

Atributos dos fungos micorrízicos arbusculares como indicadores de áreas degradadas e em recuperação no estado do Piauí

Attributes of arbuscular mycorrhizal fungi as indicators of degraded and recovery lands in Piauí state

CARNEIRO, Romero Francisco Vieira¹; JÚNIOR, Francisco Marques Cardozo²; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira³; FILHO, Carlos Humberto Aires Matos⁴; SOUSA, Regina Fialho de⁴

¹Universidade Federal de Alfenas (UFAL), Núcleo de Engenharia Ambiental, Campus Poços de Caldas-MG, Brasil, romerofvc@gmail.com; ²Universidade Estadual do Piauí, Colegiado de Ciências Biológicas, Campus de Floriano - PI, Brasil, professorcardozo@hotmail.com; ³Universidade Federal do Piauí (UFPI), Centro de Ciências Agrárias, Campus Teresina, PI, Brasil, asfarua@yahoo.com.br; ⁴Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus de Bom Jesus, PI, Brasil, carumba@ig.com.br, regina-so-fia@hotmail.com

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar atributos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) como os glomerosporos totais, viáveis e não-viáveis, glomalina total e facilmente extraível; e associá-los a atributos químicos do solo para discriminar áreas caracterizadas por diferentes níveis de degradação bem como com manejo de recuperação do solo em Gilbués/PI. Atributos químicos do solo foram determinados como variáveis explicativas da variabilidade dos atributos dos FMAs por meio de análise multivariada. Os tratamentos foram constituídos por áreas em recuperação do solo (REC), altamente degradada (DEG), moderadamente degradada (IDEG) e de mata nativa (MN). Em REC, verificou-se maiores valores de glomerosporos totais em relação às demais áreas no período seco para a profundidade de 10-20 cm, enquanto que na profundidade de 0-10 cm foi igual a MN. As variáveis glomalina total e facilmente extraível, matéria orgânica, pH e Hidrogênio + Alumínio explicaram com maiores pesos a variabilidade total dos dados, tanto no período seco quanto no chuvoso. Entre os atributos relacionados à comunidade dos FMAs, a glomalina total e facilmente extraível apresentaram alta sensibilidade e, portanto, consistência para utilização como indicadores da qualidade do solo em Gilbués/PI.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade do solo, glomalina, glomerosporos, qualidade do solo.

ABSTRACT: The study aims to evaluate attributes of mycorrhizal fungi (AMF) as total, viable and non-viable glomerospores, total glomalin and easily extractable glomalin; associate them with soil chemical properties to discriminate lands characterized by different levels of degradation as well as management soil recovery in Gilbués/PI. Soil chemical attributes were used as explanatory variables for the variability of AMF attributes via multivariate analysis. The treatments consisted of land under recovery (LUR); highly degraded land (HDL); moderately degraded land (MDL) and native forest (NF). The highest values of total glomerospores corresponded to LUR when compared to other areas in dry period at 10-20 cm depth. For 0-10 cm depth, the values of total glomerospores were equal to NF. The variables total glomalin, easily extractable glomalin, soil organic matter, pH and Hydrogen+Aluminum explained variability of data both in the dry and rainy period, due to their higher weights. Among the attributes related to the community of AMF, total and easily extractable glomalin showed their efficiency as monitor-indicators of soil quality in Gilbués/PI.

KEYWORDS: soil fertility, glomerospores, glomalin, soil quality .

Introdução

Os microrganismos edáficos possuem funções-chave nos ecossistemas terrestres, e dentre estes, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (SOARES e CARNEIRO, 2010). Estes pertencem ao filo Glomeromycota e simbioticamente associam-se às raízes de plantas do grupo das gimnospermas, angiospermas, pteridófitas e briófitas (SCHUSSLER et al., 2001). Os FMAs podem estar presentes nos mais variados tipos de solos e são apontados como organismos críticos para a sucessão vegetal dentro de um processo de revegetação de áreas degradadas (SOUZA et al., 2003). Atualmente, sua aplicabilidade como insumo biológico ainda tem sido desafiadora para pesquisa científica. Entretanto, informações a cerca de atributos da comunidade nativa local pode constituir-se em ferramenta útil para utilização prática dos FMAs no diagnóstico da qualidade do solo, sobretudo em ambientes degradados.

