

Fig. 9. Matéria seca de 100 grãos do arroz nos tratamentos sem e com incorporação de carvão ao solo. Comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, $p=0,1$. F: Valor F da análise de variância.

Conclusões

- Com a adição do carvão ao solo, dentro de 28 dias, foi constatada a redução na acidez potencial do solo e aumento no teor de fósforo e potássio disponível para as plantas.
- O maior efeito do carvão adicionado ao solo no crescimento do arroz foi observado até o 28º dia, mas o carvão vegetal continuou a proporcionar maior crescimento às plantas de arroz até o 71º dia após plantio.
- O efeito do carvão também se manifestou na acumulação de matéria seca das plantas, principalmente, na fase inicial do desenvolvimento. O maior efeito foi observado no desenvolvimento do colmo. O carvão não teve efeito no final do desenvolvimento das plantas (após 71 dias).
- O carvão não teve efeito no desenvolvimento da área foliar das plantas de arroz.
- O carvão vegetal proporcionou desenvolvimento melhor e mais uniforme para as plantas de arroz, principalmente, na fase inicial do crescimento. Com isso mostrou seu potencial para a redução do risco da cultura de arroz de terras altas, que tem como período crítico do seu desenvolvimento, o período inicial de 4-5 semanas.

Considerações finais

Trabalhos anteriores destacaram a eficiência do carvão vegetal em condicionar o crescimento das variadas plantas, inclusive arroz, ou em aumentar a fertilidade do solo (Lehmann et al., 2003). Isto é devido às propriedades físico-químicas e moleculares do próprio carvão vegetal que depende da sua origem e às condições da sua

formação (Novotny et al., 2007). Este trabalho também evidencia o efeito benéfico do carvão vegetal no desenvolvimento inicial do arroz de terras altas (cultivar Primavera).

Ultimamente, a indústria de beneficiamento do arroz tem mostrado bastante interesse na reutilização da casca do arroz que é um subproduto do processo de beneficiamento (Silveira & Gallo, 2006). Esse subproduto é também uma possível matéria prima para a fabricação de carvão vegetal.

Os benefícios potenciais desse condicionador do solo, entre outros, são a redução de uso de fertilizantes químicos e, consequentemente, a redução do custo de produção e o aproveitamento de subprodutos do beneficiamento de arroz, além de proporcionar desenvolvimento inicial mais uniforme e seguro da cultura de arroz.

Futuros desafios, caso uma avaliação mais abrangente do efeito do carvão para o arroz confirme o efeito benéfico deste material, são o desenvolvimento de tecnologia para a produção do condicionador ou adubo em base de carvão vegetal e o modo de aplicação ao solo devido às propriedades do material.

Agradecimentos

Aos colegas Cleber Moraes Guimarães, Orlando Peixoto de Moraes, Anne Sitarama Prabhu e Alberto Baéta dos Santos da Embrapa Arroz e Feijão e Patrick Marques Trompovsky, estudante de pós-graduação da Universidade Federal de Viçosa.

Referências Bibliográficas

BENITES, V. de M.; MADARI, B.; BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. de A. Matéria orgânica do solo. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005a. p. 93-119.

BENITES, V. de M.; MENDONÇA, E. de S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVOTNY, E. H.; REIS, E. L.; KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.127, n.1/2, p.104-113, 2005b.

BIRD, M. I.; MOYO, C.; VEENENDAAL, E. M.; LLOYD, J.; FROST, P. Stability of elemental carbon in savanna soil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 13, n. 4, p. 923-932, Dec. 1999.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 47-49.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, n. 7/8, p. 669-678, 2000.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 4, p. 219-230, Jun. 2002.

HAMER, U.; MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; AMELUNG, W. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 823-830, 2004.

KISHIMOTO, S.; SUGIURA, G. Charcoal as a soil conditioner. In: SYMPOSIUM ON FOREST PRODUCTS RESEARCH INTERNATIONAL: ACHIEVEMENTS AND THE FUTURE, 1985, Pretoria. **Proceedings...** Pretoria: National Timber Research Institute, 1985. v. 5, p. 22-26.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, The Hague, v. 249, n. 2, p. 343-357, Feb. 2003.

