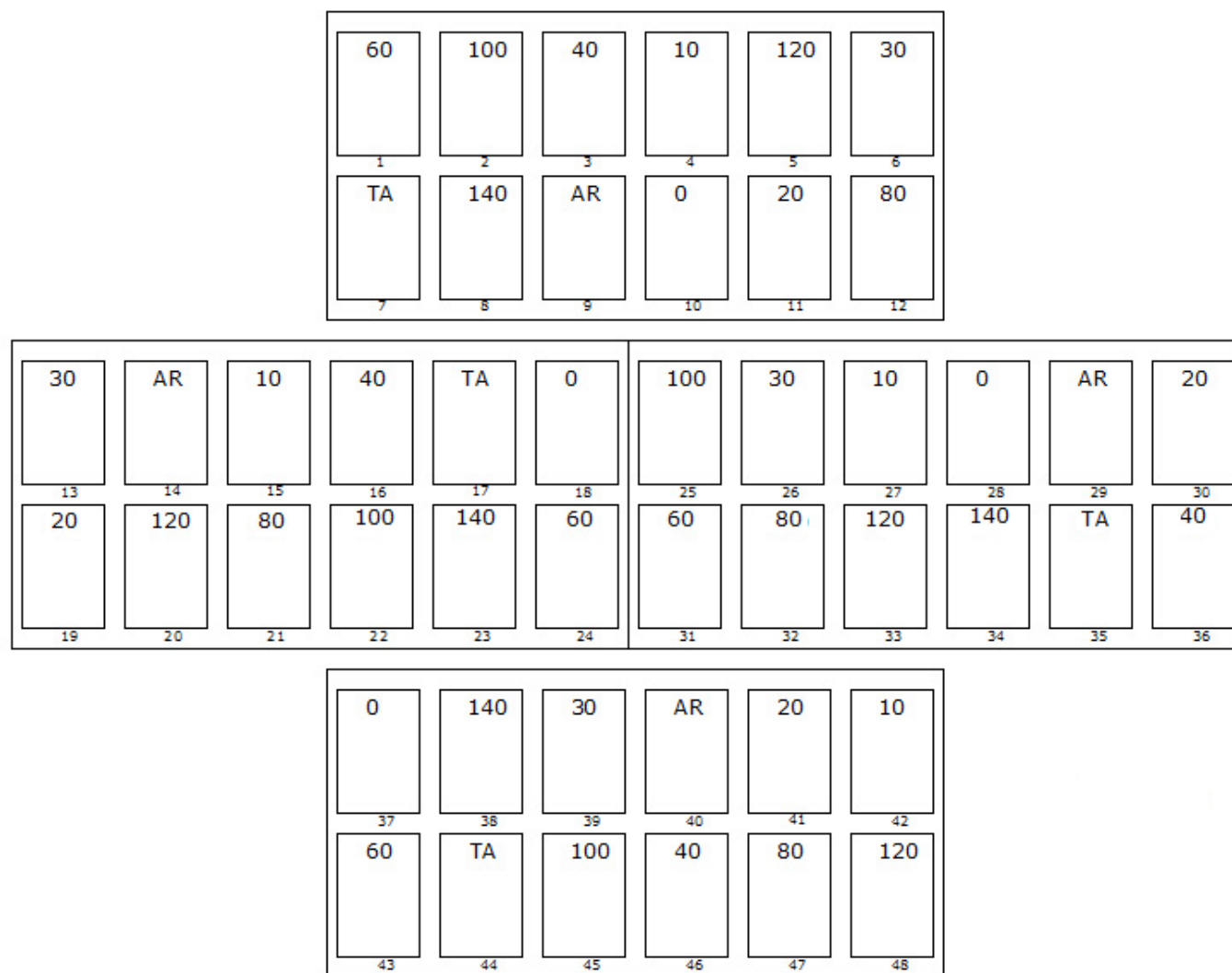


Figura 6. Croqui das 48 parcelas com suas respectivas doses de cinza de casca de arroz (CCA) em $t\ ha^{-1}$.

TA= Tratamento Absoluto e AR= Adubação Recomendada.

3.3 Semeadura da aveia preta

A primeira cultura implantada na área experimental foi a aveia preta (*Avena strigosa*) em abril de 2010, na densidade de 8 g m^{-2} . Após a semeadura a lanço (Figura 7a) e a incorporação com ancinho (Figura 7b), procedeu-se a adubação nitrogenada (Sulfato de Amônio) em cobertura, com a dose de 8 g m^{-2} .

a)



b)



Figura 7. Semeadura (a) e incorporação (b) da aveia preta nas parcelas pertencentes ao experimento com cinza de casca de arroz (CCA). Fonte: O autor.

Após o término do ciclo da aveia preta, passou-se a roçadeira em todas as parcelas e retiraram-se os resíduos de biomassa da parte aérea da aveia preta com ancinho, para posterior semeadura do feijão.

3.4 Semeadura do feijão

Na semeadura do feijão Epagro Guapo Brilhante, ocorrida em novembro 2010, utilizaram-se duas varas de 2 m, colocadas na mesma linha, cobrindo dessa maneira toda a largura da parcela. Cada vara possui 27 furos distanciados a 0,055 m cada. Em cada furo foi colocado uma semente de feijão e enterrada de maneira que ficassem todas na mesma profundidade (0,06 m) (Figura 8).



Figura 8. Semeadura do feijão nas parcelas pertencentes ao experimento com cinza de casca de arroz (CCA). Fonte: O autor.

Juntamente com a semeadura do feijão, aplicou-se 4 g m^{-2} de nitrogênio (Sulfato de Amônio) (Figura 9a). Em cada parcela foram semeadas 12 linhas de feijão, de maneira que todas as parcelas ficaram alinhadas horizontalmente (Figura 9b).

a)



b)



Figura 9. Aplicação do Sulfato de Amônio nas parcelas semeadas com feijão preto (a) e alinhamento das linhas de feijão (b) em experimento com cinza de casca de arroz (CCA). Fonte: O autor.

De acordo com CQFS RS/SC (2004) as parcelas referentes à AR, receberam uma adubação de manutenção referente a cultura do feijão, ou seja, 5 g m^{-2} de P_2O_5 e de 6 g m^{-2} de KCl. Já a adubação nitrogenada de cobertura foi realizada em dezembro de 2010, aplicando-se 4 g m^{-2} em todas as parcelas.

3.5 Coletas de solo

As coletas de solo para as análises químicas foram realizadas em todas as parcelas após 15 e 180 dias da aplicação da CCA (respectivamente primeira e segunda coleta). Para as análises físicas do solo coletaram-se amostras de solo após 9 meses da aplicação da CCA, selecionando quatro tratamentos com doses crescentes de CCA e o tratamento absoluto (TA). As camadas de solo avaliadas foram de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

O cronograma com as atividades desenvolvidas no experimento encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Cronograma das atividades desenvolvidas no experimento

Data	Atividade
11/03/10	Demarcação dos blocos
16/03/10	Construção dos terraços
12 a 16/04/10	Incorporação da cinza, calcário e fertilizantes
	Semeadura da aveia preta
25/04/10	Germinação da aveia
30/04/10	1º coleta de solo para análises químicas
05/10/10	Coleta da aveia
22/10/10	Roçada da aveia
10/10/10	2º coleta de solo para análises químicas
19/11 a 03/12/10	Semeadura do feijão
29/12/10	Aplicação de N (Sulfato de Amônio)
03/01/11	Florescimento do feijão
22/01/11	Coleta das folhas de feijão
27/01 a 31/01/11	Coleta de solo para análises físico-hídricas
05/04/11	Roçada do feijão

4. ARTIGO 1 - USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO CORRETIVO E CONDICIONADOR DO SOLO. I - ACIDEZ DO SOLO

4.1. Resumo

A cinza de casca de arroz (CCA) é produzida a partir da queima da casca de arroz proveniente dos processos de beneficiamento, podendo apresentar efeitos favoráveis sobre a correção da acidez no solo. Os objetivos deste trabalho foram quantificar o poder relativo de neutralização total (PRNT) da CCA em condições de campo e elaborar critérios técnicos que sirvam de base para a estimativa do PRNT das CCAs em geral. O experimento foi constituído por doze tratamentos compostos por dez dosagens de CCA equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 t ha⁻¹, e duas referências, sendo uma testemunha absoluta (TA) e outra com calagem e adubação recomendada (AR). Foram realizadas duas amostragens de solo aos 15 e 180 dias após a incorporação da CCA, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m para a determinação do pH em água (pH) e da saturação por bases (V %). Também se determinou o PRNT e o poder de neutralização (PN) da CCA. Os resultados mostraram que a cinza de casca de arroz atua como corretivo de acidez de solo, reagindo mais rápido que o calcário convencional, mas apresentando um PRNT baixo, da ordem de 3 %.

4.2. Introdução

A queima da casca de arroz para a geração de energia nas indústrias gera um novo resíduo constituído por uma mistura de cinza, casca carbonizada e frações de casca *in natura*. As proporções destes componentes variam em função da eficiência da combustão, no entanto, o resíduo tem sido genericamente designado como cinza de casca de arroz (CCA). Em média a CCA equivale a 15 % da massa da casca utilizada no processo (Gonçalves & Bergmann, 2007) e não possui, por si só, um grande potencial de efeitos nocivos ao ambiente, podendo ser enquadrada na “classe II A” (resíduo não perigoso e não inerte) segundo a NBR 10004 da ABNT (2004).

Apesar disso, como a produção industrial é concentrada em áreas urbanas, o risco de poluição nestes ambientes é real, devido ao acúmulo de grandes volumes de resíduos.

Intensa atividade de pesquisa tem sido empreendida visando à utilização da CCA em vários ramos de atividade econômica. Entretanto, a maioria destes estudos tem sido conduzida em nível de laboratório, e o conhecimento científico gerado ainda não foi convertido em tecnologias apropriadas para a produção comercial (Chandrasekhar et al., 2003). Em função destas dificuldades tecnológicas para o pleno aproveitamento da CCA em escala industrial, a sua utilização em solos agrícolas é a alternativa mais sensata para dar destino para esse resíduo.

As indústrias disponibilizam a CCA aos produtores rurais a custo zero. Curiosamente, embora muitos produtores já utilizem a CCA em suas lavouras, a pesquisa nesta área é incipiente e enquanto alguns produtores a utilizam de forma indiscriminada, outros tem mostrado receio de usá-la devido à carência de informações seguras. Agrônomos da rede oficial de extensão rural têm comprovado *in loco* os efeitos benéficos da CCA no desenvolvimento das culturas, mas, diante da quantidade que alguns produtores aplicam ao solo, levantam uma questão crucial: qual o limite de dosagem que pode ser aplicado sem causar efeito nocivo às plantas e/ou ao solo?

Em princípio, o limite de dosagem depende dos efeitos da CCA sobre os atributos do solo. Ela pode aumentar o pH e a disponibilidade de nutrientes (Silva et al., 2008; Pinto et al., 2009; Sandrini, 2010) assim como pode afetar atributos físico-hídricos do solo. A magnitude desses efeitos depende das características da própria CCA e do solo, da dosagem da CCA e da interação entre o solo e a CCA. Entre os efeitos citados, o aumento de pH é o mais imediato e abrangente por afetar vários outros atributos e processos no solo e, por isso, pode servir como guia inicial para estabelecer o limite de dosagem de uma determinada CCA que um solo pode receber. Para estimar o efeito da CCA no pH de um solo é necessário conhecer a sua capacidade de correção de acidez em termos quantitativos.

A capacidade de um material corrigir acidez é função do teor de bases que possui e da reatividade destas bases no solo. Nos calcários, que são corretivos de acidez convencionais, o teor de bases é expresso como equivalente CaCO_3 ou poder de neutralização (PN) e a eficiência relativa ou reatividade (RE) é estabelecida em função da granulometria do calcário (Van Raij, 2011). Quanto menor o tamanho das partículas, mais rápida é a reação de solubilização e correção da acidez. O PN pode ser determinado em laboratório medindo a quantidade de ácido que uma amostra neutraliza e a RE pode ser estimada a partir da

granulometria (Tedesco et al., 1995). Com estes dois índices pode ser calculado o PRNT (poder relativo de neutralização total) (Van Raij, 2011), também denominado de ECCE (equivalente carbonato de cálcio efetivo), através da relação $PRNT = PN \times RE / 100$, na qual todas as variáveis são expressas em porcentagem. O PRNT é o indicador da capacidade do calcário corrigir acidez, utilizado nos cálculos de dosagem deste insumo a ser aplicado no solo.

Em princípio, o PN da CCA pode ser determinado em laboratório pelo mesmo método usado para os calcários, medindo a quantidade de ácido que uma amostra pode neutralizar, mas a RE não, porque as partículas de diferentes tamanhos diferem também na composição química, ao contrário do que é pressuposto verdadeiro para os calcários. Sem conhecer a RE não é possível calcular o PRNT. Entretanto, é possível estimar o PRNT da CCA experimentalmente comparando o efeito da CCA no pH do solo ao de um calcário com PRNT conhecido. Pinto et al. (2009) avaliaram o PRNT de uma CCA em um experimento fatorial em laboratório cruzando níveis de uma mistura de $CaCO_3$ e $MgCO_3$ PA com níveis de CCA. O valor do PRNT da CCA assim obtido foi 2,78%. É um valor baixo e pode ser muito diferente em condições de campo. Com este valor determinado experimentalmente e o valor do PN determinado analiticamente é possível estimar a RE.

Os objetivos deste trabalho foram quantificar o PRNT de uma CCA em condições de campo e elaborar critérios técnicos que sirvam de base para a estimativa do PRNT das CCAs em geral.

4.3. Material e Métodos

O experimento de campo foi conduzido no Centro Agropecuário da Palma da Universidade Federal de Pelotas, no município de Capão do Leão – RS, coordenadas E357.860 N6.480.490, UTM zona 22 datum WGS84. O solo da área do experimento é um Argissolo Vermelho Amarelo (Severo, 1999) de textura franco-arenosa (Tabela 1), que tem sido utilizado nas últimas décadas com pastagem nativa para gado de leite.

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo do experimento nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

pH H ₂ O	CO	Cátions trocáveis				CTC pH 7,0	V	Argila	Silte	Areia
		K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺					
	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%		g dm ⁻³	
		0,00-0,10m								
5,54	11,30	1,64	23,60	10,51	0,80	76,19	49,17	169,3	224,4	606,3
		0,10-0,20m								
5,23	9,85	1,21	27,4	11,30	0,82	70,56	59,12	192,9	220,0	586,9

CO= carbono orgânico, V= saturação por bases.

O experimento foi constituído por doze tratamentos compostos por dez dosagens de CCA equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 t ha⁻¹, e duas referências, sendo uma testemunha absoluta (TA) e outra com calagem e adubação recomendada (AR). O tratamento AR consistiu de calagem para atingir pH= 6,0 e adubação recomendada para a cultura da aveia de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – CQFS RS/SC (2004) e o tratamento TA consistiu da manutenção do solo no estado inicial, sem adubação e calagem e sem culturas.

As unidades experimentais foram parcelas de 6 x 4 m (24 m²) arranjadas de acordo com o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Antes de instalar o experimento foi realizado o mapeamento da variação do pH na área experimental, amostrando o solo numa malha de 10 x 10 m, na profundidade de 0,20 m, para locar os blocos de modo a se obter a menor variação possível de pH dentro de cada bloco. Após esta amostragem a área inteira foi lavrada e gradeada, construindo-se dois terraços de base estreita para conter a erosão que era visível na área antes da lavração.

A CCA utilizada foi proveniente da Irgovel Indústria Riograndense de Óleos Vegetais. Antes de ser distribuída aos consumidores esta CCA é umedecida com água residual da indústria para facilitar o transporte. Os atributos químicos da CCA constam da Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da CCA utilizada no experimento

pH	PN	Si	K	Na	Ca	Mg	Al
-- % --		----- g kg ⁻¹ -----					
8,6	0,91	410,5	11,35	6,83	6,02	4,20	0,23
C	N	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn
----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----			
72,3	0,98	2,64	3,52	7,5	480	1278	34

Na composição da CCA, o Silício (Si) foi determinado por espectrometria de fluorescência de raio X (EDX-720) no laboratório de análise e caracterização de materiais do CDTec (Centro de Desenvolvimento Tecnológico) da Universidade Federal de Pelotas. O C foi determinado através do método Walkley-Black e o N total pelo método de Kjeldhal, no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFPel, conforme Tedesco et al. (1995), assim como o pH e o PN. Para as determinações dos teores de K, Na, Ca, Mg, Al, P, S, Cu, Fe, Mn e Zn as amostras foram digeridas em ácido nítrico bidestilado e ácido fluorídrico (PA) e a determinação dos elementos foi feita por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) (*PerkinElmer optima 4300 DV*) no Laboratório de Química Industrial e Ambiental - LAQIA da Universidade Federal de Santa Maria-RS.

O PN da CCA foi determinado conforme o método geral descrito por Tedesco et al. (1995), mas utilizando HCl e NaOH menos concentrados. Devido ao baixo PN do material, os resultados com CCA foram pouco precisos, possivelmente pelo uso de ácido e base nas concentrações utilizadas para a determinação do pH de calcários, para o qual o método é descrito. Assim, após alguns testes, foram adotadas as concentrações de HCl 0,005 N e NaOH 0,005 N.

