

DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E PRODUÇÃO DE ARROZ EM FUNÇÃO DE DOSES DE CONCENTRADO ZEOLÍTICO

Alberto Carlos de Campos Bernardi¹; Fernando Campos Mendonça¹; Patrick Gesualdi Haim²; Carlos Guarino Werneck²; Marisa Bezerra de Melo Monte³

¹Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, alberto@cnpse.embrapa.br

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

³Centro de Tecnologias Minerárias, Rio de Janeiro, RJ

1 RESUMO

O uso de condicionadores no solo possibilita aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos arenosos. As zeólitas são minerais alumino-silicatos cristalinos hidratados, estruturados em redes tridimensionais rígidas e de ocorrência natural e que podem ser utilizados como condicionador natural do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de um concentrado do mineral zeólita sobre a retenção de água de um Neossolo Quartzarênico e a produção do arroz em duas frequências de irrigação. Os tratamentos utilizados foram 4 níveis do concentrado zeolítico: testemunha, 33,3; 66,7 e 100,0 g kg⁻¹ de solo. As plantas de arroz foram cultivadas com irrigação diária e com intervalos de um dia. Os resultados indicam que com o uso do concentrado zeolítico foi possível aumentar a retenção e disponibilidade de água no solo. Houve aumentos em relação à testemunha de 10, 38 e 67% na capacidade de água disponível (CAD) e de 15%; 51% e 111% na água facilmente disponível (AFD) para as doses de 33,3; 66,7 e 100,0 g kg⁻¹. O crescimento e da produção de arroz aumentaram com a elevação da doses de concentrado zeolítico com um intervalo de um dia entre as irrigações.

UNITERMOS: estilbita, curva de retenção de água, capacidade de água disponível, modelo de van Genuchten.

BERNARDI, A. C. de C.; MENDONÇA, F. C.; HAIM, P. G.; WERNECK, C. G.; MONTE, M. B. de M. WATER AVAILABILITY AND RICE YIELD DUE TO LEVELS OF ZEOLITIC CONCENTRATE

2 ABSTRACT

The use of soil conditioners are an alternative to improve soil water and nutrient retention. Zeolites are hydrated crystalline aluminate-silicates structured in rigid three-dimensional nets with natural occurrence which can be used as a natural soil conditioner. The main objective of this research was evaluating the effect of levels of a mineral zeolite concentrate on the water retention and available water capacity of an Entisol (Sandy/Quartzipsament) and the rice growth and yield in two irrigation frequencies. Treatments consisted of 4 levels of the zeolitic concentrate: control, 33.3; 66.7 and 100.0 g kg⁻¹. Rice was grown with daily irrigation and one day interval. Results indicated that the zeolitic concentrate increased the water retention and availability of the sandy soil. Available water capacity increased 10, 38 and 67% and easily available water increased 15, 51 and 111% in relation to the control, respectively, with

the use of 33.3; 66.7 and 100.0 g kg⁻¹. The highest levels of zeolite made possible the maintenance of the rice growth and the yield with a one-day interval between the irrigations.

KEYWORDS: water retention curve, available water capacity, van Genuchten model.

3 INTRODUÇÃO

O uso de condicionadores de solo representa uma alternativa para aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos arenosos. O conceito de condicionadores envolve a aplicação de materiais aos solos para modificar favoravelmente propriedades físicas adversas, tal como a baixa capacidade de retenção de água. A natureza dos condicionadores de solo é muito variável e engloba desde material natural orgânico e inorgânico até produtos sintéticos industrializados (Stewart, 1975). Alguns desses produtos são capazes de reter grandes quantidades de água, sendo necessário testá-los para diferentes solos, culturas e condições edafoclimáticas, para se definir quais as quantidades e formas de aplicação mais adequadas a cada situação.

Dentre os condicionadores naturais, as zeólitas podem ser utilizadas para aumentar a capacidade de retenção de água em solos sujeitos a freqüentes episódios de deficiência hídrica. Esses minerais têm três propriedades principais que conferem-lhes grande interesse para uso na agricultura: alta capacidade de troca de cátions, alta capacidade de retenção de água livre nos canais, e a alta habilidade na captura de íons.

Zeólitas são um grupo de tectosilicatos com 50 tipos de minerais de ocorrência natural. São alumino-silicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalino-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO₄ e SiO₄, cujos anéis, ao se unirem, compõem um sistema de canais, cavidades e poros. A carga negativa do arranjo aniônico de Al-O-Si se compensa com cátions trocáveis, como Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² e Ba⁺², que ocupam sítios específicos nas cavidades e canais da zeólita. A estrutura tridimensional na forma de canais e cavidades interconectadas conferem às zeólitas vantajosas características e propriedades, tais como alto grau de hidratação, baixa densidade e grande volume de vazios (quando desidratadas), estabilidade da estrutura cristalina, elevada capacidade de troca catiônica, canais uniformes (mesmo desidratada), capacidade de captura de gases e vapores, e propriedades catalíticas (Vaughan, 1978; Ming & Mumpton, 1989). Estes tectosilicatos podem reter até 60% do seu peso em água devido à alta porosidade da sua estrutura cristalina. Além disso, as moléculas de água nos poros podem ser facilmente evaporadas ou reabsorvidas sem danificar sua estrutura tridimensional (Polat et al., 2004).