MACHADO, P. L. O. de A. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): funcionamento, pontos críticos e possibilidades para alguns sistemas agrícolas no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 30 p. (Embrapa Solos. Documentos, 41).

MADARI, B.; BENITES, V. M.; CUNHA, T. J. F. The effect of management on the fertility of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 407-432.

NOVOTNY, E. H.; DEAZEVEDO, E. R.; BONAGAMBA, T. J.; CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. de M.; HAYES, M. H. B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian dark earth soils. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 41, n. 2, p. 400-405, Jan. 2007.

OGAWA, M. Symbiosis of people and nature in the tropics. **Farming Japan**, Tokyo, v. 28, n. 5, p. 10–34, 1994.

SILVEIRA, L.; GALLO, R. AmBev adota casca de arroz para gerar energia térmica. **Diário Comércio, Indústria e Serviços**, São Paulo, 12 set. 2006. p. A6.

SOUZA, L. F.; MADARI, B.; BENITES, V. M.; CUNHA, T. J.; NEVES, E. G. Relação entre a fertilidade e as substâncias húmicas numa terra preta da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCE: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo

Beáta Emöke Madari¹
Adriana Rodolfo da Costa²
Livia Mendes de Castro³
Janne Louize S. Santos³
Vinicius de Melo Benites⁴
Adriana de Oliveira Rocha³
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado¹

Na maioria dos solos são encontrados pequenos fragmentos de carvão vegetal, uma forma de carbono pirogênico (*black carbon*), resultante de queimadas naturais ou da ação do homem. O carvão é uma forma bastante estável da matéria orgânica do solo (MOS). Quando está na forma de fragmentos muito pequenos, apresenta atividade química na sua superfície no sentido de absorver compostos orgânicos solúveis, reter água e serve como abrigo para microorganismos do solo (Benites et al., 2005a). No Brasil, é ainda muito comum a prática da queima da vegetação que, além de provocar uma série de problemas, como a poluição, a destruição da microbiota do solo e de alguns elementos da fauna e flora, incorpora carvão ao solo.

Entretanto, em alguns países como o Japão, a prática da incorporação de carvão vegetal de resíduos de culturas anuais, por exemplo do arroz, é tradicional (Ogawa, 1994). A produção de carvão vegetal a partir de florestas plantadas com eucalipto (*Eucalyptus sp.*) no Brasil é significativa para utilização na indústria metalúrgica, e este projeto está inserido no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Quioto (Machado, 2003). Apesar da

produção de carvão vegetal envolver um procedimento com carbonização da matéria prima, existem, hoje, sistemas fechados e controlados que permitem a captura e aproveitamento dos subprodutos da carbonização, minimizando a poluição do meio ambiente.

No Brasil, exemplo do efeito benéfico do carvão (ou carbono pirogênico) para a fertilidade dos solos tropicais são os solos chamados terra preta de índio (ou terra preta arqueológica), que são solos antrópicos formados pela atividade agrícola e dia-a-dia dos povos pré-colombianos da Bacia Amazônica. Esses solos contêm elevado teor de carbono pirogênico que chega a ser 2,5 vezes maior que o teor desse material em solos adjacentes não antrópicos. Esse carbono (carvão), que provavelmente se origina de queimas periódicas de lavouras e restos de atividade diária carbonizados, foi incorporado ao solo pelo homem e pela atividade biológica no solo durante centenas de anos. A Figura 1 mostra que, como resultado do manejo do solo indígena que incluía a incorporação de restos e resíduos carbonizados ao solo, a fertilidade das terras pretas é, geralmente, maior que dos solos não antrópicos da Região Amazônica.

¹ Engenheira Agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão, Rod. GO 462, Km 12 65375-000 Santo Antônio de Goiás-GO madari@cnpaf.embrapa.br e machado@cnpaf.embrapa.br.