Uma quantidade aproximada de 18 t de CCA foi levada até a área experimental e depositada num monte a céu aberto ao lado do experimento. Para facilitar a medida das quantidades de CCA a serem aplicadas nas parcelas, as dosagens foram convertidas de massa seca para volume. Para tal, foi determinada a densidade da CCA na condição em que se encontrava no monte, coletando-se de modo aleatório 9 amostras em diferentes posições e com teores de umidade

diferentes. Foi constatado que o teor de umidade não afetou a densidade (Figura 1) e a densidade média calculada foi $0,184 \text{ t m}^{-3}$.

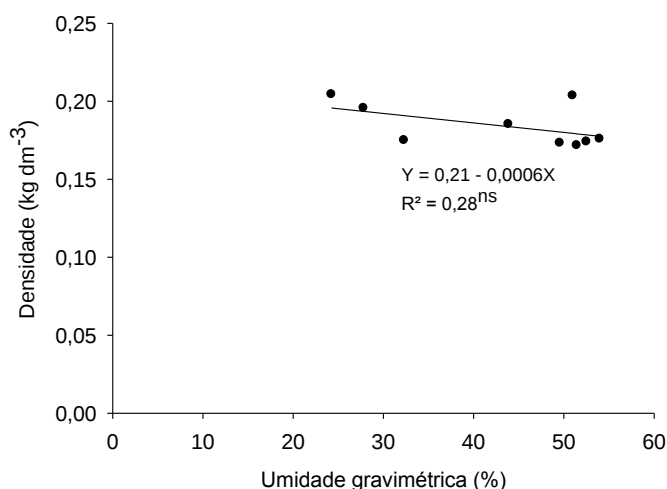


Figura 1. Densidade da CCA (massa seca a 110°C) em função do seu teor de umidade. ns: não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Para distribuir a CCA nas parcelas foi utilizada uma caixa de madeira construída com a medida exata de $0,80 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 0,54 \text{ m}$, para conter a quantidade de CCA de uma parcela equivalente a dosagem de 20 t ha^{-1} . As demais dosagens foram múltiplas e submúltiplas do conteúdo de uma caixa. A CCA assim medida foi espalhada na superfície de cada parcela e então incorporada à camada superficial de $0,00\text{-}0,10 \text{ m}$ com enxada rotativa.

Para os cálculos de calagem e adubação no tratamento correspondente, após a demarcação do experimento foram coletadas amostras de solo nas parcelas referentes ao tratamento AR, nas quais foram determinados pH em água e SMP e os teores de P e K extraíveis pelo método Mehlich-1, conforme Tedesco et al. (1995). Nas parcelas de todos os blocos os teores de P enquadraram-se na faixa “muito baixo” e os de K na faixa “médio”, de acordo com os critérios de interpretação da CQFS RS/SC (2004). Os valores do pH SMP foram 6,7; 6,6; 6,5 e 6,1 respectivamente nos blocos 1, 2, 3 e 4. Com esses dados, estimou-se as necessidades de calcário (PRNT=100%) visando atingir pH 6,0, equivalentes a zero (o pH em água dessa parcela era 5,95); 0,8; 1,1 e $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico com PRNT= 76,2 % (CQFS RS/SC, 2004). Com relação ao fósforo e ao potássio, aplicaram-se nas parcelas do tratamento AR quantidades equivalentes de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e 80 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto

de potássio, que correspondem à soma da adubação de correção total e da manutenção para aveia preta, conforme CQFS RS/SC (2004).

No mesmo dia que foi feita a incorporação da CCA, calcário e fertilizante foi realizada a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) a lanço (8 g m⁻²) e incorporada com ancinho.

As amostras de solo para avaliação do efeito da CCA como corretivo da acidez foram coletadas em duas épocas diferentes. A primeira coleta foi realizada aos 15 dias e a segunda, aos 180 dias após a aplicação (daa) da CCA, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, em duas amostragens independentes. Cada amostra foi composta de 6 subamostras por parcela, coletadas com trado calador. As amostras foram secas em estufa a 60°C até peso constante, destorroadas manualmente com rolo de madeira e passadas em peneira de 2 mm antes de efetuar as análises químicas.

Nas amostras assim preparadas foram determinados o pH em água (1:1), os teores de K, Na, Ca, Mg e Al trocáveis e os de H+Al titulável conforme os métodos descritos por Tedesco et al. (1995). A saturação de bases (V %) foi calculada a partir das variáveis analisadas. Os valores do PRNT da CCA foram estimados a partir das curvas de resposta do pH às doses de CCA e dos valores de pH atingidos no tratamento com calcário.

Os dados referentes aos atributos químicos foram analisados por meio de regressões entre as variáveis e as doses de CCA, utilizando o programa computacional Sigma-Plot (Sigmaplot, 2004).

4.4. Resultados e Discussão

Efeito da CCA no pH do solo

A CCA aumentou o pH do solo, concordando com os resultados obtidos por Pauletto et al. (1990), Pinto et al. (2009) e Sandrini (2010). Na amostragem aos 15 daa de CCA o aumento foi mais acentuado na camada de 0,00-0,10 m, na qual o pH atingiu o valor de 7,78 na maior dose aplicada, e menos acentuado na camada de 0,10-0,20 m, na qual atingiu o valor de 5,81 na maior dose de CCA (Figura 2a). Na amostragem realizada aos 180 daa o efeito da CCA no pH diminuiu na camada 0,00-0,10 m e aumentou na camada 0,10-0,20 m, em relação à primeira amostragem, a

ponto de não haver diferença significativa entre as camadas dentro de cada dose de CCA (Figura 2b). Nas médias de pH das duas profundidades, que representam o pH da camada de 0,20 m, não há diferença significativa entre as duas épocas de amostragem dentro de cada dose de CCA. Com a maior dose de CCA aplicada (140 t ha^{-1}) o pH da camada 0,00-0,20 m atingiu o valor de 6,65 na amostragem dos 15 daa e de 6,84 na amostragem dos 180 daa (Figura 2c e 2d).

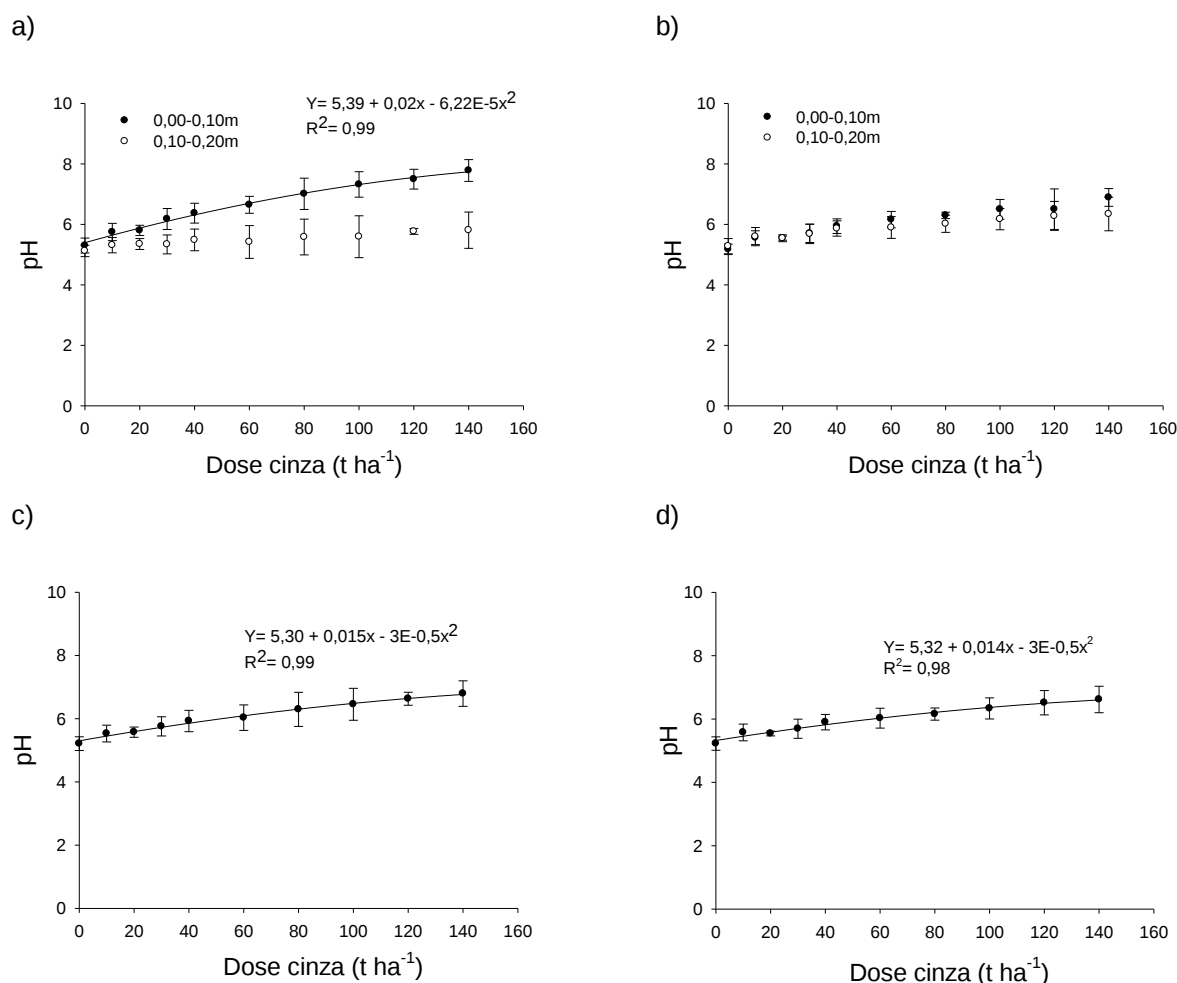


Figura 2. Relação entre as doses de cinza de casca de arroz (CCA) e o pH do solo nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m aos 15 daa (a), 180 daa (b), a média de 0,00-0,20 m aos 15 daa (c) e a média de 0,00-0,20 m aos 180 daa (d).

O efeito da CCA na saturação de bases é coerente com o efeito observado no pH: a porcentagem de saturação de bases (V) aumentou com a aplicação de CCA. Entretanto, a relação $V \times \text{pH}$, elaborada com os dados das 10 doses de CCA na camada de 0,00-0,10 m é diferente entre as duas épocas de amostragem (Figura 3a,b).

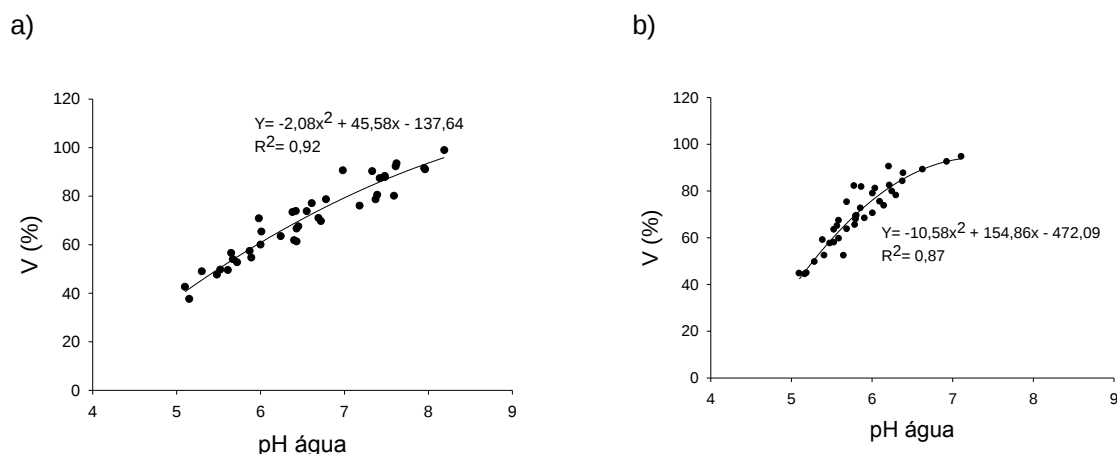


Figura 3. Relação entre a saturação por bases (V) e o pH do solo (água 1:1) na camada de 0,00-0,10 m, aos 15 (a) e 180 (b) dias após a aplicação da cinza de casca de arroz. Os dados são das 10 doses de CCA nos 4 blocos.

Nas amostras coletadas aos 15 dias os valores de V atingidos na faixa dos maiores valores de pH são incompatíveis para os solos da região, conforme os dados de Nachtigall & Vahl (1991). De acordo com estes autores, para atingir pH 6,0, por exemplo, o Argissolo do experimento deveria possuir saturação de bases da ordem de 85%, mas na primeira amostragem este pH foi alcançado com saturação de bases ao redor de 60% (Figura 3a). Na segunda amostragem, o pH 6,0 foi alcançado com saturação de bases próximo de 80 %, o que é compatível com o esperado de acordo com Nachtigall & Vahl (1991).

O fato da saturação de bases não ter aumentado na mesma proporção que o pH aos 15 dias de CCA indica uma dissintonia entre estes dois efeitos. É possível que as bases ainda não tivessem dissolvido em proporções suficientes, neste curto espaço de tempo, para aumentar V% de forma proporcional ao pH. Os aumentos verificados no pH podem ser simplesmente resultantes da média ponderada do pH da mistura solo-CCA na camada de 0,00-0,10m. Considerando uma condição hipotética em que não houvesse nenhuma reação entre a CCA e o solo, o pH da mistura dos dois poderia ser estimado pela média ponderada usando os volumes e o pH de cada componente (solo e cinza). Fazendo esta estimativa para a maior dose de CCA (140 t ha^{-1}), que corresponde a $76 \text{ dm}^3 \text{ m}^{-2}$, misturada à camada superficial de 0,00-0,10m (volume de solo = $100 \text{ dm}^3 \text{ m}^{-2}$) e considerando o pH da CCA 8,5 e o do solo 5,3, chega-se a um pH da mistura solo-CCA de 6,68. Este valor é praticamente o mesmo que o pH medido na camada superficial aos 15 dias, que foi

6,65. Isto é compatível com a hipótese de que aos 15 daa as bases da CCA ainda não tinham reagido completamente no solo.

Efeito do calcário no pH do solo

Para avaliar o efeito do calcário na correção da acidez do solo foram comparados os valores de pH no tratamento com calagem e adubação recomendada (AR) com os valores desta variável observados na testemunha absoluta (TA) nas duas camadas e épocas de amostragem, através de uma análise estatística independente dos tratamentos com CCA. Para tal não foram incluídos os dados do bloco 1 pois neste não foi aplicado calcário no tratamento AR porque o pH inicial na parcela correspondente era 5,95.

Aos 15 daa o calcário teve efeito muito pequeno na camada superficial de 0,00-0,10 m e nulo na camada de 0,10-0,20 m, comparando o pH no tratamento AR com o tratamento TA (Tabela 3). Na amostragem feita aos 180 daa, o pH atingiu o valor preconizado (6,0) na camada superficial mas também aumentou na camada 0,10-0,20 m em relação à testemunha e em relação à amostragem dos 15 daa (Tabela 3). Na média das duas profundidades, que representa o efeito na camada de 0,00-0,20 m, o efeito foi muito pequeno até os 15 daa, mas atingiu um valor muito próximo da meta de pH 6 fixada no estabelecimento das doses de calcário nos diferentes blocos. Isto significa que o calcário de fato reagiu no solo e corrigiu o pH no período dos 180 daa.

Tabela 3. Valores de pH observados nos tratamentos testemunha absoluta (TA) e calagem e adubação recomendada (AR) nas amostragens feitas nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m aos 15 e 180 dias após a aplicação da cinza de casca de arroz (CCA). Médias dos três blocos que receberam calagem.

Camada	Testemunha absoluta (TA)		Adubação recomendada (AR)	
	15 daa	180 daa	15 daa	180 daa*
(m)	----- pH em água-----			
0,00-0,10	5,50	5,22	5,78	6,07
0,10-0,20	5,20	5,31	5,11	5,58
0,00-0,20	5,35	5,26	5,44	5,82

PRNT da CCA

O PRNT da CCA utilizada no experimento pode ser estimado por comparação da quantidade de CCA necessária para se ter o mesmo efeito no pH do solo que uma dose conhecida de calcário com PRNT conhecido. No experimento, a dose de calcário necessária para corrigir a acidez no tratamento AR foi diferente em cada bloco porque cada um tinha acidez diferente, logo, para cada bloco obteve-se uma curva de resposta do pH às doses de CCA. Com estas curvas é possível, portanto, calcular a dose de CCA necessária para alcançar o mesmo pH que o solo atingiu no tratamento AR dentro do mesmo bloco. Esta dose pode ser então comparada com a dose de calcário com PRNT 100 % aplicada.

Apenas no bloco 1 não é possível fazer esta estimativa porque a calagem não foi necessária em função do pH que já estava muito próximo de 6,0. Fazendo as estimativas deste modo, os valores de PRNT da CCA obtidos variaram entre os blocos de 2,17 a 3,43 % (Tabela 4), mas a média de 2,89 % é muito próxima do valor (2,78 %) obtido por Pinto et al. (2009) em laboratório.

Tabela 4. Necessidade de calcário com PRNT=100% (NC) estimada pelo método SMP para pH 6,0 e o pH (0,00-0,20 m) atingido aos 180 dias após a aplicação do calcário nas parcelas do tratamento AR; Equações ajustadas à resposta do pH às doses de CCA aplicadas e o PRNT da CCA estimado a partir destes dados em cada repetição (bloco) do experimento.