A zeólita pode atuar na melhoria da eficiência do uso da água por meio do aumento da capacidade de retenção de água do solo e do aumento da disponibilidade dessa água às espécies vegetais (Knowlton & White, 1981; Maloupa et al., 1992; Huang & Petrovic, 1994; Xiubin & Zhanbin, 2001; Polat et al., 2004; Flores-Macías et al., 2007). Existem relatos do uso da zeólita clinoptilolita como condicionador de solo no Japão, e com aumentos de produtividade nas culturas do trigo (13 a 15%), beringela (19 a 55%), maçã (13 a 38%) e cenoura (63%), com a utilização entre 10 a 20 t ha⁻¹ (Torii, 1978). Xiubin & Zhanbin (2001) verificaram que com o uso de zeólitas, a umidade do solo aumentou de 0,4 a 1,8% em condições de estresse hídrico, e de 5 a 15% em condições de fornecimento adequado de água. Issa et al. (2001) observaram que as mais altas produtividades de gérberas foram obtidas com substratos de cultivo com mistura de zeólita e perlita (1:1). Os autores destacaram que o maior rendimento nesse substrato estava relacionado à presença da zeólita, que conferiu alta

capacidade de troca de cátions, e alta capacidade de reter e disponibilizar nutrientes, além da possibilidade de melhor manejo de água. Mercadet et al. (1990 a, b) realizaram um experimento em Cuba, no qual adicionaram 0, 45, 90, 135 e 180 g de zeólitas naturais ao solo em sacolas plásticas para a produção de mudas de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus pellita*. As maiores alturas de plantas foram obtidas com a adição de 20% de zeólita (180 g por recipiente), e com essa quantidade foi possível reduzir a frequência de irrigação no viveiro. Os resultados de Karam et al. (2004) sugerem que, com a utilização de zeólita no meio de cultivo de *Codiaeum variegatum*, foi possível reduzir em até 29% a utilização de água. Flores-Macías et al. (2007) comprovaram o efeito positivo da aplicação de clinoptilolita e mordenita sobre a produção de parte aérea e de raízes de aveia.

No cultivo do arroz irrigado em terras altas é necessário um manejo adequado da água, pois seu fornecimento interfere diretamente na produção de perfilhos e no desenvolvimento radicular (Crusciol et al., 2003). Além disso, a adequada disponibilidade de água no solo favorece a atividade fotossintética, a acumulação de massa e a produção de carboidratos. Considerando-se que grande parte das lavouras de arroz de terras altas está localizada na região dos Cerrados, onde predominam Latossolos com baixa capacidade de armazenamento de água e clima com ocorrência de veranicos, tem-se a irrigação suplementar por aspersão como uma alternativa para minimizar os efeitos do déficit hídrico (Stone & Pinheiro, 1998).

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de doses de um concentrado do mineral zeólita sobre a retenção de água de um Neossolo Quartzarênico, e sobre a produção do arroz, em duas frequências de irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em laboratório e na casa-de-vegetação utilizando-se um Neossolo Quartzarênico (areia quartzosa) com teores de areia, silte e argila respectivamente de, 890, 30 e 80 g kg⁻¹. A análise química para fins de fertilidade da camada de 0 a 20 cm indicou: 13 g dm⁻³ de matéria orgânica (baixo); 5,4 de pH_{CaCl2} (médio); 2,0 mg dm⁻³ de fósforo_{Resina} (muito baixo); 0,21 cmol_c dm⁻³ de potássio (alto); 1,8 cmol_c dm⁻³ de cálcio (médio); 0,48 cmol_c dm⁻³ de magnésio (médio); 0,1 cmol_c dm⁻³ de sódio; 1,3 cmol_c dm⁻³ de acidez potencial - H + Al (baixa); 2,59 cmol_c dm⁻³ de soma de bases (média); 3,89 cmol_c dm⁻³ de CTC (baixa); e 66% de saturação por bases (alta). O valor da densidade do solo foi de 1,45 g cm⁻³.

