

ROGÉRIO GOMES PEREIRA

**RESPOSTA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS A
DIFERENTES DOSES DE CARVÃO VEGETAL:
DESENVOLVIMENTO DA PLANTA E DEFICIÊNCIA
HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientadora:

Drª. Beáta Emöke Madari

Co-orientadores:

Dr. Alexandre Bryan Heinemann

Prof. Dr. Huberto José Kliemann

Goiânia, GO – Brasil

2011

ROGÉRIO GOMES PEREIRA

**RESPOSTA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS A
DIFERENTES DOSES DE CARVÃO VEGETAL:
DESENVOLVIMENTO DA PLANTA E DEFICIÊNCIA
HÍDRICA**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 14 de fevereiro de 2011, pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:

Dr. Mellissa Ananias Soler da Silva
Examinador externo – UFG/Embrapa Arroz e
Feijão/Goiânia - GO

Dr. Alexandre Bryan Heinemann
Co-orientador - Embrapa Arroz e
Feijão/Goiânia - GO

Dr. Cleber Moraes Guimarães
Examinador externo - Embrapa Arroz e
Feijão/Goiânia - GO

Dra. Beáta Emöke Madari
Orientadora – UFG/PPGA/Embrapa Arroz e
Feijão/Goiânia - GO

Goiânia, Goiás
Brasil

DEDICATÓRIA

À Deus, pela fé, força e esperança nos momentos difíceis.

Aos meus queridos pais, Manoel Gomes Pereira e Maria de Fátima Ferreira Gomes, pelas lições de vida, ensinamentos, amor e carinho dedicado a mim, dando força na busca dos objetivos desejados.

À minha amada esposa e irmãos: Núbia Ribeiro Barbosa, Jader Fernando Gomes e Neder Wesley Gomes, pelo companheirismo, atenção e compreensão, durante esta caminhada da vida.

À todos que de uma forma ou outra, vem ajudando-me a alcançar tudo que consegui até hoje.

AGRADECIMENTOS

A Orientadora, Beáta Emöke Madari, pelo tempo, apoio e paciência durante a pesquisa.

Aos Co-orientadores, Alexandre Bryan Heinemann e Huberto José Kliemann, pelas orientações, amizade, e conhecimentos que foram transmitidos com enorme dedicação.

Aos meus amigos e funcionários da Embrapa e UFG, pela grande ajuda na condução da pesquisa e redação desta dissertação.

Às instituições Universidade Federal de Goiás – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Embrapa Arroz e Feijão, pelo apoio técnico-financeiro (SEG Embrapa 03080401, 020804010004 e 020901220005) e de infra-estrutura necessário na condução desta pesquisa.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro ao discente.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
RESUMO GERAL.....	9
GENERAL ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
REFERÊNCIAS.....	16
3 CARVÃO VEGETAL COMO CONDICIONADOR DE SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE ARROZ DE TERRAS ALTAS	20
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	20
3.1 INTRODUÇÃO.....	21
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
3.4 CONCLUSÕES.....	33
3.5 REFERÊNCIAS.....	34
4 RESPOSTA DA TRANSPIRAÇÃO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS (<i>ORYZA SATIVA</i>) AO DÉFICIT HÍDRICO PARA DIFERENTES DOSES DE CARVÃO DE EUCALIPTO	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	37
4.1 INTRODUÇÃO.....	38
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.2.1 Condições de desenvolvimento	39
4.2.2 Cálculo do FTSW e NTR	42
4.2.3 A análise dos dados de secagem	43
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.4 CONCLUSÕES.....	47
4.5 REFERÊNCIAS.....	48

5	CONCLUSÕES GERAIS.....	51
	APÊNDICES.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Análise química da areia e do carvão vegetal utilizado em ambos os experimentos.....	23
Tabela 3.2.	Resultados médios da análise química do substrato por tratamento.....	25
Tabela 3.3.	Equações de regressão entre doses de carvão vegetal e variáveis químicas do substrato, com seus respectivos índices de regressão e correlação.....	26
Tabela 3.4.	Resultados médios de matéria seca total (grama planta ⁻¹), em diferentes datas após a emergência das plântulas nos dois experimentos.....	26
Tabela 3.5.	Resultados médios de área foliar (cm ² planta ⁻¹) em diferentes datas após a emergência das plântulas para os dois experimentos.....	29
Tabela 3.6.	Resultados médios da análise de amônio (NH ₄ ⁺) e nitrato (NO ₃ ⁻) no solo (mg kg ⁻¹ de solo) em duas datas diferentes no experimento 2.....	30
Tabela 3.7.	Resultados médios das características físicas e de água retida no solo (%), nos diferentes tratamentos e tensões.....	32
Tabela 4.1.	Características químicas do solo nos tratamentos T1 (0% biochar), T2 (6% biochar), T3 (12% biochar) e T4 (24% biochar).....	41
Tabela 4.2.	Total de água transpirável do solo (TTSW) em diferentes doses de biochar.....	44
Tabela 4.3.	Parâmetro empírico do modelo, <i>a</i> e <i>b</i> , e seu intervalo de confiança para as diferentes doses de biochar.....	46
Tabela 4.4.	O fator <i>p</i> em 0.95 da taxa de transpiração normalizada (NTR) para diferentes doses de biochar.....	46
Tabela 4.5.	Densidade aparente do substrato em diferentes níveis de biochar.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.	Temperatura média máxima, temperatura média mínima na casa de vegetação durante o período de desenvolvimento da cultura nas datas de semeadura a) 01 de janeiro de 2009 e b) 04 de novembro de 2009.....	24
Figura 3.2.	Regressão entre as doses de carvão vegetal aplicado e produção de matéria seca na maturação para ambos os experimentos.....	28
Figura 3.3.	Acumulação da matéria seca total pelas plantas de arroz em função dos graus dias acumulados nos diferentes tratamentos para os dois experimentos.....	28
Figura 3.4.	Curva de retenção da água do solo ajustado pelo modelo de van Genuchten obtida para diferentes doses de carvão vegetal (0, 6, 12 e 24%).....	32
Figura 4.1.	Registro da temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa máxima, umidade relativa mínima na casa de vegetação durante o período de estresse hídrico nas datas de semeadura a) 01 de janeiro de 2009 e b) 04 de novembro de 2009.....	40
Figura 4.2.	Relação entre a taxa de transpiração normalizada (NTR) e a fração de água transpirável do solo (FTSW) da cultivar de arroz de terras altas BRSMG Curinga à aplicação de diferentes doses de biochar: a) sem biochar, b) 6%, c) 12% e d) 24%.....	45
Figura 4.3.	Curva de retenção da água do solo ajustado pelo modelo de van Genuchten obtida para diferentes doses de biochar no substrato (0, 6, 12 e 24%).....	47

RESUMO GERAL

PEREIRA, R. G. **Resposta do arroz de terras altas a diferentes doses de carvão vegetal: desenvolvimento da planta e deficiência hídrica**. 2011. 56 f. dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)–Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.¹

A safra nacional de arroz foi de 11,3 milhões de toneladas, com uma área colhida de aproximadamente 2,7 milhões hectares (IBGE 2010). Parte desta produção é cultivada em sistema de sequeiro sob solos de cerrados que é caracterizado por apresentar elevada acidez e baixa fertilidade natural, com baixos teores de fósforo, potássio, capacidade de troca catiônica e elevada saturação por alumínio. O arroz de terras altas cultivado no Brasil Central (Cerrados) experimenta múltiplos estresses abióticos e sua produtividade é caracterizada pela incerteza devido à variabilidade na precipitação. O crescente consumo de biomassa vegetal para a geração de energia tem disponibilizado subprodutos com alto potencial para o uso agrícola. Dentre esses subprodutos, destaca-se o carvão vegetal, que devido as suas características físico-químicas e moleculares, tem-se mostrado benéfico para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de diferentes doses de carvão vegetal de eucalipto na produção de matéria seca na cultura do arroz de terras altas e nas características físico-químicas e hídricas em substrato areia, e na resposta da taxa de transpiração do arroz de terras altas como uma alternativa para minimizar os efeitos da seca no seu desenvolvimento e crescimento. Dois experimentos em vasos foram realizados por meio do delineamento em parcela sub-dividida. A parcela principal foi constituída pelo tratamento deficiência hídrica (WS) e não deficiência hídrica (NWS) e as sub-parcelas pelas diferentes doses de carvão; 0% (controle, T1), 6% (T2), 12% (T3) e 24% (T4) adicionadas no substrato (areia). Os vasos foram inteiramente casualizados nas sub-parcelas com seis repetições por dose de carvão. A quantidade de água transpirável no solo (TTSW), o fator de depleção (p), definido como a fração de água disponível no solo que pode ser retirada da zona radicular antes de ocorrer a redução da taxa de transpiração, e a taxa de transpiração normalizada (NTR) foram determinadas. A adição de carvão ao substrato proporcionou um aumento significativo na produção de matéria seca e área foliar das plantas de arroz em ambos os experimentos. Nos tratamentos T2, T3 e T4, a adição de carvão vegetal alterou significativamente as características químicas e físico-hídricas do solo, aumentando a retenção de água e a disponibilidade de nitrato para as plantas. A adição de carvão aumentou a TTSW, o fator p e reduziu a NTR. Conseqüentemente, o carvão foi responsável por modificar o fator p , até uma concentração máxima de 12% e retardar o ponto no qual o declínio da transpiração afeta o rendimento.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, carvão vegetal de eucalipto (*Eucalyptus sp.*), biomassa seca, área foliar, retenção de água, nitrogênio mineral, estresse abiótico, cultivar BRSMG Curinga, deficiência hídrica.

¹ Orientadora: Dr^a. Beáta Emöke Madari. Embrapa Arroz e Feijão.

Co-orientadores: Dr. Alexandre Bryan Heinemann. Embrapa Arroz e Feijão.

Prof. Dr. Huberto José Kliemann. EA-UFG.

GENERAL ABSTRACT

PEREIRA, R. G. **Response of upland rice to different doses of charcoal, plant development and water deficit**. 2011. 56 f. dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water)–School of Agronomy and Food Engineering, Federal University of Goiás, Goiânia, 2011.¹

The average national rice yield was 11,3 million tones, with a harvested area of about 2,7 million hectares (IBGE 2010). Part of this comes from upland production systems in savannas that have high acidity, low fertility, with low phosphorus and potassium levels, low cation exchange capacity and high aluminum saturation. Upland rice in the Brazilian savannas (Cerrados) experiences multiple abiotic stresses and is characterized by high levels of uncertainty caused by rainfall variability. The increasing consumption of plant biomass to generate energy has produced products and by-products with high potential for agricultural use. Among these products is charcoal, that, due to its physical-chemical and molecular properties, have beneficial effects for the physical, chemical and biological soil characteristics. The objective of this work was to investigate the effect of charcoal on soil chemical properties and on the development of upland rice, and on the transpiration rate response of upland rice as an alternative to decrease the effect of drought on its growth and development. Two pot experiments were carried out using a random split-plot experimental design. The main treatments (plots) were water stress (WS) and no-water stress (NWS) and the sub treatments (subplots) were different biochar doses, 0% or control (T1), 6% (T2), 12% (T3) and 24% (T4) in growing medium (sand). The plastic pots were randomized within the sub plots with six replications. The total transpirable soil water (TTSW), the p factor, defined as the average fraction of TTSW that can be depleted from the root zone before reduction in transpiration occurs and the normalized transpiration rate (NTR) were determined. Charcoal significantly increased dry matter accumulation and leaf area of rice plants in both experiments and positively affected the chemical and physical soil properties such as water retention and nitrate availability to the plants. Biochar addition increased TTSW, p factor and reduced NTR. Consequently, biochar addition was able to change the moisture threshold (p factor) of the growing medium, up to a maximum concentration of 12%, hence delaying the point where transpiration declines and affects yield.

Key words: *Oryza sativa*, eucalypt (*Eucalyptus sp.*) charcoal, dry biomass, leaf area, soil water retention, mineral nitrogen, abiotic stress, BRSMG Curinga, water deficit.

¹Adviser: Dr^a. Beáta Emöke Madari. Embrapa Arroz e Feijão.

Co-advisers: Dr. Alexandre Bryan Heinemann. Embrapa Arroz e Feijão.

Prof. Dr. Huberto José Kliemann. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Hoje, um dos maiores dilemas da agricultura que recai sobre a atual sociedade é como aumentar a produção de alimentos para suprir as demandas crescentes e minimizar a ação danosa nos ecossistemas existentes na terra.

A agricultura praticada hoje tem uma visão de escala como uma indústria, e tem provocado alterações nas estruturas naturais dos ecossistemas. Um dos mais afetados é o sistema solo-planta-atmosfera, que sai da condição de equilíbrio, devido ao desmatamento e posterior movimentação dos solos, seja para controle de plantas invasoras ou para a adição de elevadas doses de fertilizantes e corretivos minerais.

A cultura do arroz (*Oryza sativa*) é uma das mais importantes do mundo, sendo uma das bases da alimentação de grande parte da população mundial, se destacando os países asiáticos: China, Índia, Indonésia, Vietnã e Tailândia como os maiores produtores mundiais de arroz beneficiado na safra 2010, na qual esses cinco países juntos produziram 317,5 milhões de toneladas de arroz beneficiado, das 465 milhões de toneladas produzidos no mundo. O Brasil apresenta-se como o 6º produtor mundial de arroz beneficiado, com uma produção total de 8,6 milhões de toneladas (IRGA, 2010; USDA, 2010).

Parte da safra de arroz brasileiro é produzido utilizando o sistema de cultivo de arroz de terras altas, principalmente em solos de Cerrados, que se caracterizam por apresentar predominância de argilas de baixa atividade (Caulinita), baixa fertilidade natural, baixa CTC, pH ácido, baixo teor de matéria orgânica e presença de alumínio tóxico que pode interferir no desenvolvimento das culturas cultivadas. O sistema de cultivo de arroz de terras altas é considerado de risco, e está sujeito a sofrer com estresses bióticos e abióticos e consequente perda da produção. Segundo Heinemann et al. (2008), na região Centro-Oeste a maior probabilidade de ocorrência da deficiência hídrica na cultura do arroz de terras altas é no período reprodutivo, com início na diferenciação da panícula e término no florescimento. Estudos com aplicação de carvão vegetal como condicionador de solos degradados pelo uso intensivo estão sendo promissores, mostrando aumento do potencial produtivo destes solos (Sohi et al., 2010). Como consequência, uma menor pressão sobre áreas novas é esperada, reduzindo desta forma o desmatamento.