Bloco	AR		Equação ajustada (X=dose de CCA)	R ²	PRNT
	NC	pH			
	(t ha ⁻¹)				(%)
1	0	5,77	pH = 5,60 + 0,0124 X - 6.10 ⁻⁶ X ²	0,93	--
2	0,8	5,81	pH = 5,30 + 0,0157 X - 5.10 ⁻⁵ X ²	0,92	2,17
3	1,1	5,72	pH = 5,22 + 0,0161 X - 6.10 ⁻⁵ X ²	0,94	3,07
4	2,7	5,95	pH = 5,17 + 0,0107 X - 1.10 ⁻⁵ X ²	0,96	3,43

AR= Adubação Recomendada

Considerando que o PN da CCA é de 0,91 %, a RE é de 317,6 % ((2,89/0,91)x100). Como a RE é uma medida relativa da velocidade de reação do calcário, a CCA reage cerca de 3 vezes mais rápido do que o calcário com partículas menores que 0,3 mm. Isso é coerente com os dados observados. Não é esperado que esta reatividade variasse muito entre CCAs de diferentes origens, porque

aparentemente a velocidade de reação deste resíduo no solo não está relacionada à granulometria, como é nos calcários, mas sim à natureza química das bases que a CCA contém, que são mais solúveis. Isto, entretanto, deve ser melhor entendido em trabalhos futuros.

Do ponto de vista prático, é impensável fazer experimentos para determinar o PRNT da CCA a cada vez que uma CCA desconhecida for utilizada. Ele pode ser estimado com razoável grau de precisão usando o PN determinado em laboratório, que é um procedimento rápido e eficaz, e o valor da RE calculada no presente trabalho. Para fins práticos pode ser usada a relação $PRNT = 3 \text{ PN}$.

4.5. Conclusões

1. A cinza de casca de arroz atua como corretivo de acidez de solo. Reage muito mais rápido (reatividade da ordem de 300 %) que o calcário convencional, mas apresenta PRNT baixo, da ordem de 3 %, devido ao PN muito baixo, da ordem de 1 %.
2. A determinação do PN da CCA em laboratório pode ser feita pelo mesmo método descrito por Tedesco et al. (1995), mas usando ácido clorídrico e hidróxido de sódio menos concentrados, $0,005 \text{ mol dm}^{-3}$.
3. O PRNT da CCA pode ser estimado a partir do PN determinado em laboratório e usando o valor da reatividade de 300 %.

5. ARTIGO 2 - USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO CORRETIVO E CONDICIONADOR DO SOLO. II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

5.1. Resumo

A casca do grão de arroz é o primeiro subproduto do seu beneficiamento na indústria e vem sendo utilizada para a geração de energia, através de sua combustão. No processo de combustão é gerado um novo resíduo e tem sido genericamente designado como cinza de casca de arroz (CCA), que representa em média 15 % da massa da casca utilizada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de cinza de casca de arroz nos parâmetros químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo. O experimento foi constituído por doze tratamentos compostos por dez dosagens de cinza de casca de arroz (CCA) equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 t ha⁻¹, e duas referências, sendo uma testemunha absoluta (TA) e outra com calagem e adubação recomendada (AR). Foram realizadas duas amostragens de solo aos 15 e 180 dias após a aplicação da CCA, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m para determinação dos teores de cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na), de H + Al, C, N, P e Si e da CTC a pH 7,0. Os resultados indicaram que o aumento das doses de CCA em ambas as camadas e épocas de coleta avaliadas apresentaram efeito sobre os teores de cátions trocáveis, sendo os teores de Ca os menos afetados. A CCA não teve efeito na CTC pH 7,0, no C e no N nas duas camadas e nas duas épocas de coleta. O P e o Si aumentaram somente na primeira camada em ambas as épocas de coleta.

5.2. Introdução

Do processo de beneficiamento de arroz tem-se como resíduo a casca de arroz, que devido ao seu alto poder calorífico e custo praticamente nulo, vêm cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor e de vapor, necessários para os processos de secagem e parboilização dos grãos (Della et al., 2001). A substituição justifica-se ainda pelo alto poder calorífico da casca de arroz, que é de 3730 kcal kg⁻¹, comparável a acácia negra 4550 kcal kg⁻¹ e ao eucalipto 4525 kcal kg⁻¹ (Quirino et al., 2005), inferior ao carvão vegetal que apresenta valores em torno de 7500 kcal kg⁻¹ (Vale et al., 2002). Através dessa substituição, o problema ambiental que se constituiu o manejo e disposição da casca de arroz *in*

natura foi minimizado, embora tenha gerado outro de dimensões semelhantes, que diz respeito à casca de arroz queimada (Leripio, 1996).

A cinza da casca de arroz (CCA) é um resíduo que não é gerado diretamente no processo de beneficiamento, mas nas fornalhas responsáveis pela geração de calor para os secadores dos engenhos de arroz. No caso da geração de energia pela combustão direta, tem-se a CCA como resíduo, podendo conter até 15 % em peso de carbono residual. Se a mesma for utilizada, direta ou indiretamente, para algum fim comercial, se fechará o ciclo da industrialização do arroz, sendo possível o total aproveitamento da matéria-prima proveniente da lavoura, já que farelo, gérmen e outras partes possuem seu destino no mercado (Foletto et al., 2005).

Em função da dificuldade para o aproveitamento da CCA em escala industrial, a sua utilização em solos agrícolas é a alternativa mais promissora para o aproveitamento deste resíduo. As indústrias têm colocado a CCA à disposição dos produtores a custo zero e, curiosamente, embora muitos produtores rurais já utilizem a CCA em suas lavouras, a pesquisa nesta área é incipiente.

A aplicação de calcário na superfície do solo é necessária em algumas situações agrícolas (Freiria et al., 2008), onde normalmente ocorre a neutralização da acidez do solo, a elevação do pH, precipitação do Al^{3+} e fornecimento de Ca e Mg para as plantas, porém, alguns resultados de pesquisa têm demonstrado que a adição de cinzas e de resíduos vegetais também pode propiciar a redução do Al tóxico e favorecer o crescimento das culturas. Moyin-Jesu (2007) demonstrou que a adição de cinza de madeira possibilitou um aumento significativo da produtividade de quiabo e melhoria de atributos químicos do solo, como: teores de matéria orgânica, N, P, K, Ca, Mg e elevação do pH. Santin & Vahl. (1985); Gaviolli et al. (2007); Nolla et al. (2010) e Pinto et al. (2010) demonstraram o efeito da CCA na correção da acidez do solo e Santin & Vahl. (1985); Donega et al. (2007); Silva et al. (2008); Palma et al. (2008) no suprimento de nutrientes e no desenvolvimento das culturas através do uso de CCA.

Apesar da utilização da CCA na agricultura ser uma alternativa para o aproveitamento desse resíduo, ainda são poucos os trabalhos na área agrônômica encontrados na literatura. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de cinza de casca de arroz nos parâmetros químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo.

Tabela 2. Composição química da CCA utilizada no experimento

pH	PN	Si	K	Na	Ca	Mg	Al
-- % --		----- g kg ⁻¹ -----					
8,6	0,91	410,5	11,35	6,83	6,02	4,20	0,23
C	N	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn
----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----			
72,3	0,98	2,64	3,52	7,5	480	1278	34

Na composição da CCA, o Silício (Si) foi determinado por espectrometria de fluorescência de raio X (EDX-720) no laboratório de análise e caracterização de materiais do CDTec (Centro de Desenvolvimento Tecnológico) da Universidade Federal de Pelotas. O C foi determinado através do método Walkley-Black e o N total pelo método de Kjeldhal, no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFPel, conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995), assim como o pH e o PN. Para as determinações dos teores de K, Na, Ca, Mg, Al, P, S, Cu, Fe, Mn e Zn as amostras foram digeridas em ácido nítrico bidestilado e ácido fluorídrico (PA) e a determinação dos elementos foi feita por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) (*PerkinElmer optima 4300 DV*) no Laboratório de Química Industrial e Ambiental - LAQIA da Universidade Federal de Santa Maria- RS.

No mesmo dia que foi feita a incorporação da CCA, calcário e fertilizantes foi realizada a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) a lanço (8 g m⁻²) e incorporada com ancinho.

As amostras de solo para avaliação do efeito da CCA como corretivo da acidez foram coletadas em duas épocas diferentes. A primeira coleta foi realizada aos 15 dias e a segunda, aos 180 dias após a aplicação (daa) da CCA, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, em duas amostragens independentes. Cada amostra foi composta de 6 subamostras por parcela, coletadas com trado calador. As amostras foram secas em estufa a 60 °C até peso constante, destorroadas manualmente com rolo de madeira e passadas em peneira de 2 mm antes de efetuar as análises químicas.

Nas amostras de solo foram determinados os teores de cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na), de H + Al, C, N e P conforme os métodos descritos por Tedesco et al. (1995). A CTC a pH 7,0 foi calculada a partir das variáveis analisadas. O Si foi determinado pelo método descrito por Korndörfer et al. (1999b).

O Ponto de Efeito Salino Nulo (PESN) foi determinado segundo método proposto por Alleoni & Camargo (1993), onde os valores de PESN foram obtidos graficamente mediante o ponto de intersecção das curvas de pH para diferentes concentrações de NaCl. Para isso foram medidos 10 ml de TFSA, aos quais adicionaram-se 25 ml de NaCl (2 N, 0,2 N e 0,02 N) em seis frascos para cada concentração de NaCl, sendo uma para adição de base NaOH ($10 \text{ mol}_c \text{ l}^{-1}$) e cinco para adição de ácido ($2,5 \text{ mol}_c \text{ l}^{-1}$; $5 \text{ mol}_c \text{ l}^{-1}$; $7,5 \text{ mol}_c \text{ l}^{-1}$; $10 \text{ mol}_c \text{ l}^{-1}$; $20 \text{ mol}_c \text{ l}^{-1}$). A suspensão foi equilibrada por 72 horas e após esse período foi medido o pH.

Os dados referentes aos atributos químicos foram analisados por meio de regressões entre as variáveis e as doses de CCA, utilizando o programa computacional Sigma-Plot (SIGMAPLOT, 2004).

5.4. Resultados e Discussão

Cátions básicos do solo

A CCA afetou os teores de todos os cátions básicos trocáveis do solo (Ca, Mg, K e Na), mas a magnitude do efeito dependeu do cátion, da camada do solo e do tempo após a aplicação (Figura 1).

Na camada de 0,00-0,10 m, aos 15 daa (dias após a aplicação da CCA ao solo), o teor de Ca trocável aumentou até a dose de 100 t ha^{-1} de CCA e estabilizou ao redor de $27 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas doses maiores do que esta (Figura 1a); aos 180 daa aumentou até a dose de 40 t ha^{-1} e então estabilizou em torno de $30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 1b). Na camada de 0,10-0,20 m o teor de Ca não foi afetado pela CCA em nenhuma das épocas de amostragem (Figura 1 a,b). Esses dados revelam que aos 15 daa possivelmente o Ca da CCA ainda não havia solubilizado completamente e é possível que também não tenha solubilizado completamente até os 180 daa na camada 0,00-0,10m onde a CCA foi incorporada. Na camada subjacente de 0,10-0,20 m não houve deslocamento de Ca neste período de tempo.

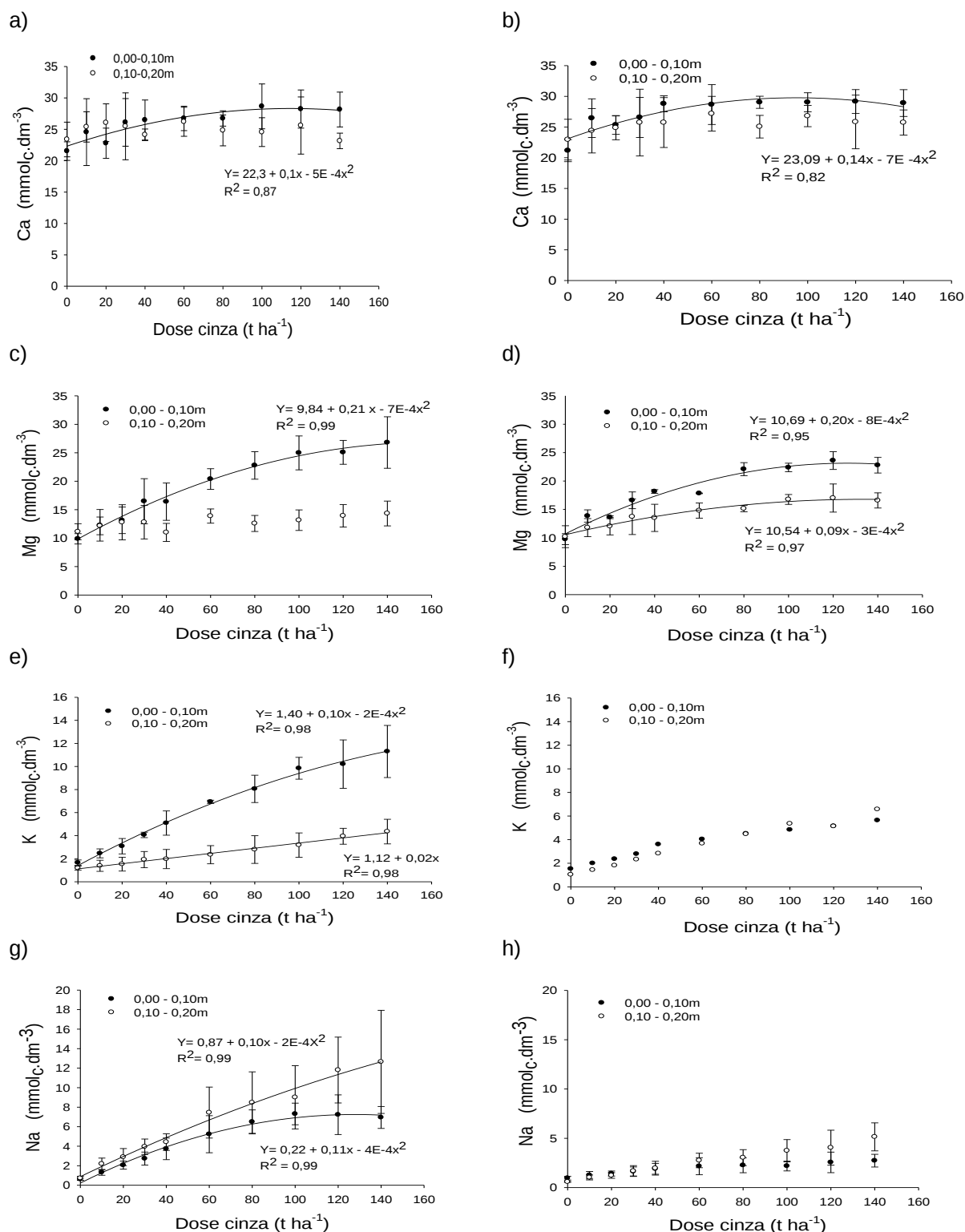


Figura 1. Relação entre doses de cinza de casca de arroz e cátions básicos trocáveis do solo nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, aos 15 daa (a, c, e, g) e 180 daa (b, d, f, h).

O teor de Mg trocável aumentou até a maior dose de CCA aplicada na camada de 0,00-0,10 m aos 15 daa, alcançando 25,5 mmol_c dm⁻³, já aos 180 daa aumentou

até a dose de 120 t ha^{-1} , mas tendeu a estabilizar a partir da dose de 80 t ha^{-1} com um valor ao redor de $23 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, menor do que aos 15 daa (Figura 1 c,d). Na camada de 0,10-0,20 m houve pequeno aumento aos 15 daa e um aumento maior aos 180 daa com as doses de CCA (Figura 1 c,d). Este aumento na camada 0,10-0,20 m entre as duas épocas de amostragem combinado com a diminuição dos teores na camada superficial durante o período, revelam o deslocamento descendente do Mg durante o mesmo.

O teor de K trocável aumentou na camada superficial de forma quase linear até a maior dose de CCA e linearmente na camada subjacente, aos 15 daa. Aos 180 daa ainda verificou-se efeito marcante da CCA, mas os teores de K diminuíram na camada superficial em relação aos 15 daa a ponto de não diferirem da camada de 0,10-0,20m (Figura 1 e,f). Na média das duas camadas, que representa o teor na camada de 0,00-0,20 m, os teores de K nas doses maiores de CCA foram menores aos 180 daa do que aos 15 daa. Isto revela que houve translocação de K entre as duas camadas.

O teor de Na também aumentou acentuadamente com a CCA aos 15 daa, mas pouco efeito restou aos 180 daa (Figura 1 g,h). Já aos 15 daa o efeito da CCA no teor de Na na camada 0,10-0,20 m foi maior do que na camada de 0,00-0,10 m, onde foi incorporada a cinza, denotando intensa mobilidade deste cátion. Aos 180 daa o efeito ainda foi nítido na camada 0,10-0,20 m, mas quase desapareceu na camada mais superficial. Na média entre as duas camadas, pouco efeito ainda restou da cinza no teor de Na na camada 0,00-0,20 m.