A zeólita utilizada foi coletada na Bacia do Parnaíba, no Estado do Maranhão, a qual representa o principal depósito de zeólita natural do País, com potencial de aproveitamento econômico (Rezende & Angélica, 1991). As amostras do material apresentaram entre 15% e 50% de zeólita estilbita. A separação da zeólita dos contaminantes (quartzo e óxidos e hidróxidos de Fe) foi feita pelo método de concentração gravítica em mesa vibratória, resultando em um concentrado zeolítico com 84% de zeólita estilbita e capacidade de troca de cátions de 2,5 cmol_c g⁻¹. A fórmula química determinada da zeólita foi: (CaO)_{0,82} (Na₂O)_{0,19} (K₂O)_{0,15} (MgO)_{0,56} (Fe₂O₃)_{0,30} (TiO₂)_{0,11} (Al₂O₃)_{1,85} (SiO₂)₁₆ (H₂O)_{4,7}.

Inicialmente, no laboratório, foram determinadas as curvas de retenção de água das misturas de solo com concentrado zeolítico. Foram adicionados 3 níveis do concentrado zeolítico: 33; 67 e 100 g kg⁻¹ de solo e mais a testemunha, representando as concentrações de 0; 3,3%; 6,7% e 10,0% à base de peso (terra fina seca ao ar). Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos (doses de concentrado zeolítico) e 3 repetições. As amostras deformadas dessas misturas (solo + concentrado zeolítico) foram colocadas em

anéis de 50 cm³, e esses saturados com água. Em seguida, a curva de retenção de água no solo foi determinada seguindo o procedimento descrito pela Embrapa (1997). As amostras de solo (dose zero) e de solo + concentrado zeolítico (3 doses) foram saturadas com água e colocadas no aparelho de Richards, em placas porosas de cerâmica apropriadas às pressões correspondentes aos seguintes potenciais matriciais de água no solo: 0,01; 0,033; 0,1; 0,5; e 1,5 MPa (Klute, 1986; Embrapa, 1997). A partir dos resultados foram ajustadas equações de umidade em relação ao potencial matricial de água no solo, utilizando-se o modelo de van Genuchten (1980), apresentado a seguir:

$$\theta_a = \theta_{pmp} + \frac{\theta_s - \theta_{pmp}}{\left[1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n\right]^m}$$

Onde,

θ_a = umidade atual do solo, cm³ cm⁻³

θ_{pmp} = umidade residual do solo, cm³ cm⁻³ (ponto de murcha permanente)

θ_s = umidade de saturação do solo, cm³ cm⁻³

α , m , n = parâmetros de regressão da equação.

Ψ_m = potencial matricial de água no solo, cm H₂O

Com base nas equações das curvas de retenção de água, foi calculada a capacidade de água disponível (CAD, em mm cm⁻¹ de solo) para uma camada de 20 cm, de acordo com a fórmula.

$$CAD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times 10 \times z$$

Onde,

CAD = capacidade de água disponível, mm

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo (0,033 MPa), cm³ cm⁻³

θ_{pmp} = umidade residual do solo (1,5 MPa), cm³ cm⁻³ (ponto de murcha permanente)

z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

A água facilmente disponível (AFD), umidade contida no solo entre a umidade máxima, ou capacidade de campo (θ_{cc}), e a umidade crítica (θ_{crit}) foi calculada de acordo com Doorenbos & Pruitt (1997). Para tanto, primeiro determinou-se a umidade crítica (θ_{crit}) correspondente ao potencial matricial crítico (Ψ_{m_crit}). Em seguida, utilizou-se o valor de θ_{crit} para determinar a AFD, de acordo com as fórmulas:

$$AFD = (\theta_{CC} - \theta_{crit}) \times 10 \times z$$

Onde,

AFD = água facilmente disponível, mm.

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo (0,033 MPa), cm³ cm⁻³

θ_{crit} = umidade crítica do solo (limite para evitar estresse por déficit hídrico), cm³ cm⁻³

z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

A segunda fase foi realizada em casa-de-vegetação, entre outubro de 2003 e fevereiro de 2004, cultivando-se arroz (*Oryza sativa* L. var. Soberana) em vasos com 1,5 kg do solo na forma de terra fina seca ao ar. Em cada vaso foram aplicados 300 mg de calcário e 400 mg de

monoamônio fosfato, antes da semeadura. Periodicamente foram feitas adubações em cada vaso, com nitrato de cálcio e cloreto de potássio, perfazendo um total de 200 e 300 mg kg⁻¹ de solo de nitrogênio e de potássio, respectivamente.

Adotou-se um delineamento experimental em blocos ao acaso, com 3 repetições, em esquema fatorial 4 x 2, com 4 doses do produto e 2 freqüências de irrigação. Os tratamentos foram 4 níveis de concentrado zeolítico: testemunha, 50, 100 e 150 g por vaso; e duas freqüências de irrigação: diária e a cada dois dias. Nos vasos, a irrigação foi feita de modo que a umidade sempre retornasse à capacidade de campo.

