



Fungos micorrízicos arbusculares e glomalina do solo irrigado com água residual de petróleo.

Denis Juvenço Andrade⁽²⁾; Olmar Baller Weber⁽³⁾; Cristiane Figueira da Silva⁽⁴⁾; Orivaldo José Saggin Júnior⁽⁵⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da Petrobras e Embrapa.

⁽²⁾Mestrando em Recursos Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Av. Paranjana, 1700, CEP 60.940-903, Fortaleza, Ceará; denisandradej@hotmail.com.

⁽³⁾Pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Dra. Sara Mesquita 2270, CEP 60511-110, Fortaleza; olmar.webber@embrapa.br.

⁽⁴⁾Pós-Doutoranda em Solos, Embrapa Agrobiologia / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica, Rio de Janeiro. (RJ); cfigueirasilva@yahoo.com.br.

⁽⁵⁾Pesquisador da Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica; orivaldo.saggin@embrapa.br.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar as populações de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e o teor de proteínas relacionadas à glomalina do solo em sucessão ao cultivo de girassol irrigado com água produzida. Os tratamentos de irrigação constaram da aplicação de água produzida obtida por simples filtração (APF) e outra tratada por osmose reversa (APO) e o controle com água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA). Após três ciclos de produção da oleaginosa, aos cinco meses (junho de 2014) e dez meses (novembro de 2014) avaliaram-se as populações de esporos de comunidades de fungos MA, o teor de proteínas relacionadas à glomalina, nas frações facilmente extraível (PSRG-FE) e total (PSRG-T) e o teor de carbono orgânico total (COT) do solo. As populações de esporos de FMA e os teores de glomalina do solo foram sensíveis aos tratamentos de irrigação ao longo das estações do ano. A água produzida obtida por simples filtração aplicada na cultura de girassol propicia a consequente redução da atividade micorrízica arbuscular, e não altera o teor de carbono orgânico no curto prazo. A aplicação de água produzida e tratada por osmose reversa afeta, no curto prazo, a fração de glomalina que é facilmente extraível do solo.

Termos de indexação: Frações extraíveis de glomalina, água produzida, comunidades microbianas.

INTRODUÇÃO

A irrigação do solo com águas residuárias vem sendo considerada em áreas produtivas e regiões semiáridas. Entre as fontes hídricas tem-se a água produzida que é oriunda de campos de exploração do petróleo. Trata-se da mistura de água de formação do poço mais as águas de processos produtivos, incluindo condensação, dessalinização e injeção de água nos poços (Gabardo, 2007). Devido à formação, esta água contém misturas complexas

de compostos orgânicos e inorgânicos, além de resíduos de aditivos químicos utilizados no processo de produção de óleo (Figueiredo et al, 2014).

Alternativas para o reuso de água produzida incluem a irrigação de áreas com vegetação nativa, além do uso na limpeza e no controle de fogo em plantas industriais (Veil et al., 2004).

Outros estudos corroboram na aplicação da água, após seu tratamento para retirada de sais (Andrade et al., 2010), e a disposição no ambiente deve vir acompanhada do monitoramento ambiental.

A atividade biológica e de comunidades microbianas são atributos sensíveis às variações do ambiente, e com base na literatura tem-se pouco ou quase nenhum conhecimento sobre os impactos da aplicação de água produzida nas comunidades de fungos do solo que foram associações benéficas com as plantas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar as populações de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (MA) e o teor de proteínas relacionadas à glomalina do solo, em sucessão ao cultivo de girassol irrigado com água produzida. Esta glicoproteína favorece a formação de pequenos agregados (Rillig, 2004; Wright & Updahyaya, 1998) e melhora as propriedades físicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa área da fazenda Belém (FZB) da Petrobras, no município de Aracati, Ceará, previamente cultivado com o girassol cv. BRS 321 irrigado com três águas: água produzida e filtrada (APF), água produzida e tratada por osmose reversa (APO) e água de subsolo captado do aquífero Açú (ACA). As parcelas dos tratamentos (200 m²) tinham três repetições, sendo o delineamento foi inteiramente casualizado.

Após três ciclos de produção da oleaginosa (2012 a 2013), aos cinco meses da última colheita de grãos (junho de 2014) selecionaram-se áreas



retangulares (2 m²) dentro das parcelas, ao longo de uma linha diagonal, para coletar amostras compostas de solo superficial (0 a 10 cm). Esta operação de campo foi repetida em novembro do mesmo ano, utilizando-se novas áreas retangulares de tamanho similar das parcelas. Tais coletas de solo coincidiram com o final do período chuvoso e a época mais seca do ano na região.