Os FMAs encontram-se distribuídos em quatro ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales e Paraglomerales), 13 famílias e 19 gêneros (OEHL et al., 2008), totalizando cerca de 220 espécies reconhecidas (GOTO et al., 2010). Propágulos como glomerosporos podem determinar a abundância e persistência de FMAs sob influência tanto de diferentes classes de solos quanto de variadas práticas de uso e manejo do solo (MIRANDA et al., 2005). Nos solos marcados por degradação, os FMAs são severamente afetados podendo até mesmo ser removidos pela erosão (WU et al., 2002). Erosão e remoção da vegetação promovem perda da porção orgânica superficial, alterando a estrutura dos horizontes do solo, tendo como consequência a diminuição do número de propágulos e, conseqüentemente, da infectividade dos FMAs limitando assim o estabelecimento vegetal (LIMA et al., 2007, OLIVEIRA et al., 2009).

A transformação da paisagem degradada, como consequência da recuperação do solo, pode ainda oferecer condições de implantação de sistemas produtivos que representem alternativas sócio-econômicas para conter o abandono das áreas em processo de degradação, como a que ocorre em extensas áreas no Sul do estado do Piauí (SALVIANO et al., 2008). Para tanto, tecnologias específicas visando à contenção da erosão e o conhecimento do nível dos impactos gerados por tais medidas sobre a qualidade do solo representa o fundamento básico para a busca de tal transformação (FOLEY et al., 2005).

A associação micorrízica contribui para o fluxo de carbono da atmosfera para o solo, podendo fornecer

indicativos de distúrbios ecológicos nos processos que envolvem o ciclo desse elemento (GODBOLD et al., 2006). Para Tian et al. (2004), as características biológicas são afetadas primeiramente pelas ações do homem sobre o meio, porém, nas etapas de recuperação, os primeiros atributos a serem corrigidos são os físico-químicos vindo logo em seguida os biológicos.

Souza et al. (2003) e Miranda et al. (2005) determinaram o padrão da diversidade de propágulos de FMAs em áreas com baixos teores de fósforo (P) cuja vegetação foi substituída pela atividade agropecuária. Entretanto, são escassos os estudos que tratam a dinâmica de atributos dos FMAs especificamente como indicadores de recuperação da qualidade do solo, sobretudo em áreas com características semelhantes às do município de Gilbués, que apresentam alta fertilidade natural e baixa resistência física dos horizontes subsuperficiais aos processos erosivos (CREPANI, 2009).

Este trabalho teve como objetivos avaliar atributos de FMAs (glomerosporos totais, viáveis e não-viáveis, glomalina total e facilmente extraível) e associá-los a atributos químicos do solo para discriminar áreas caracterizadas por diferentes níveis de degradação e sob manejo de recuperação do solo, avaliados em diferentes épocas do ano e profundidades de amostragem do solo.

Material e Métodos

Local de estudo – o estudo foi realizado no Núcleo de Pesquisas para Recuperação de Áreas Degradadas e Combate à Desertificação (NUPERADE), pertencente à Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Piauí. A área está localizada no município de Gilbués (altitude de 425 metros, 9o45'55" latitude Sul e 45o21'00" de longitude Oeste). Conforme a descrição de Silva et al. (2007), a caracterização climática com base em Köppen é do tipo Aw – tropical, com temperaturas médias anuais entre 36 e 25 °C, com oscilação de 800 a 1200 mm de precipitação anual e período seco definido com duração de cinco meses. Nos meses de amostragem, por meio de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os valores de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar registrados em setembro de 2009 e março de 2010, respectivamente, foram de 12,0 mm; 29,8 °C; e 37 % e 188,8 mm; 26,3 °C; e 76 %.

