

EFEITO DA SALINIDADE SOBRE A ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLOS DE REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO BRASIL

C. M. M. S. Silva¹, R. F. Vieira¹ y E. R. Porto²

¹ Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, Km 127,5, S/N, Jaguariúna, SP, Brasil, CEP 13820-000; e-mail: celia@cnpma.embrapa.br

² Embrapa Semi-Árido. Rodovia BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23, Petrolina, PE - Brasil - CEP 56302-970.

RESUMO. A salinização do solo pode ocorrer por um processo natural ou ser induzida pelo homem (salinização secundária), devido às consequências do manejo impróprio da irrigação, má condição de drenagem ou má qualidade da água de irrigação. Estudos realizados no nordeste brasileiro demonstraram que o cultivo de *Atriplex nummularia* em áreas que receberam rejeito salino foi eficiente na retirada de sais do solo. Este estudo avaliou o efeito da fitorremediação por *Atriplex nummularia* Lindl, nas propriedades químicas e físicas e nos processos biológicos dos solos que receberam rejeito salino. O estudo foi conduzido em Petrolina, PE, Brasil. Quatro áreas foram identificadas e amostradas. Foram coletadas amostras de solo rizosférico em 15 plantas semelhantes, individuais, escolhidas ao acaso. Em laboratório, as amostras foram homogeneizadas secas ao ar e peneiradas em malha de 2mm. Em triplicata foram determinadas as atividades enzimáticas da β -glucosidase, fosfatases ácida e alcalina, protease, L-glutaminase e L-asparaginase. Observou-se que o solo cultivado com *Atriplex*, sem irrigação, considerado como tratamento controle, de maneira geral, apresentou os valores mais altos para as atividades enzimáticas mensuradas, quando comparado aos demais tratamentos, com picos de inibição durante o período seco, quando espera-se que a atividade microbiana seja menor. Posteriormente, houve recuperação em todas as atividades, coincidindo com a estação chuvosa, quando em regra geral, a atividade microbiana é mais alta. No entanto, o solo natural sem irrigação, apresentou valores e comportamento diferenciado em relação ao cultivado com *Atriplex*, chegando a apresentar atividades mais baixas do que os solos que receberam irrigação com rejeito salino, em algumas atividades enzimáticas. Os solos irrigados com rejeito salino durante cinco anos consecutivos e cultivados com *Atriplex*, apresentaram picos de atividades no período seco, para quatro, das cinco atividades enzimáticas analisadas. Estes valores foram, porém, menores que os obtidos no tratamento controle. Concluiu-se que apesar da aplicação do rejeito salino inibir as atividades enzimáticas, o cultivo da espécie *Atriplex nummularia* Lindl, foi eficiente em manter os níveis de atividade no mesmo patamar à do solo natural.

1.- Introdução

A salinidade é um problema comum em áreas irrigadas, principalmente em regiões semi-áridas, onde a evaporação é alta e a precipitação pluviométrica é baixa. A salinização do solo pode ocorrer por um processo natural ou ser induzida pelo homem (salinização secundária), devido às consequências do manejo impróprio da irrigação, má condição de drenagem ou má qualidade da água de irrigação.

Na zona rural da região semi-árida do nordeste brasileiro, a água salobra é aproveitada para o consumo humano após a dessalinização por meio de equipamentos que retiram o excesso de sais da água, dividindo-a em água potável e rejeito. A descarga desse rejeito gera problemas ambientais de salinização do solo, tornando-o improdutivo. Portanto, é necessário o seu reaproveitamento (Porto et al., 2001). Entre as alternativas para o seu uso está a cristalização seletiva de sais e o cultivo de tilápia rosa (*Oreochromis sp*) e camarão. Nesse caso, a água proveniente dos tanques de criação é utilizada na irrigação de plantas halófitas (*Atriplex nummularia* Lindl) (Porto et al., 2001; Azevedo et al., 2005).

Estudos realizados no nordeste brasileiro demonstraram que o cultivo de *Atriplex nummularia* em áreas que receberam rejeito salino foi eficiente na retirada de sais do solo, quando comparado ao de plantas não halófitas, apesar da remoção não ser significativa, quando comparada ao quantitativo de sais adicionados ao solo através da irrigação com água de alta salinidade (Porto et al., 2001). Considerando este aspecto, foi objetivo deste trabalho avaliar o efeito da fitorremediação por *Atriplex nummularia* Lindl, nas propriedades químicas e físicas e nos processos biológicos dos solos que receberam rejeito salino, considerando a importância do cultivo desta halófitas na região nordeste do país.