Ao final de 120 dias de cultivo, as plantas foram colhidas, secas em estufa (65°C) até atingirem peso constante e pesadas em balança de precisão. Foram determinadas a produção de matéria seca da parte aérea e a produção de grãos, e calculou-se a relação produção de grãos/matéria seca (kg grãos por kg MS). A seguir, foram ajustadas equações de regressão para as variáveis estudadas em função das doses de concentrado zeolítico de cada um dos tratamentos e das freqüências de irrigação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros da regressão polinomial das curvas características de retenção de água em função do potencial matricial, calculados com base no modelo de van Genuchten (1980) para cada dose do concentrado zeolítico misturado ao Neossolo Quartzarênico. Na Tabela 2 encontram-se os valores de capacidade de água disponível (CAD) e água facilmente disponível (AFD) de cada mistura de solo + concentrado zeolítico, que foram calculadas a partir das respectivas curvas de retenção.

Tabela 1. Parâmetros das curvas de retenção de água no Neossolo Quartzarênico em função das doses do concentrado zeolítico.

Concentrado zeolítico g kg ⁻¹	Parâmetros empíricos			Dados extremos		Coeficiente de determinação (R ²)
	α	n	m	θ_s	θ_r	
0	0,0001	0,6811	6,9504	0,520	0,170	0,978***
33	0,0023	1,0513	0,9757	0,520	0,157	0,982***
67	0,0005	1,4356	3,4156	0,520	0,199	0,993***
100	0,0021	5,4306	0,2451	0,520	0,203	0,994***

*** Indica significativo para $p < 0,001$.

As curvas de retenção de água (Tabela 2 e Figura 1) revelaram uma variação da umidade volumétrica de 0,171 a 0,206 cm cm⁻³ no ponto de murcha permanente (θ_{PMP} , $\psi_m = -1,5$ MPa), e de 0,353 a 0,510 cm cm⁻³ na capacidade de campo (θ_{CC} , $\psi_m = -0,033$ MPa), e a umidade crítica (θ_{CRIT} , $\psi_{mCRIT} = -0,08$ MPa) variou de 0,281 a 0,360 cm³ cm⁻³ entre os tratamentos 0 e 100 g kg⁻¹ de concentrado zeolítico.

Tabela 2. Valores de umidade volumétrica na capacidade campo (θ_{CC}), no ponto crítico (θ_{CRIT}) e no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, capacidade de água disponível (CAD) e água facilmente disponível (AFD), em mm, para camada de 20 cm de solo, em função das doses do concentrado zeolítico, em Neossolo Quartzarênico.

Concentrado zeolítico g kg^{-1}	θ_{CC}	θ_{CRIT}	θ_{PMP}	CAD	AFD
	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$			mm	
0	0,353	0,281	0,171	36,4	14,3
33	0,367	0,286	0,166	40,2	16,4
67	0,450	0,342	0,199	50,1	21,6
100	0,510	0,360	0,206	60,8	30,1

Os resultados confirmam as observações de Polat et al. (2004) e pode-se inferir que as doses do concentrado zeolítico interferiram no comportamento do Neossolo Quartzarênico, em termos de retenção de água (Figura 1). À medida que se aumentou a concentração do concentrado zeolítico no solo ocorreu maior retenção de água, em todos os potenciais matriciais testados.