Dois aspectos parecem mais relevantes nos dados observados. Em primeiro lugar, o efeito menor e mais lento da CCA nos teores de Ca trocável no solo pode ser consequência deste elemento compor substâncias de baixa solubilidade presentes na cinza, ao contrário dos cátions Mg, K e Na que compõem substâncias mais solúveis, talvez sais, que dissolvem rapidamente após a incorporação da CCA ao solo. Em segundo lugar, a facilidade de lixiviação entre os quatro cátions seguiu a ordem inversa da força de adsorção destes cátions, conhecida como a série liotrópica (van Raij, 1991). Assim, o Na foi o cátion que mais lixiviou, seguido pelo K, que lixiviou mais do que o Mg e este mais do que o Ca, que praticamente não lixiviou. Chama a atenção a rapidez com que ocorreu tal lixiviação daqueles cátions, considerando que a primeira amostragem de solo foi realizada apenas 15 dias após

a incorporação da CCA ao solo, mesmo levando em conta que ocorreu uma chuva de 32,7 mm (EMBRAPA, 2011) no terceiro dia após a incorporação da cinza ao solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lima et al. (2009) que levantaram a hipótese que a carbonização da madeira, que apresenta alto teor de Si na parede celular, leva a formação de silicatos complexos de Ca, Mg, Na e K e destes, o silicato de cálcio possui a menor solubilidade.

A fração de cada cátion contida na CCA recuperada na forma trocável no solo também variou entre os cátions e com a dose de CCA. Como a relação entre o teor trocável de cada cátion e a dose de CCA foi quadrática (Figura 1), a maior taxa de recuperação foi para dose tendendo a zero. Considerando os teores dos cátions da cinza (Tabela 2), a máxima recuperação, correspondente a dose zero, na média da camada de 0,00-0,20 m, foi de 50 % do Ca, 72 % do Mg, 40 % do K e 73 % do Na e esta recuperação diminuiu com a dose atingindo 11 % do Ca, 40 % do Mg, 32 % do K e 44 % do Na, na maior dose utilizada no experimento (140 Mg ha^{-1}) (Figura 2). Na média das doses a recuperação foi de 31 % do Ca, 55 % do Mg, 36 % do K e 59 % do Na. Isto significa que uma parte considerável dos cátions contidos na cinza não foi solubilizada no solo, provavelmente por constituírem compostos de baixa solubilidade, ou já tinham sido lixiviados, como discutido anteriormente, principalmente para Na e K. Isso indica que o teor total na cinza não é um bom indicador da disponibilização desses cátions para as plantas. Em função desta variação na recuperação na forma trocável entre os cátions, o efeito quantitativo da CCA nos teores trocáveis no solo não foi proporcional aos teores totais dos cátions na CCA. Como os teores dos elementos variam com a origem da CCA o efeito aproximado da aplicação desta no solo sobre os teores dos cátions básicos trocáveis pode ser inferido a partir das taxas médias de recuperação.

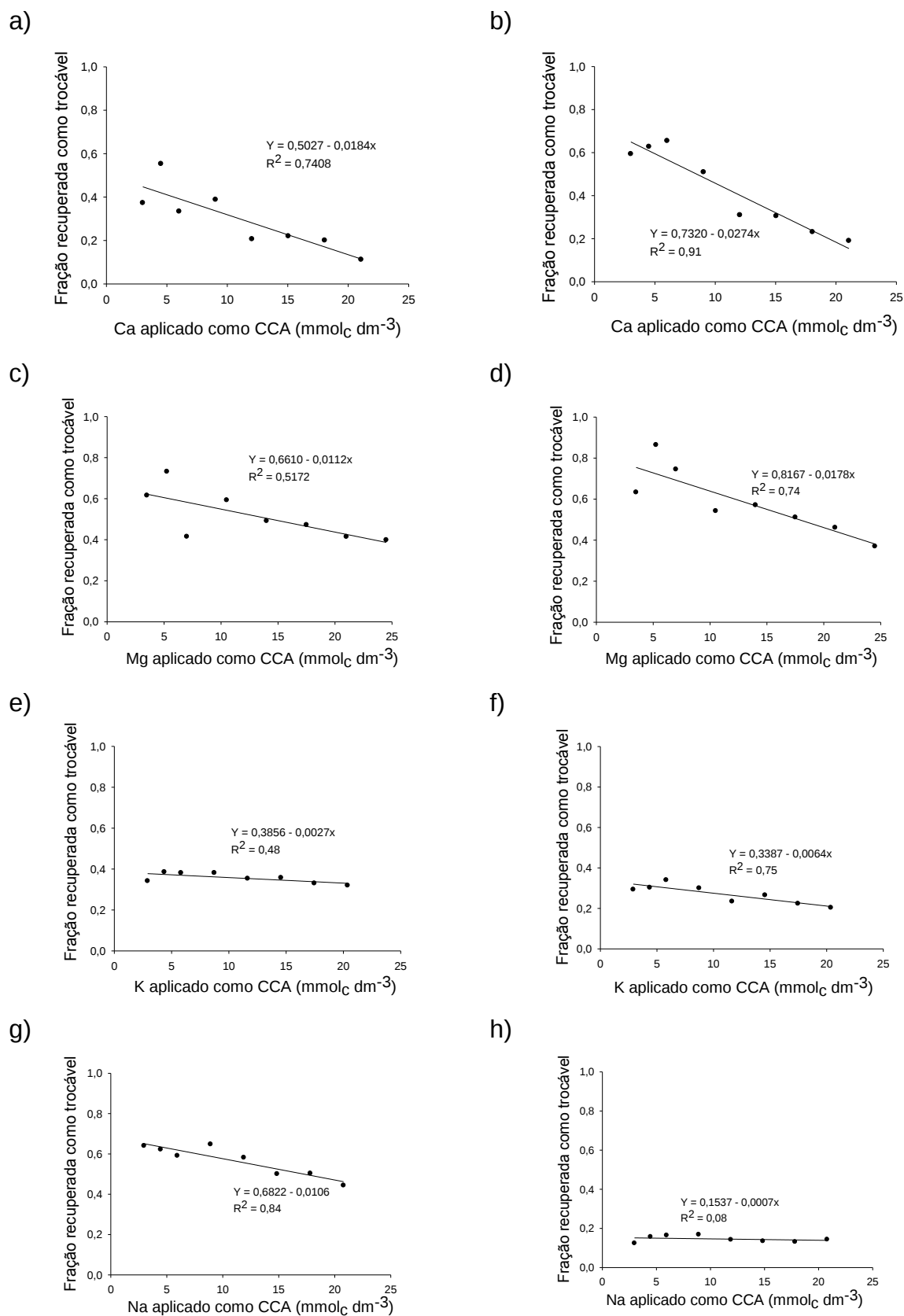


Figura 2. Relação entre as quantidades de cátions contidos na CCA aplicada e a fração de cada um recuperada na forma trocável na camada de 0,00-0,20 m aos 15 daa (a, c, e, g) e 180 daa (b, d, f, h).

Ponto de Efeito Salino Nulo (PESN)

O ponto de efeito salino nulo (PESN) aumentou significativamente de 2,24 na dose zero para 2,64 na dose de 120 t ha⁻¹ de CCA aplicada na camada de 0,00-0,10 m (Tabela 3), sendo inferiores aos trabalhos com Argissolos e Latossolos encontrados por Alves et al., 2002 (2,89 a 6,96), Chaves et al., 2008 (3,06 a 3,51) e Fernandes et al., 2008 (3,06 a 5,41). O PESN do solo depende fundamentalmente do teor e grau de decomposição da matéria orgânica e da composição mineralógica da fração argila. Valores mais altos de PESN são atribuídos a maiores teores de óxido de ferro e alumínio, e valores mais baixos, a maiores teores de caulinita e matéria orgânica (van Raij, 1973).

Tabela 3. Atributos eletroquímicos do solo na camada de 0,00-0,10m.

Dose de CCA	pH em água	PESN	PES (mV)
0	5,36	2,24	- 180,8
40	6,37	2,49	- 229,3
80	7,05	2,61	- 260,0
120	7,56	2,64	- 286,6

PESN= ponto de efeito salino nulo; PES= potencial elétrico superficial.

Esse aumento ocorreu, provavelmente, devido à predominância de cátions Ca e Mg (Figura 1 a,c) e não em função da matéria orgânica, já que a CCA não teve efeito nesse atributo químico do solo. A adsorção específica de Ca e Mg, através de complexos de esfera interna, que ocorre com a elevação do pH, incorpora cargas positivas às superfícies sólidas do solo, diminuindo com isso a carga líquida negativa, com reflexos no aumento do PESN (Albuquerque et al., 2000).

Em todos os tratamentos, os valores de PESN encontrados foram inferiores aos do pH em água, resultando em valores negativos do potencial elétrico (PES). A aplicação de CCA elevou o potencial elétrico superficial negativo, que passou de - 180,8 mV, no tratamento com 0 t ha⁻¹ de CCA, para - 286,6 mV na dose de 120 t ha⁻¹ de CCA (Tabela 3). Os resultados encontrados nesse trabalho, assemelham-se com os de Fernandes et al. (2008) que observaram em solos com maiores valores de pH em água, maiores valores de potencial elétrico superficial negativo.

Capacidade de troca de cátions

A capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC_7), avaliada pela soma das bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) com a acidez titulável a pH 7 ($H+Al$), teve o valor médio de $75,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e não foi afetada pela CCA em nenhuma das camadas ou épocas de amostragem (Figura 3 a,b).

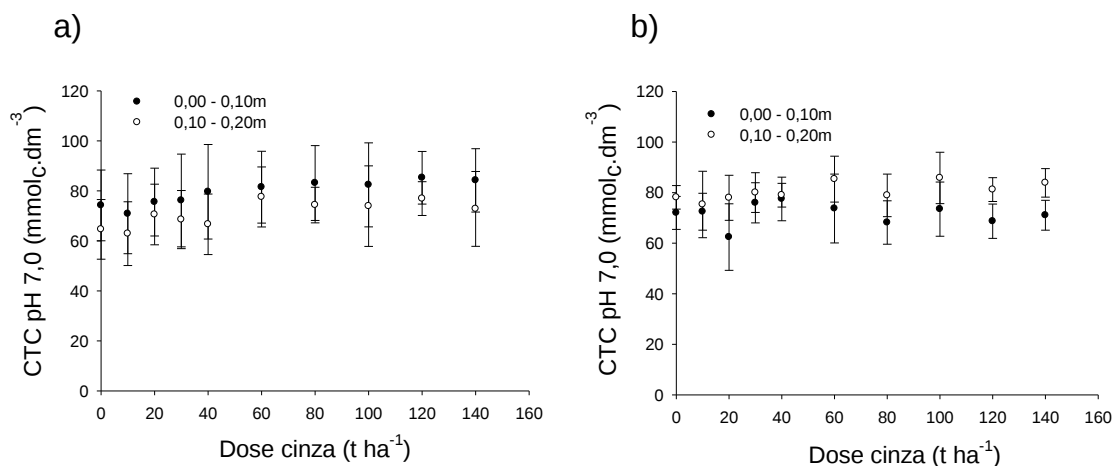


Figura 3. Relação entre doses de cinza de casca de arroz e CTC pH 7 do solo nas camadas de 0,00-0,10m e de 0,10-0,20m, aos 15 daa (a) e 180 daa (b).

A ausência de efeito da CCA na CTC_7 mesmo em doses tão altas quanto 140 t ha^{-1} induz a inferir que a CTC da CCA seja semelhante à do solo usado, pois se fosse muito maior ou muito menor teria aumentado ou diminuído a CTC_7 do solo. A densidade da terra fina seca em estufa (TFSE) usada para as análises diminuiu linearmente de 1,21 para $0,90 \text{ kg dm}^{-3}$ entre a dose zero e 140 t ha^{-1} de CCA, ou seja, uma quantidade significativa de partículas de solo cederam espaço para partículas de cinza (com baixa densidade) ou espaço poroso e isto não teve efeito na CTC.

Carbono orgânico (CO) e Nitrogênio total (N)

A CCA não afetou os teores de CO e de N do solo (Figura 4). A ausência de efeito no N era esperada devido ao baixo teor do elemento na CCA, apenas $0,98 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2). Com este teor, na dosagem de 140 t ha^{-1} o aumento estimado de N na camada de 0,00-0,10 m, na qual o material foi incorporado, seria de $0,14 \text{ g dm}^{-3}$,

o que representa apenas 7 % do teor médio no solo, dentro da faixa do erro experimental.

O teor de C da CCA, entretanto, é muito maior do que do N ($72,3 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2) e com a dose de 140 t ha^{-1} geraria um acréscimo equivalente a $10,12 \text{ g dm}^{-3}$ de carbono, que é da mesma ordem de grandeza que o teor de CO do solo. Mesmo considerando o efeito da cinza na densidade do solo, o que diminuiria o impacto da CCA no teor de carbono por unidade de volume de solo, se o carbono contido neste material fosse orgânico, deveria ter efeito significativo. A ausência deste efeito é um indicativo de que o carbono presente na cinza não esteja na forma orgânica e obviamente não detectável na análise de solo tratado com CCA.

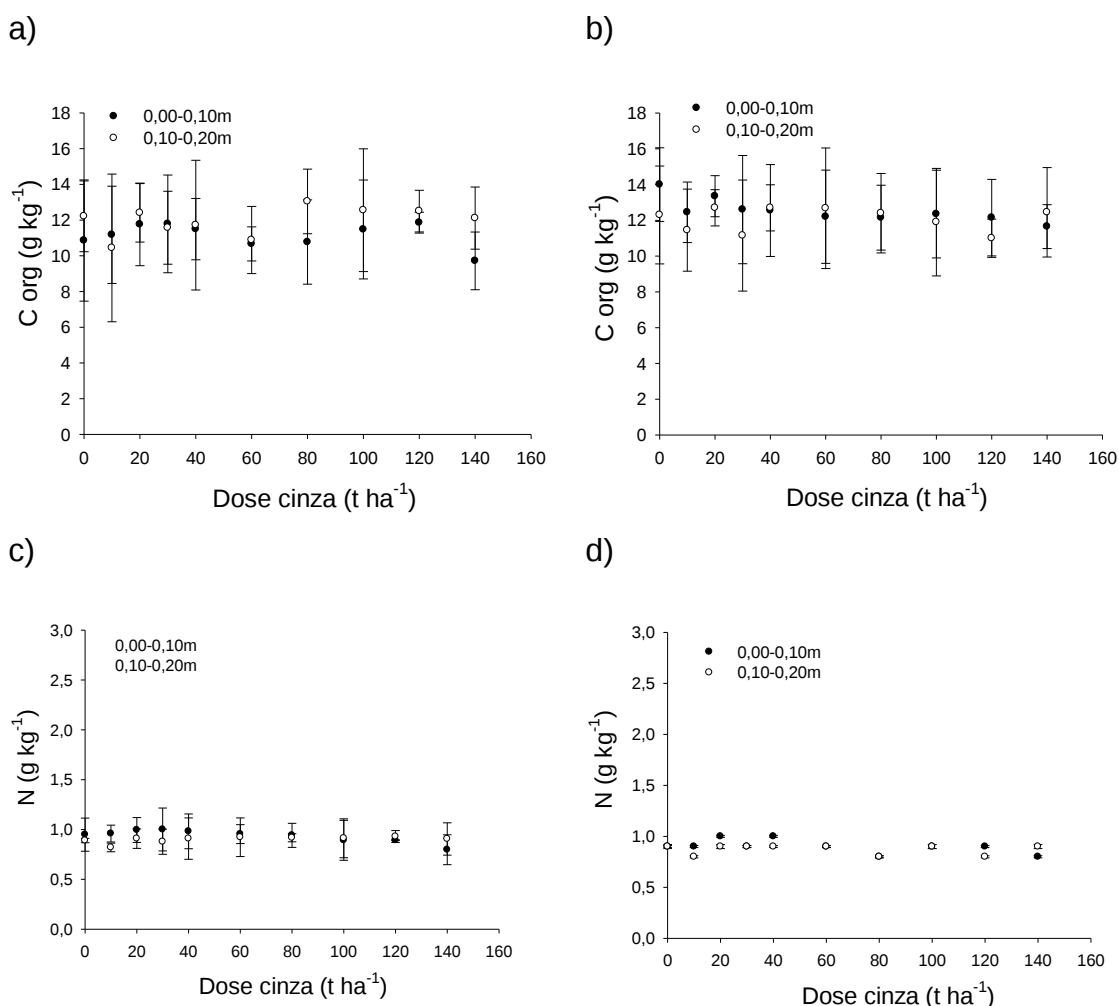


Figura 4. Relação entre doses de cinza de casca de arroz e carbono orgânico (CO) e nitrogênio (N) do solo nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, aos 15 daa (a e c) e aos 180 daa (c e d).

Silício (Si) e Fósforo (P)

O teor de silício no solo extraível pelo acetato de amônio aumentou com a dose de CCA aos 15 daa na camada superficial de 0,00-0,10 m segundo um modelo de acréscimos decrescentes com as doses sucessivas de cinza, tendendo para um valor máximo de 47 mg dm^{-3} atingível numa dose 216 Mg ha^{-1} de acordo com a equação quadrática ajustada (Figura 5a). Na camada de 0,10-0,20 m houve um pequeno efeito linear da CCA no teor de silício extraível. Na amostragem realizada aos 180 daa, o modelo de resposta foi semelhante, mas na camada superficial o efeito da CCA foi menor e na camada de 0,10-0,20 m foi maior do que aos 15 daa (Figura 5b). Fica evidente nestes dados que houve movimento descendente de Si da camada superficial de 0,00-0,10 m, onde a CCA foi incorporada, para a camada subjacente de 0,10-0,20 m, quase imperceptível nos primeiros 15 daa e mais claro aos 180 daa. Entretanto, o aumento verificado aos 180 daa na camada de 0,10-0,20 m não compensou a diminuição das concentrações do Si na camada superficial, sobretudo nas doses mais altas de CCA, durante este tempo. Isto indica que uma fração significativa de Si solúvel em ácido acético aos 15 daa foi insolubilizada com o tempo na própria camada superficial onde foi incorporada.