Coletas de solo – amostragens do solo foram realizadas em quatro áreas diferenciadas entre si pela qualidade

visual da vegetação encontrada e pelo histórico de uso e manejo, pertencentes a um Argissolo Vermelho Amarelo (SALVIANO et al., 2008), sendo: áreas em recuperação do solo (REC) - sob influência de barragens de contenção da erosão, construídas no ano de 2003 e cultivada logo em seguida com gramíneas e leguminosas alóctones tais como *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* L. (guandu), *Leucaena leucocephala* e *Cenchrus ciliaries* (capim buffel); (DEG) - com diminuição drástica da vegetação natural e severa presença de erosão laminar e em sulcos, considerada altamente degradada; (IDEG) - moderadamente degradada, área de borda limítrofe com a mata nativa com cobertura vegetal raleada, aqui sendo definida

como aquela em processo inicial de degradação; e (MN) - fragmento de mata nativa, típica de ecotonos transicionais com predominância de cerrado ralo, utilizada como referência.

Para cada área descrita definiram-se aleatoriamente por caminhamento em zigue-zague 10 parcelas experimentais (sendo cada parcela uma repetição), e em cada parcela retirou-se amostra de solo tanto na profundidade de 0-10 cm quanto de 10-20 cm. Repetiu-se tal procedimento de coleta nas estações seca (setembro de 2009) e chuvosa (março de 2010). Maiores detalhamentos das áreas amostrais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características das áreas de estudo do trabalho, Gilbués (PI). REC - em recuperação pela contenção da erosão e plantio de gramíneas e leguminosas; DEG - Altamente degradada; IDEG - em processo inicial de degradação; MN - Mata nativa de referência.

Característica	Áreas amostrais			
	MN	REC	IDEG	DEG
Longitude	45° 20' 42,7"W	45° 20' 32,2"W	45° 20' 41,1"W	45° 20' 29,2"W
Latitude	09° 52' 32,1"S	09° 52' 49,6"S	09° 52' 33,0"S	09° 52' 48,3"S
Altitude (m)	441	449	460	452
Declividade (%)	2-5	5-9	5-9	5-9
Vegetação	Espécies arbóreas ^a	Espécies exóticas ^b	Espécies herbáceas ^c	Espécies herbáceas ^d
Argila (g kg ⁻¹)	510	510	500	520
Silte (g kg ⁻¹)	90	100	100	90
Areia (g kg ⁻¹)	390	370	390	380
Densidade (gcm ⁻³)	1,15	1,23	1,38	1,40

^a Anacardiaceae: *Myracrodruon urundeuva*, Bignoniaceae: *Jacaranda* sp, Sterculiaceae: *Guazuma* sp, Rubiaceae: *Alibertia* sp, Lamiaceae: *Ocimum basilicum*, Fabaceae: *Aeschynomene americana* (L), Sapindaceae: *Cardiopermum halicacabum* (L), Euphorbiaceae: *Croton sincrorensis*, Dilleniaceae: *Curatella americana* (L), Fabaceae: *Bauhinia* sp, Combretaceae: *Crombretum duarteanum*. ^b Cyperaceae: *Cyperus* sp, Fabaceae: *Cajanus cajan* (L), Fabaceae: *Crotalaria juncea*, Fabaceae: *Leucaena leucocephala*, Poaceae: *Cenchrus ciliaries*. ^c Poaceae: *Hyparrheria* sp, Tiliaceae: *Luehea cardiacans*, Malpighiaceae: *Byrsonima* sp. ^d Poaceae: *Hyparrheria* sp, *Aristida sepfolia* L. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05).

Análise química do solo - as análises de solo foram realizadas no Laboratório de Solos da UFPI (campus de Bom Jesus - PI), onde avaliaram-se: pH (H₂O), acidez potencial (H+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺), fósforo extraível (P-Mhelich 1) e matéria orgânica segundo metodologia descrita pela Embrapa (1997).