² Estudante de graduação, Bolsista CNPq/PIBIC, Universidade Federal de Goiás, adriana_rodolfo@yahoo.com.br

³ Estudante de graduação, Bolsista Embrapa, Universidade Federal de Goiás, liviamdecastro@yahoo.com.br, agroize@yahoo.com.br, adrianinhaor@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Matéria Orgânica do Solo, Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ, CEP 22460-000, vinicius@cnpq.embrapa.br

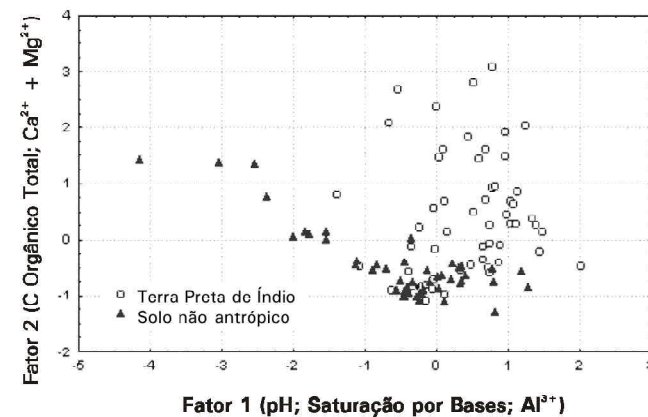


Fig. 1. Diagrama de análise hierárquica usando dados de fertilidade de Terras Pretas de Índio e de solos não antrópicos da Amazônia. Fonte: adaptado de Madari et al. (2003).

Estudos mais recentes têm avaliado o efeito da adubação com carvão sobre as propriedades físico-hídricas e químicas do solo (Glaser et al., 2002). O carvão, devido à sua porosidade, e consequentemente à sua grande superfície específica, pode aumentar significativamente a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa. Contudo, a estrutura aromática, que tem características hidrofóbicas, pode reduzir a penetração de água nos espaços porosos dos agregados do solo, aumentando assim a estabilidade dos agregados. Carvões geralmente são reportados como materiais pouco reativos (inertes) e hidrofóbicos mas, devido à sua porosidade, apresentam elevada superfície específica (200-400 m² g⁻¹), (Kishimoto & Sugiura, 1985). Entretanto, a reatividade e a hidrofobicidade dos carvões dependem, assim como sua estrutura, do material de origem e das condições de sua formação, como a temperatura e tempo de queima, umidade do material vegetal, disponibilidade de oxigênio, entre outros. Os carvões, embora possam ser considerados estáveis no sistema solo, também sofrem biodegradação e transformação quando comparados às outras formas da MOS. Bird et al. (1999) sugeriram que o carbono pirogênico pode ser significativamente degradado dentro da escala de tempo de décadas ou séculos em solos sob clima subtropical. A meia-vida de partículas carbonizadas com tamanho < 2 mm foi estimada em menos de 50 anos, e a de partículas > 2 mm em menos de 100 anos. A biodegradação de carvões no solo é um processo relativamente lento que resulta na mobilização do carbono e na alteração das propriedades de superfície do carvão, aumentando a concentração de sítios quimicamente reativos que contribuem para a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.

Hamer et al. (2004) investigou o “priming” interativo do carbono pirogênico e a mineralização da glicose. Segundo esses autores, a mineralização do carbono pirogênico foi estimulada por adição de glicose no solo, e vice-versa, a mineralização da glicose foi estimulada pela presença do carbono pirogênico. Os autores propuseram que o efeito do material carbonizado ocorreu em razão da maior superfície específica para o crescimento e atividade microbiana, e não

pela disponibilidade de maior quantidade de carbono, pois o carbono pirogênico, sendo altamente aromático, não é prontamente acessível para a microbiota como fonte de energia.

Assim, o carvão vegetal, embora seja um material relativamente inerte no solo, e de alta estabilidade, dependendo das condições da sua formação e das transformações que passa no solo, tem a capacidade de contribuir para a melhoria das propriedades físicas, químicas e, conseqüentemente, biológicas do solo.