Estes estudos são baseados nos conhecimentos adquiridos nas pesquisas referentes às terras pretas de índio da Amazônia. Esses solos, que sofreram a ação antropogênica de povos indígenas que viveram nessa região, apresentam uma coloração escura devido, principalmente, à presença de material orgânico decomposto e de carvão vegetal residual de fogueiras domésticas e da queima da vegetação para uso agrícola do solo. Todavia, o fato de se a incorporação de resíduos carbonizados para melhorar as propriedades de solos era intencional ou não, ainda gera bastante discussão na comunidade científica (Woods & McCann, 2001). Esses solos apresentam ótimas características químicas como: elevados teores de carbono orgânico, P, Ca, Mg e de alguns microelementos (Kämpf & Kern, 2005). Como consequência, as terras pretas de índio apresentam uma alta fertilidade química e potencial para produção agrícola num ambiente onde os solos geralmente são obstáculos à produção sustentável (Madari et al., 2003).

A aplicação de carvão vegetal objetiva simular as características da terra preta de índio. O carvão vegetal, devido apresentar características como: estrutura molecular basicamente aromática, superfície específica elevada e hidrofobicidade, quando aplicado ao solo possui as seguintes características: alta estabilidade e ao mesmo tempo é relativamente química e biologicamente reativo, comparado ao solo mineral altamente intemperizado, o que pode contribuir para a melhoria das características químicas, físico-hídricas e biológicas dos solos (Madari et al., 2009; Cunha et al., 2009; Novotny et al., 2009).

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, com 38,5% da produção mundial (Benites et al., 2007), e a maior parte desta produção tem como origem florestas plantadas com eucalipto (*Eucalyptus* sp.). O carvão vegetal se apresenta como uma ótima alternativa na recuperação de solos degradados, incorporando carbono orgânico de uma forma mais estável que o proveniente de matéria seca não decomposta, melhorando desta forma o desempenho produtivo da cultura do arroz de terras altas e minimizando os riscos dessa cultura (Petter, 2010).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Todas as ações de transformações dos ecossistemas naturais em agroecossistemas, que o homem tem promovido vem causando a degradação dos solos com redução dos teores e estoques da matéria orgânica. Esta é de vital importância para os solos tropicais, que são altamente intemperizados, e que na sua maioria apresentam argila de baixa atividade.

Tendo como base as terras pretas de índios da Amazônia, vários estudos sobre este tipo de solo estão fornecendo subsídios do efeito benéfico do carvão vegetal (carbono pirogênico) para a fertilidade dos solos tropicais. As terras pretas de índio são consideradas solos antrópicos dos povos pré-colombianos da Bacia Amazônica (Kämpf & Kern, 2005) e apresentam alta produtividade agrícola, sem adubação, devido à ação do carvão pirogênico (Lehmann et al., 2003).

Segundo Pessenda et al. (2004), no solo o carvão é considerado uma fração com a maior média de vida dentre todas as outras contendo carbono. Neves et al. (2003) relatam que frações contendo carbono pirogênico são encontradas nas terras pretas de índio na Amazônia em grandes quantidades e com idades definidas através do método de radiocarbono que variam de 500-7000 anos. Bird et al. (1999) sugeriram que o carbono pirogênico, apesar de ser uma das frações de C mais estáveis no solo, também pode ser significativamente degradado dentro da escala de tempo de décadas ou séculos em solos sob clima subtropical. Estima-se que a meia-vida de partículas carbonizadas com tamanho >2 mm é menor que cem anos, e a de partículas <2 mm é menor que cinquenta anos. Entre outros fatores, essa lenta degradação do carvão vegetal, que envolve transformações através de processos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos, e faz com que o carvão vegetal possa entrar, com cada vez com maior intensidade, em reação com os outros componentes do solo, é responsável pelo efeito desse material nas terras pretas da Amazônia e pelo potencial dela como condicionador de solo na agricultura moderna. Com base nestes dados a aplicação de carvão vegetal ao solo pode futuramente se tornar uma excelente forma de se manter os níveis adequados de carbono, evitando sua degradação. O carvão é utilizado há muito tempo na agricultura no Japão, e no Brasil seu uso é recente e

vem sendo ampliado devido às pesquisas com a terra preta de índio. Segundo Miyasaka et al. (2001), os resíduos de carvão vegetal são promissores para utilização na agricultura, sendo que diversos trabalhos vem sendo desenvolvidos neste sentido. A queima parcial da biomassa, com controle de temperatura ($< 700^{\circ}\text{C}$) e a ausência de oxigênio, irá resultar biomassa carbonizada (biochar) (Lehman & Joseph, 2009). A sua eficiência como condicionador de substrato para o crescimento de plantas é devido às suas propriedades físico-químicas e moleculares (Novotny et al., 2007), que resultam em um aumento da capacidade de troca catiônica, pois possuem elevada área superficial ($200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} - 400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), que é comparável a das argilas e superior a das areias (Kishimoto & Sugira, 1985) e, conseqüentemente, maior disponibilização dos nutrientes, efeito similar ao da matéria orgânica do solo (Caselmam, 2007).

Segundo Downie et al. (2009), com a queima da biomassa ocorre a perda de alguns compostos orgânicos celulares, tendo como resultado final a formação de espaços porosos. E esses espaços porosos são divididos em: microporos com diâmetro de $< 2 \text{ nm}$, mesoporos com diâmetro de $2-50 \text{ nm}$ e macroporos com diâmetro de $> 50 \text{ nm}$ (Rouquerol et al., 1999). Os microporos apresentam função relacionada à adsorção de gases, enquanto os mesoporos estão associados à adsorção de líquidos e compostos sólidos. Já, os macroporos são importantes alimentadores de poros de menor diâmetro (Wildman et al., 1991).

A adição de biochar pode alterar positivamente as propriedades físicas do solo, tais como: textura, estrutura, porosidade e consistência, diâmetro dos poros, granulometria, densidade. Todas essas alterações podem levar a mudanças em outras propriedades do solo, principalmente químicas e biológicas, em função do surgimento de sítios quimicamente reativos e habitats de proteção para microrganismos do solo (Brady & Weil, 2008). Estas mudanças nas características físicas, químicas e biológicas resultam em um ambiente mais propício ao crescimento das plantas, devido à maior disponibilidade de água na zona próxima ao sistema radicular (Downie et al., 2009).

Dependendo das condições de deficiência hídrica, ou seja, reduzida disponibilidade de água no solo, a taxa de transpiração das plantas é reduzida devido à inibição da atividade fotossintética e diminuição do desenvolvimento da área foliar da planta, pois as trocas de gases, vapor de água e dióxido de carbono (CO_2) ocorrem simultaneamente por meio dos estômatos (Fischer & Fukai, 2003). As plantas respondem ao declínio do potencial de água das folhas por meio do ajuste osmótico, como um

resultado do acúmulo de solutos dentro da célula para ajudar a manter a turgescência da parte aérea e raiz (Turner et al., 2000). Isso permite processos dependentes da turgescência, como abertura dos estômatos e crescimento, a continuarem a taxas reduzidas em condições de declínio do potencial de água da folha (Jones, 1992). De acordo com Ritchie (1981), os processos fisiológicos como fotossíntese, transpiração e crescimento de folhas teriam respostas similares em diferentes condições ambientais quando comparados em função da variável fração de água transpirada do solo (FTSW).

A metodologia proposta por Sinclair & Ludlow (1986), para modelagem do comportamento das plantas a deficiência hídrica, está baseado na água disponível do solo na zona das raízes e na água removida pela transpiração. Em que o modelo calcula separadamente a transpiração. A variável FTSW, é obtida diariamente pela relação entre a lâmina de água transpirada e a lâmina de água disponível na zona efetiva radicular, normalizada para a escala 0 a 1. Essa variável atua como um fator de redução no cálculo da transpiração e assimilação de carbono, utilizando o fator de depleção de água do solo (p) (Allen et al., 1998).

Segundo Moreira & Siqueira (2006), alterações das características do solo podem influenciar em diversos fatores que agem na mineralização do nitrogênio, destacando-se a aeração, tipo de solo, pH, relação carbono/nitrogênio (C/N), manejo do solo, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes. Nos sistemas com culturas anuais, os teores de nitrato superam os de amônio na camada superficial do solo. O predomínio do nitrato ocorre em função da adubação e da correção da acidez propiciando condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores (D'andréa et al., 2004). O íon nitrato (NO_3^-) é o último elemento formado no ciclo biológico do N no solo e é a forma preferencial de absorção de N pela maioria das plantas cultivadas. Ele é pouco retido no solo, principalmente devido à sua baixa energia de ligação aos argilominerais e à matéria orgânica, podendo ser, assim, lixiviado para as camadas subsuperficiais do perfil do solo (Reisenauer, 1978).

Visto que o arroz é de suma importância na segurança alimentar de países populosos como China e Índia, e por esta cultura fazer parte significativa da dieta alimentar básica destes países, mundialmente, várias pesquisas tem sido dedicadas ao estudo da biomassa carbonizada (biochar) como condicionador de solo (Yamato et al., 2006; Rondon et al., 2006; Kimetu et al., 2008) e demonstraram seu efeito positivo e

significativo na produtividade do arroz e outras gramíneas, bem como seu potencial para reduzir o impacto ambiental de sistemas produtivos de grãos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BENITES, V. M.; NOVOTNY, E. H.; TEIXEIRA, W. G.; MADARI, B. E.; PIMENTA, A. S.; TROMPOWSKY, P. M. Use of charcoal and wood carbonization by-products in agriculture: learning with Terra Preta de Índio. In: INTERNATIONAL AGRICHAR INITIATIVE 2007 CONFERENCE, 1., Terrigal. **Resumos...** Terrigal: International Agrichar Initiative (IAI) 2007 Conference, 2007. p. 30-31.

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

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 2008. 965 p.

CASSELMAN, A. **Special report: inspired by ancient amazonians, a plan to convert trash into environmental treasure**. Scientific American May 15, 2007, p. 1-4.

CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; MARTINNETO, L.; SANTOS, G. A. CARBONO PIROGÊNICO. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; Woods, W. I. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 1 ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2009.p. 263-284.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa. Agropecuaria. Brasileira**, v 39, p. 179-186, 2004.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (ed). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. 1. ed.Londres: earthscan, 2009. 416 p.

FISCHER, K.S.; FUKAI, S. How rice responds to drought. In: **Breeding rice for drought-prone environments**. In.: K.S. FISCHER, R. LAFITTE, S. FUKAI, G. ATLIN, B. HARDY (eds.). Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute. p. 32-36. 2003.

HEINEMANN, A. B.; LUQUET, D.; DINGKUHN, M.; COMBRES, J. C. ; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 162. p.395-410. 2008.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Arroz: preços mundiais firmes e incertezas nos mercados**. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 dez. 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Disponível em: <<http://www.usda.gov/>>. Acesso em 30 dez. 2010.

JONES, H.G. In: **Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology**. 2. ed. Cambridge University press, New York. 1992. 428p.

KAMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia. *Tópicos em Ciência do Solo*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 277-320. 2005.

KIMETU, J. M.; LEHMANN, J.; NGOZE, S.; MUGENDI, D. N.; KINYANGI, J.; RIHA, S., VERCHOT, L.; RECHA, J. W.; PELL, A. Reversibility of productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. **Ecosystems**, New York, v. 11, n. 5, p. 726-739. 2008.

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

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: LEHMANN, J.; SOSEPH, S. (ed). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. 1. ed. earthscan, Londres, 2009. p. 4-18.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GERMAN, L. A.; MCCANN, J.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, A. Soil Fertility and Production Potential. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2003. p. 105-124.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; Woods, W. I. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. 1º ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2009. p. 172-188.

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. (eds) **Amazonian dark earths. Origin, properties, management**. Kluwer:Dordrecht. 2003. p. 407-432.

MIYASAKA, S., OHKAWARA, T., NAGAI, K, YAZAKI, H., SAKITA, M.N. 2001. Técnicas de produção e uso do fino carvão e Licor Pirolenhoso. In; Encontro de processos

de proteção de plantas;Controlo ecológico de pragas e doenças , 1 , Botucatu. Resumos... p.161-176.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras. Editora UFLA, 626 p., 2006.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N.; SILVA, C. A. D. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 29-50, 2003.

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

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E. P. E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, Oxford, v. 114, n. 1, p. 35-43. 2004.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solos: aspectos agronomicos e ambientais de seu uso em solos de Cerrado**. 2010. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

REISENAUER, H. M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: NIELSEN, D. R. & McDONALD, J. G. **Nitrogen in the environment**. London, Academic Press, 1978. v. 2, p. 157-170.

RITCHIE J.T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 81-96. 1981.

RONDON, M. A.; MOLINA, D.; HURTADO, M.; RAMIREZ, J.; LEHMANN, J.; MAJOR, J.; AMEZQUITA, E., Enhancing the productivity of crops and grasses while reducing greenhouse gas emissions through bio-char amendments to unfertile tropical soils. In: 18th WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 18., Philadelphia, Pennsylvania. **Resumos...**2006. p. 138.

ROUQUEROL, F.; ROUQUEROL, I.; SING, K. **Adsorption by Powders and Porous Solids**, Academic Press, London, UK, 125 p., 1999.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence if soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, p. 329-341, 1986.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 105, p. 47-82, 2010.

TURNER, N. C.; WRIGHT, G. C.; SIDDIQUE, K. H. M. Adaptation of grain legumes (Pulses) to water-limited environments. **Advances in Agronomy**. San Diego, v. 71, p. 193–231. 2000.