As amostras de solo foram secas ao ar livre, passadas em peneira (2 mm) e guardadas para análise no laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical. Frações de 50 g do solo seco foram usadas para extrair esporos de fungos MA, utilizando-se a técnica de peneiramento úmido seguida da centrifugação e da flutuação em gradiente de sacarose (Sieverding, 1991). Em seguida, as populações de esporos de fungos MA foram estimadas e as espécies fúngicas dominantes identificadas. Outras frações das amostras foram subordinadas a extração de glomalina, nas frações PSRG-FE e PRSG-T, seguindo-se procedimentos adotados por Rillig (2004) e Wright & Updhyaya (1998), com algumas modificações. Na extração das proteínas utilizou-se o citrato de sódio (20 mM em pH 7,4 para PSRG-FE e 50 mM pH 8,0 para PRSG-T) e na quantificação seguiu-se Bradford (1976). Ademais, determinou-se o teor de carbono orgânico total (COT) do solo, conforme Silva (2009).

Os dados obtidos foram analisados no delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos principais (APF, APO e ACA) e as duas épocas (maio e novembro de 2014), utilizando-se o modelo linear de análise de covariância com medidas repetidas no tempo, no procedimento MIXED do programa estatístico SAS – Statistic Analytical System (SAS/STAT, MIXED procedure) (SAS, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação dos fatores avaliados (irrigação e época) foi significativa (teste F) para abundância de esporos ($p = 0.0072$) e o teor de PSRG-FE ($p < 0.0001$) e PRSG-T ($p = 0.0051$). Ao final da época chuvosa observaram-se menores valores para as variáveis envolvendo estruturas e constituintes dos fungos MA do solo que recebeu previamente APF, na comparação com o controle que recebeu ACA (Tabela 1 e 2). O efeito negativo da aplicação de APF também foi constatado para o número de esporos e o teor de PSRG-FE em relação ao tratamento com APO. Acredita-se que a irrigação com água produzida promoveu mudanças na estrutura de comunidades e na atividade dos fungos MA, sendo que foram identificados mais esporos da família Acaulosporaceae no tratamento com ACA, e

a ocorrência de esporos das famílias Glomeraceae e Gigasporaceae foi similar nos três tratamentos de irrigação. As condições estressantes proporcionadas pela irrigação com APF, em cuja composição havia altos teores de sais de sódio e cloro (dados não mostrados), pode ter favorecido a associação dos fungos MA nas gramíneas e herbáceas sucessoras. Mas, vale salientar que manejo inadequado do solo pode levar a redução da esporulação de fungos MA (Sylvia & Jasper, 1992). A sazonalidade também pode influenciar a atividade dos fungos, tornando-os fisiologicamente ativos em estações e ambientes propícios ao desenvolvimento das plantas (Mangan et al. 2004).

A abundância de esporos de fungos MA e o teor de PSRG-FE resulta no aumento do teor de PSRG-T no solo (Koide & Peoples, 2013), e esta sofreu aumento nos solos irrigados com APF e APO da estação chuvosa para a época seca, e o mesmo não ocorrendo em solo que recebeu ACA. Na época seca do ano, o solo que recebeu APF indicou maior teor de PSRG-T e menor teor de PSRG-FE, sendo esta última relacionada diretamente com a atividade dos fungos MA (Koide e Peoples, 2013). Ainda foram observadas na época seca outras variações com frações de glomalina (Tabela 2), bem como na identificação de esporos pertencentes à família Archaeosporaceae em solo irrigado com água do subsolo. Isto leva a sugerir que a irrigação com diferentes águas propicia mudanças na atividade e estrutura das comunidades de fungos MA do solo.

Por sua vez, o teor de COT não variou no solo com as águas de irrigação, apenas sofreu incremento do período chuvoso (5,8 g por kg de solo) para a época seca do ano (8,5 g por kg de solo) mostrando-se significativo ($p = 0,0149$). Tal incorporação atribui-se à produção de biomassa das raízes e as associações das gramíneas e herbáceas com micro-organismos do solo. Com a cobertura vegetal houve parte do carbono no solo.

CONCLUSÕES

A irrigação do solo com água residual do petróleo influencia a atividade micorrízica arbuscular, a qual pode ser medida com a presença de esporos de comunidades fúngica e o teor de proteínas relacionadas à glomalina.

A água produzida obtida por simples filtração aplicada na cultura de girassol propicia a consequente redução da atividade micorrízica arbuscular, e não altera o teor de carbono orgânico no curto prazo.