O objetivo deste trabalho foi demonstrar o efeito do fino de carvão de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) nas variáveis de fertilidade e propriedades físicas do solo considerando-se o crescimento e desenvolvimento do arroz de terras altas (cultivar Primavera).

Foi instalado um experimento em vasos, em casa de vegetação na Embrapa Arroz e Feijão. Os tratamentos foram a testemunha sem incorporação de carvão ao solo e no outro foram incorporados 10,5 g de carvão e homogeneizados mutuamente a cada kg de solo. A quantidade de carvão incorporada ao solo foi calculada com base na proporção de carvão (carbono pirogênico) presente em diferentes perfis de terra preta que variam entre 35-54% (Glaser et al., 2000; Souza et al., 2003). O carvão foi incorporado ao solo no dia 11 de janeiro de 2006. Em cada vaso foram semeadas dez sementes de arroz cultivar Primavera, no dia 12 de janeiro.

O experimento consistiu de dois tratamentos e três repetições. Dentro de cada repetição havia quatro unidades (vasos) para possibilitar avaliação do desenvolvimento do arroz em diferentes estágios fenológicos (Figura 2).

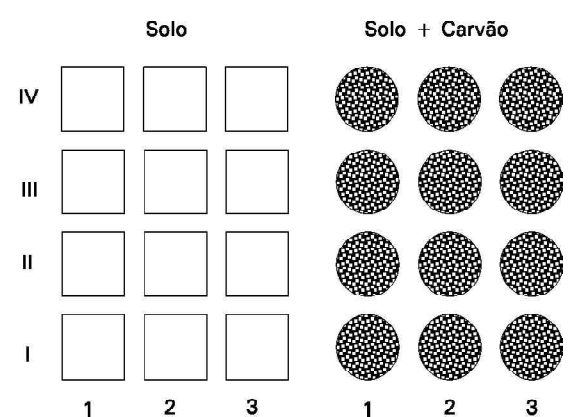


Fig. 2. Desenho experimental.

Defensivos contra doenças e pragas não foram aplicados pois não foram observadas durante o período de avaliação.

As propriedades químicas e de fertilidade do solo utilizadas para o experimento são apresentadas nas Tabela 1. A textura do solo foi argilosa com reação ácida média.

Tabela 1. Propriedades químicas e de fertilidade do solo (Latossolo) utilizado no experimento.

	pH _{H2O}	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	M.O.
		cmol _d dm ⁻³						mg dm ⁻³				g dm ⁻³
Valor do parâmetro	5,2	1,35	0,42	0,2	6,33	11,63	41	0,5	0,9	30	15	18,67
M.O.: Matéria orgânica.												

No experimento foi utilizado fino de carvão (partículas minúsculas de carvão) de *Eucalyptus grandis* produzido a 400°C. O tamanho de partículas era menor de 150 µm (100 mesh). O fino de carvão pode ser obtido, por exemplo, como subproduto de carbonização. No processo de produção de carvão para a indústria metalúrgica o fino de carvão é considerado subproduto que não é utilizado pela indústria. As características do carvão são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características do fino de carvão vegetal com base na análise elementar e termogravimetria.

Tratamento	pH _{H2O}	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	M.O.
		cmol _d dm ⁻³						mg dm ⁻³				g dm ⁻³
Solo	5,17a	1,35a	0,50a	0,20a	6,19a	10,73b	42,67b	0,70a	1,33a	39,67a	20,67a	20,00a
Solo + Carvão	5,30a	1,47a	0,51a	0,13a	5,68b	18,63a	86,00a	0,70a	1,60a	44,33a	21,33a	20,33a
F	2,29	1,60	0,53	4,00	8,38	17,07	96,57	0,00	6,40	0,60	0,15	1,00
M.O.: Matéria orgânica; F: Valor F da teste de variância. As médias assinaladas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.												