Densidade de glomerosporos - retiraram-se duas subamostras de 50 mL de solo, que foram submetidas

ao método de peneiramento úmido para extração dos glomerosporos (GERDEMANN e NICOLSON, 1963). A contagem direta foi realizada em placa de Petri, sob microscópio estereoscópico. Os glomerosporos foram separados em viáveis e não viáveis de acordo com a presença ou ausência de conteúdo citoplasmático, respectivamente, após perfuração com agulhas descartáveis (GAUR e VARMA, 2007).

Quantificação das proteínas do solo relacionadas

glomalina (PSRG) – as PSRG foram extraídas do solo seguindo a metodologia de Wright e Upadhyaya (1998). Em 0,25 g de solo adicionou-se citrato de sódio 20 mM, pH 7, seguindo-se a extração da glomalina facilmente extraível (GfE) em autoclave a 121 °C por 30 minutos ou citrato de sódio 50 mM, pH 8 para extração da glomalina total (GmT) em autoclave a 121 °C por 1 hora. Após cada extração, o material foi centrifugado a 10.000 g por 5 minutos e as PSRG presentes no sobrenadante foram quantificadas pelo método de Bradford (1976), tendo como curva padrão albumina de soro bovino.

Análise estatística - os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Assistat (SILVA e AZEVEDO, 2009). Realizou-se ainda a análise dos dados por meio de estatística multivariada utilizando-se técnicas de análise por componentes principais e por agrupamento hierárquico, utilizando o software Statistical Package for the Social Sciences versão 17.0. Assim analisou-se um conjunto complexo de dados simultâneos referentes aos fatores biológicos (glomerosporos) e bioquímicos (glomalina total e facilmente extraível) relacionados com FMAs, e também os atributos químicos do solo no tempo (épocas do ano) e no espaço (diferentes áreas amostrais).

Resultados e Discussão

Glomerosporos totais, viáveis e não-viáveis - na profundidade de 0-10 cm verificaram-se os maiores valores de glomerosporos totais na área REC em relação às áreas DEG e IDEG no período seco. No período chuvoso, o menor valor de glomerosporos totais foi observado em IDEG (Tabela 2). Na profundidade de 10-20 cm, durante a estação chuvosa, foram verificadas diferenças apenas entre as áreas MN e IDEG. No período seco, REC foi superior às demais áreas. Melloni et al. (2001) encontraram menor número de glomerosporos totais em solo de campo cerrado comparativamente a mata ciliar, atribuindo tal diferença à maior diversidade vegetal, predominância de espécies micotróficas e às condições edáficas que favoreceram à esporulação na mata ciliar.

Considerando-se as épocas de amostragem, na profundidade de 0-10 cm, apenas as áreas REC e IDEG tiveram a densidade de glomerosporos totais aumentados no período seco, atingindo 2,12 vezes mais em REC. Tal fato, possivelmente, pode estar associado ao estímulo à germinação dos glomerosporos no período chuvoso. Entretanto, a combinação do cultivo de leguminosas e gramíneas tendem a estimular a

esporulação em REC, corroborando com os resultados de Miranda et al. (2005) em estudo realizado em áreas de implantação de cultivo agrícola.

A densidade de glomerosporos viáveis (Ev) em REC, na camada de 0-10 cm, foi superior às demais áreas em estudo apenas no período seco. Contudo, no período chuvoso, diferenças foram constatadas apenas entre MN e IDEG. Na profundidade de 10-20 cm, REC também foi superior às demais áreas no período seco, sendo que na estação chuvosa REC e MN não diferiram entre si, o mesmo ocorrendo entre DEG e IDEG.

Ao se compararem os números de Ev entre as épocas de amostragem seca e chuvosa, na profundidade de 0-10 cm, somente na área REC constatou-se diferenças, com incremento de 2,43 vezes no período seco em relação ao chuvoso. Na profundidade de 10-20 cm, verificou-se um incremento de 2,56 vezes do período seco em relação chuvoso e para a área IDEG um incremento de 4,08 vezes.