2.- Material e métodos

O estudo foi conduzido em Petrolina, estado de Pernambuco, Brasil, em áreas cultivadas com a halófitas *Atriplex nummularia* Lindl, irrigadas ou não com rejeito salino. A precipitação média anual na área varia de 400 a 600 mm (principalmente no verão), enquanto a temperatura varia entre 28 a 35°C. A média anual da evapotranspiração potencial é de 2680 mm. O estudo foi em latossolo vermelho-amarelo, com conteúdo de argila, silte e areia de

10, 14 e 76 %, respectivamente.

Quatro áreas foram identificadas e amostradas: (I) área irrigada e cultivada com *Atriplex* há 5 anos; (II) área irrigada e cultivada com *Atriplex* há um ano; (III) área não irrigada cultivada com *Atriplex*; (IV) área sem irrigação com vegetação natural. O rejeito salino foi obtido do processo de dessalinização de água por osmose reversa, após utilização no cultivo de Tilápia rosa (*Oreochromis* sp).

Para este trabalho, amostras de solo rizosférico foram coletadas de 15 plantas escolhidas ao acaso, dentro de cada tratamento. Cada amostra foi constituída por cinco subamostras coletadas às profundidades de 0-10 e 10-20 cm. As coletas foram realizadas durante o período chuvoso (abril/2005), no final do período chuvoso (agosto/2005) e no meio da estação seca (março/2006). No laboratório, as amostras de solo foram peneiradas (<2mm), acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a 4°C até as análises. As propriedades físicas e químicas dos solos foram realizadas em subamostras secas, enquanto as atividades enzimáticas foram determinadas em solos úmidos. Em triplicata foram determinadas as atividades enzimáticas da β -glucosidase (Alef & Nannipieri, 1995a), fosfatases ácida e alcalina (Alef et al., 1995), protease (Alef & Nannipieri, 1995b), L-asparaginase e L-glutaminase (Frankerberger & Tabatabai, 1991a e b).

3.- Resultados

O resíduo salino apresentou pH entre 6,7 e 8,1 com condutividade elétrica média de 9,32 dS/m, quantidades médias altas de Na^+ (49,88 mmol/L); Mg^{2+} (32,67 mmol/L) e Ca^{2+} (20,83 mmol/L) e moderado teor de K^+ (0,94 mmol/L). O solo tinha caráter ácido (pH entre 5,2 e 6,1), com pouca matéria orgânica (5,9 g/dm³), alta disponibilidade de fósforo (6,33 mg/dm³) e níveis baixos de cátions disponíveis ($\text{Na}^+ = 0,21$ mmol/L; $\text{Mg}^{2+} = 2,7$ mmol/L; $\text{Ca}^{2+} = 2,8$ mmol/L; e $\text{K}^+ = 0,31$ mmol/L).

O resíduo salino com diferentes concentrações de sais foi aplicado sob irrigação por gotejamento durante um período de 5 anos (2001 a 2006) na área experimental 1 e durante 1 ano na área experimental 2. No período correspondente, a média pluviométrica no local foi de 395,2 mm, excetuando o ano de 2004, que teve uma precipitação muito acima da média (819,4 mm) sendo que, aproximadamente 50% (431 mm), ocorreu no mês de janeiro. Os sais acumulados na zona da raiz durante o período seco (junho a novembro) foram lixiviados pela chuva durante o período úmido (dezembro a maio) como demonstraram as propriedades químicas do solo (dados não mostrados).

Observou-se que o solo cultivado com *Atriplex*, sem irrigação, considerado como tratamento controle, de maneira geral, apresentou os valores mais altos para as atividades enzimáticas mensuradas, quando comparado aos demais tratamentos, com picos de inibição durante o período seco quando espera-se que a atividade microbiana seja menor. Posteriormente, houve recuperação de todas as atividades, coincidindo com a estação chuvosa, quando em

regra geral, a atividade microbiana é mais alta. No entanto, o solo natural sem irrigação, apresentou valores e comportamento diferenciado em relação ao cultivado com *Atriplex*, chegando a apresentar algumas atividades enzimáticas mais baixas do que os solos que receberam irrigação com rejeito salino. Um comportamento que também chamou a atenção foi o dos solos irrigados com rejeito salino, que há cinco anos consecutivos é cultivado com *Atriplex*, apresentarem picos de atividades no período seco, para quatro, das cinco atividades enzimáticas analisadas, embora elas fossem menores que as observadas no tratamento controle.