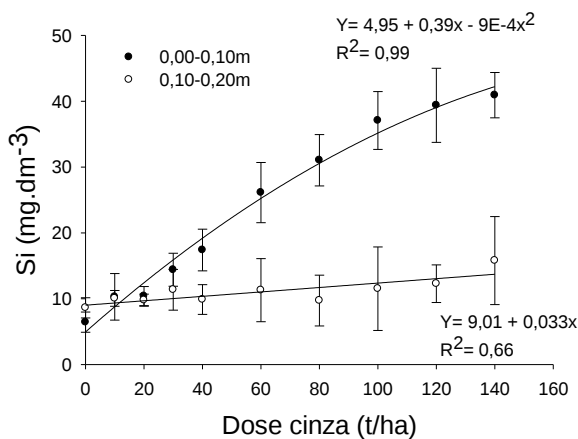
Apesar deste efeito acentuado da CCA no teor de Si no solo extraível pelo ácido acético, os aumentos verificados nestes teores constituem apenas uma pequena fração do Si total contido na CCA. Considerando que o teor total de Si na CCA utilizada era 410 g kg^{-1} , o aumento do Si extraível do solo pelo ácido acético equivaleu a 0,078 % aos 15 daa e a 0,054 % aos 180 daa de Si total aplicado, independente da dose de CCA. Esta fração é da mesma ordem de magnitude da fração do Si da CCA solúvel em água (0,056 %) constatada por Ueda et al., (2007).

O teor de P extraível pelo método Mehlich-1 aumentou de forma exponencial com a dose de CCA na camada de 0-0,10 m nas duas épocas de amostragem, mas tal efeito diminuiu com o tempo (Figura 5c,d). Na camada subjacente de 0,10-0,20 m, a CCA não afetou o P extraível em nenhuma das épocas de amostragem. Isto indica que não houve translocação descendente de P, o que era esperado em função da baixa mobilidade deste elemento no solo.

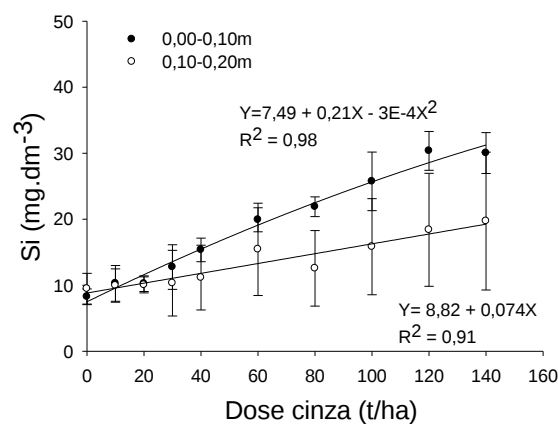
Ao contrário do Si, o aumento do P extraível promovido pela CCA representou uma fração considerável do P total contido na CCA e aumentou, linearmente com a dose, de 20 % na dose menor (10 t ha^{-1}) para 40 % na dose maior (140 t ha^{-1}). Tal

aumento da fração extraível de P com a dose de CCA pode ser atribuído ao Si da CCA. O Si pode competir com o P pelos sítios de adsorção no solo (Obihara & Russel, 1972) diminuindo a adsorção do P e, em consequência, aumentando a solubilidade deste nutriente no solo.

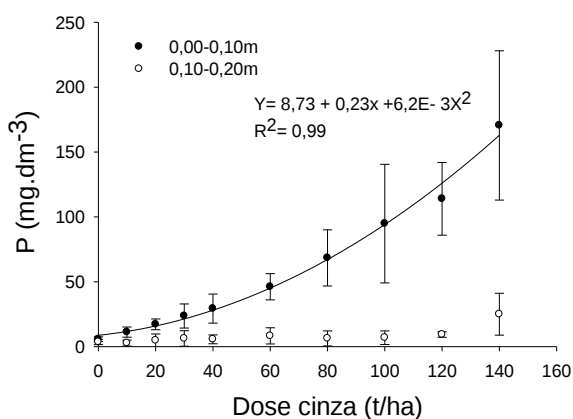
a)



b)



c)



d)

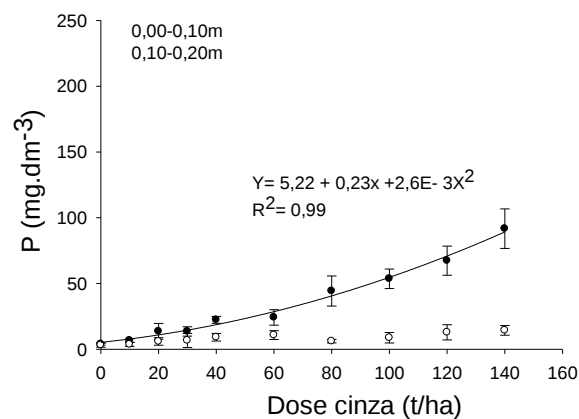


Figura 5. Relação entre doses de cinza de casca de arroz e silício (Si) e fósforo (P) do solo nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m aos 15 daa (a e c) e aos 180 daa (c e d).

5.5. Conclusões

1. A cinza de casca de arroz aumenta o PESN, torna o PES mais negativo, aumenta a CTC efetiva, mas não afeta a CTC a pH 7,0 do solo.
2. A cinza de casca de arroz não afeta os teores de Carbono Orgânico e Nitrogênio Total do solo.
3. A cinza de casca de arroz aumenta os teores de cátions trocáveis básicos (Ca, Mg, K e Na), mas não na mesma proporção dos seus teores totais na CCA; as frações de Mg e Na da CCA que são recuperados na forma trocável são maiores do que as de Ca e K.
4. A cinza de casca de arroz aumenta as disponibilidades de P e Si no solo, avaliado pelos extratores Melich-1 e Acido acético, respectivamente.
5. O aumento do Si disponível no solo, extraível pelo ácido acético, equivale a uma fração de no máximo 0,08 % de Si total da CCA, independente da dose deste material incorporado ao solo.

6. ARTIGO 3 - USO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO CORRETIVO E CONDICIONADOR DO SOLO. III - ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS

6.1. Resumo

Do processo de beneficiamento de arroz tem-se como resíduo a casca de arroz. Da combustão das cascas, resta uma mistura parcialmente queimada que pode ser utilizada como fonte de nutrientes e como condicionador de características físicas de solos. Diante desse contexto, o objetivo desse trabalho foi analisar a influência das diferentes doses de CCA nos atributos físico-hídricos de um Argissolo Vermelho Amarelo. O experimento foi constituído de três tratamentos com doses crescentes de CCA: 40, 80 e 120 t ha⁻¹, um tratamento com 0 t ha⁻¹ e um tratamento testemunha (TA). Foram coletadas amostras de solo indeformadas com o uso de anel metálico de 0,03 m x 0,047 m, nas camadas de 0,025-0,055 m e 0,125-0,155 m para representar as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente. Essas amostras foram utilizadas para determinação da densidade do solo (DS), da porosidade total (PT), da macroporosidade (Ma), da microporosidade (Mi) e da capacidade de água disponível (CAD). Amostras de solo deformadas foram coletadas para determinar a estabilidade de agregados estáveis em água e a granulometria do solo. Resultados indicaram que a cinza de casca de arroz promoveu a diminuição da densidade do solo e o aumento da porosidade total e da macroporosidade na camada de 0,00-0,10 m; não promoveu alterações na microporosidade, na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e na capacidade de água disponível do solo, em ambas as camadas; os valores do parâmetro S, da pressão de pré-consolidação e do índice de compressão na camada de 0,00-0,10 m convergem com as melhorias do espaço poroso do solo.

6.2. Introdução

O Brasil é o nono produtor mundial de arroz (FAO, 2012) e o estado do Rio Grande do Sul (RS) responde por aproximadamente 65 % dessa produção (IBGE, 2012). Grande parte da produção orizícola converge para Pelotas, onde o grão em casca é beneficiado por um considerável número de engenhos (Pauletto et al., 1990).

Do processo de beneficiamento de arroz tem-se como resíduo a casca de arroz, que devido ao seu poder calorífico e custo praticamente nulo, vem cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor e de vapor, necessários para os processos de secagem e parboilização dos grãos (Della et al., 2001).

Da combustão das cascas, resta uma mistura parcialmente queimada, com porções de casca carbonizadas e outras intactas. Esse material pode ser utilizado como fonte de nutrientes e como condicionador de características físicas de solos degradados, principalmente em pequenas propriedades (Pauletto et al., 1990). Em estudos sobre o efeito da cinza de casca de arroz (CCA) sobre propriedades físicas do solo, Karmakar et al. (2009) observaram que a densidade do solo diminuiu com aplicação deste resíduo industrial. Masulili et al. (2010) estudando o efeito de casca de arroz carbonizada e de CCA observaram que com a aplicação desses resíduos no solo houve diminuição da densidade e da resistência à penetração e o aumento da porosidade total e da disponibilidade hídrica.

Na região Sul do RS, devido à produção elevada da CCA pelas indústrias de beneficiamento, ocorre o descarte desse resíduo ao solo de forma indiscriminada, podendo gerar efeitos deletérios ao meio ambiente.

Diante desse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a influência das diferentes doses de CCA nos atributos físico-hídricos de um Argissolo Vermelho Amarelo.

6.3. Material e Métodos

O experimento de campo foi instalado em março de 2010 em uma área experimental do Centro Agropecuário da Palma, pertencente à Universidade Federal de Pelotas, situada no município do Capão do Leão, RS. As coordenadas geográficas da área são E357.860 N6.480.490, UTM zona 22 datum WGS84. O solo da área experimental é classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo (Severo, 1999).

A CCA utilizada foi proveniente da Irgovel Indústria Riograndense de Óleos Vegetais. Antes de ser distribuída aos consumidores esta é umedecida com água residual da indústria para facilitar o transporte. A caracterização química da CCA utilizada no experimento consta da Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da CCA utilizada no experimento

pH	PN	Si	K	Na	Ca	Mg	Al
-- % --		----- g kg ⁻¹ -----					
8,6	0,91	410,5	11,35	6,83	6,02	4,20	0,23
C	N	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn
----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----			
72,3	0,98	2,64	3,52	7,5	480	1278	34

Na composição da CCA, o Silício (Si) foi determinado por espectrometria de fluorescência de raio X (EDX-720) no laboratório de análise e caracterização de materiais do CDTec (Centro de Desenvolvimento Tecnológico) da Universidade Federal de Pelotas. O C foi determinado através do método Walkley-Black e o N total pelo método de Kjeldhal, no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFPel, conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995), assim como o pH e o PN. Para as determinações dos teores de K, Na, Ca, Mg, Al, P, S, Cu, Fe, Mn e Zn as amostras foram digeridas em ácido nítrico bidestilado e ácido fluorídrico (PA) e a determinação dos elementos foi feita por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) (*PerkinElmer optima 4300 DV*) no Laboratório de Química Industrial e Ambiental - LAQIA da Universidade Federal de Santa Maria- RS.

As unidades experimentais são constituídas por parcelas de 6m x 4m (24 m²), arrançadas de acordo com delineamento experimental casualizado por blocos com 4 repetições. O experimento foi constituído de três tratamentos com doses crescentes de CCA: 40, 80 e 120 t ha⁻¹, um tratamento com 0 t ha⁻¹ e um tratamento testemunha (TA), que consiste na manutenção do solo em seu estado inicial, sem adubação e calagem e sem culturas.

Foram coletadas amostras de solo indeformadas 9 meses após a aplicação da CCA, com o uso de anel metálico de 0,03 m x 0,047 m, nas camadas de 0,025-0,055 m e 0,125-0,155 m para representar as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente. Essas amostras foram utilizadas para determinação da densidade do solo (DS), da porosidade total (PT), da macroporosidade (Ma), da microporosidade (Mi) e da capacidade de água disponível (CAD). Estas coletas

foram realizadas em três pontos ao longo da parcela, situadas no canto esquerdo inferior, no centro e no canto superior direito, totalizando 12 repetições de cada tratamento, em cada camada.

As amostras indeformadas foram saturadas em água por capilaridade durante 24 h e, em seguida, colocadas em uma mesa de tensão, onde o conteúdo de água (θ) foi determinado a uma tensão de 6 kPa. As amostras foram ressaturadas sequencialmente nas tensões de 10, 33, 102 e 1530 kPa em câmara de pressão de Richards (Klute, 1986), e em seguida foram secas em estufa a 105 °C até peso constante, determinando-se o θ em cada tensão. De posse dos dados de θ , foram calculados os valores de macroporosidade (tensão de 6 kPa), microporosidade, densidade do solo (DS) e capacidade de água disponível, esta última estimada considerando-se θ ajustado nas tensões de 10 kPa e 1530 kPa, que representam, respectivamente, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

A curva de retenção de água foi descrita matematicamente por meio da equação proposta por van Genuchten (1980), como segue:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n)^m}$$

sendo: θ = conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_s = conteúdo de água na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_r = conteúdo de água residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ψ_m = potencial mátrico (kPa); α , m e n são os coeficientes de ajuste da equação, considerando m independente, através do software Soil Water Retention Curve, versão Beta 3.0 – SWRC (Dourado-Neto et al., 1996). Valores iniciais dos parâmetros da equação de van Genuchten (θ_r , θ_s , m e n) foram utilizados como sugerido por Carsel e Parrish (1988), considerando uma textura franco arenosa como a deste estudo.

A CAD foi determinada conforme Reichardt & Timm (2012).

$$CAD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \cdot z$$

onde: CAD = Capacidade de água disponível; θ_{CC} = umidade na capacidade de campo, 10 kPa ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{PMP} = umidade no ponto de murcha permanente, 1530 kPa ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); z = camada de 0,10 m.

Os valores do parâmetro “S” em módulo foram calculados pela equação abaixo, de acordo com Dexter (2004a):

$$S = -n(U_{gs} - U_{gr}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)}$$

onde: S= Parâmetro S; m e n= parâmetros da equação de van Genuchten (1980); U_{gs} = conteúdo de água na saturação (kg kg^{-1}); U_{gr} = conteúdo de água residual (kg kg^{-1});

Para os ensaios de compressão uniaxial, as amostras foram saturadas por capilaridade durante um período mínimo de 24 horas sendo então determinado seu peso e após equilibradas na tensão de 10kPa em uma câmara de Richards (Klute, 1986). Os testes de compressão uniaxial foram realizados em um consolidômetro automático Modelo CNTA-IHM/BR, fabricado por Masquetto Automação Agrícola. As amostras foram submetidas à aplicação de pressões sucessivas e estáticas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, conforme método descrito por Silva et al. (2007). Com base nesses valores, confeccionou-se a curva de compressão uniaxial para cada amostra, que consistiu na relação entre o logaritmo da pressão aplicada ($\log \sigma$) e a DS, obtendo-se assim a pressão de preconsolidação (σ_p) e o índice de compressão (IC). Para eliminar o efeito da compactação inicial do solo, as curvas de compressão foram normalizadas, dividindo-se a DS ao final da aplicação de cada carga no teste de compressão pela densidade inicial (DS/DS_i).

Amostras de solo deformadas também foram coletadas no mesmo dia e nos mesmos pontos de coleta das amostras indeformadas, com o objetivo de determinar a estabilidade de agregados estáveis em água e a granulometria do solo. Foram coletadas subamostras em cada parcela para obtenção de uma amostra composta, totalizando 4 repetições de cada tratamento em cada camada.

Para as determinações da distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e do diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) foram utilizadas amostras passadas na peneira de malha de 9,52mm, com base no peneiramento úmido, seguindo o princípio do método descrito por Kemper & Rosenau (1986) e adaptado por Palmeira et al. (1999), que utiliza o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936). Os agregados foram classificados em seis diferentes classes de tamanho: $C_1 = 9,52$ a $4,76$ mm; $C_2 = 4,75$ a $2,00$ mm; $C_3 = 1,99$ a $1,00$ mm; $C_4 = 0,99$ a $0,25$ mm; $C_5 = 0,24$ a $0,105$ mm e $C_6 <$

0,105 mm. O umedecimento dos agregados foi realizado por capilaridade e o tempo de peneiramento de 10 minutos utilizando-se a frequência de 30 oscilações por minuto.

Para a obtenção dos valores de porcentagem por classe de tamanho de agregados e DMP, utilizaram-se as equações:

- Porcentagem de agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho:

$$AGRi = \frac{MAGRi - m_i}{\sum_{i=1}^n MAGRi - m_i}$$

Onde:

AGRi = proporção de agregados estáveis em água em determinada classe i (g kg^{-1});

MAGRi = massa de agregados + material inerte na classe i (g);

m_i = massa de material inerte (cascalho, areia, raízes, restos de cultura, etc.) na classe i (g);

- Diâmetro médio ponderado:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n DMi(MAGRi - m_i)}{\sum_{i=1}^n MAGRi - m_i}$$

onde:

DMi = diâmetro médio da classe i (mm).