Em estudo na região semi-árida do nordeste do Brasil, Lima et al. (2007) destacaram que os efeitos provocados pelo aumento do nível de degradação do solo sobre os propágulos de FMAs restringiu-se na camada superior a 7,5 cm, a qual também foi caracterizada pela perda de solo e de elementos como carbono e nitrogênio. A variação entre o total de glomerosporos é influenciada pela interação entre o status nutricional do solo, planta hospedeira e ciclo biológico dos FMAs (SIEVERDING, 1991; LIMA et al., 2007). Destaca-se que na área em processo inicial de degradação (IDEG), à profundidade de 10-20 cm, no período chuvoso verificou-se o menor valor de Ev.

Assim, constatou-se tendência de déficit em glomerosporos de FMAs com o aumento da degradação do solo, fato que pode comprometer a sustentabilidade vegetal nestes locais a longo prazo, se persistir tais condições. É possível que a cobertura vegetal em REC e a interação com rizóbios que se associam simbioticamente com plantas arbustivas anuais como o guandu (*Cajanus cajan* L.) estejam proporcionando condições para a multiplicação dos glomerosporos, principalmente na estação seca, pois as leguminosas permanecem verdes por um período de tempo mais prolongado.

Quanto aos glomerosporos não viáveis, na profundidade de 0-10 cm no período seco, verificaram-se quantidades superiores em MN em relação à DEG e IDEG. O mesmo foi verificado na profundidade 10-20 cm (Tabela 2). Para o período chuvoso, a densidade de glomerosporos não viáveis em MN foi superior apenas em relação à IDEG na profundidade de 0-10 cm. Na

Tabela 2. Densidade de glomerosporos viáveis (Ev), não-viáveis (EnV) e totais (Et) para as épocas seca (setembro/2009) e chuvosa (março/2010), em duas profundidades de amostragem do solo, em áreas com diferentes níveis de degradação do solo REC – em recuperação com construção de barragens associadas ao plantio de gramíneas e leguminosas; DEG - degradada; IDEG - em processo inicial de degradação; MN - mata nativa.

Épocas	Áreas amostrais			
	REC	DEG	IDEG	MN
Ev (50 ml de solo)				
-----0 - 10 cm-----				
Seca	149,9 aA*	45,80 bA	18,50 bA	65,90 bA
Chuvosa	61,50 abB	45,00 abA	13,00 bA	83,40 aA
-----10 - 20 cm-----				
Seca	124,70 aA	32,40 bA	25,30 bA	19,10 bA
Chuvosa	48,60 aB	13,70 bA	6,20 bB	43,70 aA
EnV (50 ml de solo)				
-----0 - 10 cm-----				
Seca	53,41 abA	34,00 bA	21,66 bA	92,00 aA
Chuvosa	34,16 abA	31,91 abA	10,83 bB	60,91 abB
-----10 - 20 cm-----				
Seca	60,75 aA	33,50 bA	18,91 bA	68,58 aA
Chuvosa	33,50 abB	11,58 bB	4,00 bB	59,66 aA
Et (50 ml de solo)				
-----0 - 10 cm-----				
Seca	203,30 aA	79,80 bcA	36,00 cA	157,9 abA
Chuvosa	95,70 abB	77,00 abA	23,90 bB	144,30 aA
-----10 - 20 cm-----				
Seca	185,50 aA	65,90 bA	44,20 bA	87,70 bA
Chuvosa	82,10 abB	25,30 abB	10,20 bB	103,40 aA

*médias seguidas pela mesma letra, minúsculas (linha) e maiúsculas (colunas), não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em cada profundidade de amostragem.

profundidade de 10-20 cm, MN foi estatisticamente igual ($P>0.05$) a REC e superior tanto a DEG quanto a IDEG.

No período seco e menor profundidade, verificou-se maior densidade de glomerosporos não viáveis apenas em MN e IDEG em relação ao chuvoso. Na profundidade de 10-20 cm, maiores valores foram encontrados no período seco para REC, DEG e IDEG, em relação ao chuvoso. O aumento da umidade no período chuvoso favorece a germinação dos glomerosporos, e, possivelmente, esses não encontrando raízes para o estabelecimento da simbiose, podem se tornar inviáveis.