Nas plantas de arroz foram avaliados a altura, o peso da matéria seca das raízes, colmo e folhas, a área foliar, a matéria seca das panículas e a massa seca de 100 grãos.

Também foi avaliado o estado nutricional do solo, teor de MOS, e a capacidade de retenção de água do solo (Claessen, 1997).

Os dados foram submetidas a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

Resultados e Discussão

Solo

A adição de carvão ao solo resultou em diminuição da acidez potencial do solo (H + Al), devido ao efeito tampão da matéria orgânica adicionada ao solo na forma de carvão. Ao mesmo tempo aumentou o teor de fósforo disponível (P) e potássio trocável (K) no solo. A adição destes elementos ao solo junto com o carvão é improvável por causa da origem do carvão que foi lenha de eucalipto sem casca e também devido à pequena proporção de cinzas (1,3%, Tabela 2) no carvão. O aumento do teor disponível desses elementos no solo pode ser, principalmente no caso do P, devido à disponibilização deste elemento pelo carvão através de ligação orgânica. O P em ligação inorgânica (p. ex. com argilominerais) no solo é indisponível, entretanto

em ligação orgânica (p. ex. com diferentes fomas da MOS) é disponível para as plantas. Vale ressaltar que não foi observado aumento no teor de MOS, fato que seria esperado depois de adição de carvão que é matéria orgânica carbonizada. Isto pode ser explicado pelo método utilizado para a determinação de MOS que usa o princípio de oxidação da MOS com bicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) (método Walkley-Black modificado – Claessen, 1997). Com este método, somente a MOS oxidável é mensurável. O carvão, sendo uma forma mais estável da MOS, dificilmente é quantificado por esse método. A Tabela 3 apresenta os valores das variáveis químicas e de fertilidade do solo na testemunha e no solo com adição de carvão, 28 dias após o plantio, na época de máximo efeito do carvão para o crescimento do arroz (Figura 3).

Tabela 3. Propriedades químicas e de fertilidade do solo sem e com incorporação de carvão, 28 dias após plantio.

Tratamento	pH _{H2O}	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	M.O.
		cmol _d dm ⁻³						mg dm ⁻³				g dm ⁻³
Solo	5,17a	1,35a	0,50a	0,20a	6,19a	10,73b	42,67b	0,70a	1,33a	39,67a	20,67a	20,00a
Solo + Carvão	5,30a	1,47a	0,51a	0,13a	5,68b	18,63a	86,00a	0,70a	1,60a	44,33a	21,33a	20,33a
F	2,29	1,60	0,53	4,00	8,38	17,07	96,57	0,00	6,40	0,60	0,15	1,00
M.O.: Matéria orgânica; F: Valor F da teste de variância. As médias assinaladas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.												

Não foi observado efeito do carvão na capacidade de retenção de água do solo. Esse resultado foi esperado pois o maior efeito do carvão para as propriedades físicas do solo foi observado em solos arenosos (Glaser et al., 2002).

Planta

A emergência das plantas de arroz iniciou-se no dia 16 de janeiro.

A Figura 3 apresenta o crescimento das plantas em solo sem e com a adição do carvão.

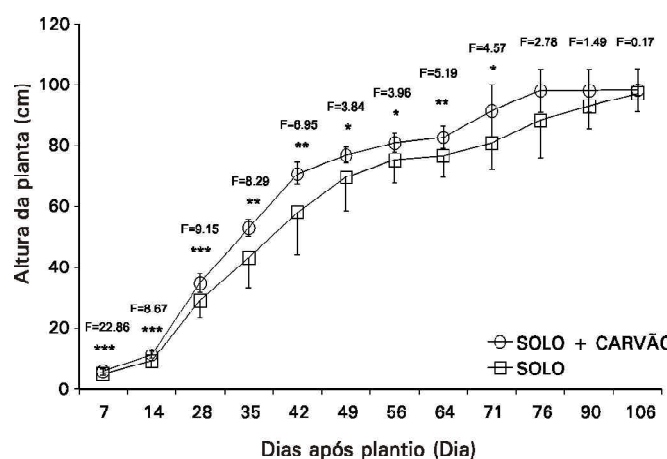


Fig. 3. Crescimento da planta do arroz. As barras de erro são desvio padrão. F: Valor da teste F de variância. ***: p=0,01; **: p=0,05; *: p=0,1 pelo teste de Tukey.