WILDMAN, J.; DERBYSHIRE, F. Origins and functions of macroporosity in activated carbons from coal and wood precursors, **Fuel**, Oxford, v. 70, n. 5, p. 655-661, 1991.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. El origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía. In HIRAOKA, M.; MORA, S. (eds) **Desarrollo sostenible en la Amazinía. Mito o realidad? Colección: Hombre y ambiente**. Quito, Producciones digitales Abya-Yala, 2001, N° 61-62 . p. 23-30.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea, peanut and soil chemical properties in south Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 52, n. 4, p. 489-495, 2006.

3 CARVÃO VEGETAL COMO CONDICIONADOR DE SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE ARROZ DE TERRAS ALTAS

RESUMO

A safra nacional de arroz foi de 11,3 milhões de toneladas, com uma área colhida de aproximadamente 2,7 milhões hectares (IBGE 2010). Parte desta produção é cultivada em sistema de sequeiro sob solos de cerrados que é caracterizado por apresentar elevada acidez e baixa fertilidade natural, com baixos teores de fósforo, potássio, capacidade de troca catiônica e elevada saturação por alumínio. Além da probabilidade de ocorrência de intempéries climáticas, como veranicos. O crescente consumo de biomassa vegetal para a geração de energia tem disponibilizado subprodutos com alto potencial para o uso agrícola. Dentre esses subprodutos, destaca-se o carvão vegetal, que devido as suas características físico-químicas e moleculares, tem-se mostrado benéfico para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de diferentes doses de carvão vegetal de eucalipto na produção de matéria seca na cultura do arroz de terras altas e nas características físico-químicas e hídricas em substrato areia. Quatro diferentes doses de carvão vegetal, T1=0, T2=6%, T3=12% e T4=24%, em base de peso, foram adicionados ao substrato, areia lavada, e cultivadas com arroz de terras altas em condições potenciais, ou seja, sem deficiência hídrica e mineral, em dois diferentes experimentos, com datas de plantio em 11/01/2009 e 07/11/2009. A adição de carvão ao substrato proporcionou um aumento significativo na produção de matéria seca e área foliar das plantas de arroz em ambos os experimentos. Nos tratamentos T2, T3 e T4, a adição de carvão vegetal alterou significativamente as características químicas e físico-hídricas do solo, aumentando a retenção de água e a disponibilidade de nitrato para as plantas.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, carvão vegetal de eucalipto (*Eucalyptus sp.*), biomassa seca, área foliar, retenção de água, nitrogênio mineral.

ABSTRACT

CHARCOAL AS SOIL CONDITIONER AND ITS EFFECTS ON THE DEVELOPMENT OF UPLAND RICE

The average national rice yield was 11,3 million tones, with a harvested area of about 2,7 million hectares (IBGE 2010). Part of this comes from upland production systems in savannas that have high acidity, low fertility, with low phosphorus and potassium levels, low cation exchange capacity and high aluminum saturation combined

with climatic restrictions like the occurrence of dry spells. The increasing consumption of plant biomass to generate energy has produced products and by-products with high potential for agricultural use. Among these products is charcoal, that, due to its physical-chemical and molecular properties, have beneficial effects for the physical, chemical and biological soil characteristics. The objective of this work was to investigate the effect of charcoal on soil chemical properties and on the development of upland rice. Charcoal significantly increased dry matter accumulation and leaf area of rice plants in both experiments and positively affected the chemical and physical soil properties such as water retention and nitrate availability to the plants.

Key words: *Oryza sativa*, eucalypt (*Eucalyptus* sp.) charcoal, dry biomass, leaf area, soil water retention, mineral nitrogen.

3.1 INTRODUÇÃO

As estimativas da safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas, indicam uma produção da ordem de 148,8 milhões de toneladas, com a cultura do arroz participando deste total com 11,3 milhões de toneladas, em uma área colhida de 2,7 milhões de hectares. Há uma projeção para aumentar esta quantia na próxima safra para aproximadamente 12,2 milhões de toneladas (IBGE, 2010). Parte dessa produção é cultivada em sistema de sequeiro sob solos de cerrados.

Os solos de cerrados caracterizam-se por elevada acidez, baixa fertilidade natural, com baixos teores de fósforo, potássio, baixa capacidade de troca catiônica e elevada saturação por alumínio. Além disso, a produção arroz de terras altas está sujeita as intempéries climáticas, como a ocorrência de veranicos durante o período de desenvolvimento, aumentando o risco de quebra na produtividade. O veranico é definido como um período de estiagem durante a estação chuvosa, com dias de calor intenso e insolação. Para ser considerado veranico, é necessário uma duração mínima de quatro dias (MAPA, 2011).

O crescente consumo de biomassa vegetal para a geração de energia tem disponibilizado subprodutos com alto potencial para uso agrícola. Dentre esses subprodutos está o carvão vegetal, que devido as suas características pode minimizar alguns efeitos abióticos e bióticos aos quais a cultura de arroz de terras altas estão sujeitas. O carbono pirogênico proveniente da combustão incompleta da biomassa vegetal possui

uma alta recalcitrância devido a sua estrutura aromática e por isso apresenta alta estabilidade quando adicionado ao solo. Assim, o carvão vegetal pode desempenhar um importante papel na fertilidade do solo (Madari et al., 2009).

Vários autores relatam que o carvão vegetal, devido as suas características físico-químicas, tem efeito benéfico para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Glaser et al., 2002; Lehmann et al., 2003; Lehmann et al., 2003a; Oguntunde et al., 2004; Madari et al., 2006). Esse efeito no solo pode proporcionar um aumento na disponibilidade de nutrientes para as plantas, incrementando o potencial produtivo do solo.

Segundo Madari et al. (2006), a cultura do arroz de terras altas responde positivamente à aplicação de carvão vegetal proveniente de *Eucalypto* sp. ao solo. De acordo com os autores foram observados um maior vigor inicial, maior acúmulo de biomassa seca, desenvolvimento uniforme e aumento no rendimento dos grãos. Também, foi observado uma melhoria nas características químicas do solo, tais como redução da acidez potencial e aumento dos teores de fósforo e potássio disponível as plantas.

O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de diferentes doses de carvão vegetal de eucalipto na produção de matéria seca na cultura do arroz de terras altas e nas características físicas, químicas e hídricas do substrato areia.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados, em casa de vegetação, na Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, no Estado de Goiás. As datas de semeadura foram em 01/01/2009 e 04/11/2009. Utilizou-se a cultivar BRSMG Curinga de arroz de terras altas (*Oryza sativa*). Esse cultivar é considerado moderno, de ciclo médio e apresenta 11 a 12 folhas no colmo principal (Heinemann et al., 2009).

Durante o ciclo da cultura, foram coletados os dados climáticos, temperatura diária máxima e mínima (Figura 3.1).

Ambos os experimentos foram conduzidos em vasos plásticos iguais, com capacidade para conter ~7 kg de solo, utilizando-se como substrato, areia. Quatro diferentes doses de carvão vegetal foram adicionadas ao substrato: 0% (T1), 6% (T2), 12% (T3) e 24% (T4) relativo ao peso da areia. As características químicas do substrato e do carvão vegetal estão descritas na Tabela 3.1. Para a mistura das proporções de carvão com o substrato, o peso final de cada vaso foi fixado em 7,0 kg. Adição de carvão ao substrato

foi corrigida em função da umidade do carvão e da areia (substrato). O carvão utilizado é um subproduto do processo de fabricação de carvão vegetal, tendo como espécie vegetal fornecedora de biomassa para o processo de pirólise o eucalipto (*Eucalyptus* sp.). O carvão utilizado foi triturado e passado em peneira com malha de 2,0 mm. O substrato, areia, foi passado em peneira com malha de 4,0 mm.

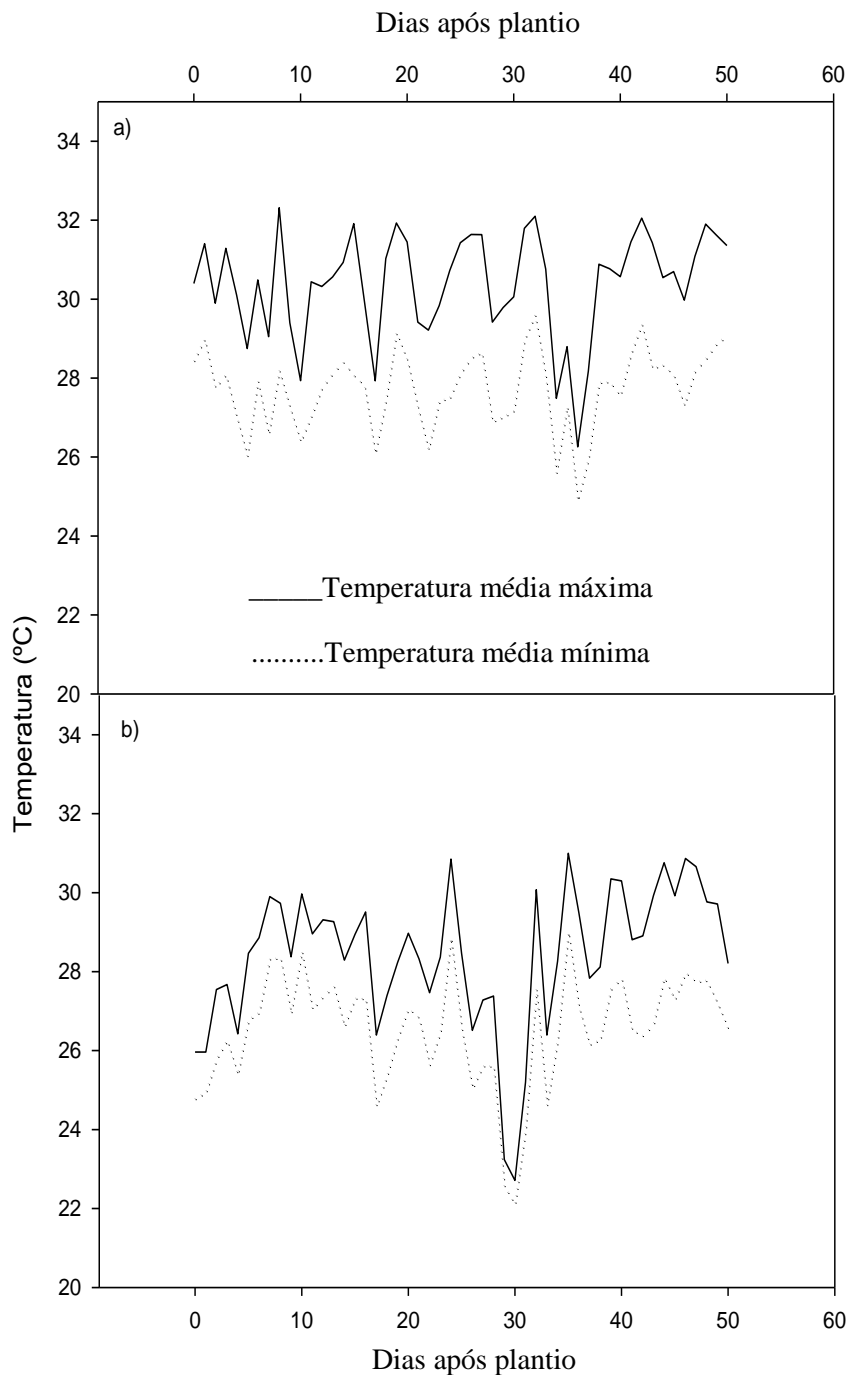


Figura 3.1. Temperatura média máxima, temperatura média mínima na casa de vegetação durante o período de desenvolvimento da cultura do arroz nas datas de semeadura a) 01 de janeiro de 2009 e b) 04 de novembro de 2009.

Tabela 3.1. Análise química da areia e do carvão.

Variáveis	Areia	Carvão
pH _{água}	6,17	9,43
Ca	0,27	2,79
Mg	0,12	2,28
Al	0,00	0,00
H + Al	0,42	0,00
P	3,47	137,33
K	19,00	1.973,33
Cu	0,40	1,03
Zn	1,07	3,63
Fe	216,67	74,00
Mn	21,67	88,00
M.O.	0,00	59,67

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento. A adubação durante o ciclo da cultura foi fornecida por meio de uma solução nutritiva descrita por Yoshida, et al. (1976) e aplicada 200 mL três dias por semana durante o ciclo da cultura.

Foram semeadas vinte sementes por vasos, sendo que após a emergência foram deixadas apenas quinze plantas por vaso. A cada semana, uma planta por vaso era retirada para determinar a produção de matéria seca e área foliar. As plantas coletadas foram separadas em folhas e colmos para determinar a área foliar por meio do equipamento LICOR 3000, e em seguida colocados em sacos de papel e levados para secar em estufa com circulação de ar a 70°C até obterem peso constante para a determinação da matéria seca. Analisou-se o crescimento das plantas para cada experimento e depois eles foram analisados conjuntamente utilizando-se um modelo exponencial para ajuste da curva de crescimento, em função dos graus dias acumulados.

Foi realizado teste de retenção de água em 8 níveis de tensões. Para isso amostras indeformadas foram retiradas com cilindro de Uhland pelo final do período de avaliação do experimento. As curvas de retenção de água foram elaboradas utilizando a equação de van Genuchten (Van Genuchten, 1980). Os parâmetros do modelo foram obtidos utilizando o software SWRC (Dourado-Neto et al., 2000). A partir das curvas de retenção ajustadas foram calculados os seguintes parâmetros: água disponível, água gravitacional. A partir dos dados das amostras se determinou a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade.