Souza et al. (2003) verificaram menor densidade de glomerosporos não-viáveis em caatinga degradada cultivada em relação à caatinga cultivada preservada e relataram que estes parecem ser mais susceptíveis à erosão. Tal relação também poderia estar associada ao presente estudo, considerando a igualdade entre REC e MN, sobretudo na profundidade de 10-20 cm.

Ainda considerando a afirmativa de Souza et al. (2003), um número superior de glomerosporos não-viáveis sobretudo em MN e REC, ressalta o potencial

deste atributo como indicador da eficácia das práticas conservacionistas implantadas em REC.

A persistência dos glomerosporos não viáveis no solo pode ocorrer por muitos anos, o que pode dificultar a compreensão da causa da sua inviabilidade. As pressões do ambiente tais como o pH, conteúdo de argila, combinações de FMAs e hospedeiros vegetais, sazonalidade, práticas de manejo e presença de predadores de glomerosporos que vivem na rizosfera, influenciam a perda de viabilidade (CARDOSO et al., 2003). Assim, a dinâmica da densidade de glomerosporos de FMAs possui potencial de utilização como indicador microbiológico de reabilitação da funcionalidade dos ecossistemas e da fertilidade do solo.

Proteínas do solo relacionadas a glomalina (PSRG) - tanto para glomalina total (GmT) quanto a glomalina facilmente extraível (GfE), verificaram-se teores muito abaixo daqueles encontrados por Rillig et al. (2003a) em áreas agrícolas. Segundo esses autores, estas são fortemente impactadas por perdas de matéria orgânica

em áreas cultivadas. Nas áreas DEG e IDEG, possivelmente a deficiência em matéria orgânica e a menor densidade vegetal contribuíram para a não detecção de frações de PSRG (Tabela 3). Foram detectados traços de GfE nas áreas REC, DEG e IDEG tanto nos períodos seco e chuvoso, quanto nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 3). Tendência semelhante também ocorreu com a GmT para as duas profundidades avaliadas. Na camada de 10-20 cm, no período seco, não foi encontrada GmT nas áreas REC e DEG.

Era esperado que os solos de MN e REC apresentassem maiores valores de PSRG que o solo das demais áreas, impulsionado pela maior esporulação de FMAs verificada naquelas áreas, o que não foi constatado, corroborando com o que relataram Rillig (2004) e Bonfim et al. (2013).

À profundidade de 0-10 cm, a GfE apresentou diferença entre os períodos somente na MN, sendo verificado maior valor para o período seco ($0,030 \pm 0,002$) em relação ao chuvoso ($0,023 \pm 0,002$). No entanto Sousa et al. (2012), estudando PSRG em função de sistemas de consórcio entre culturas em anos consecutivos, destacaram que a produção de PSRG foi maior no ano de menor precipitação pluviométrica. Entretanto, Souza et al. (2013) salientaram que a PSRG é relativamente estável no solo com pouca mudança sazonal, fato verificado em áreas de dunas mineradas e

revegetadas. No período chuvoso não foram verificadas diferenças entre as profundidades avaliadas.

A GmT foi maior no período seco que no chuvoso nas duas profundidades. A mata nativa foi o tratamento com maiores valores de PSRG, sendo detectado nas duas épocas e profundidades, com variações de 0,023 a 0,09. Estes valores foram inferiores aos obtidos por Oliveira et al. (2009) em estudo sobre vegetação de restinga.

Correlações entre PSRG e matéria orgânica frequentemente mostram-se positivas. Segundo Wright e Upadhyaya (1998), menores teores de GfE foram detectados em solos com remoção do horizonte A, a 15 cm de profundidade. Além da mata nativa, foi detectado GfE na profundidade de 10-20 cm nas áreas REC e IDEG.