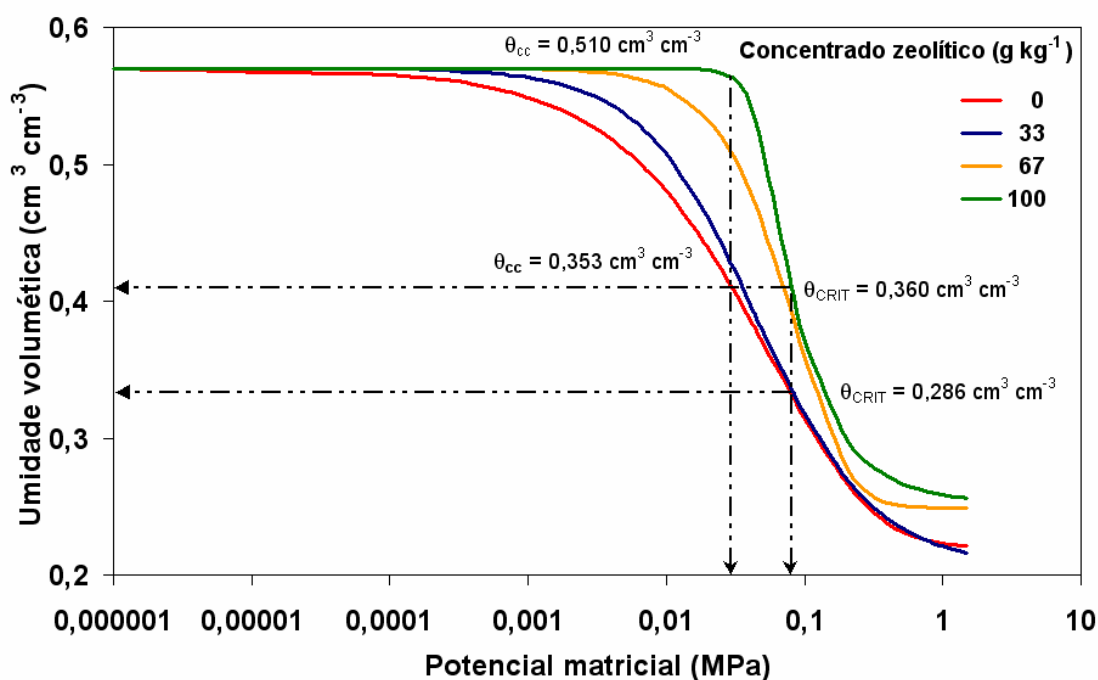
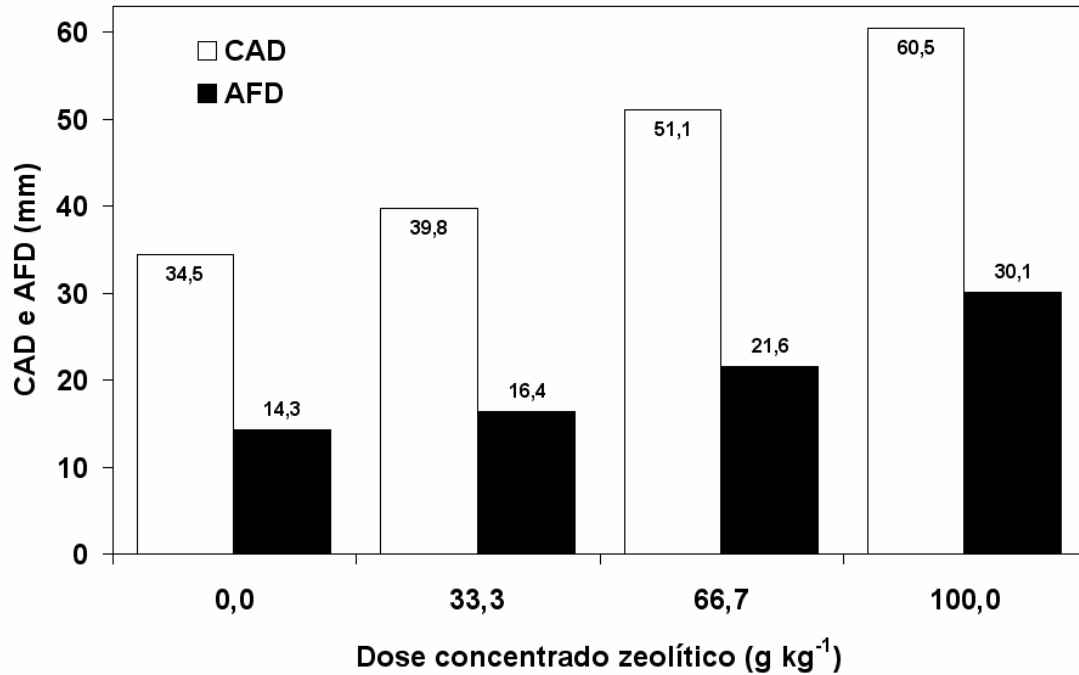


Figura 1. Umidade volumétrica do solo (θ , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) do Neossolo Quartzarênico em função das doses do concentrado zeolítico.

Portanto, a adição do concentrado zeolítico alterou os teores de água retida tanto nas tensões abaixo da capacidade de campo como acima desse ponto. A presença do concentrado alterou o comportamento da curva característica, confirmando os resultados obtidos previamente por Knowlton & White (1981) e Xiubin & Zhanbin (2001).

Na Figura 2 é mostrada a capacidade de água disponível (CAD, em mm cm^{-1}) e a água facilmente disponível (AFD, em mm cm^{-1}) do Neossolo Quartzarênico, em função das doses do concentrado zeolítico e calculados para uma profundidade do solo de 20 cm. As plantas cultivadas conseguem utilizar apenas uma parte da água disponível (CAD) sem redução de potencial produtivo, devido ao estresse por déficit hídrico, em momentos críticos do ciclo das plantas, tais como o florescimento e o enchimento de grãos em culturas anuais, ou a máxima área foliar em plantas forrageiras. Essa umidade é a água facilmente disponível (AFD), que para a maioria das culturas agrícolas, está contida no solo entre os potenciais matriciais (\square_m)



de 0,01 e 0,08 MPa (Doorenbos & Pruitt, 1997).

Figura 2. Capacidade de água disponível (CAD – mm) e água facilmente disponível (AFD - mm) calculada com base nas equações das curvas de retenção de água. para uma camada de 20 cm de solo.