Entre as fosfomonoesterases (Figura 1), verificou-se que a fosfatase ácida apresentou menores valores de atividade no início do período experimental, sendo de 21,2 e 20,5 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} no solo sem irrigação, cultivado com *Atriplex*, enquanto no mesmo solo a atividade da fosfatase alcalina foi de 61,8 e 57,9 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} , nos solos coletados a 0-10 e 10-20cm de profundidade, respectivamente. Todavia, no final do período experimental estes valores foram de 67,3 e 84,2 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} para a fosfatase ácida e de 74,7 e 48,1 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} para a fosfatase alcalina, respectivamente para as duas profundidades já mencionadas. Isto significa que houve um aporte de fosfatase ácida a este solo durante o período analisado.

Os solos irrigados com rejeito salino pelo período de um ano apresentaram grande variabilidade nos valores da atividade da fosfatase ácida (entre 3,8 e 74,6 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1}) nos solos coletados a 0-10cm de profundidade. Apesar da alta inibição decorrente da irrigação ($\pm 75\%$), esta atividade demonstrou sinais de recuperação no final do período experimental (inibição de 11%). A inibição mais drástica nesta atividade foi observada nos solos irrigados com rejeito por cinco anos consecutivos. Nestes solos, a atividade mensurada variou de não detectada (ND) no início do período experimental a 30,3 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} , no final. Mas, mesmo tendo sido inibida, ela foi estimulada (21,2 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1}) no período seco, quando comparada à atividade do solo irrigado por um ano (12,1 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1}) para o mesmo período.

Para a atividade da fosfatase alcalina foi observado que o solo considerado controle teve menor variabilidade nos valores mensurados (61,8 a 74,65 e 57,9 e 48,1 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente). Nos demais tratamentos houve inibição na atividade, semelhante ao que ocorreu para a fosfatase ácida, sendo que para a atividade da fosfatase alcalina a inibição manteve-se até o final do período experimental, em ambas as profundidades. Nestes tratamentos, à profundidade de 0-10 cm, a atividade variou de um máximo de 47 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} para um mínimo de 13,5 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} , ambas medidas no solo que recebeu irrigação durante um ano. Para a profundidade de 10-20 cm, observou-se que a atividade foi levemente estimulada (49,2 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1}) durante o período seco, no solo irrigado por cinco anos, quando comparado ao tratamento controle

(39,9 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$).

Entre todas as atividades avaliadas, a da β -glucosidase (Fig. 1) foi a que apresentou maior inibição nos solos que havia recebido ou recebiam irrigação com rejeito salino. Enquanto o solo sem irrigação, cultivado com *Atriplex* apresentava valores de 68,9 a 59,3 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$ para a profundidade de 0-10 cm e de 36,8 a 41,6 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$ para a profundidade de 10-20 cm, os solos irrigados apresentavam um máximo de 12,8 a 13,8 e de 19,5 e 19,3 e um mínimo de 5,7 a 3,5 e de 8,4 a 10 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos solos que receberam irrigação durante um e cinco anos, respectivamente. Nos dois últimos tratamentos, durante o período experimental, houve crescimento constante na atividade, independente do período de coleta. No entanto, a inibição detectada no solo natural manteve-se constante até o final da avaliação.

Nas atividades relacionadas ao ciclo do nitrogênio, foi observado que a protease apresentou valores bem mais altos, quando comparada às atividades da L-asparaginase e L-glutaminase (Fig. 2). Para o solo sem irrigação cultivado com *Atriplex*, a atividade da protease variou entre 103,8 a 265,6 $\mu\text{g } \text{tirosina g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-2}$ e entre 69,4 a 126,8 $\mu\text{g } \text{tirosina g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-2}$ para os solos coletados às profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Já, a atividade da L-asparaginase foi a mais baixa, variando entre 0,33 a 2,1 e 1,0 a 1,6 $\mu\text{g } \text{tirosina g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-2}$ para o solo coletado à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. Já, a atividade da L-glutaminase foi a mais baixa, variando entre 0,33 a 2,1 e 1,0 a 1,6 $\mu\text{g } \text{tirosina g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-2}$ para o solo coletado à profundidade de 0-10 cm.