Para Rillig et al. (2001), a combinação entre concentração de nutrientes, clima, tipo de hospedeiro e a diversidade de FMAs influenciam o potencial de deposição destas proteínas no solo. Solos férteis e cobertura vegetal densa favorecem a detecção de maiores valores de PSRG (Lovelock et al. 2004), pois estimulam maior produção de hifas. Observou-se que no sistema preservado e estável como a mata nativa, o solo recebe continuamente aporte de nutrientes, e mantém maiores teores de matéria orgânica, possibilitando maiores valores de GmT e GfE.

Tabela 3. Gomalina facilmente extraível (GfE) e Glomalina Total (GmT) para as épocas seca (setembro/2009) e chuvosa (março/2010), em duas profundidades de amostragem do solo. REC- em recuperação pela construção de barragens associadas ao plantio de gramíneas e leguminosas; DEG- altamente degradada; IDEG- em processo inicial de degradação; MN- mata nativa; em Gilbués/PI.

Épocas	Áreas amostrais			
	REC	DEG	IDEG	MN
Glomalina Facilmente Extraível (mg g⁻¹ agregados de solo < 2 mm)				
-----0 - 10 cm-----				
Seca	0	0	0	$0,030 \pm 0,002$
Chuvosa	0	0	0	$0,023 \pm 0,003$
-----10 - 20 cm-----				
Seca	0	0	0	$0,030 \pm 0,004$
Chuvosa	$0,001 \pm 0,001^*$	0	$0,001 \pm 0,001$	$0,025 \pm 0,003$
Glomalina Total (mg g⁻¹ agregados de solo < 2 mm)				
-----0 - 10 cm-----				
Seca	0	$0,001 \pm 0,001$	$0,003 \pm 0,003$	$0,090 \pm 0,010$
Chuvosa	0	0	0	$0,050 \pm 0,010$
-----10 - 20 cm-----				
Seca	0	0	$0,003 \pm 0,003$	$0,050 \pm 0,010$
Chuvosa	0	0	0	$0,020 \pm 0,010$

*erro padrão da média

Análise multivariada - pela análise por componentes principais, para a estação seca, o primeiro componente explicou em torno de 60% da variância total dos dados, sendo que as variáveis H+Al, GmT, pH, M.O e EnV as que apresentaram maiores valores modulares em ordem decrescente (Tabela 4). A retenção até o segundo componente principal alcançou 84,30% da variância total dos dados, sendo que neste componente, as variáveis de atributo químico e microbiológico em destaque foram o fósforo e Ev, respectivamente.

Para Rillig et al. (2003b) os teores de glomalina são fortes indicadores de alterações causadas pelo uso do

solo. Nota-se que a PSRG detectada na área MN difere das demais áreas, o que a ratifica como um indicador potencial de áreas degradadas.

No período chuvoso, o primeiro componente principal explicou até 74,29% da variância total dos dados, na qual as variáveis GfE, H+Al, M.O, pH e EnV foram as de maiores valores modulares em ordem decrescente (Tabela 4). No componente 2, as variáveis P e glomerosporos viáveis (Ev) obtiveram os maiores valores, de modo semelhante ao período seco.

A utilização apenas de atributos químicos do solo, como

Tabela 4. Gomalina facilmente extraível (GfE) e Glomalina Total (GmT) para as épocas seca (setembro/2009) e chuvosa (março/2010), em duas profundidades de amostragem do solo. REC- em recuperação pela construção de barragens associadas ao plantio de gramíneas e leguminosas; DEG- altamente degradada; IDEG- em processo inicial de degradação; MN- mata nativa; em Gilbués/PI.