A CAD e a AFD sofreram elevações diretamente proporcionais à dose de concentrado zeolítico. Considerando o efeito em uma camada de 20 cm de solo, a CAD variou de 36,4 a 60,8 mm e a AFD variou de 14,3 a 30,1 mm, do tratamento testemunha ao tratamento 100 g kg^{-1} (Figura 2). O aumento da dose de concentrado zeolítico modificou a percentagem de AFD em relação à CAD, que passou de 39,3% para 49,5% do tratamento testemunha ao tratamento 100 g kg^{-1} .

Observa-se que houve aumentos em relação à testemunha de 15,3%; 48,1% e 75,4% na CAD para as doses de 33, 67 e 100 g kg^{-1} , respectivamente, de concentrado zeolítico e calculadas para a profundidade de 20 cm do solo em estudo. Para a AFD, houve aumentos de 14,7%; 51,0% e 110,5%. Esses aumentos na água disponível também foram observados anteriormente por Huang & Petrovic (1994), Maloupa et al. (1992), Polat et al. (2004) e Xiubin & Zhanbin (2001).

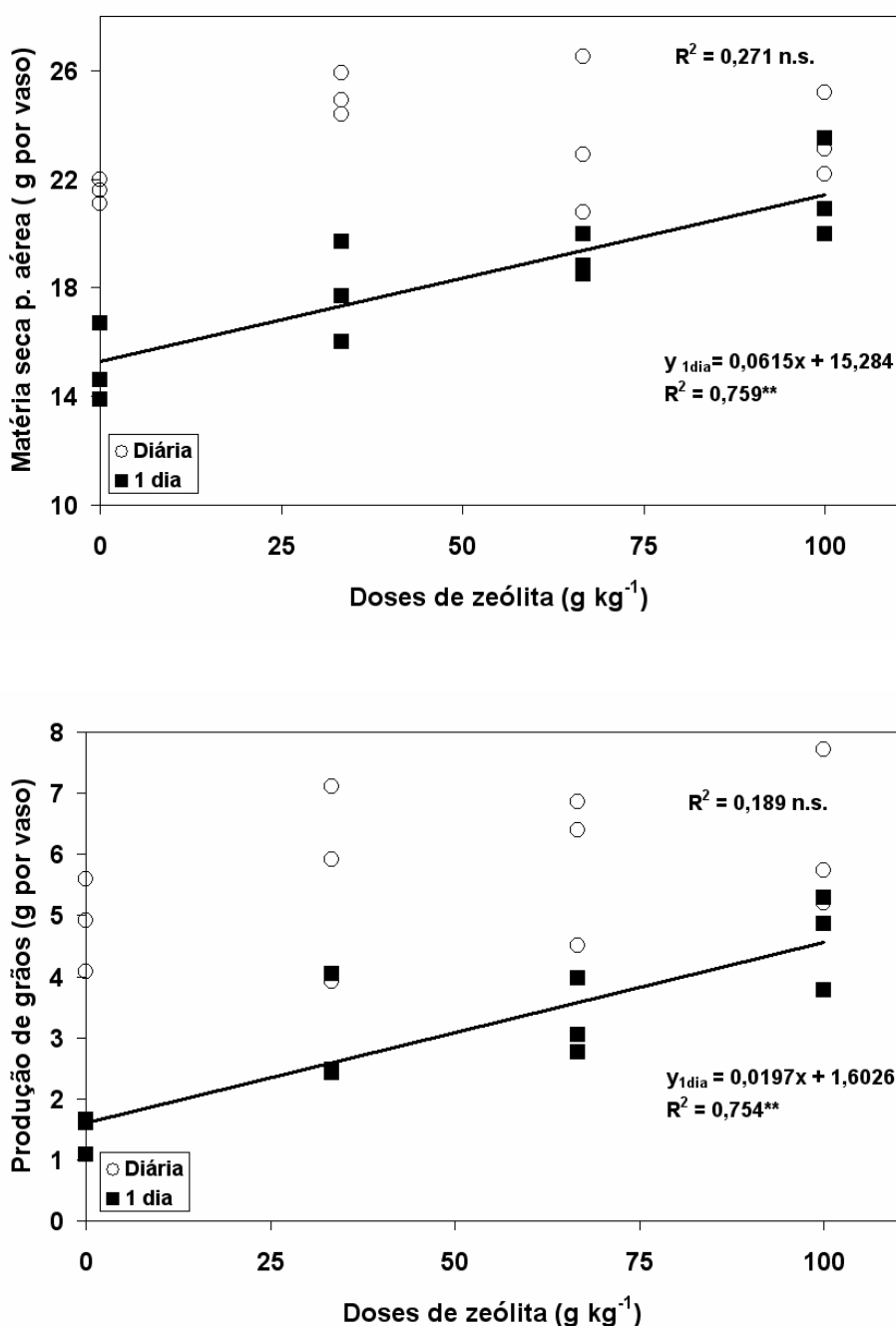


Figura 3. Produção matéria seca pela parte aérea (A) e grãos (B) do arroz cultivado com doses de concentrado zeolítico em duas freqüências de irrigação.