A distribuição das partículas do solo por tamanho e a argila dispersa em água foram determinadas seguindo o método da pipeta, descrito por Gee & Bauder (1986), onde a massa correspondente a 10 g de solo seco foi colocada em um recipiente de 1000 mL. Primeiramente, adicionou-se 250 mL de água destilada e 10 mL do dispersante hidróxido de sódio 1 N, realizando-se agitação lenta da solução por 16 horas em um agitador de oscilação horizontal. O procedimento para argila dispersa em água foi o mesmo para a argila dispersa quimicamente, entretanto, suprimindo-se o dispersante NaOH.

O grau de floculação (GF) foi determinado com base na seguinte equação:

$$GF (\%) = \left(\frac{ARG-AD}{ARG} \right) \cdot 100$$

Onde: ARG é o teor de argila e AD é o teor de argila dispersa em água, ambas em g kg⁻¹.

As amostras coletadas no TA foram utilizadas para caracterizar inicialmente os atributos físico-hídricos do solo do experimento, sendo que os valores obtidos encontram-se na Tabela 2. Ressalta-se a importância de apresentar os valores, no intuito de conhecer as condições naturais do solo, garantindo que os efeitos do manejo das parcelas experimentais e da adição das doses de CCA fossem corretamente interpretados, bem como, auxiliar em trabalhos futuros na área experimental.

Tabela 2. Atributos físico-hídricos do Tratamento Testemunha (TA) nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, após 9 meses da instalação do experimento.

Camada	DS Mg m ⁻³	PT%	Mi	Ma	Mi/Ma	Argila	Silte	Areia	Classificação textural	
0,00 - 0,10 m	1,57	48,72	28,38	20,34	1,39	16,93	22,44	60,63	Franco arenoso	
0,10 - 0,20 m	1,71	43,99	30,65	12,74	2,40	19,29	22,00	58,69		

Camada	θs m ³ m ⁻³	θr m ³ m ⁻³	α kPa ⁻¹	m	n	r ²	CAD mm	CCm ³ m ⁻³	PMP	S
0,00 - 0,10 m	0,48	0,15	0,08	0,35	0,59	0,99	9,25	0,25	0,16	0,012
0,10 - 0,20 m	0,42	0,19	0,01	0,19	0,69	0,99	9,00	0,29	0,20	0,030

Camada	σp	Ic	Agregados					DMP	
			9,72-4,76	4,75-2,00	1,99-1,00	0,99-0,25	0,24-0,105		
0,00 - 0,10 m	140,17	0,39	6,65	7,93	6,29	30,99	5,34	42,79	1,20
0,10 - 0,20 m	216,08	0,39	19,24	17,38	15,71	29,88	4,66	13,23	2,39

Os dados foram analisados por regressão polinomial, testando-se os modelos linear e quadrático com o nível de significância de 5 % pelo Teste F. Os resultados foram apresentados em gráficos com a média dos valores de cada dose de CCA, seus respectivos desvios-padrão e a curva de regressão. Para verificar a relação entre o DMP e os atributos físicos e químicos do solo foi feita a correlação de Pearson. Para as análises foi utilizado o programa computacional Sigma-Plot (SIGMAPLOT, 2004).

6.4. Resultados e Discussão

Densidade e Porosidade

Os valores de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade em função das doses de CCA, aplicadas nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m estão apresentados na Figura 1.

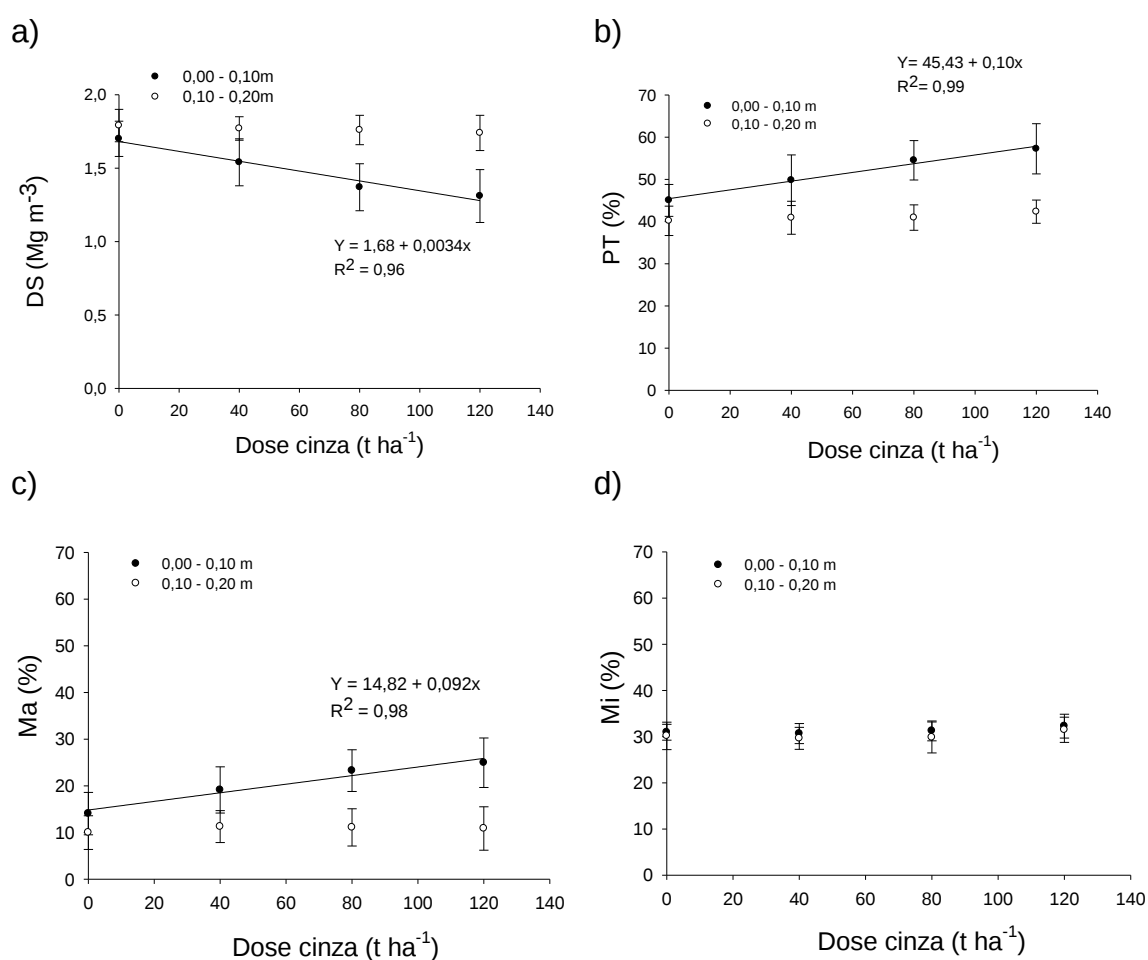


Figura 1. Densidade do solo (DS) (a), porosidade total (PT) (b), macroporosidade (Ma) (c) e microporosidade (Mi) (d) de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de cinza de casca de arroz (CCA) nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

Observa-se que o aumento das doses de CCA proporcionou uma diminuição da DS na camada de 0,00-0,10 m, de 1,68 Mg m⁻³ para 1,31 Mg m⁻³, não sendo

verificado efeito na camada de 0,10-0,20 m (Figura 1a). Esse fato pode ser explicado pela incorporação das doses de CCA pela enxada rotativa somente na camada superficial do solo, a qual não atingiu a camada subjacente. Pauletto et al., (1990) verificaram que a CCA não afetou a densidade de um Argissolo Vermelho Amarelo submetido à dose máxima de 30 t ha⁻¹. Todavia, Guerrini & Trigueiro (2004) verificaram que o aumento na proporção de casca de arroz carbonizada em um substrato, proporcionou a diminuição da sua densidade.

Na camada de 0,00-0,10m, a DS na dose 0 t ha⁻¹ foi de 1,68 Mg m⁻³, considerado um valor muito próximo ao limite crítico ao adequado desenvolvimento radicular (Figura 1a). Segundo Reichert et al. (2003) a DS para solos franco-arenosos considerada limitante ao desenvolvimento de plantas está entre 1,70 a 1,80 Mg m⁻³. Na camada de 0,10-0,20 m, onde possivelmente a cinza não foi incorporada, a DS apresenta-se próximo ao limite crítico (1,79 Mg m⁻³), implicando dificuldades na implantação de culturas agrícolas.

Na camada de 0,00-0,10 m, à medida que se elevou a dose de CCA no solo, ocorreu um aumento da porosidade total (Figura 1b) e dos macroporos (Figura 1c). Nessa mesma camada, não houve variação significativa da microporosidade (Figura 1d) com o aumento das doses de CCA. Na camada de 0,10-0,20 m, não houve diferença na PT (Figura 1b), Ma (Figura 1c) e Mi (Figura 1d) com o aumento das doses de cinza aplicadas ao solo.

Na tabela 3 pode-se observar que nas duas camadas em estudo, os maiores valores da relação Mi/Ma foram encontrados na dose de 0 t ha⁻¹. Na camada de 0,00-0,10 m os valores da relação de Ma/PT aumentaram com o incremento das doses de CCA e os valores da relação de Mi/PT diminuíram. Para camada de 0,10-0,20 m não observou-se efeito da adição de CCA nas relações de macro e microporos.

Tabela 3. Relação entre microporosidade e macroporosidade (Mi/Ma), macroporosidade e porosidade total (Ma/PT) e entre microporosidade e porosidade total (Mi/PT) de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de cinza de casca de arroz nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Tratamentos	Mi/Ma	Ma/PT	Mi/PT	Mi/Ma	Ma/PT	Mi/PT
	0-10cm.....			10-20cm.....		
0	0,022	0,312	0,687	0,030	0,249	0,751
40	0,016	0,384	0,616	0,260	0,276	0,724
80	0,013	0,427	0,573	0,270	0,271	0,729
120	0,013	0,436	0,564	0,290	0,257	0,744

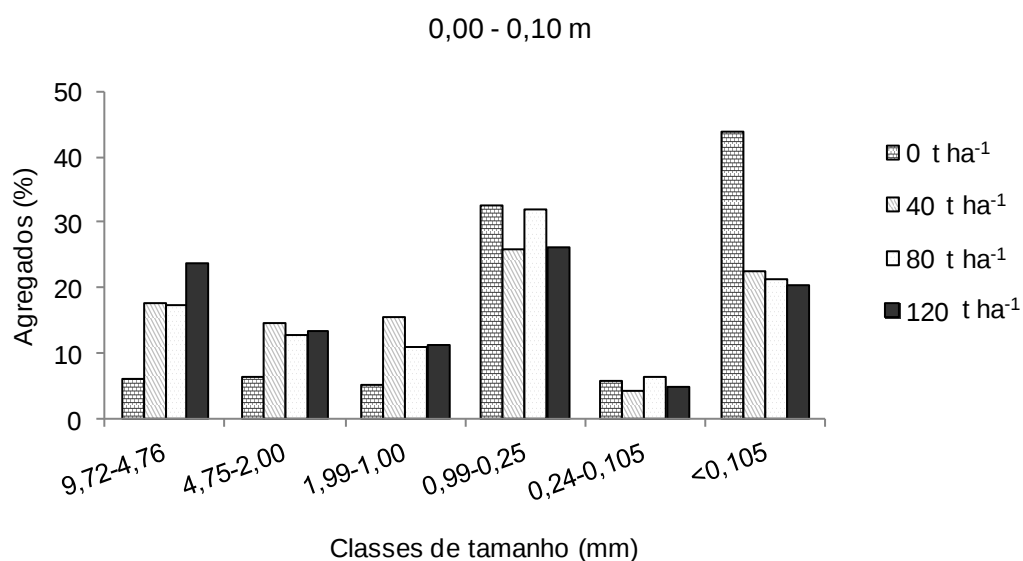
Masulili et al. (2010) observaram o efeito positivo da cinza da casca de arroz sobre propriedades físicas do solo na Indonésia, onde a sua aplicação promoveu diminuição da DS e aumento da PT.

Agregação

A distribuição percentual dos agregados estáveis em água nas diferentes classes de diâmetro, para as duas camadas estudadas, encontra-se na Figura 2. Observa uma maior concentração de agregados estáveis em água na classe entre 1,0-0,25 mm. Na Figura 2a verifica-se que a CCA aumentou a concentração dos agregados estáveis em água na camada de 0,00-0,10 m, apresentando efeito mais marcante entre as dose 0 t ha⁻¹ e 40 t ha⁻¹. Este fato pode ser verificado até a terceira classe, mantendo-se estabilizado com as doses maiores, ou seja, as maiores doses de CCA não promoveram desagregação do solo. Ainda não se observa o efeito da CCA na quarta e na quinta classe de tamanho de agregados estáveis em água para essa mesma camada.

Na camada de 0,10-0,20 m se verifica uma uniformidade da concentração dos agregados estáveis em água nas diferentes classes, apesar do aumento das doses de CCA (Figura 2b).

a)



b)

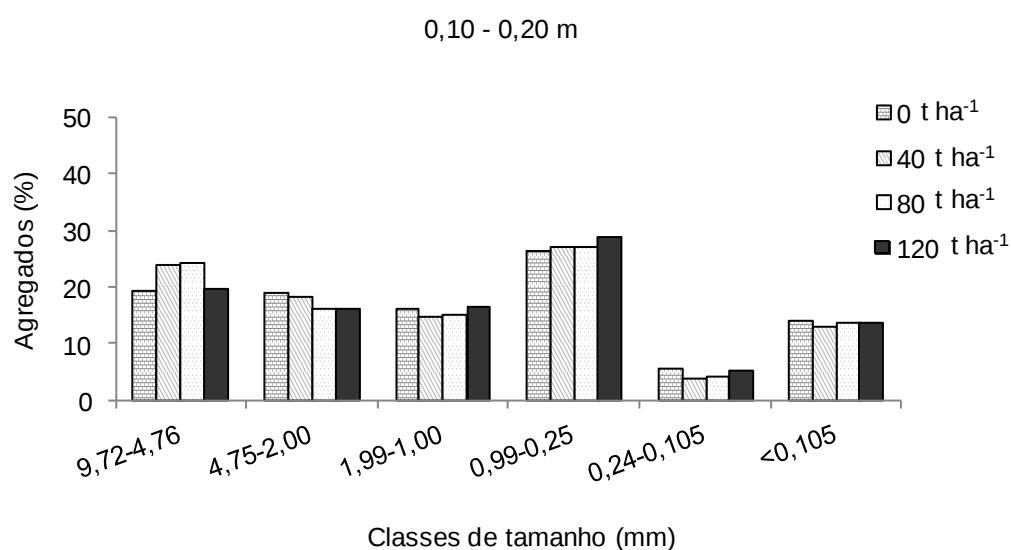


Figura 2. Distribuição dos agregados estáveis em água por classes de tamanho para diferentes doses de cinza de casca de arroz (CCA), nas camadas de 0,00-0,10 m (a) e 0,10-0,20 m (b).

Na Figura 3 observa-se que, apesar dos maiores valores de DMP apresentarem-se na camada de 0,10-0,20 m, é na camada de 0,00-0,10 m que houve efeito de CCA, ou seja, houve aumento do DMP com o aumento das doses de CCA.

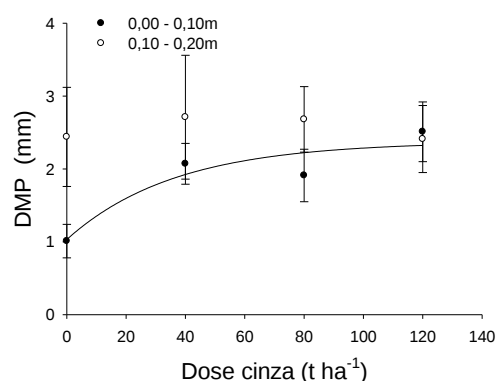


Figura 3. Relação entre doses de cinza de casca de arroz (CCA) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) nas camadas de 0,00-0,10 m e de 0,10-0,20 m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

O maior valor de DMP apresentado na camada 0,10-0,20 m deve-se ao histórico do manejo da área, que permaneceu sem ser revolvido por pelo menos 5 anos. De acordo com Conte et al. (2011) solos compactados podem apresentar elevada estabilidade de agregados em água e, conseqüentemente, maiores valores de DMP, porém as relações na distribuição entre microporos, macroporos e a porosidade total podem encontrar-se desproporcionais. Esse comportamento é observado na Tabela 3.

Observa-se na Tabela 4 que os valores de DMP correlacionaram-se positivamente com os teores de argila do solo em ambas as camadas. A argila é a fração granulométrica mais importante para a agregação do solo. Segundo Brady e Weil, (2002) os processos físico-químicos de agregação estão principalmente associados com a fração argila. A flocculação pode ser explicada pelo fato da maior parte das partículas de argila possuir superfícies carregadas com cargas negativas que normalmente atraem um grande grupo de cátions da solução do solo.

Ainda na tabela 4, observa-se que o grau de flocculação (GF), também correlacionou-se positivamente com DMP em ambas as camadas, o que pode ser explicado pelo fato do GF representar a relação entre os teores de argila e argila dispersa em água no solo. Esta relação, os teores de argila foram os mais importantes, pois a argila dispersa em água não apresentou correlação significativa com o DMP em ambas camadas (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficiente de correlação (r) e probabilidade (p) entre DMP e atributos físicos do solo: argila dispersa em água (AD); argila (Arg); densidade (DS); porosidade total (PT) e grau de floculação (GF).