Também foram realizadas análises do substrato nos dois experimentos para a determinação da forma predominante de nitrogênio mineral retida, ou seja, se isso é influenciado pelas doses de carvão vegetal aplicados ao substrato. As análises foram

realizadas em duas épocas durante o experimento, no início do desenvolvimento do arroz e na fase reprodutiva. O amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-) retidos foram quantificados em três repetições por tratamento. Além disso, componentes da fertilidade do substrato ($\text{pH}_{\text{água}}$, Ca, Mg, H, H+Al, P, K, Fe, Mn, Cu, Zn e M.O.) foram determinados segundo métodos apresentados em (Embrapa, 1997). Todos os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F e ao comparação de médias pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, utilizando software Sisvar (Ferreira, 2003).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de carvão vegetal ao substrato (Tabela 3.2), para os tratamentos T2, T3 e T4 resultou no aumento do pH, na concentração dos macronutrientes (Ca, Mg, P e K) e na dos seguintes micronutrientes (Cu, Fe e Mn), com exceção para Zinco (Zn). Outro efeito importante que pode ser observado é que com a adição de carvão ocorreu uma redução da acidez potencial do substrato utilizado.

Tabela 3.2. Resultados médios da análise química do substrato por tratamento.

	Tratamentos				CV(%)	Teste F
	T1	T2	T3	T4		
pH Água	5,9d	7,6c	7,7b	7,9a	0,55	*
Ca	6,0d	13,7c	16,3b	22,0a	4,45	*
Mg	2,0d	4,0c	5,0b	6,7a	6,54	*
Al	0,0a	0,0a	0,0a	0,0a	0,00	ns
H + Al	3,0a	0,0b	0,0b	0,0b	66,66	*
P	4,3d	17,8c	26,6b	43,8a	3,31	*
K	31,3d	301,3c	499,0b	749,0a	1,18	*
Cu	0,5a	0,2b	0,5a	0,4a	16,14	*
Zn	1,4a	1,4a	1,4a	1,5a	6,98	ns
Fe	146,7a	93,3b	83,3b	76,0b	8,01	*
Mn	32,7c	34,7bc	35,7b	41,0a	2,77	*
M.O.	0,0d	6,3c	10,0b	16,7a	4,95	*

* e ** significativo a 1 e 5% respectivamente; ^{ns} - não significativo; C.V. coeficiente de variação; médias com letras iguais nas linhas não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tem-se também que o carvão apresentou efeito mais expressivo sobre os macronutrientes onde o teste de médias conseguiu estabelecer distinção entre quatro grupos, com uma ordem crescente de eficiência (T2, T3 e T4) em aumentar os nutrientes no substrato. Ou seja, a dose superior de carvão (24%) obteve os melhores resultados seguidos da dose intermediária (12%) e inferior (6%). O efeito positivo na disponibilidade de macronutrientes com carvão vegetal ocorreu devido à adição destes nutrientes ao substrato juntamente com o carvão. A mesma tendência observada para os macronutrientes ocorrem para o carbono do solo, corroborando com Steinbeiss et al. (2009), que observaram efeito positivo do uso do carvão sobre o carbono do solo.

Analisando as equações da Tabela 3.3, observou-se que a maioria das variáveis químicas apresentaram bom ajuste aos modelos lineares, com alta correlação positiva, sendo que o pH se ajustou melhor ao modelo quadrático com boa correlação positiva, o que talvez se deva ao fato de ter sido utilizada areia, que possui baixo poder tampão. Essa correlação positiva é relacionada à alta concentração de macronutrientes e carbono disponíveis no carvão vegetal, ou seja, para aquelas variáveis quanto maior a dose de carvão vegetal aplicado maior será a disponibilidade do elemento no solo. No caso do, pH observa-se que este tem um máximo.

Tabela 3.3. Equações de regressão entre doses de carvão vegetal e variáveis químicas do substrato, com seus respectivos índices de regressão e correlação.

Variáveis	Equação	R ²	Correlação
pH Água	$y = -0,0071x^2 + 0,2458x + 6,0309$	0,9184	0,7754
Ca	$y = 0,6248x + 7,94$	0,9288	0,9637
Mg	$y = 0,1871x + 2,46$	0,9537	0,9766
P	$y = 1,6062x + 6,26$	0,9883	0,9941
K	$y = 29,129x + 89,3$	0,9642	0,9819
M.O.	$y = 0,6733x + 1,18$	0,9760	0,9879

Os dados de matéria seca produzida por planta (Tabela 3.4) referem-se às coletas realizadas em 7 fases do crescimento do arroz entre a emergência e a diferenciação da panícula.

Tabela 3.4. Resultados médios de matéria seca total (grama planta⁻¹), em diferentes datas após a emergência das plântulas.

Trat	Experimento 1						
	DAE - Dias Após a Emergência						Maturação
	13	22	29	36	43	51	
T1	0,0295a	0,0555b	0,1205b	0,1650b	0,4400a	0,7722c	16,4125c
T2	0,0282a	0,0827a	0,1762a	0,2622a	0,7850a	1,6742a	42,1875b
T3	0,0120b	0,0402bc	0,0890bc	0,2047ab	0,7937a	1,2497ab	43,5025b
T4	0,0092b	0,0220c	0,0605c	0,0772c	0,5925a	1,1750bc	53,8425a
Teste F	*	*	*	*	ns	*	*
C.V.(%)	20,79	22,47	14,25	18,29	30,48	17,00	7,02
Trat	Experimento 2						
	DAE - Dias após a Emergência						Maturação
	14	21	28	35	42	50	
T1	0,0188b	0,0704b	0,1628b	0,2633c	0,7816b	1,7808c	35,4350c
T2	0,0345a	0,1268a	0,3679a	0,8466ab	1,5666a	3,5558b	53,9625b
T3	0,0307a	0,1406a	0,3760a	0,7983b	1,9675a	3,7258b	56,6800b
T4	0,0281ab	0,1517a	0,4274a	0,9825a	1,7666a	4,5092a	77,7750a
Teste F	**	*	*	*	*	*	*
C.V.(%)	19,77	17,38	12,81	11,25	16,61	8,77	5,80

* e ** significativo a 1 e 5% respectivamente; ^{ns} - não significativo; C.V. coeficiente de variação; médias com letras iguais nas colunas não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Em ambos os experimentos observou-se que o carvão vegetal adicionado ao substrato teve um efeito significativo, na maioria das fases de crescimento avaliadas, sendo que primeiro experimento até os 43 dias após a emergência (DAE), não verificou-se efeito

significativo da adição de carvão vegetal ao solo. Todavia, deve-se salientar que devido ao elevado coeficiente de variação obtido na análise de variância, pressupõe-se falhas nas etapas de determinação da matéria seca das plantas.

Durante o primeiro experimento ocorreram dificuldades no manejo do nitrogênio aplicado aos vasos, constatando-se deficiências, porém estas foram resolvidas nas aplicações posteriores. Analisando os dados do primeiro experimento em comparação com o segundo experimento, observou-se que nos tratamentos com a adição de carvão vegetal o desenvolvimento inicial do arroz foi inferior ao da testemunha sem a adição de carvão. Isso ocorreu, provavelmente, devido à deficiência nutricional (N) observada no início do primeiro experimento, que pode ter mascarado o efeito do carvão vegetal. Após solucionar a deficiência nutricional, os resultados de matéria seca das plantas coletadas corresponderam aos tratamentos com carvão vegetal, similarmente ao segundo experimento, em que os tratamentos com adição de carvão vegetal foram estatisticamente superiores, quando comparados à testemunha. No segundo experimento, desde o início do desenvolvimento do arroz observou-se que os tratamentos com carvão vegetal apresentaram acumulação de matéria seca nas plantas bem superiores à testemunha, concordando com Zhang et al. (2010).

Em ambos os experimentos, os resultados da matéria seca coletada na maturação fisiológica da cultura do arroz demonstrou que as plantas responderam à adição de carvão vegetal no solo, ocorrendo a formação de três grupos de segregação de médias pelo teste de Tukey, em que a maior dose de carvão vegetal (T4 com 24% de carvão vegetal) aparece como um grupo superior. As doses intermediárias (T2 com 6% e T3 com 12% de carvão vegetal) estão estatisticamente equivalentes. Já a testemunha (T1, sem carvão vegetal) foi inferior, na maioria das datas analisadas. Madari et al. (2006) observaram em ensaio em vasos utilizando arroz de terras altas que este responde positivamente à aplicação de carvão vegetal de eucalipto, apresentando maior crescimento, desenvolvimento de colmos e acumulação de matéria seca nas plantas. Com isto, o carvão vegetal proporcionou desenvolvimento melhor e mais uniforme nas plantas de arroz, especialmente, na fase inicial do crescimento. Estes resultados corroboram também os de Major et al. (2005), que obtiveram um aumento na matéria seca do arroz na ordem de 53% quando adicionaram carvão vegetal ao solo.

A acumulação de matéria seca na maturação (Figura 3.2), apresentou bom

ajuste e alta correlação com as doses de carvão vegetal aplicados, quando se utilizou modelo quadrático, indicando a presença de um ponto de máximo, a partir do qual o carvão vegetal na areia não promove maiores aumentos na matéria seca acumulada.

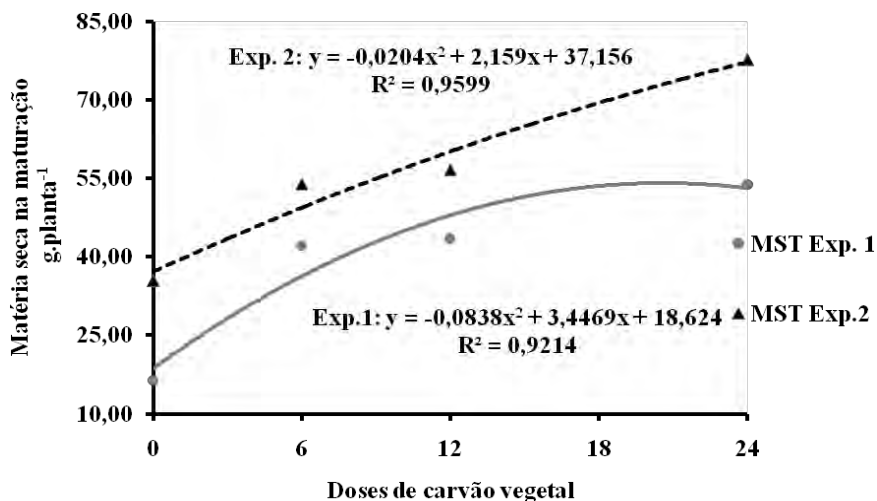


Figura 3.2. Regressão entre as doses de carvão vegetal aplicado e produção de matéria seca na maturação.

Na Figura 3.3. estão apresentados os resultados da aplicação de um modelo de desenvolvimento exponencial sobre os dados de acumulação de matéria seca das plantas em ambos os experimentos em função dos graus dias acumulados pela cultura conforme o modelo de cálculo de umidades caloríferas proposta por Gilmore & Rogers (1958).

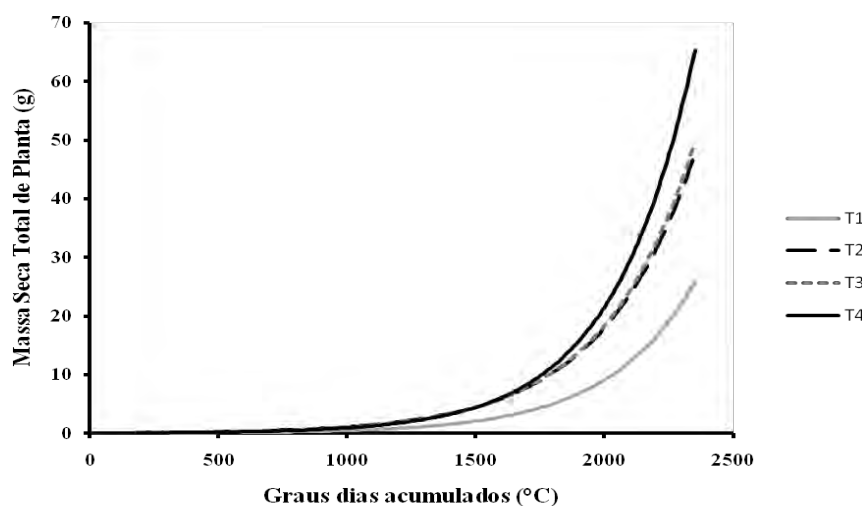


Figura 3.3. Acumulação da matéria seca total pelas plantas de arroz em função dos graus dias acumulados nos diferentes tratamentos.

Foi observado que o tratamento com a maior dose de carvão (T4) apresenta matéria seca estatisticamente superior comparado aos tratamentos com doses

intermediárias de carvão (T3 e T2), os quais são semelhantes estatisticamente. Estes por sua vez são todos superiores à testemunha (T1).

O efeito da adição de carvão vegetal na área foliar das plantas de arroz foi semelhante ao observado na matéria seca das plantas (Tabela 3.5). Nesta reposta fisiológica da planta verificou-se, em ambos os ensaios, efeito significativo da adição de carvão vegetal, e as plantas obtiveram área foliar maior onde foi aplicado carvão vegetal quando comparado com as testemunhas.

Tabela 3.5. Resultados médios de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) em diferentes datas após a emergência das plântulas.

Trat	Experimento 1					
	DAE - Dias após a Emergência					
	13	22	29	36	43	51
T1	5,0547a	8,7132bc	19,2225b	23,7417b	63,6715b	73,7450b
T2	5,3870a	18,8195a	32,6420a	42,8615a	139,9862a	191,2815a
T3	2,2422b	12,7202ab	16,5302bc	36,4607a	131,6162a	158,9910a
T4	1,5292b	4,5115c	10,2465c	15,0517b	97,6900ab	152,3982a
Teste F	*	*	*	*	*	*
C.V.(%)	14,32	26,45	17,13	16,42	22,45	13,79
Trat	Experimento 2					
	DAE - Dias após a Emergência					
	14	21	28	35	42	50
T1	4,7081b	9,2130b	29,6886b	43,6786b	94,7979b	252,6484c
T2	8,2315a	18,9806a	72,5078a	154,4910a	232,1449a	504,8379b
T3	7,5212a	24,7093a	82,3334a	150,0538a	243,2982a	541,9897b
T4	7,3012a	25,5793a	83,3949a	156,429a	202,3282a	633,9926a
Teste F	*	*	*	*	*	*
C.V.(%)	16,60	16,27	15,13	9,85	18,92	8,08

* e ** significativo a 1 e 5% respectivamente; ^{ns} - não significativo; C.V. coeficiente de variação; médias com letras iguais nas colunas não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quando comparados o primeiro e o segundo experimentos observou-se que esta resposta fisiológica da planta de arroz à adição de carvão vegetal, também foi influenciada no primeiro experimento pela deficiência de nitrogênio, mostrando que a adição de carvão vegetal ao solo causou um desenvolvimento da área foliar inferior à testemunha nessa condição, o que posteriormente foi corrigido após a adição deste nutriente.