Na Figura 3 (A e B) é mostrado o efeito do concentrado zeolítico sobre a produção de matéria seca da parte aérea e a produção de grãos das plantas de arroz obtidos no cultivo em vasos e em casa-de-vegetação. O aumento das doses do concentrado zeolítico não teve efeito significativo sobre a produção de matéria seca e de grãos na freqüência diária de irrigação, indicando que o fornecimento diário de água anulou o efeito do aumento da retenção de água. Já na freqüência de irrigação de dois dias, observou-se significativo aumento na produção de matéria seca e de grãos em função do aumento das doses do concentrado zeolítico. As

máximas produções de matéria seca e de grãos (21,43 e 3,57 g por vaso) foram obtidas na dose máxima testada de concentrado zeolítico (100 g kg⁻¹). O aumento da produção de matéria seca e da produção de grãos de arroz em função do aumento da água disponível tanto na fase vegetativa como reprodutiva, deve-se à maior atividade fotossintética e possibilidade de enchimento de grãos, respectivamente, como havia sido observado por Stone & Pinheiro (1998) e Crusciol et al. (2003). Isso evidencia o papel do mineral zeólita no aumento da retenção de água, e sua disponibilização nos momentos de maior necessidade para as plantas, possibilitando o aumento dos intervalos de irrigação para as plantas. Estes resultados estão em concordância com os obtidos por Flores-Macías et al. (2007), Issa et al. (2001), Maloupa et al. (1992) e Mercadet et al. (1990 a, b).

Observa-se significativo aumento na razão grãos/matéria seca (Figura 4) na frequência de irrigação de dois dias, com o aumento das doses do concentrado zeolítico. A mais alta relação (0,22) foi obtida com a mais alta dose testada (100 g kg⁻¹). O aumento nos valores da razão na frequência diária de irrigação não foi significativo. A resposta da razão grãos/matéria seca à adição do mineral zeólita acompanhou o aumento das doses aplicadas, caracterizando, mais uma vez, a capacidade do concentrado zeolítico em aumentar o armazenamento e a disponibilidade de água do solo.

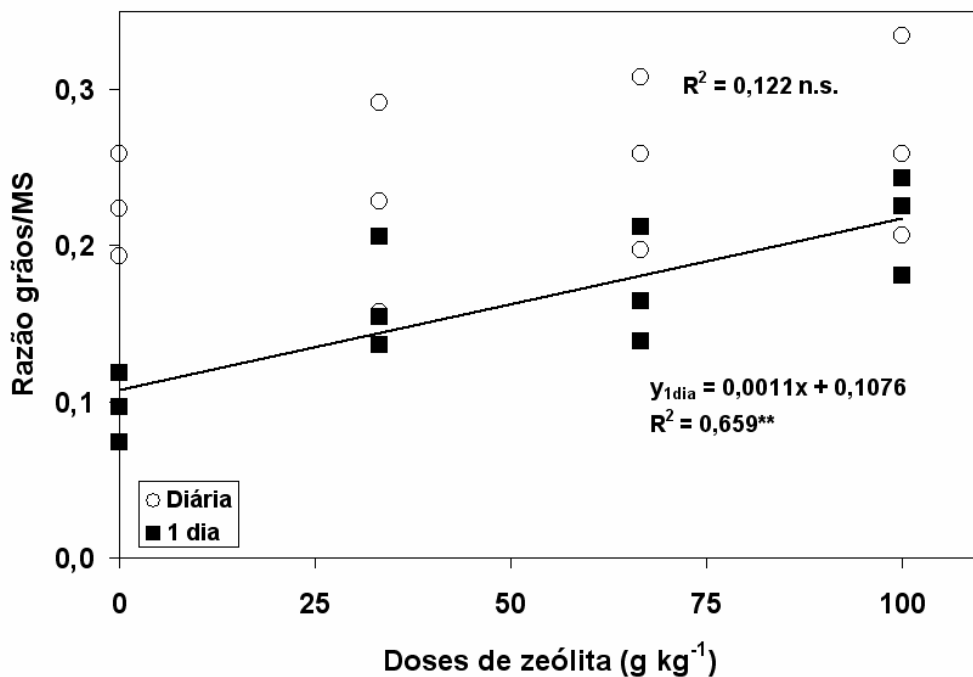


Figura 4. Razão entre produção de grãos e produção matéria seca pela parte aérea do arroz cultivado com doses de concentrado zeolítico em duas frequências de irrigação.