		AD	Arg	DS	PT	GF
DMP	0,00 - 0,10 m					
	r	-0,02	0,46	-0,58	0,57	0,35
	p	0,924	0,009	<0,001	<0,001	0,030
	0,10 - 0,20 m					
	r	-0,1	0,305	-0,297	0,256	0,436
	p	0,507	0,039	0,045	0,086	0,002

Como observado anteriormente, na camada de 0,00-0,10 m, o incremento das doses de CCA ao solo aumentou a PT e o DMP mas diminuiu a DS. Esta relação foi confirmada na correlação do DMP com estas variáveis. O aumento do DMP do solo aumenta a PT e diminui a DS. Na camada de 0,10-0,20 m, a DS do solo, embora com o valor de r baixo (-0,29), apresentou correlação negativa com o DMP, no entanto para PT não verificou-se correlação significativa (Tabela 4).

Como demonstrado no artigo 2 figura 1a, houve incremento nos cátions trocáveis com doses crescentes de CCA. Na Tabela 5 observa-se que, na camada de 0,00-0,10 m, o DMP correlacionou-se significativamente e de forma positiva com os cátions trocáveis Ca, Mg e K. Os cátions trocáveis do solo influenciam a agregação devido ao seu papel na união entre a fração mineral e orgânica do solo, sendo estas frações importantes na estabilização dos agregados.

Houve também correlação positiva entre o PESN e o DMP. Albuquerque et al. (2003) também observaram correlações positivas do DMP com os teores de Ca e Mg e com o PESN do solo. É possível que o aumento do DMP seja devido ao aumento do teor de Si no solo. Segundo Hernández et al. (2011) é possível que a aplicação do mineral silício restaure a estrutura do solo através da formação de agregados.

Na camada de 0,10-0,20 m, somente houve correlação significativa e positiva com o Al e o Si (Tabela 5). Isso pode ter ocorrido porque nesta camada o teor dos cátions trocáveis era menor, já que os mesmos tiveram seus valores aumentados pelo efeito da CCA. Já o Al que foi neutralizado pelo efeito da CCA na 0,00-0,10 m, foi um cátion importante na agregação da camada 0,10-0,20 m.

Tabela 5. Coeficiente de correlação (r) e probabilidade (p) entre DMP e atributos químicos do solo.

		C	PESN	Ca	Mg	Al	K	Fe	Si	PES
DMP	0,00 – 0,10 m									
	r	0,23	0,43	0,67	0,74	-0,19	0,76	-0,28	0,78	-0,59
	p	0,134	0,004	<0,001	<0,001	0,23	<0,001	0,07	<0,001	<0,001
	0,10 – 0,20 m									
	r	0,56	Nd	-0,11	0,21	0,489	0,22	-0,11	0,392	Nd
	p	<0,001		0,478	0,164	0,001	0,141	0,479	0,007	

PESN= ponto de efeito salino nulo; PES= potencial elétrico superficial.

O DMP na camada de 0,10-0,20m correlacionou-se positivamente com o carbono (Tabela 5), isso deve-se ao fato de que a matéria orgânica atua como agente de agregação, principalmente de macroagregados (Tisdall & Oades, 1982). Essa relação entre C e DMP pode ser confirmada pelo fato de que a camada subsuperficial também apresentou os maiores valores de DMP.

Com base nas correlações entre o DMP e as variáveis físicas e químicas do solo, observa-se que o aumento do DMP devido a CCA adicionada ao solo deve-se principalmente às modificações químicas que a CCA ocasionou no solo, como, o aumento da concentração de cátions no complexo de troca do solo, principalmente Ca, Mg, K e Si.

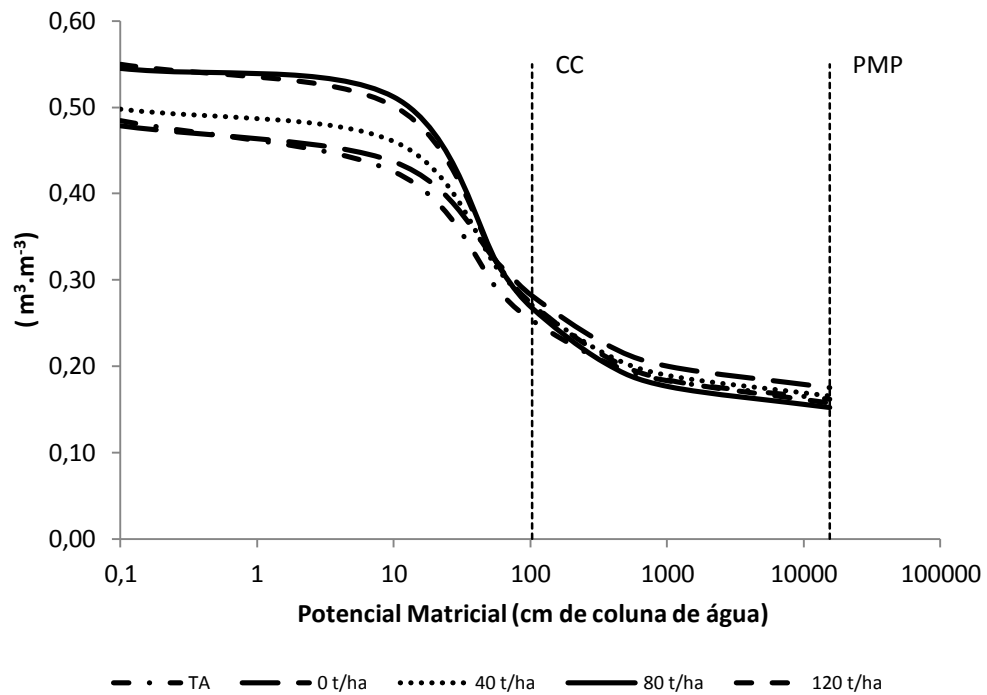
Capacidade de água disponível, Parâmetro S e Compressibilidade

No intuito de se obter um melhor entendimento da influência da CCA sobre os parâmetros físicos do solo, são apresentadas as curvas de retenção de água e o parâmetro S nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

Na camada de 0,00-0,10 m observou-se que ocorreram mudanças nas curvas de retenção de água no solo com o aumento das doses de CCA somente para tensões menores que 6 kPa (Figura 4a). Possivelmente, isso é reflexo do efeito da CCA, sobretudo na macroporosidade do solo, como já discutido anteriormente.

Para a camada de 0,10-0,20 m não se observa variação significativa na curva de retenção de água com o aumento das doses de CCA (Figura 4b), fato este devido provavelmente à não incorporação da cinza nessa camada.

a)



b)

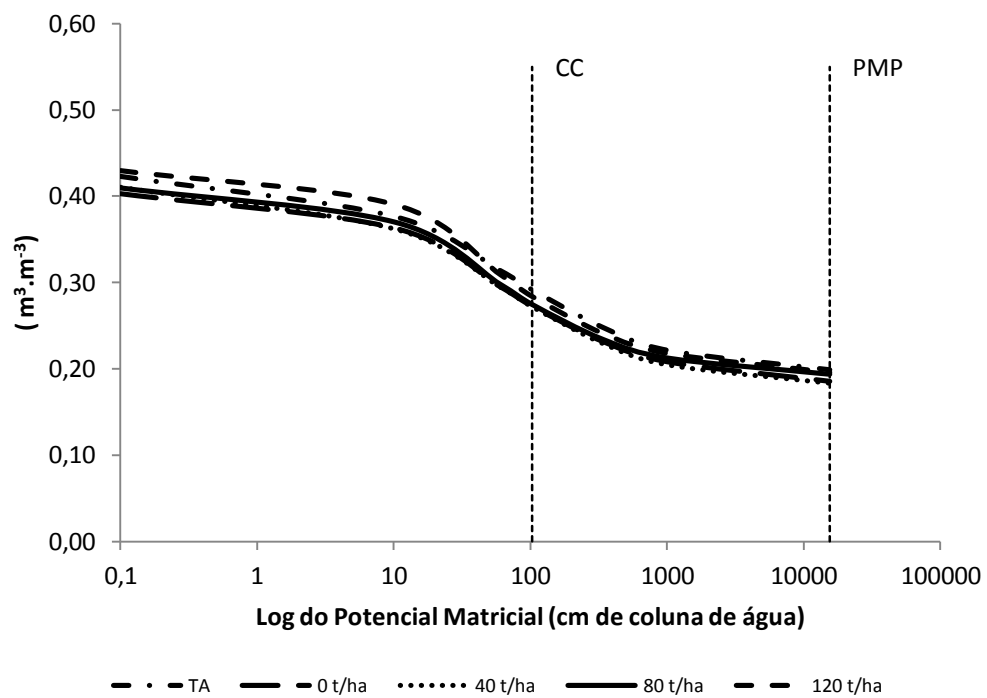


Figura 4. Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de cinza de casca de arroz (CCA) nas camadas de 0,00-0,10 m (a) e 0,10-0,20 m (b).

Não houve efeito das doses de CCA sobre os valores de CC e PMP em ambas as camadas avaliadas (Figura 4). Como consequência para a variável CAD, também não foi observado efeito da CCA (Figura 5).

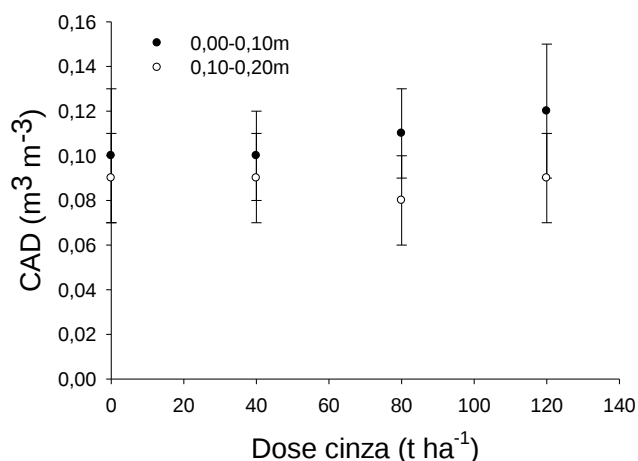


Figura 5. Capacidade de Água disponível (CAD) de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de cinza de casca de arroz (CCA) nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

Os resultados referentes aos atributos hídricos do solo (CAD, CC e PMP) não sofreram a influência das doses crescentes da CCA, tendo em vista o pouco tempo de condução do experimento. Estudos posteriores se fazem necessários para um melhor entendimento do efeito da CCA na disponibilidade de água após maior período tempo.

O parâmetro S, que representa a inclinação da curva de retenção de água no solo no seu ponto de inflexão, mostrou-se sensível ao aumento das doses de CCA (Figura 6).

Os valores de S, na camada de 0,00-0,10 m, foram superiores do padrão estipulado por Dexter (2004a). Segundo esse mesmo autor, valores de $S > 0,035$ e $S < 0,035$ indicam, respectivamente, condições favoráveis e restritivas para o crescimento das raízes das plantas. Nessa mesma camada, pode-se verificar que a CCA elevou os valores de S, estabilizando com a dose de 80 t ha⁻¹. Esse fato pode estar relacionado com o aumento da porosidade total e da macroporosidade, pois apresentaram maiores valores na camada de 0,00-0,10 m (Figuras 1b e 1c). Na camada de 0,10-0,20 m os valores de S foram inferiores a 0,035, indicando, nesse caso, inadequada distribuição dos tamanhos dos poros.

O parâmetro S constitui-se como um bom indicador para avaliar os efeitos das doses de CCA na qualidade física do solo, pois corrobora com os dados de porosidade e de densidade apresentados anteriormente.

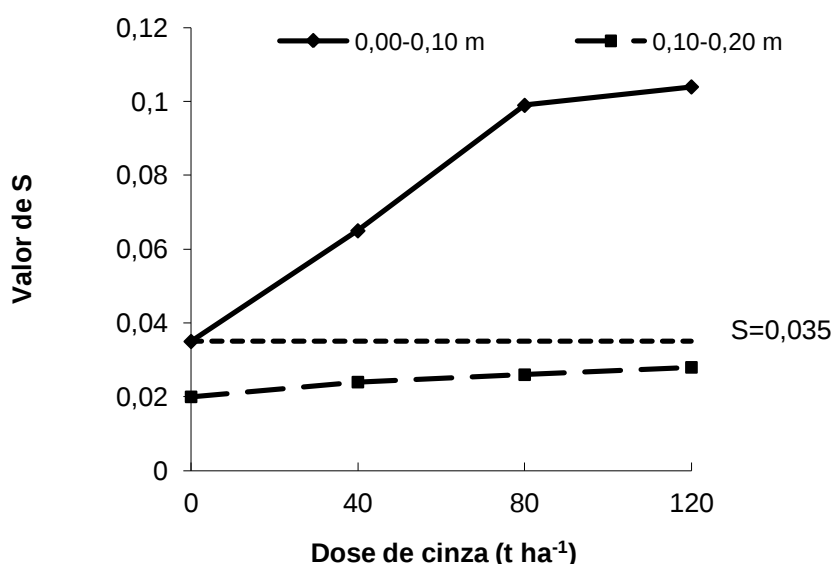


Figura 6. Parâmetro S de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de cinza de casca de arroz (CCA) nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

As curvas de compressão uniaxial para cada tratamento e em ambas as camadas são apresentadas na Figura 7. Após a normalização das curvas, de 0,00-0,10 m (Figura 7a) e de 0,10-0,20 m (Figura 7b) observou-se que na camada de 0,00-0,10 m houve uma maior deformação da estrutura do solo na dose máxima a partir de 200 KPa, consequência da maior porosidade total apresentada. Na camada de 0,10-0,20 m não foi observado nenhum efeito da CCA sobre as curvas de compressão uniaxial do solo.

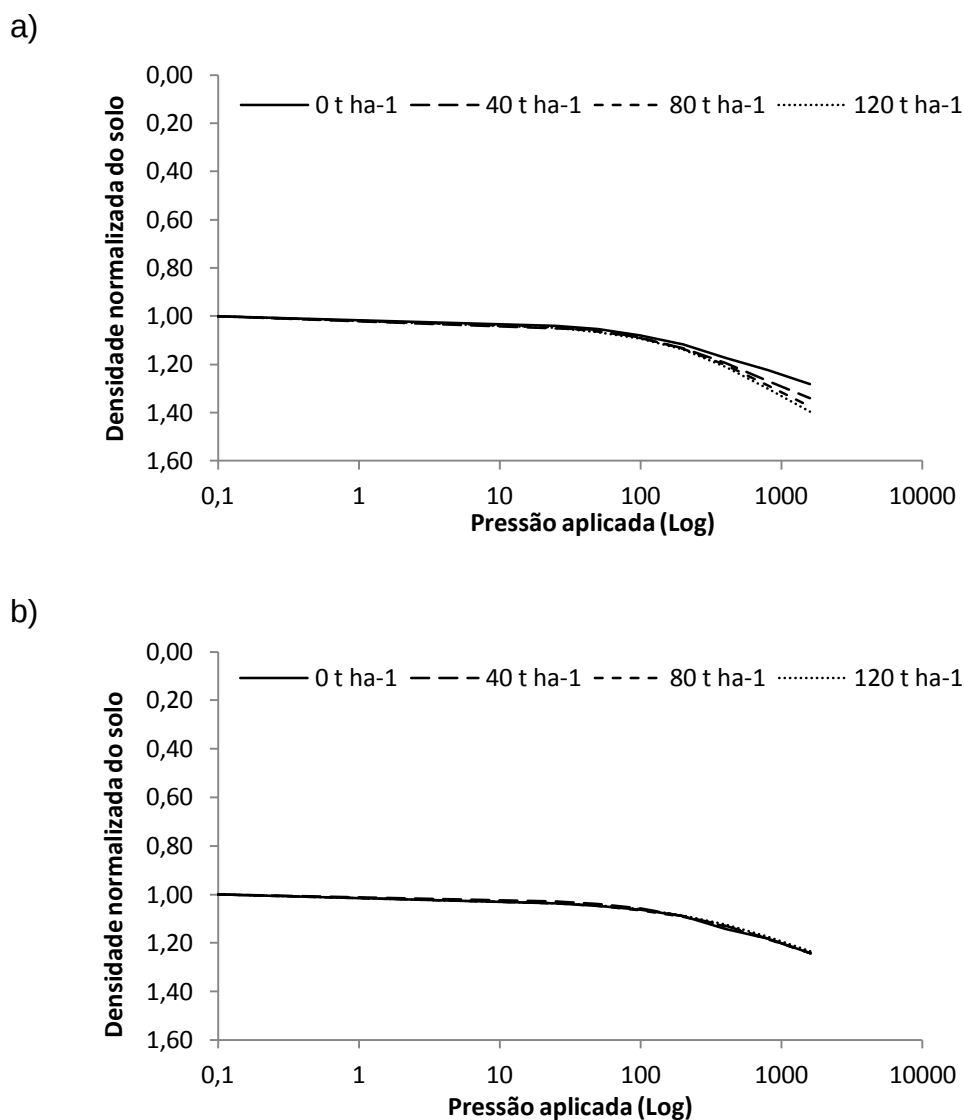


Figura 7. Curvas de compressão normalizadas de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de cinza de casca de arroz (CCA) e camadas de 0,00-0,10 m (a) e de 0,10-0,20 m (b).

Outros parâmetros relevantes para o estudo da qualidade física do solo se refere à pressão de pré-consolidação (σ_p) e o índice de compressão (IC), pois o conhecimento da capacidade de suporte de carga e da suscetibilidade do solo a compactação, respectivamente, tem importância na adequação de práticas de uso, manejo e tráfego de máquinas, com vistas a minimizar o seu efeito sobre as propriedades do solo (Silva et al., 2002).