Ao analisar-se os dados de área foliar durante todo período de desenvolvimento da cultura, no primeiro experimento, observou-se a predominância de formação de dois grupos de segregação de médias, e que aos 50 dias, que coincide com a diferenciação floral da cultura, tem-se os tratamentos com adição de carvão obtendo respostas superiores às

testemunhas. Já no segundo experimento predomina a distribuição das médias semelhantes às do primeiro experimento contudo, aos 50 dias de emergência das plantas, obteve-se a formação de três grupos, onde a maior dose de carvão propiciou a maior área foliar, as doses intermédias estão estatisticamente no mesmo grupo de significância, e a testemunha apresentou a menor área foliar. Esses resultados mostram que uma deficiência nutricional no início do desenvolvimento afeta significativamente esta resposta fisiológica da planta de arroz.

Devido à grande influência do elemento nitrogênio nos resultados de matéria seca acumulada e área foliar das plantas de arroz, realizou-se, no segundo experimento, análises de amônio e nitrato para determinar a forma predominante do nitrogênio no solo sob aplicação de diferentes doses de carvão vegetal (Tabela 3.6).

Tabela 3.6. Resultados médios da análise de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo (mg kg^{-1} de solo) em duas datas diferentes no experimento 2.

Trat.	Data de coleta			
	27/11/09		04/01/10	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
T1	29,667a	29,950c	4,125a	3,752b
T2	33,954a	161,046b	4,768a	26,462ab
T3	31,482a	234,044ab	6,904a	44,517a
T4	73,764a	274,980a	7,232a	52,196a
Teste F	ns	*	ns	*
C.V.(%)	110	39,72	39,88	51,41

* e ** significativo a 1 e 5% respectivamente; ^{ns} - não significativo; C.V. coeficiente de variação; médias com letras iguais na colunas não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A concentração de nitrato foi fortemente influenciada pelas doses de carvão vegetal aplicadas ao solo (Tabela 3.6), demonstrando que nos solos onde ocorreu a adição de altas doses de carvão a forma predominante do nitrogênio foi na forma de nitrato. Em ambas as datas de análise, foi observado que os tratamentos com a adição de carvão foram estatisticamente superiores à testemunha para a forma de nitrato. Já o teor de amônio não foi influenciado por nenhum dos tratamentos, em nenhuma das datas. Esse resultado parcialmente confronta com Nogueira et al. (2010), que observaram, em experimento em vasos, efeito do biochar na retenção de nitrato no solo sem a adição de fertilizante mineral (uréia). Já quando a uréia foi adicionada ao solo, o biochar não teve efeito significativo na retenção de nitrato, somente do amônio. Os autores explicam que a falta de efeito na retenção de nitrato nessa condição (adição de uréia) estaria mais ligada a uma combinação entre a grande retenção de água nos solos utilizados no experimento (solos argilosos, com teor de argila entre 34% e 48%) que com a adição do carvão vegetal pode ter aumentado, e

pela saturação dos solos pelo nitrato. Devido a alta retenção de água, o nitrato não foi lixiviado do solo que resultou na sua acumulação. Os resultados de Laird et al. (2010) confirmam que o carvão vegetal pode diminuir a lixiviação de nutrientes do solo.

O arroz, na fase inicial do seu crescimento, utiliza o nitrogênio, predominantemente, na forma de amônio. Segundo os resultados acima apresentados, com a adição de carvão vegetal ao solo aumentou-se a retenção de nitrato no solo, mas não do amônio que, em condições aeróbicas, transforma-se rapidamente em nitrato. Assim, na condição de deficiência nutricional de nitrogênio no primeiro experimento, com a adição de doses crescentes de carvão vegetal, provavelmente aumentou-se o teor de nitrato retido no solo, e ao mesmo tempo, o carvão vegetal não teve efeito significativo para os teores de amônio no substrato, que ficou baixo provocando deficiência de N na forma acessível para a planta. Assim, salienta-se a importância do equilíbrio nutricional do meio de crescimento das plantas, no caso do arroz de terras altas, principalmente, na fase inicial do seu desenvolvimento vegetativo, para evitar efeitos negativos da aplicação do carvão vegetal que, em condições adequadas de nutrição, podem ser positivas.

Obteve-se efeito significativo para a retenção de água em todas as tensões analisadas (Tabela 3.7) e as curvas ajustadas (Figura 3.4) para os diferentes tratamentos fica estatisticamente evidente, que a adição de carvão vegetal aumentou a retenção de água, e que os tratamentos T3 e T4, estão muito semelhantes, indicando que estas doses não diferiram estatisticamente. Evidencia-se também que o tratamento T3 seria a dose máxima ideal para a retenção de água nas tensões estudadas, conforme indicado nos dados de água disponível (AD). Estes resultados concordam com Glaser et al. (2002) que, avaliando o efeito da adubação com carvão sobre as propriedades físico-hídricas do solo, encontram resultados semelhantes.

Quanto maior a dose de carvão menor é a quantidade de água que estará sujeita a ação da gravidade (Tabela 3.7) o que irá diminuir a percolação desta água no solo, podendo diminuir a lixiviação de nutrientes. Ocorreu também um aumento da porosidade e uma redução da densidade aparente do solo com a adição de carvão vegetal ao solo o que poderia propiciar o melhor desenvolvimento do sistema radicular da planta com um aumento do potencial produtivo da cultura. concordando com Laird et al. (2010), que trabalhando com efeito do carvão na redução da lixiviação em solos agrícolas, obtiveram efeitos positivos do carvão para características físico- hídricas do solo.

Tabela 3.7. Resultados médios das características físicas e de água retida no solo (%), nos diferentes tratamentos e tensões.

Tensão (kPa)	Tratamentos				Teste F	C.V.(%)
	T1	T2	T3	T4		
0	67,25a	61,45b	56,92c	47,75d	*	2,51
6	25,54c	27,40bc	30,57a	28,19b	*	3,40
8	19,18c	24,55b	28,20a	26,45ab	*	3,98
10	16,18c	22,77b	26,59a	25,20a	*	4,57
33	10,97c	17,21b	20,59a	20,02a	*	6,54
60	10,51c	15,88b	18,75a	18,28ab	*	7,29
100	10,35b	15,14a	17,58a	17,18a	*	7,77
1500	10,23b	13,76a	14,70a	14,84a	*	7,68
AD	0,75c	3,44b	5,89a	5,18a	*	16,79
AG	56,57a	44,24b	36,33c	27,33d	*	3,74
DS	1,52a	1,31b	1,17c	0,85d	*	1,46
Micro P	25,54c	27,39bc	30,57a	28,19b	*	3,40
Macro P	17,63c	19,02bc	20,88b	27,99a	*	5,54
P Total	43,16d	46,41c	51,45b	56,18a	*	1,41

* significativo a 1%; C.V. coeficiente de variação; médias com letras iguais nas linhas não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; AD- água disponível%; AG- água gravitacional %; DS- Densidade aparente; Micro P- microporosidade; Macro P- macroporosidade; P total- porosidade total.

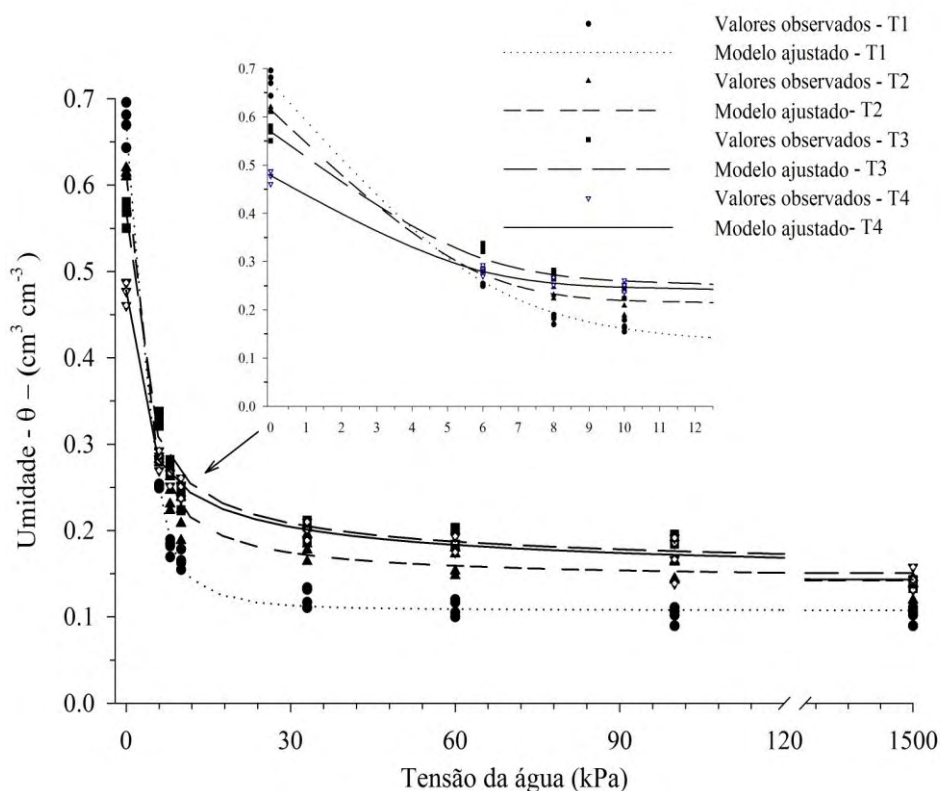


Figura 3.4. Curva de retenção da água do solo ajustado pelo modelo de van Genuchten obtida para diferentes doses de carvão vegetal (0, 6, 12 e 24%).

Estas alterações das características físico-hídricas provocadas pela adição de carvão vegetal ao solo, pode ter contribuído também a uma maior retenção do nitrogênio

na forma de nitrato sendo que esta forma é mais facilmente lixiviada no perfil, pois, como relatado por vários autores, às perdas deste elemento mineral por lixiviação são bastante acentuadas (Reisenauer, 1978; Vale et al., 1998). Trabalhos têm demonstrado que estas alterações nas propriedades físicas podem levar a mudanças em outras propriedades do solo, principalmente químicas e biológicas (Brady & Weil, 2008), especialmente devido à porosidade do carvão, e elevada área superficial variando de $200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a $400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Kishimoto & Sugira, 1985).

Analisando conjuntamente os dados de matéria seca e área foliar acumuladas pelas plantas de arroz (Tabelas 3.4 e 3.5, respectivamente), os de retenção de água (Tabela 3.7) e, forma de nitrogênio no solo (Tabela 3.6), pode-se inferir que os tratamentos com maiores doses de carvão vegetal apresentaram efeito positivo na retenção do nitrato no solo o que pode ter diminuído sua lixiviação e mantido em níveis adequados este elemento na solução do solo que, juntamente com outros fatores como a concentração de nutrientes disponíveis no carvão vegetal (Tabelas 3.1 e 3.2) propiciaram uma melhor resposta fisiológica das variáveis analisadas em ambos os experimentos, concordando com Laird et al. (2010a)

Estes resultados confirmam o efeito positivo e significativo do carvão vegetal para as plantas, concordando com Yamato et al. (2006), Rondon et al. (2006), Kimetu et al. (2008) e Petter (2010), que também obtiveram efeito significativo na produtividade do arroz e outras gramíneas com a aplicação de carvão vegetal ao solo.

3.4 CONCLUSÕES

O carvão vegetal apresentou efeito positivo na acumulação de matéria seca e no desenvolvimento de área foliar das plantas de arroz .

Diante dos dados apresentados não pode-se afirmar que em doses maiores que a estudadas irá apresentar um efeito negativo ou após o efeito Máximo atingi-se um patamar.

A adição de carvão vegetal alterou as características físico-hídricas da areia aumentando a porosidade, a água disponível e a retenção de água no solo. Também diminuiu a densidade aparente do solo e o volume de água gravitacional.

Especial atenção deve ser dada na aplicação de carvão vegetal em relação ao equilíbrio nutricional do meio de crescimento das plantas, a fim de evitar-se efeitos negativos dessa aplicação.

3.5 REFERÊNCIAS

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 2008. 965 p.

DOURADO-NETO, D., ET AL. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA; Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1).

FERREIRA, D.F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos - SISVAR 5.0**. 2003. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

GILMORE, E. C. Jr. & ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Sistema de monitoramento agrometeorológico – **Glossário**. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Acesso em: 05 mar. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores da agropecuária - Lavouras**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

KIMETU, J. M.; LEHMANN, J.; NGOZE, S.; MUGENDI, D. N.; KINYANGI, J.; RIHA, S., VERCHOT, L.; RECHA, J. W.; PELL, A. Reversibility of productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. **Ecosystems**, New York, v. 11, n. 5, p. 726-739. 2008.

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

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. L. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, p. 436–442, 2010.

LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. L. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, p. 443–449, 2010a.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GERMAN, L. A.; MCCANN, J.; MARTINS, G. C.;

- MOREIRA, A. Soil Fertility and Production Potential. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2003. p. 105-124.
- 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. 2003a.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. L.; BENITES, V. M.; ROCHA, A. O.; MACHADO, P. L. O. A. **Comunicado Técnico** 125. Goiânia, GO. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. 2006. 4 p.
- MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; Woods, W. I. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. 1º ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2009. p. 172-188.
- MAJOR, J.; STEINER, C.; DITOMMASO, A.; FALCÃO, N. P. S.; LEHMANN, J. Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: Compost, fertilizer, manure and charcoal applications. **Weed Biology Management**, Kyoto, v. 5, n. 2, p. 69-76, 2005.
- NOGUERA, D.; RONDÓN, M.; LAOSSI, K.; HOYOS, V.; LAVELLE, P.; CARVALHO, M. H. C.; BAROT, S. Contrasted effect of biochar and earthworms on rice growth and resource allocation in different soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Cali, v. 42, p.1017-102, 2010.
- OGUNTUNDE, P. G.; FOSU, M.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. V. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 39, n. 4, p. 296-299. 2004.
- PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solos: aspectos agronomicos e ambientais de seu uso em solos de Cerrado**. 2010. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- REISENAUER, H. M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: NIELSEN, D. R. & McDONALD, J. G. **Nitrogen in the environment**. London, Academic Press, v.2. p.157-170, 1978.
- RONDON, M. A.; MOLINA, D.; HURTADO, M.; RAMIREZ, J.; LEHMANN, J.; MAJOR, J.; AMEZQUITA, E. Enhancing the productivity of crops and grasses while reducing greenhouse gas emissions through bio-char amendments to unfertile tropical soils. In: 18th **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 18., Philadelphia, Pennsylvania. Resumos. 2006. p. 138.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activit. **Soil Biology & Biochemistry**, Muehlenberg, v. 41, p. 1301–1310, 2009.

VALE, F.R.; GUAZELLI, E.M.F.; FURTINI NETO, A.E.; FERNANDES, L.A. Cultivo do feijoeiro em solução nutritiva sob proporções variáveis de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 35-42, 1998.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea, peanut and soil chemical properties in south Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 52, n. 4, p. 489-495, 2006.

YOSHIDA, S.; FORNO, D.; COCK, J. H. and GOMEZ, K. A. Laboratory manual for physiological studies of rice. **The International Rice Research Institute**, Los Baños, Laguna, Philipopines, 3. edição, 1976, 83 pg.

ZHANG, A.; CUI, L.; PAN, G.; LI, L.; HUSSAIN, Q.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; CROWLEY, D. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdan, v. 139, p. 469–475, 2010.

4 RESPOSTA DA TRANSPIRAÇÃO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS (*ORYZA SATIVA*) AO DÉFICIT HÍDRICO PARA DIFERENTES DOSES DE CARVÃO DE EUCALIPTO

RESUMO

O arroz de terras altas cultivado no Brasil Central (Cerrados) experimenta múltiplos estresses abióticos e sua produtividade é caracterizada pela incerteza devido à variabilidade na precipitação. O objetivo desse estudo é investigar os efeitos da adição de biochar na resposta da taxa de transpiração do arroz de terras altas (cv. BRSMG Curinga) como uma alternativa para minimizar os efeitos da seca no seu desenvolvimento e crescimento. Dois experimentos em vasos foram realizados por meio do delineamento em parcela sub-dividida. A parcela principal foi constituída pelo tratamento deficiência hídrica (WS) e não deficiência hídrica (NWS) e as sub-parcelas pelas diferentes doses de carvão; 0% (controle, T1), 6% (T2), 12% (T3) e 24% (T4) adicionadas no substrato (areia). Os vasos foram inteiramente casualizados nas sub-parcelas com seis repetições por dose de carvão. A quantidade de água transpirável no solo (TTSW), o fator de depleção (p), definido como a fração de água disponível no solo que pode ser retirada da zona radicular antes de ocorrer a redução da taxa de transpiração, e a taxa de transpiração normalizada (NTR) foram determinadas. A adição de carvão aumentou a TTSW, o fator p e reduziu a NTR. Conseqüentemente, o carvão foi responsável por modificar o fator p e retardar o ponto no qual o declínio da transpiração afeta o rendimento.

Palavras-chave: estresse abiótico, cultivar BRSMG Curinga, deficiência hídrica.

ABSTRACT

TRANSPIRATION RESPONSE OF UPLAND RICE (*ORYZA SATIVA*) TO WATER DEFICIT FOR DIFFERENT LEVELS OF EUCALYPT CHAR.

Upland rice in the Brazilian savannas (Cerrados) experiences multiple abiotic stresses and is characterized by high levels of uncertainty caused by rainfall variability. This study aimed to investigate the effect of biochar on the transpiration rate response of upland rice (cv. BRSMG Curinga) as an alternative to decrease the effect of drought on its growth and development. Two pot experiments were carried out using a random split-plot experimental design. The main treatments (plots) were water stress (WS) and no-water stress (NWS) and the sub treatments (subplots) were different biochar doses, 0% or control (T1), 6% (T2), 12% (T3) and 24% (T4) in growing medium (sand). The plastic pots were randomized within the sub plots with six replications. The total transpirable soil water (TTSW), the p factor, defined as the average fraction of TTSW that can be depleted from

the root zone before reduction in transpiration occurs and the normalized transpiration rate (NTR) were determined. Biochar addition increased TTSW, p factor and reduced NTR. Consequently, biochar addition was able to change the moisture threshold (p factor) of the growing medium, up to a maximum concentration of 12%, hence delaying the point where transpiration declines and affects yield.

Key words: abiotic stress, BRSMG Curinga , water deficit.

4.1 INTRODUÇÃO

O arroz de terras altas é uma alternativa para a produção de arroz irrigado e vem ganhando crescente importância nos cerrados, especialmente devido ao seu menor impacto ambiental, quando cultivado em sistemas de produção adequados, como sistemas de plantio direto. No entanto, devido aos estresses abióticos a que o arroz de terras altas é submetido, sua produtividade apresenta altos níveis de incerteza causada principalmente pela variabilidade na precipitação (Tuong et al., 2000). As áreas de produção dessa cultura são caracterizadas por alta heterogeneidade, relacionadas com o clima e a fertilidade do solo (Piggin et al., 1998).

No cerrado, um dos principais fatores ambientais limitantes à produção de arroz de terras altas é a disponibilidade de água no solo. Os efeitos das secas moderadas (veranicos) podem ser aumentados devido à acidez do subsolo, que restringe o desenvolvimento radicular. Nessa região, os produtores de arroz de terras altas são caracterizados como pequenos produtores, geralmente em exploração familiar, com baixo uso de insumos sendo esses ainda aplicados geralmente de forma ineficaz nas camadas superficiais do solo, contribuindo para aumentar os efeitos da deficiência hídrica. A biomassa carbonizada (biochar) obtida por combustão incompleta de matéria orgânica (Glaser et al., 2002;. Lehmann et al., 2003.) pode ser uma alternativa promissora para diminuir essa incerteza na produção de arroz de terras altas.

Historicamente, a aplicação do biochar não é uma prática nova e ressurgiu após o estudo das Terras Pretas Arqueológicas da Amazônia (“Terra Preta do Índio”), que são altamente férteis, apesar de estarem em um ambiente que favorece a lixiviação dos nutrientes e da decomposição da matéria orgânica (Lehmann et al., 2003). Muitos estudos (Glaser et al., 2002; Lehmann & Rondon, 2006; Yamato et al., 2006; Brodowski et al., 2007 e Gaskin et al., 2007) salientam que o biochar pode auxiliar no crescimento das plantas devido a melhora nas características químicas, físicas e biológicas dos solos, tais

como aumento da água disponível no solo, principalmente em solos arenosos, contribuindo para o aumento da produtividade das culturas. No entanto, não existem estudos que mostrem o efeito do biochar no fator p , definido como a fração média da água transpirável no solo que pode ser esgotado da zona de raiz antes de ocorrer redução da transpiração. O objetivo desse estudo é investigar os efeitos da adição de biochar na resposta da taxa de transpiração do arroz de terras altas (cv. BRSMG Curinga) como uma alternativa para minimizar os efeitos da seca no seu desenvolvimento e crescimento

A hipótese assumida nesse estudo é que os processos fisiológicos das plantas, tais como a transpiração, são influenciados pela progressão do déficit hídrico e que a aplicação do biochar pode adiar a inibição da transpiração nessa condição, devido ao aumento da quantidade de água disponível para as plantas.

A transpiração é inibida quando a fração de umidade disponível no solo para a transpiração (fração de água transpirável no solo, FTSW) diminui para valores na faixa de 40-50%, uma tendência que parece ser consistente para uma gama de ambientes e genótipos (Sadras & Milroy, 1996), ou seja, essa metodologia pode ser utilizada para avaliação da expressão dos diferentes genótipos em diferentes ambientes.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Condições de desenvolvimento

Dois experimentos em casa de vegetação foram conduzidos na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (longitude: $-49^{\circ}16'54''$; Latitude: $-16^{\circ}29'59''$; altitude: 820,4 m), Estado de Goiás, Brasil, para avaliar a resposta da cultivar de arroz de terras altas BRSMG Curinga (*Oryza sativa* L.) ao déficit hídrico no solo, para diferentes doses de biochar aplicado ao substrato.

A caracterização climática da casa de vegetação durante o período de deficiência hídrica é ilustrada na Figura 4.1 para as duas datas de semeadura. A cultivar BRSMG Curinga é descrita por Heinemann et al. (2009) como uma planta de ciclo médio, com 11 a 12 folhas no colmo principal. Essa cultivar é considerada moderna e foi lançada no mercado em 2005. Os dados observados utilizados nesse estudo são provenientes de dois experimentos com diferentes datas de semeadura, em 01 de janeiro de 2009 e 04 de novembro de 2009. Isso permite minimizar os efeitos extremos de déficit de pressão de

vapor na taxa de transpiração, o que poderia afetar a resposta da taxa de transpiração normalizada (NTR) a deficiência hídrica (Sinclair et al., 2008).

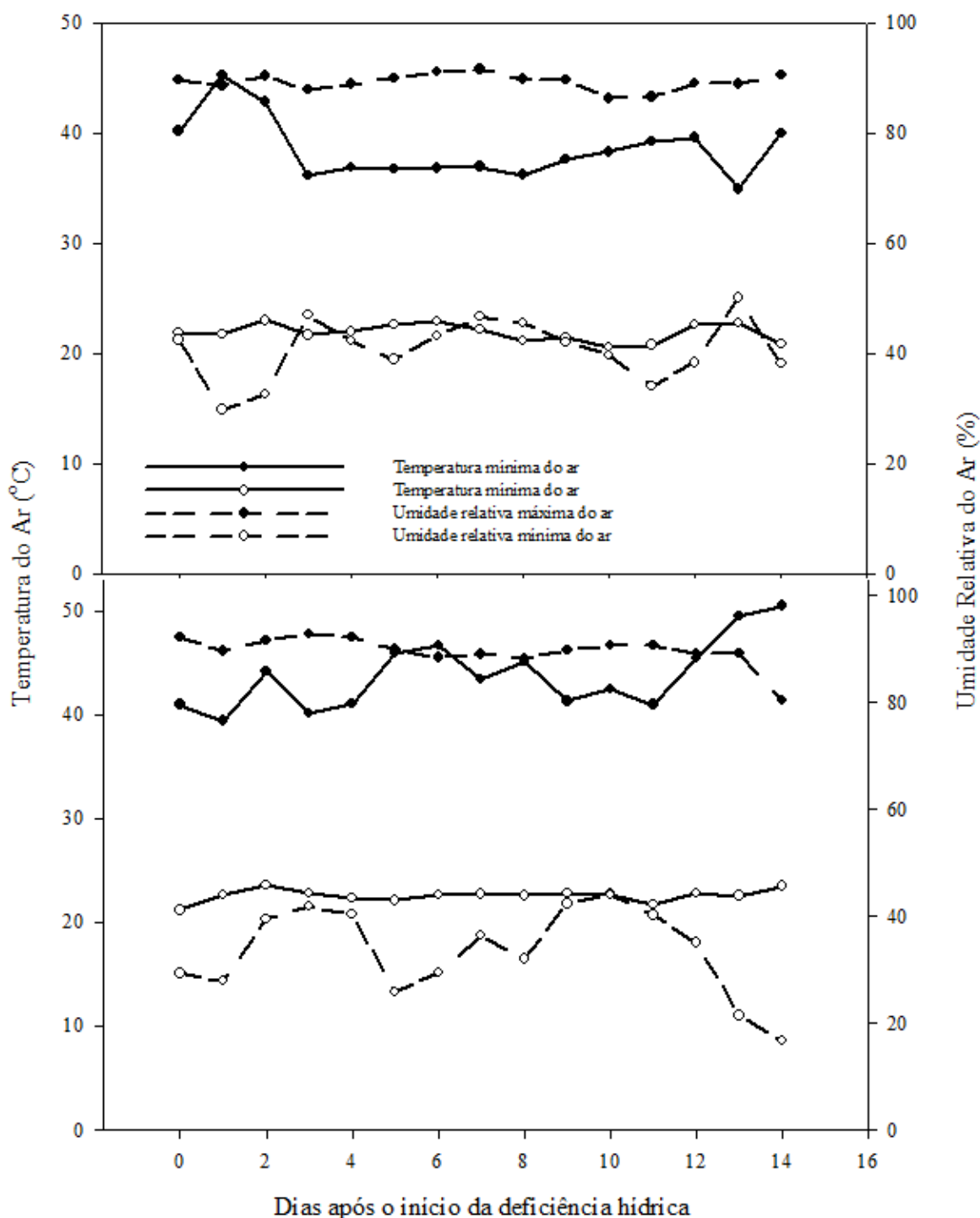


Figura 4.1. Registro da temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa máxima, umidade relativa mínima na casa de vegetação durante o período de estresse hídrico nas datas de semeadura a) 01 de janeiro de 2009 e b) 04 de novembro de 2009.

Os experimentos foram conduzidos em vasos plásticos, com o delineamento experimental em parcelas sub-dividida inteiramente casualizadas. Os tratamentos principais (parcelas) foram deficiência hídrica (WS) e sem deficiência hídrica (NWS) e os tratamentos secundários (sub-parcelas) foram às diferentes doses de biochar, 0% ou controle (T1), 6% (T2), 12% (T3) e 24% (T4). Os vasos foram distribuídos aleatoriamente nas sub-parcelas com seis repetições. Como substrato foi utilizado areia seca, previamente lavada para preencher os vasos de plástico. O biochar foi moído de forma a passar por uma peneira de 2 mm, em seguida aplicado e cuidadosamente misturado com a areia. Para atingir o nível correto biochar em cada tratamento, o excesso de areia foi retirado para manter os pesos dos vasos constantes entre os tratamentos. As características químicas dos substratos para cada tratamento estão descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Características químicas do solo nos tratamentos T1 (0% biochar), T2 (6% biochar), T3 (12% biochar) e T4 (24% biochar).