Observou-se que as plantas em solo com carvão tiveram um crescimento inicial maior que as plantas em solo sem a adição de carvão. Vale enfatizar que o carvão teve efeito significativo no crescimento do arroz logo na primeira semana após plantio. Depois de 28 dias após plantio esse efeito do carvão mostrou uma tendência de diminuição mas permaneceu até o 71º dia. Após este período não foi observado efeito do carvão no crescimento das plantas. Vale ressaltar que a uniformidade do crescimento das plantas foi maior no tratamento com adição de carvão pois apresentaram menores desvios padrão durante a maior parte do período de avaliação (Figura 4).

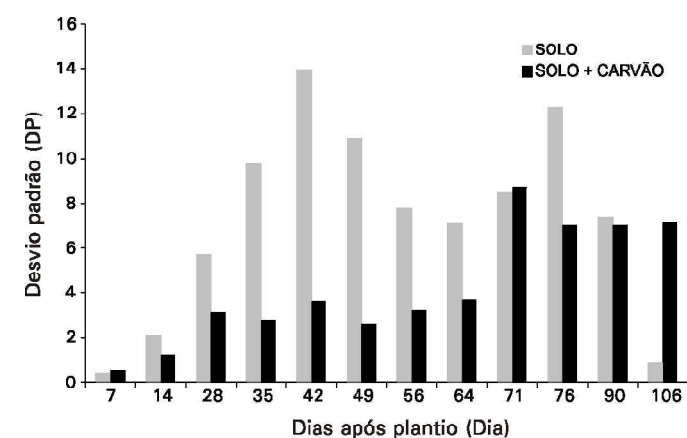


Fig. 4. Desvios padrão (DP) da análise de crescimento das plantas de arroz.

No tratamento com carvão, na primeira fase da avaliação, aos 28 dias após plantio, as plantas apresentaram valores de matéria seca maiores que as plantas no solo sem carvão (Figura 5). O maior efeito do tratamento com carvão foi observado para o colmo do arroz (F= 188,82). Já na segunda fase da avaliação (64 dias após plantio) não houve diferença entre os dois tratamentos (Figura 6). Finalmente, o carvão não teve efeito sobre a área foliar em nenhuma fase da avaliação (Figura 7).

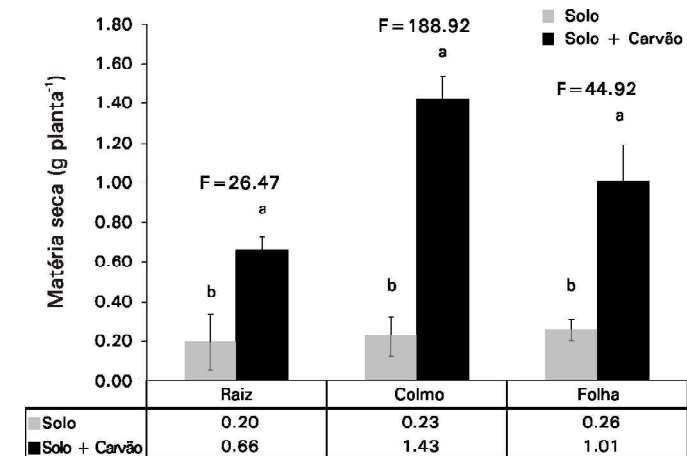


Fig. 5. Matéria seca do sistema radicular, colmo e folhas das plantas de arroz nos tratamentos sem e com incorporação de carvão ao solo. Fase 1 da avaliação (28 dias após plantio). Comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, p=0,01. F: Valor F da análise de variância.