Também foi observado que houve inibição da atividade da protease (Fig. 2) nos demais tratamentos. Os picos de inibição ($\pm 90\%$ na profundidade de 0-10 cm e de $\pm 60\%$ para a profundidade de 10-20 cm) estiveram relacionados aos solos coletados no período chuvoso. No entanto, no solo coletado à profundidade de 10-20 cm, tanto irrigados quanto natural, apresentaram estímulo na atividade, variando de 14 e 29 % no solo irrigado por um ano e no natural, a 216% no solo irrigado por cinco anos consecutivos, quando comparados ao solo controle.

As duas amidohidrolases (Fig. 2) apresentaram comportamento semelhante. Tanto para a L-asparaginase quanto para a L-glutaminase, a inibição da atividade esteve relacionada ao início e final do período experimental, portanto, ligada à estação chuvosa. Nestes períodos a atividade da L-asparaginase variou de $\pm 0,83$ a 1,6 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo}$, considerando as duas profundidades, nos solos que receberam irrigação, independente do tempo, e no solo natural. Entretanto estes mesmos solos quando coletados na camada superficial (0-10 cm), no período seco, apresentaram estímulo na atividade mensurada, sendo 440 % superior em ambos os solos irrigados e 212 % superior no solo natural. Para a maior profundidade (10-20 cm) o estímulo foi bem menor (entre 9 e 46 %).

Os valores mensurados para a L-glutaminase estiveram entre um máximo de 9,4 e 9,5 e um mínimo de 1,2 e 1,27

$\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo}$, nas atividades mensuradas nos solos sob irrigação e natural, coletados a 0-10 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente, nos períodos chuvosos. No entanto, o estímulo observado no período seco (11 a 21%) para a profundidade de 0-10 cm, não foi mantido para a profundidade de 10-20 cm. Isto é, apenas o solo irrigado por cinco anos apresentou estímulo para esta atividade (27%) quando coletado à profundidade de 10-20 cm. O solo natural (2,7 %) apresentou valores similares ao não irrigado cultivado com *Atriplex* (2,65 %), enquanto o solo irrigado por um ano apresentou inibição na atividade, em torno de 59%.

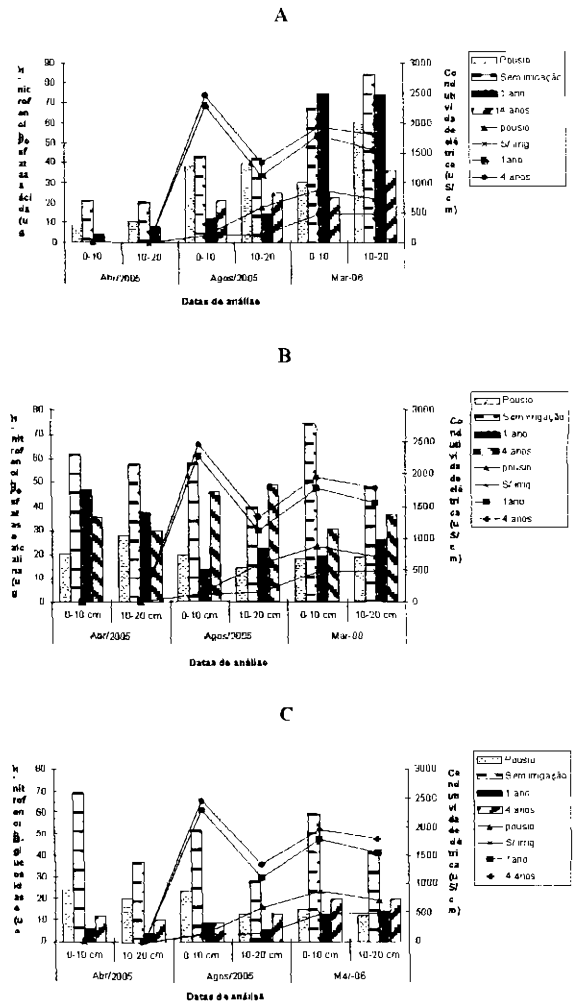


Fig. 1. Atividades enzimáticas (A=Fosfatase ácida; B=Fosfatase alcalina e C= β -glucosidase) em solos cultivados ou não com *Atriplex nummularia*, irrigados ou não com rejeito salino, versus condutividade elétrica