Trat.	pH	Ca	Mg	Al	H + Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	*O.C.
	água	cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³					g kg ⁻¹
0%(T1)**	5,9	6,0	2,0	0,0	3,0	4,3	31,3	0,5	1,4	146,7	32,7	0
6%(T2)	7,6	13,7	4,0	0,0	0,0	17,8	301,3	0,2	1,4	93,3	34,7	36
12% (T3)	7,7	16,3	5,0	0,0	0,0	26,6	499,0	0,5	1,4	83,3	35,7	58
24% (T4)	7,9	22,0	6,7	0,0	0,0	43,8	749,0	0,4	1,5	76,0	41,0	97

*O.C. – carbono orgânico (C mensurado pela oxidação de dicromato de potássio, método Walkley-Black Embrapa, 1997); ** Nome do tratamento entre parênteses, após doses de Biochar.

A determinação do valor do C orgânico (O.C.) foi realizada pelo método de Walkley – Black (Embrapa, 1997), considerando que o dicromato oxidável (O.C.) é um dos vários indicadores-chave da qualidade do solo (Andrews et al. 2004) que foi modificado pela adição do biochar ao substrato (areia). O biochar aumentou a concentração de O.C. da amostras, que foram analisadas após o ciclo do arroz de terras altas, sendo T1 = 0 g kg⁻¹, T2 = 36 g kg⁻¹, T3 = 58 g kg⁻¹ e T4 = 97 g kg⁻¹. Além disso, valores de pH e macro nutrientes aumentaram com a adição do biochar. Esse fato também foi observado por Karkamar et al. (2009).

O biochar utilizado no experimento é um subproduto da indústria de carvão vegetal no Brasil (fino de carvão, pedaço menores que 8 mm) obtido madeira de eucalipto. A composição química do biochar é: C total: 77,4%, N total: 0,33%; C oxidável por dicromato de potássio: 3,4%, pH em água: 9,4; Ca: 2,8 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,3 cmol_c dm⁻³

³, Al: 0,0 cmolc dm⁻³, H + Al: 0,0 cmolc dm⁻³, P: 137 mg dm⁻³, K: 1.973 mg dm⁻³; Cu: 1 mg dm⁻³, Zn: 3,6 mg dm⁻³; Fe: 74 mg dm⁻³ e Mn: 88 mg dm⁻³.

Para cada experimento, 48 vasos foram preenchidos com areia lavada seca e a doses de biochar de acordo com os tratamentos até um peso de 7 kg por vaso. A população de plantas foi desbastada para uma planta por vaso no estágio R0 (iniciação da panícula), de acordo com Counce et al. (2000). As plantas foram cultivadas em condição potencial (sem deficit de água ou nutrientes) até o R0. Durante o desenvolvimento da cultura aplicou-se 200 mL de uma solução nutritiva, descrita por Yoshida et al. (1976), por vaso, três vezes por semana.

Segundo Heinemann et al. (2008, 2010), na fase de R0, o arroz de terras altas apresenta a maior probabilidade de sofrer deficiência hídrica no Estado de Goiás. Nessa fase, as perdas de água por evaporação no substrato foram minimizadas pela cobertura dos vasos com filme plástico, deixando apenas a planta para fora. Metade dos vasos, considerados como grupo controle (24 vasos), foram irrigados diariamente e mantidos na capacidade de campo (tratamento NWS). O outro conjunto de vasos (24) não recebeu irrigação a partir dessa fase (WS tratamento). Todos os vasos foram pesados diariamente, três vezes ao dia, para estimar as perdas por transpiração.

No segundo experimento (plantio 04 de novembro de 2009) amostras de solo não deformadas foram coletadas ao final do experimento, para cada tratamento, para medir o teor de água no solo (por meio da determinação da curva de retenção de água) e densidade do solo. Para comparar o conteúdo de água no solo, os dados observados em cada tratamento foram ajustados pelo modelo de Van Genuchten (Van Genuchten, 1980).

4.2.2 Cálculo do FTSW e NTR

Os dados de teor de água do experimento foram expressos em função da fração de água transpirável no solo (FTSW) e transpiração. A metodologia aplicada é baseada em Wahbi & Sinclair (2007) e Heinemann et al. (2011). O total de água transpirável no solo (TTSW) foi considerado a diferença entre o peso do vaso na capacidade de campo e o seu peso, quando a taxa de transpiração das plantas sob deficiência hídrica (WS tratamento) foi inferior a 10% à das plantas controle (tratamento NWS). O valor diário de FTSW foi estimada como a razão entre a quantidade de água que ainda permanecem no vaso e TTSW:

$$FTSW = \frac{WT_n - WT_{n+1}}{TTSW} \quad \text{eq.1}$$

sendo $WT_n - WT_{n+1}$ é o peso real do vaso (a quantidade de água disponível no solo do vaso) no tratamento WS. O peso real do vaso foi obtido pela pesagem dos vasos, diariamente, durante o ciclo de secagem. A taxa de transpiração (TR) foi calculada dividindo-se a transpiração de cada planta no tratamento de WS pela transpiração média de NWS (tratamento controle), sendo esta a primeira normalização. A segunda normalização da TR foi efetuada dividindo-se o valor de TR ao longo do tempo pela média do valor de TR para os dois primeiros dias do experimento, quando ainda não havia limitação de água no WS tratamento. Esta segunda normalização resultou na taxa de transpiração normalizada (NTR), o qual descreve a variação da transpiração entre as plantas nos diferentes tratamentos.

A transpiração foi calculada subtraindo-se os valores pesados dos vasos do tratamento WS durante o período de deficiência hídrica. Nenhuma tentativa foi feita para corrigir o acréscimo na massa das plantas durante o período do experimento, devido ao pequeno erro que resulta disso (Sinclair & Ludlow, 1986; Wahbi & Sinclair, 2007). A avaliação do tratamento WS terminou quando a transpiração das plantas decresceu para 10% do tratamento controle (NWS), supondo que nessas condições as plantas estão quase mortas.

4.2.3 A análise dos dados de secagem

Os valores de FTSW e NTR obtidos nos dois experimentos foram combinados para obter a curva de resposta da NTR em função do FTSW. Os dados observados foram analisados usando um modelo sigmoidal não-linear (equação 2). Este modelo foi proposto por Muchow & Sinclair (1991) para estudos de seca em plantas cultivadas e também utilizado por Heinemann et al. (2011) para comparar a resposta da transpiração relativa entre cultivares.

$$NTR = \frac{1}{(1 + a * \exp(-b * FTSW))} \quad \text{eq. 2}$$

em que, a e b são parâmetros empíricos. Para determinação dos parâmetros empíricos utilizou-se o software R, v.2.11, e a função “nls” do pacote NLME (R Development Core Team, 2010).

O fator p , definido como a fração média de TTSW que pode ser esgotado da zona radicular antes que ocorra a redução da transpiração, foi calculado pela seguinte equação:

$$p = 1 - FTSW \quad \text{para } NTR = 0,95 \quad \text{eq. 3}$$

em que p é o fator de esgotamento. Neste estudo, a abordagem utilizada por Sadras & Milroy (1996) foi aplicada, considerando que o fator p ocorre quando NTR é igual a 0,95, devido ao fato do platô do modelo ser igual a 1.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de água total disponível às plantas foram similares nas duas datas de plantio (Tabela 4.2). Entretanto, para as doses de biochar T1, T2, T3 e T4, para ambos os experimentos, foram observadas diferenças na quantidade de água disponível. Isso já era esperado, devido ao fato das partículas de biochar terem um impacto direto sobre a textura do solo na macro-escala (Brodowski et al., 2007).

Tabela 4.2. Total de água transpirável do solo (TTSW) em diferentes doses de biochar.

Doses de Biochar*	T1	T2	T3	T4
Data de plantio 01 de Janeiro de 2009				
TTSW** (g)	1350aA	1800aB	2300aC	3400aD
Data de plantio 04 de Novembro de 2009				
TTSW (g)	1500aA	2000aB	2500aC	3400aD

^a Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não são significativamente diferentes a 5% para o teste de Tukey; ^A - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não são significativamente diferentes a 5% para o teste de Tukey.* Dose de biochar: T1=0%; T2=6%, T3=12% e T4=24%; **TTSW: total de água transpirável do solo.

A normalização da água extraível no solo para calcular a fração de água transpirável no solo (FTSW) não encobriu a diferença na quantidade total de água que as plantas tiveram acesso para os diferentes tratamentos. Os valores de FTSW representam em média o equivalente de remoção de água a partir do substrato com as quatro doses de biochar (Wahbi & Sinclair, 2007). O modelo ajustado (equação 2) e os dados observados são apresentados na Figura 4.2 a (T1), b (T2), c (T3) e d (T4). Os valores obtidos para ambos os parâmetros, a e b (Tabela 4.3), foram significantes em 5% de probabilidade para todos os tratamentos T1, T2, T3 e T4. Os valores empíricos obtidos neste estudo são comparáveis aos obtidos por Heinemann et al. (2011) para o arroz de terras altas, mas utilizando um Latossolo Vermelho como substrato.

Os valores do parâmetro a e b aumentaram com o acréscimo do biochar (Tabela 4.3). O parâmetro empírico a no modelo está relacionado com a depleção da curva e o parâmetro b com a inclinação do modelo na fase linear. Baseado no intervalo de confiança, a 95% de probabilidade, os parâmetros a e b não diferiram para os tratamentos T1 e T2 e para os tratamentos T3 e T4. No entanto, para ambos os parâmetros, a e b , T1 e T2 foram significativamente diferentes de T3 e T4 (Tabela 4.3).

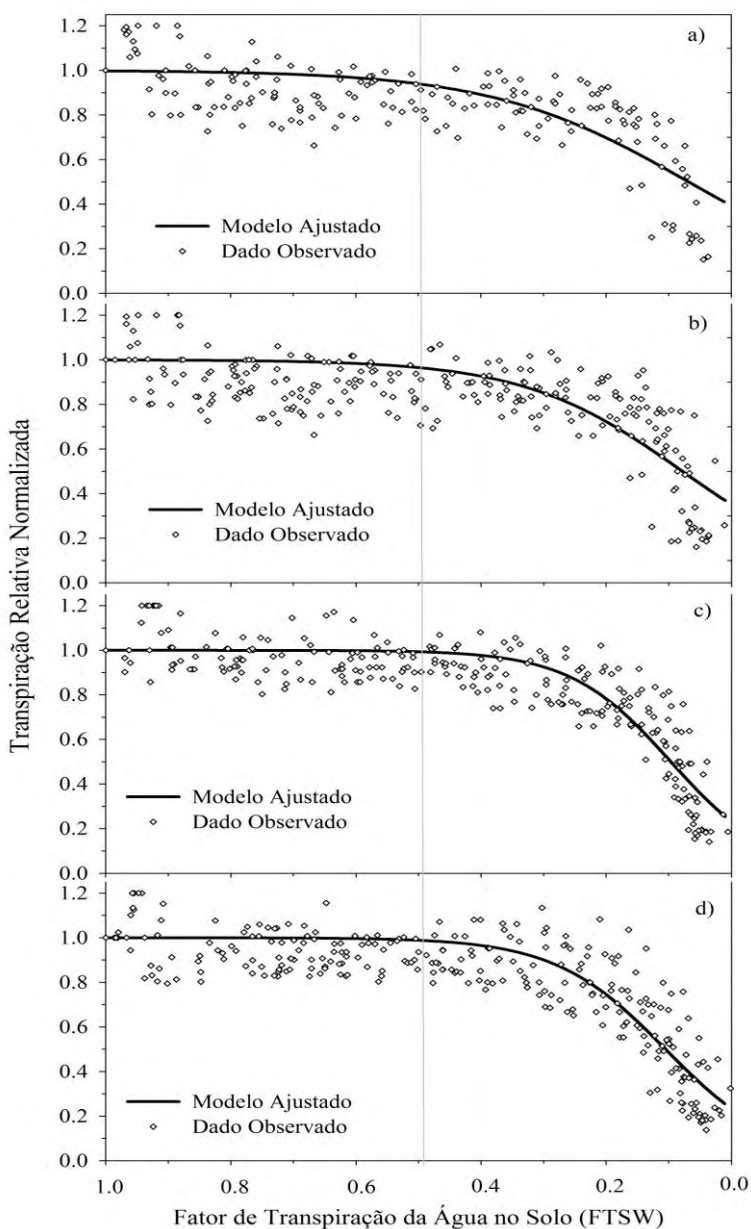


Figura 4.2. Relação entre a taxa de transpiração normalizada (NTR) e a fração de água transpirável do solo (FTSW) da cultivar de arroz de terras altas BRSMG Curinga à aplicação de diferentes doses de biochar: a) sem biochar, b) 6%, c) 12% e d) 24%.

Tabela 4.3. Parâmetro empírico do modelo, a e b , e seu intervalo de confiança para as diferentes doses de biochar.

Dose de biochar	a^2	EP ⁴	2,5% ³	97,5% ³
0% (T1) ¹	1,54*	0,21	1,12	1,96
6% (T2)	1,85*	0,22	1,41	2,28
12% (T3)	3,31*	0,35	2,62	4,00
24% (T4)	3,87*	0,47	2,93	4,80
	b^2	EP ⁴	2,5% ³	97,5% ³
0% (T1)	6,35*	0,66	5,03	7,66
6% (T2)	7,87*	0,71	6,46	9,28
12% (T3)	12,38*	0,82	10,77	14,00
24% (T4)	12,77*	0,92	10,94	14,59

¹Nomes dos tratamentos são apresentados entre parênteses após a concentração de biochar; ² Parâmetro empírico do modelo; ³ Intervalo de confiança; * $p \leq 0,05$; ⁴EP = Erro padrão.