A aplicação de água produzida e tratada por osmose reversa afeta, no curto prazo, a fração de glomalina que é facilmente extraível do solo.



AGRADECIMENTOS

A FUNCAPE, pela bolsa de estudos, a Petrobras e Embrapa pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V.T.; ANDRADE, B.G.; COSTA, B.R.S.; PEREIRA JR, O.A.; DEZOTTI, M. Toxicity assessment of oil field produced water treated by evaporative processes water to irrigation. *Water Science & Technology*, 62:693-700, 2010.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, May. 1976.

FIGUEREDO, K.S.L.; MARTÍNEZ-HUITLE, C.A.; TEIXEIRA, A.B.R.; PINHO, AL.S.; VIVACQUA, C.A.; SILVA, D.R. Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different productions zones of mature fields in the Potiguar Basin – Brazil. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 116: pp. 109-114. 2014.

GABARDO, I.T. Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese de Doutorado em Química. Natal: Programa de Pós-Graduação em Química – CCET/UFRN, 2007, 250p.

Johnston, C.R.; Vance, G.F.; Ganjegunte, G.K. Irrigation with coalbed natural gas co-produced water. *Agricultural Water Management*, 95:1243–1252, 2008

KOIDE, R. T.; PEOPLES, M. S. Behaviour of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. *Applied Soil Ecology*, v. 63, n. 1, p. 8-14, 2013.

MANGAN, S. A., EOM, A., ADLER, G. H., YAVITT, J. B. & HERE, E. A. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi across a fragmented forest in Panama: insular spore communities differ from mainland communities. *Oecologia*, 141: 687-700, 2004.

RILLING, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*. v. 84, p355-363,2004.

SAS INSTITUTE. SAS Systems for windows: Version 9.2. Cary, 2008.

SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation. Eschborn: Federal Republic of Germany, 317p, 1991.

SYLVIA, D. M.; JARSEFER, A. G. Sheared- root inocula of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Environmental Microbiology*, Washington, v. 58, p. 229-232, 1992.

VEIL, J.A.; PUDER, M.V.; ELCOCK, D.; REDWEIK Jr.,R.J. A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas and coal bed methane. Argonne National Laboratory/US Department of Energy, 87p, 2004.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, The Hague, v. 198, p. 97-107, 1998.



Tabela 1: Teor carbono orgânico total (COT) (g CO.kg-1), abundância de esporos de fungos MA (AE) e o teor de proteínas relacionadas à glomalina total (PSRG -T) e facilmente extraível (PSRG-FE) do solo (mg g-1) em sucessão ao cultivo de plantas de girassol irrigadas.

Variáveis	Época chuvosa			Época seca		
	APO	APF	ACA	APO	APF	ACA
COT	5.716	5.522	6.200	8.296	8.133	9.075
AE	368.4	248.2	308.0	325.0	353.3	301.3
PSRG-T	1.07	0.94	1.40	1.19	1.67	1.27
PSRG-F	0.28	0.45	0.63	0.53	0.36	0.40

Irrigação com água produzida filtrada (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açú (ACA).

Tabela 2 – Diferenças entre médias (D) e valores de *p* associados ao teste t para o teor de proteínas relacionado à glomalina total (PSRG-T), glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) e a abundância de esporos (AE) do solo, em sucessão ao cultivo de girassol submetido a tratamentos de irrigação (APO, APF e ACA) e épocas (t1 e t2) na fazenda Belém, em Aracati (CE).

Contrastes	PSRG-T		PSRG-F		AE	
	D	p	D	p	D	p
APO x APF, t1	0.132	0.204	-0,170	0,0005	120,00	0,0076
APO x ACA, t 1	-0.328	0.007	-0,352	<.0001	60,667	0,1020
APF – ACA, t 1	-0,460	0.009	-0,182	<.0001	-59,33	0,0423
APO x APF, t 2	-0,475	0.002	-0,169	0,0005	-28,33	0,3877
APO x ACA, t2	-0,080	0.361	-0,129	0,0022	23,667	0,4802
APF – ACA , t2	0.395	0.018	-0,040	0,0233	52,00	0,0651
t1 x t2, APO	- 0,123	<0,001	- 0,247	0,0004	43,667	0,0028
t1 x t2, APF	- 0,730	0,004	0,0927	<.0001	-104,67	0,0122
t1 x t2, ACA	0,125	0,108	0,234	<.0001	6,667	0,6717

Água produzida filtrada (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açú (ACA), época chuvosa (t1) e época seca (t2).