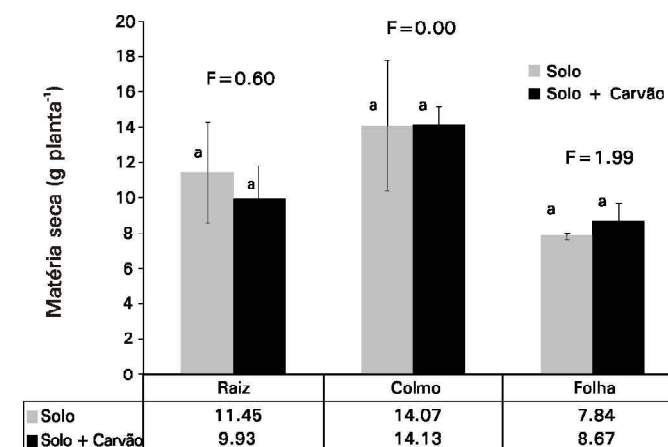


Fig. 6. Matéria seca do sistema radicular, colmo e folhas das plantas de arroz nos tratamentos sem e com incorporação de carvão ao solo. Fase 2 da avaliação (64 dias após plantio). Comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, p=0,01. F: Valor F da análise de variância.

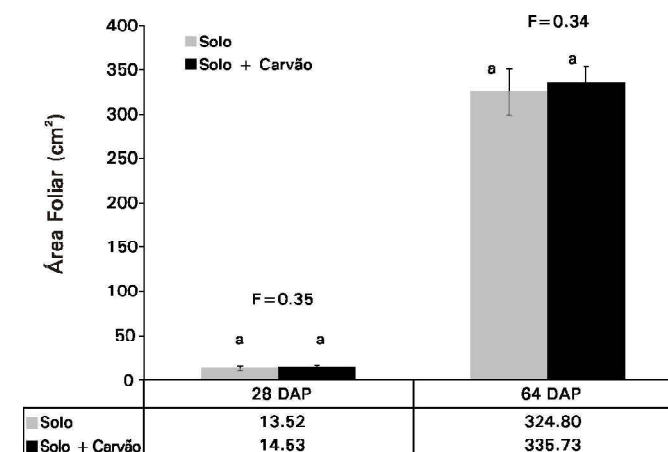


Fig. 7. Área foliar do arroz nos tratamentos sem e com incorporação de carvão ao solo nos dois fases da avaliação. DAP: Dias após plantio. Comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, p=0,01. F: Valor F da análise de variância.

O peso da matéria seca das panículas não apresentou diferença entre os dois tratamentos (Figura 8), entretanto, o peso de matéria seca de 100 grãos no tratamento com carvão foi superior comparado à testemunha (Figura 9). Vale ressaltar que no solo sem carvão na metade das plantas avaliadas, o enchimento dos grãos era menos de 50% nas panículas e, no caso do tratamento com carvão, isso aconteceu em apenas 11% das plantas.

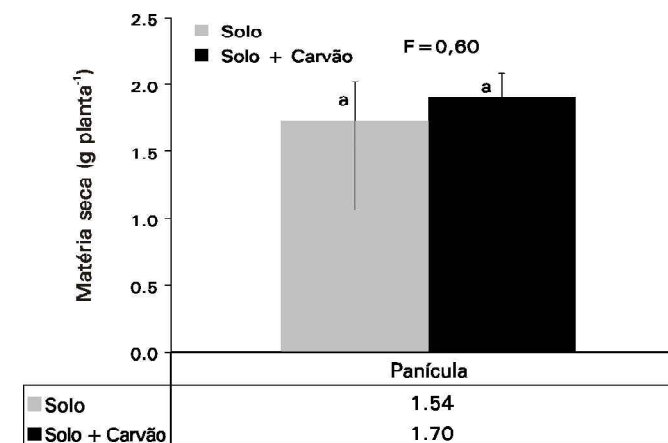


Fig. 8. Matéria seca das panículas do arroz nos tratamentos sem e com incorporação de carvão ao solo. Comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, p=0,1. F: Valor F da análise de variância.