Com base na Figura 4.2 é possível concluir que houve diferenças na taxa de transpiração normalizada (NTR) para os diferentes níveis de biochar. O modelo ajustado mostrou que para o tratamento T1 (sem biochar) a planta é considerada morta quando NTR equivale a 41% (Figura 4.2 a). Adicionando biochar ao substrato, houve uma diminuição na NTR. As plantas foram consideradas mortas quando o NTR foi igual a 36% (T2), 25% (T3) e 25% (T4) (Figura 4.2 b, c, d)

Esses resultados indicam que o biochar pode alterar a resposta do ponto de murcha da planta. Além disso, o fator p também aumentou com a adição do biochar para os tratamentos T1 a T3 (Tabela 4.4). Entre T3 e T4 não houve diferença no valor p .

Tabela 4.4. O fator p em 0,95 da taxa de transpiração normalizada (NTR) para diferentes doses de biochar.

Dose de Biochar	fator p
0% (T1)*	0,46
6% (T2)	0,54
12% (T3)	0,66
24% (T4)	0,66

*Nomes dos tratamentos entre parênteses após concentração de biochar.

Isso significa que o biochar pode deslocar o fator p do substrato, retardando o ponto em que a transpiração diminui e afeta a produtividade. Isso provavelmente pode ser explicado pelo fato da adição de biochar aumentar o teor de água volumétrico nas tensões mais altas (Figura 4.3), bem como pela diminuição da densidade do substrato (Tabela 4.5).

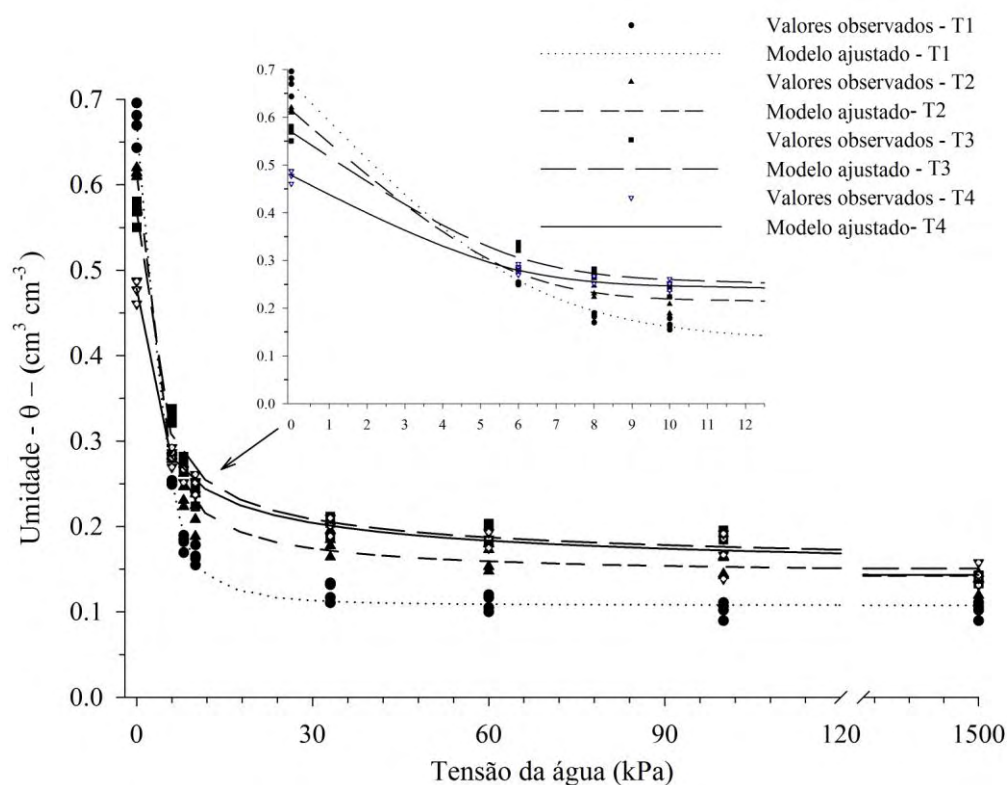


Figura 4.3. Curva de retenção da água do solo ajustado pelo modelo de van Genuchten obtida para diferentes doses de biochar no substrato (0, 6, 12 e 24%).

Tabela 4.5. Densidade aparente do substrato em diferentes níveis de biochar.

Doses de biochar	Densidade aparente (g cm^{-3})
0% (T1) *	1,52a
6% (T2)	1,31b
12% (T3)	1,17c
24% (T4)	0,85d

^a Médias seguidas de mesma letra na coluna não são significativamente diferentes em 5% para o teste de Tuckey;

*Nomes dos tratamentos estão apresentados entre parênteses após as concentrações de biochar).

Além disso, em muitos estudos no qual o efeito do biochar no rendimento das culturas foi avaliado, a retenção de umidade é citado como um fator chave nos resultados (Sohi et al., 2010).

4.4 CONCLUSÕES

O Biochar afetou positivamente a quantidade de água disponível no solo para as plantas, alterou a resposta do ponto de murcha da planta e do fator p, aumentando a capacidade de retenção de água.

Nesse estudo, a concentração máxima de biochar que provocou efeito positivo foi de 12%, acima da qual o biochar não teve efeito.

Futuros estudos em campo devem ser realizados para avaliar o desempenho do biochar em diferentes texturas de solo.

4.5 REFERÊNCIAS

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 1945–1962, 2004.

BRODOWSKI, S.; AMELUNG, W.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. Black carbon contribution to stable humus in German arable soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, p. 220–228, 2007.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHEL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p.436-443, 2000.

GASKIN, J. W.; SPEIR, A.; MORRIS, L. M.; OGDEN, L.; HARRIS, K.; LEE, D.; DAS, K. C. Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of loamy sand soil. In: GEORGIA WATER RESOURCES CONFERENCE, 2007, Athens. **Proceedings**. Athens: University of Georgia, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA; Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos 1).

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

HEINEMANN, A.B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas conseqüências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 29-36, 2010.

HEINEMANN, A.B.; DINGKUHN M.; LUQUET, D.; COMBRES, J.C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, p. 395-410, 2008.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K. Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phases of four upland rice cultivars. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, p. 1-7, 2011.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; CASTRO, L. M. de. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 21, p. 113-122, 2009.

KARKAMAR, S.; MITRA, B. N.; GOSH, B. C. Influence of industrial solid waste on soil-plant interaction in rice under acid Lateritic soils. In: WORLD OF COAL ASH CONFERENCE, 2009, Lexington. **Proceedings**. Lexington: American Coal Ash Association, 2009.

LEHMANN, J.; RONDON, M. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: UPHOFF, N., BALL, A. S.; PALM, C.; FERNANDES, E.; PRETTY, J.; HERRREN, H.; SANCHEZ, P.; HUSSON, O.; SANGINGA, N.; LAING, M.; THIES, J. 1. ed. **Biological approaches to sustainable soil systems**. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 517-530.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GERMAN, L. A.; MCCANN, J.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, A. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. 1. ed. **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 105-124.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R. Water deficit effects on maize yields modeled under current and greenhouse climates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 1052-1059, 1991.

PIGGIN, C.; COURTOIS, B.; GEORGE, T.; PANDEY, S.; LAFITTE, R.; KIRK, G.; KONDO, M.; LEUNG, H.; NELSON, R.; OLOFSDOTTER, M.; PROT, J. C.; REVERSAT, G. **The IRRI Upland Rice Research Program: directions and achievements**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1998. 25 p. (IRRI Discussion Paper Series, 25).

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **The R project for statistical computing**. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 24 nov. 2010.

SADRAS, V. O.; MILROY, S. P. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 47, p. 253-266, 1996.

SINCLAIR, T. R.; LUDLOW, M. M. Influence of soil-water supply on the plant water-balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, p. 329-341, 1986.

SINCLAIR, T. R.; ZWIENIECKI, M. A.; HOLBROOK, N. M. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 132, p. 446-451, 2008.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 105, p. 47-82, 2010.

TUONG, T. P.; KAM, S. P.; WADE, L.; PANDEY, S.; BOUMAN, B. A. M.; HARDY, B. 1. ed. **Characterizing and understanding rainfed environments**. Los Baños: International Rice Research Institute, 2000. 488 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

WAHBI, A.; SINCLAIR, T. R. Transpiration response of Arabidopsis, maize, and soybean to drying of artificial and mineral soil. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, p. 188-192, 2007.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHIORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia, **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 52, p. 489–495, 2006.

YOSHIDA, S.; FORNO, D.; COCK, J. H.; GOMEZ, K. A. **Laboratory manual for physiological studies of rice**. 3. ed. Los Baños: International Rice Research Institute, 83 p., 1976.

5 **CONCLUSÕES GERAIS**

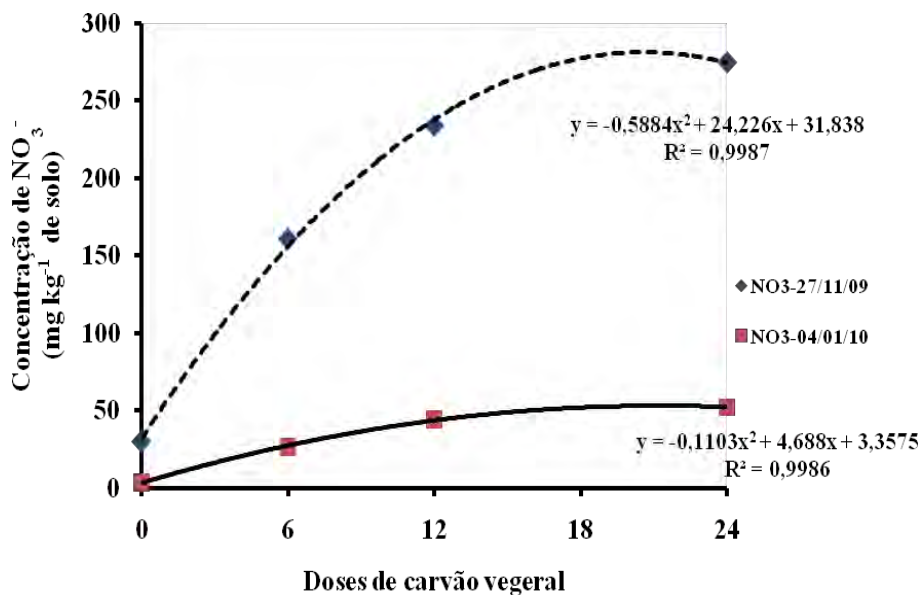
O carvão vegetal apresentou efeito positivo tanto no desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas (cultivar BRSMG Curinga), quanto nas propriedades químicas e físico-hídricas do substrato. Esse efeito positivo do carvão vegetal resultou na melhoria na performance da cultura quando submetida ao déficit hídrico.

Assim, o carvão vegetal, aplicado a solos arenosos, como condicionador de solo, pode ser uma alternativa para combater o efeito de veranicos no desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas.

APÊNDICES

Apêndice 1	Regressão para o nitrato nas duas datas de análise no experimento 2.....	52
Apêndice 2	Vista geral dos vasos no experimento, após o início de estresse hídrico	52
Apêndice 3	Diferença de desenvolvimento das plantas de arroz nas diferentes doses de carvão vegetal no experimento 1.....	53
Apêndice 4	Vista geral da diferença na murcha das plantas de arroz nas diferentes doses de carvão vegetal.....	53

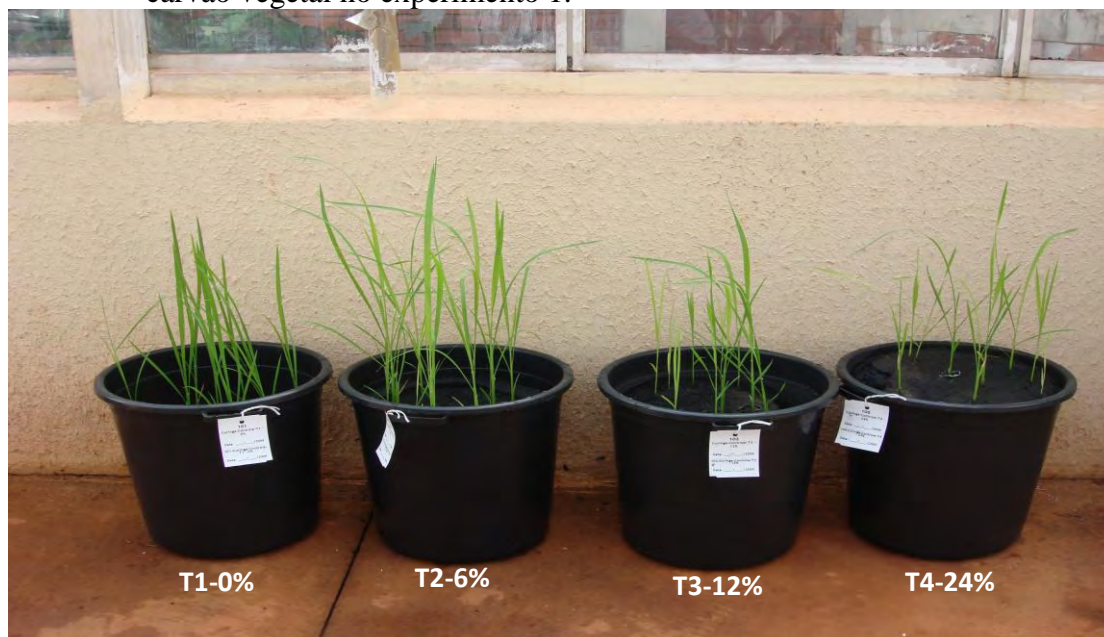
Apêndice 1 Regressão para o nitrato nas duas datas de análise no experimento 2.



Apêndice 2 Vista geral dos vasos no experimento, após o início de estresse hídrico.



Apêndice 3 Diferença de desenvolvimento das plantas de arroz nas diferentes doses de carvão vegetal no experimento 1.



Apêndice 4 Vista geral da diferença na murcha das plantas de arroz nas diferentes doses de carvão vegetal.