Estes resultados mostram que o uso do concentrado zeolítico, utilizado como um condicionador de solo, pode melhorar a disponibilidade de água para as culturas em condições de estiagens curtas, ou reduzir o custo de irrigação devido ao aumento do turno de rega e à conseqüente redução da necessidade de equipamento (número de aspersores, diâmetro de tubos e potência de bombas). No entanto, a viabilidade da utilização desse mineral na agricultura dependerá do seu custo para o produtor. Ainda não existe uma rotina de

exploração de zeólitas naturais no Brasil. Dessa forma, para uma estimativa de custos, deve-se recorrer a dados como os de Eyde & Holmes (2006) que relataram que os preços de zeólita para utilização industrial ou agrícola, nos Estados Unidos, variaram de 30 a 70 dólares por tonelada para produtos de granulometria mais grosseira (abaixo de 40 mesh), e de 50 a 120 dólares por tonelada para os produtos mais finamente moídos (40 a 325 mesh). Assim, a utilização desse mineral provavelmente deverá ser restrita a culturas de alto valor agregado, conduzidas em ambiente protegido e em substrato de cultivo.

6 CONCLUSÕES

Os resultados indicam, dentro das condições testadas, que:

- Com o uso do concentrado zeolítico foi possível aumentar a retenção de água do solo utilizado nos experimentos.
- Em relação à testemunha, as doses de 33; 67 e 100 g kg⁻¹ provocaram aumentos de 15,3%; 48,1% e 75,4% na capacidade de água disponível (CAD), e de 14,7%; 51,0% e 110,5% na água facilmente disponível (AFD).
- A maior dose do concentrado zeolítico possibilitou a manutenção do crescimento e da produção de arroz, com um turno de rega de dois dias.

7 AGRADECIMENTOS

À FINEP através do CT Mineral, pelo financiamento do trabalho. Aos Drs. Nélcio G.A.M. Rezende, da CPRM; Hélio Salim de Amorim e Fernando de Souza Barros, da UFRJ; e Paulo Renato Perdigão Paiva, do CETEM pela coleta, caracterização, preparo e fornecimento do concentrado zeolítico utilizado nesse trabalho.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 647-654, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

EYDE, T. H.; HOLMES, D. A. Zeolites. In: KOGEL, J. E. et al. (Eds.) **Industrial minerals and rocks**. 7th ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 2006. p. 1039-1064.

FLORES-MACÍAS, A. et al. Efecto de la adición de zeolita (clinoptilolita y mordenita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el crecimiento de avena. **Interciencia**, Caracas, v. 32, n. 10, p. 692-696, 2007.

HUANG, Z.; PETROVIC, A. Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand bases golf green. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 23, p. 1190-1194, 1994.

ISSA, M. et al. Seasonal and diurnal photosynthetic responses of two gerbera cultivars to different substrates and heating systems. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 88, p. 215-234, 2001.

KARAM, N. S.; MOHAMMAD, M. J.; AL-LATAIFEH, N. A. Growth and irrigation requirements of croton in substrates amended with pre-charged zeolitic tuff. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 10, p. 1779-1794, 2004.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A., (Ed.) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 635-660.

KNOWLTON, G.; WHITE, T. Termal study of types of water associated with clinoptilolite. **Clays & Clay Mineralogy**, Chantilly, v. 29, p. 403-411, 1981.

MALOUPA, E. et al. Study of substrates used in gerbera soilless culture grown in plastic greenhouse. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 323, p. 139-144, 1992.

MERCADET, A. et al. First experience in using zeolite to produce seedlings of *Pinus caribaea* var. *caribaea* for reforestation of the serpentine savanna in Camaguey. **Revista Forestal Baracoa**, Habana, v. 20, n. 2, p. 83-87, 1990a.

MERCADET, A. et al. First experience in using zeolite to produce seedlings of *Eucalyptus pellita* for reforestation of the serpentine savanna in Camaguey. **Revista Forestal Baracoa**, Habana, v. 20, n. 2, p. 89-93, 1990b.

MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.

POLAT, E. et al. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Poland, v. 12, p. 183-189, 2004. Special edition.

REZENDE, N. G. A. M.; ANGÉLICA, R. S. Sedimentary zeolites in Brazil. **Mineralogica et Petrographica Acta**, Bologna, v. 42, p. 71-82, 1991.

STEWART, B. A. **Soil conditioners**. Madison: Soil Science Society of America, 1975. 186 p. (Special publication, n. 7).

STONE, L. F.; PINHEIRO, B. S. O arroz sob irrigação suplementar por aspersão. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p. 31-33.

TORII, K. Utilization of natural zeolites in Japan. In: SAND, L. B.; MUMPTON, F. A. (eds.). **Natural zeolites: occurrence, properties, use**. New York: Pergamon Press, 1978. p. 441-450.

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.

VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L.; MUMPTON, F. (Eds.) **Natural zeolites: occurrence, properties, use**. New York: Pergamon Press. 1978. p. 353-372.

XIUBIN, H.; ZHANBIN, H. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 45-52, 2001.