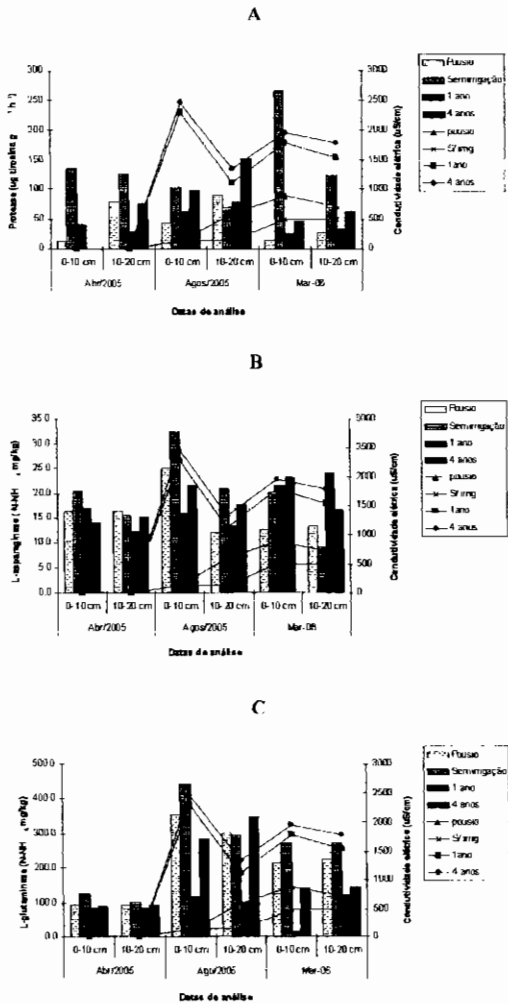


Figura 3. Atividades enzimáticas (A) de plantas de halófito *Atriplex*, C= L-glutaminase) em solos irrigados com rejeito salino, *Atriplex* condutividade elétrica, irrigados *olítica* com rejeito salino, versus condutividade elétrica.

4.- Discussão

O aumento da salinidade no solo afeta as plantas e a microbiota do solo. Já é conhecido que o decréscimo na mineralização do carbono com o aumento da salinidade é decorrente da inibição da atividade microbiana. Neste trabalho os dados estão relacionados com o efeito acumulativo dos sais sobre as atividades enzimáticas do solo, em solos com até 5 anos de aplicação de rejeitos salinos. Segundo Caravaca et al. (2005) a atividade microbiana do solo e as propriedades do solo relacionadas a esta atividade são determinadas pelo tipo da espécie halófito. Observou-se que as atividades enzimáticas foram inibidas pela adição do rejeito salino, no entanto o cultivo de *Atriplex nummularia* Lindl permitiu manter o nível da atividade no mesmo patamar do encontrado em solos naturais. Já em solo sem irrigação, porém cultivado com *Atriplex*, observou-se atividade bem mais alta, quando

comparada ao solo natural, indicando o potencial da halófito para melhorar a qualidade do solo. Ao se comparar todos os tratamentos conclui-se que o plantio de *Atriplex* em áreas que recebem rejeito salino permite a manutenção da atividade da microbiota em níveis sustentáveis.

Referências

ALEF, K. y NANNIPIERI, P. β -glucosidase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995a. p. 350-352.

ALEF, K. y NANNIPIERI, P. Protease activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995b. p. 313-315.

ALEF, K., NANNIPIERI, P. y TRAZAR-CEPEDA, C. Phosphatase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995. p. 335-344.

AZEVEDO, C.M.da S.B., PEDROSA, G.P., MEDEIROS, J.F. de y NUNES, G.H. de S. Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9 (suplemento), p. 300-304, 2005.

CARAVACA, A.M.M., ROLDÁN, A. y TORRES, P. Plant type mediates rhizospheric microbial activities and soil aggregation in a semiarid Mediterranean salt marsh. *Geoderma*, v. 124, n. 3/4. p. 375-382, 2005

FRANKENBERGER JUNIOR, W. T. y TABATABAI, M. A. L-asparaginase activity of soils. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995b. p. 325-327.

FRANKENBERGER JUNIOR, W. T. y TABATABAI, M. A. L-glutaminase activity of soils. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995a. p. 328-330.

PORTO, E.R., AMORIM, M.C.C.de y SILVA JUNIOR L.G. de A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.111-114, 2001.