Segundo Pacheco & Cantalice (2011) a σ_p está relacionada com a resistência do solo à penetração das raízes, sendo que valores elevados de pressão de pré-consolidação apresentam maior probabilidade de reduzir o crescimento das raízes.

Foram obtidos menores valores de pressão de pré-consolidação e maiores de índice de compressão na camada de 0,00-0,10 m em relação à camada de 0,10-0,20 m (Figuras 8a,b), corroborando os efeitos da CCA na diminuição da DS (Figura 1a) e no consequente incremento da PT (Figura 1b) e da Ma (Figura 1c) na camada de 0,00-0,10 m.

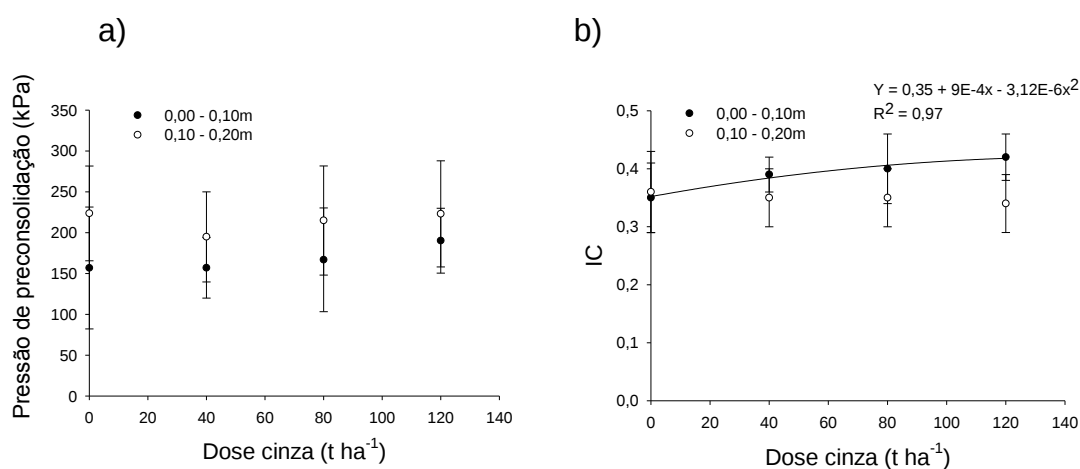


Figura 8. Pressão de pré-consolidação (a) e índice de compressão (IC) (b) de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de CCA nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média.

6.5. Conclusões

1. A cinza de casca de arroz diminui a densidade e aumenta a porosidade total e da macroporosidade do solo.
2. A cinza da casca de arroz não afeta a microporosidade, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a capacidade de água disponível no solo.
3. O efeito da cinza nos valores do parâmetro S, da pressão de pré consolidação e do índice de compressão corroboram com os efeitos verificados na densidade e porosidade total do solo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A CCA tem valor expressivo como corretivo de acidez, mas deve ser usada com precaução nos solos da região, que não são muito ácidos e possuem baixa CTC. Nesses solos, doses muito altas podem elevar o pH para valores próximos a neutralidade.

A utilização da CCA para o fornecimento de macronutrientes ao solo mostrou-se eficiente, sobretudo no que diz respeito ao Si, P e cátions trocáveis.

A CCA mostrou-se um resíduo eficiente na melhoria dos atributos físicos do solo, sobretudo aos que se referem à estrutura do solo.

Pela natureza exploratória do presente estudo trabalhou-se os aspectos mais gerais que a primeira vista chamaram mais a atenção. As conclusões alcançadas podem servir de orientação segura para o uso genérico da CCA em solos agrícolas semelhantes ao usado. É necessário a partir daí aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos físicos e químicos envolvidos nos efeitos gerais observados.

8. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R. & FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 24:295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L. & FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. R. Bras. Ci. Solo, 27:799-806, 2003.
- ALLEONI, L. R. F. & CAMARGO, O. A. Ponto de efeito salino nulo: Proposição de nomenclatura. Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 18(1):5-11, 1993.
- ALVES, M. E.; MACEDONIO, C. R. & LAVORENTI, A. Ponto de efeito salino nulo: Determinação analíticocomputacional a partir de dados de titulação potenciométrica. R. Bras. Ci. Solo, 24:553-559, 2002.
- ASAVAVISITHCHAI S. & TANTISIRIPHAIBOON, R. On the production of Aluminum foams stabilised using particles of rice husk ash. Chiang Mai J Sci, 36(3):302-311, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Classificação de resíduos, NBR 10004. Disponível: <http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>. Acesso em novembro 2012.
- AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JÚNIOR, F. J; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Arroz Irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2004. p.23-44.
- AKASAKI, J.L.; SILVA, E.J.; TASHIMA, M.M. & BARSBOSA, M.B. Influência da adição de cinza de casca de arroz nos tempos de pega e retração por secagem. In: Simpósio Íbero-Americano, Coimbra, Portugal, 2005. p.25-32.

BRADY, N. & WEIL, R. R. The nature and properties of Soils. (12th edition), by Prentice-Hall, Inc. Pearson Education Upper Saddle River, New Jersey. 1999. p. 321 – 766.

CARSEL, R.F., PARRISH, R.S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resour. Res.* 24:755-769, 1988.

CARVALHO, R.; FURTINI Neto, A. E.; SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. *Revista Agropecuária Brasileira*, 36(3):557-565, 2001.

CHANDRASEKHAR, S.; SATYANARAYANA, K.G.; PRAMADA, P.N. & RAGHAVAN, P. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk; an overview. *Journal of Materials Science*, 38:3159-3168, 2003.

CHANDRASEKHAR, S.; PRAMADA, P.N. & PRAVEEN, L. Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk sílica. *Journal of Materials Science*, 40:6535-6544, 2005.

CHANDRASEKHAR, S., SATYANARAYANA, K.G., PRAMADA P. N., RAGHAVAN, P. Effect of calcination temperature and heating rate on the optical properties and reactivity of rice husk ash. *J Mater Sci*, 41:7926–7933, 2006.

CHAVES, L. H. G.; SOUZA, R. S.; TITO, G. A. Adsorção de zinco em Argissolos do estado da Paraíba: efeito do pH. *Revista Ciência Agronômica*, 39(4):511-516, 2008.

CHINDAPRASIRT, P.; JATURAPITAKKUL, C.; RATTANASAK, U. Influence of fineness of rice husk ash and additives on the properties of lightweight aggregate. *Fuel* 88:158-162, 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Central de informações agropecuárias. 4º Levantamento de grãos da safra 2012/2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_44_20_boletim_graos_janeiro_2013.pdf. Acesso em janeiro de 2013.

CONTE, O.; WESP, C. L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R. & NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. R. Bras. Ci. Solo, 35:579-587, 2011.

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. 400 p.

COSTA, H.M. da; RAMOS, V.D.; VISCONTE, L.L.Y. & FURTADO, C.R.G. Design and analysis of single-factor experiment; analysis of variance of the effect of rice husk ash and commercial fillers in NR compounds. Polymer Bulletin, 58:597-610, 2007.

DELLA V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Caracterização da cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratário de sílica. Química Nova, 24(6): 778-782, 2001.

DELLA V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos Agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. Cerâmica Industrial, 10(2):22-25, 2005.

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, 29(6):1175-1179, 2006.

DEXTER A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120:201-214, 2004.

DINIZ, J. Conversão térmica de casca de arroz a baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente. 2005. 185 p. Tese (Doutorado em Química) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

DONEGA, M. A.; VOLK, L. B.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T. O. Avaliação do uso de casca de arroz carbonizada no desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado. Anais... Viçosa: SBCS, 2007.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; PARLANGE, M.B., 1996. Curva de retenção: SWRC, v.2.0.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Clima Temperado. <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/estacao/boletim.htm>. Acesso em outubro 2011.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT: Agricultural Production/strawberry. Disponível em : < <http://www.faostat.fao.org>>. Acesso em agosto 2012.

FERNANDES, D. J.; CHAVES L. H. G., OLIVEIRA F. H. T.; FARIAS, D. R. Ponto de efeito salino nulo e cargas elétricas de solos do estado da Paraíba. Revista Caatinga, Mossoró, 1(2):147-155, 2008.

FERREIRA, C. S. Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz. 2005. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

FERRO, W.P.; SILVA, L.G.A. & WIEBECK, H. Uso da cinza da casca de arroz como carga em matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6. Polímeros: Ciência e tecnologia, 17(3):240-243, 2007.

FOLETTTO, E. L.; HOFFMANN, R. S.; PORTUGAL JÚNIOR, U. L.; JAHN, S. L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. Quimica Nova, 28(6):1055-1060, 2005.

FREIRIA, A. C.; MONTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, C. P.; YAGI, R. Alterações em atributos químico do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. Acta Scientiarum. Agronomy, 30(2):285-291, 2008.

GAVIOLLI, T. O.; VOLK, L. B.; NOLLA, A.; DONEGA, M. A. Correção da acidez do solo, fertilização e crescimento do milho (*Zea mays* L.) submetido à aplicação de casca de arroz carbonizada. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. Anais... Porto Alegre, RS:UFRS, 2007. CD ROM.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. pt.1, p.383-411.

GONÇALVES, M.R.F. & BERGMANN, C.P. Thermal insulators made with rice husk ashes; production and correlation between properties and microstructure. Construction and Building Materials, 21:2059-2065, 2007.

GOMES, A. S. & MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Arroz Irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2004. 899 p.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M.. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. R. Bras. Ci. Solo, 28(6):1069-1076, 2004 .

HERNÁNDEZ, R. J.; GALDO, E. C.; TRUJILLO, G. C. D.; AMÉZCUA, J. A. & BROWN, Y. R. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable (primera parte). Revista El Hombre y la Máquina, Colombia , n.37, 2011.

HOFFMANN, R.; JAHN, S. L.; BAVARESCO, M.; SARTORI, T. C. Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte. 2007. Disponível em: <http://www.ufsm.br/cenergia/arte_final.pdf>. Acesso em: 02 out. 2010.

HUSTON, D. F.; Rice: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists. St. Paul: MN, 1972, p. 301-52.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201203.pdf. Acesso em julho 2012.

IRGA - Relatório final de colheita do arroz irrigado no rio grande do sul - áreas e produções municipais - safra 2008/09. Disponível em:http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1313154576Area_Producao_e_Produtividade.pdf - acesso em setembro de 2011.

KARMAKAR, S.; MITRA, B. N. & GHOSH, B. C. Influence of industrial solid wastes on soil-plant interactions in rice under acid lateritic soil. World of Coal Ash Conference, May 4–7, Lexington, KY, USA, 2002.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy monograph no. 9. Society of Agronomy / Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442.

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. São Paulo-SP ed. Agronômica Ceres Ltda, 1979. 262p.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

KORNDORFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H. & MIZUTANI C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23:101-106, 1999.

LERÍPIO, A. A. Caracterização química e eficiência agronômica de resíduos sólidos agroindustriais. 1996. 105p. Dissertação (Mestre em agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

LIMA, R. L. S. S.; SEVERINO, L. S.; ALBUQUERQUE, R. C.; FERREIRA, G. B.; SAMPAIO, L. R.; BELTRÃO, N. E. M. Capacidade da cinza de madeira e do esterco bovino para neutralizar o alumínio trocável e promover o crescimento da mamoneira. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, 13(1):9-17, 2009.

MASULILI, A.; UTOMO, W. H.; MS, S. Rice Husk Biochar for Rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonésia. *Journal of Agricultural Science*, 2(1):39 – 47, 2010.

Menezes, R. R.; Fagury Neto, E.; Fernandes, M. C.; Souto, P.M.; Kiminami, R. H. G. A. Obtenção de mulita porosa a partir da sílica da casca de arroz e acetato de alumínio. *Revista Cerâmica*, 54:245-252, 2008.

MOYIN-JESU E. I. Use of plant residues for improving soil fertility pod nutrients root growth and pod weight of okra *Abelmoschus esculentum* L. *Bioresour. Tech.* 98: 2057-2064, 2007.

MUNTHOAR, A.S. Utilization of uncontrolled burnt rice husk ash in soil improvement. *Dimensi Teknik Sipil*, 4(2):100-105, 2002.

NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 15(1):43-47, 1991.

NOLLA, A.; VOLK, L. B. S.; MUNIZ, A. S.; SILVA, T. R. B Correção da acidez do solo em profundidade através do uso de carbonatos, silicatos e casca de arroz em lisímetros. *Revista cultivando o saber*, 3(2):1-8, 2010.

OBIHARA, C. H. & RUSSELL, E. W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. *Journal of soil science*, 23(1):105-117, 1972.

OMATOLA, K. M. & ONOJAH A. D. Elemental analysis of rice husk ash using X-ray fluorescence technique *International Journal of Physical Sciences*, 4:189–193, 2009.

PACHECO, E.P. & CANTALICE, J.R.B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 35:417-428, 2011.

PALMA, I. P.; NOLLA, A.; VOLK, L. B.; 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. Disponível em: http://www.fundaçãoaraucaria.org.br/projetos/projetos09-2008/13391_Anais.pdf. Acesso em: 15 de junho de 2011.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 23:189-195, 1999.

PAULETTO, E. A.; NACHTIGALL, G. R.; GUADAGNIN, C. A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 14:255-258, 1990.

PINTO, M.A.B.; VAHL, L. C.; ISLABÃO, G.O.; TIMM, L.C. Casca de arroz queimada como corretivo de acidez do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, v.32, 2009, Fortaleza. Anais do... Fortaleza: SBSCS, 2009. CD-ROM.

PRASAD, D. S. P. & KRISHNA, A. R. Production and mechanical properties of A 356.2/RHA composites. International Journal of Advanced Science and Technology 33:51-58, 2011.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulóticos. Revista da Madeira, 89:100-106, 2005.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. 2.ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2012. 500p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, 27(2):29-48, 2003.

ROESSLER, L. F.; VIVAN, G. A.; SILVEIRA, H. A. T.; BARBOZA, F. da S.; PEREIRA, R. O. Planejamento e execução de um carbonizador de casca de arroz, com base no reuso de resíduos do processo de beneficiamento de arroz. In: XV Congresso de Iniciação Científica - Pelotas, 2006.

SANDRINI, W. C. Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentes da adição de cinza de casca de arroz. 2010.70p. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Universidade Federal de Pelotas, Pelotas,RS.

SALEQUE, M.A.; ABEDIN, M.J.; BHUIYAN, N.I.; ZAMAN, S.K. & PANAUULLAH, G.M. Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice. *Field Crops Research*, 86:53-65, 2004.

SANTIN, M. J. & VAHL, L. C. Aproveitamento da cinza da casca de arroz como corretivo da acidez e da fertilidade do solo. Relatório CNPQ – Processo 11.3006/83.AG.1985. 20 p.

SEVERO, C.R.S. Caracterização dos solos do Centro Agropecuário da Palma. Pelotas, 1999. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

SILVA, F. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; MUNIZ, A. S.; FERREIRA, R. C. Aplicação de cinza da casca de arroz e de água residuária de fecularia de mandioca na cultura de aveia. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 1(1):25-36, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho amarelo distrófico arênico e de um Latossolo vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. *R. Bras. Ci. Solo*, 26(1):9-15, 2002a.

SILVA, R.B.; MASQUETTO, B.J.; LANÇAS, K.P. Desenvolvimento e automação de um consolidômetro com interface homem máquina. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado. Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira. Viçosa: SBCS, V. 1, 2007.

SOUZA, J.; BEZERRA, I.M.T.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C.; CARVALHO, J. B.Q.; OLIVEIRA, N.M.S. & SOUZA, A.J.D. Avaliação de argamassas com cinza e casca de arroz. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 51, Salvador, BA, 2007. Anais. 12p.

SOUZA, R.C.R.; SANTOS, E.C.S.; MORAIS, M.R. & SEYE, O. Carbonização da casca de arroz (*Oriza sativa*) para uso energético. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36, Bonito, MS, 2007. Anais. 6p.

SIGMAPLOT. 2004. For windows, version 9.01. Systat Software, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BIASSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de Solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos -Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. J. Soil Sci., 33:141-163, 1982.

UEDA T, KUNIMITSU, Y & SHINOGLI, Y. "Potential conflicts for the reuse of rice husk in Thailand", Paddy and Water Environment,. 5 (2):123-129, 2007.

UMAMAHESWARAN, K. & BATRA, V.S. Physico-chemical characterization of Indian biomass ashes. Fuel, 87:628-638, 2008.

VALE, A. T.; ABREU, V. L. S.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, A. F. Estimativa do poder calorífico superior do carvão vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do teor de carbono fixo e do teor de materiais voláteis. Revista Brasil Florestal, 73:47-52, 2002.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-897, 1980.

van RAIJ, B.; Determinação do ponto de carga zero em solos. Bragantia: 32:337-347, 1973.

van RAIJ, B.; Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343P.

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

WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions. New York: Elsevier, 1983. p. 83-116.

YODER, R.A., 1936. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. J. Am. Soc. Agron. 28: 337-351.

Zain, M. F. M; ISLAM, M.N. F. & MAHMUD, M. Jamil Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material Constr Build Mater, 25: 798–805, 2011.

ZEMNUKHOVA, L.A.; FEDORISHCHEVA, G.A.; EGOROV, A.G. & SERGIENKO, V.I. Recovery conditions, impurity composition, and characteristics of amorphous silicon dioxide from wastes formed in rice production. Russian Journal of Applied Chemistry, 78(2):319-323, 2005.