Variáveis	Estação seca		Estação chuvosa	
	CP ₁	CP ₂	CP ₁	CP ₂
Et	0,233	0,969	0,708	0,692
Ev	-0,127	0,977	0,577	0,774
EnV	0,841	0,522	0,816	0,534
GmT	0,982	-1,762E-02	0,943	0,104
GfE	0,849	-0,176	0,979	6,190E-03
P	-0,265	0,221	-0,384	0,877
M.O	0,924	3,472E-02	0,957	0,154
H+Al	0,986	-3,008E-02	0,976	5,674E-02
pH	-0,971	-0,194	-0,931	-9,791E-02
Variância-Var. (%)	59,82	24,48	74,29	19,14
Var. Acumulada (%)	59,82	84,30	74,29	93,43

Método de análise por componentes principais, rotação varimax com normalização Kaiser (SPSS, v. 17).

por exemplo o pH, oferecem pouca informação sobre a perda da qualidade edáfica num ecossistema terrestre (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Valores de pH em torno de 6,0 pode ser considerado adequado para a grande maioria das plantas cultivadas (KAMINSKI et al., 2007); no entanto, espécies de FMAs têm comportamento diferenciado em relação ao pH do solo. Silveira et al. (2004) concluíram que o pH quando associado a riqueza de FMAs foram melhores indicadores de recuperação de solos no sul do Estado de Minas Gerais.

A área MN apresentou maior valor para GfE e número elevado de glomerosporos totais nas duas

profundidades. Por outro lado, Wright (2000), ratificado por Souza et al. (2013), propôs que a glomalina apresenta aparente recalcitrância no solo, e que não há correlação com a riqueza e esporulação de FMAs.

Diferentes combinações entre fatores ambientais, como temperatura, umidade, disponibilidade hídrica, diferenças de manejos, material orgânico, que atuam sobre o solo, a vegetação e os organismos propriamente ditos, dificultam a definição de indicadores para a avaliação da qualidade do solo (MELLONI et al., 2001). Neste trabalho, as análises realizadas nos dois períodos de amostragem, demonstraram a consistência do uso da PSRG, da acidez potencial e pH do solo para

discriminação de áreas com diferentes níveis de degradação.

Tótola e Chaer (2002) propuseram o carbono da biomassa microbiana como indicador para mudanças nas condições do solo; entretanto, os autores salientaram que este sofre influência da época de amostragem. Observou-se que pela análise por componentes principais, a PSRG, tanto no período seco quanto chuvoso, tiveram valores modulares muito próximos à matéria orgânica, o que poderia ratificar sua recomendação como parâmetro indicador de qualidade para o ambiente estudado.

Conclusões

O processo de recuperação do solo pela construção de barragens e plantio de gramíneas e leguminosas promove o aumento da densidade de glomerosporos viáveis de FMAs. As variáveis glomalina total e glomalina facilmente extraível, associadas aos atributos químicos matéria orgânica, acidez potencial e pH, são indicadores sensíveis para discriminar áreas com diferentes níveis de degradação do solo na região de desertificação em Gilbués, independentemente da época do ano.

Referências Bibliográficas

- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, n.1, p.248-254, 1976.
- BONFIM, J.A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian Atlantic forest: a gradient of environmental restoration. **Applied Soil Ecology**, v. 71, n.1, p.7- 14, 2013.
- CARDOSO, I.M. et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v.58, n.1, p.33-43, 2003.
- CREPANI, E.O. Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoriamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...**Natal: INPE, 2009. p.5185-5192.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- FOLEY, J.A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v.309, n.5734, p.570-574, 2005.
- GAUR, A; VARMA, A. Research methods in arbuscular Mycorrhizal fungi. In: VARMA, A.; OELMÜLLER, R. (Org). **Soil biology: advanced techniques in soil microbiology**. Berlin: Springer-Verlag Hidelberg, 2007, p.376-396.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal fungi isolated from soil by wet sieving and decanting. **Transactions British Mycological Society**, v.46, n.2, p. 235-244, 1963.
- GODBOLD, D.L. et al. Mycorrhizal hyphal turnover as a dominant process for carbon input into soil organic matter. **Plant and Soil**, v.281, n.1, p. 15-24, 2006.
- GOTO, B.T. et al. Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in the Brazilian semiarid. **Mycotaxon**, v.113, n.1, p.251–254, 2010.
- KAMINSKI, J. et al. Acidez e calagem em solos do sul do Brasil: aspectos históricos e perspectivas futuras. In: CERETTA, C.A, SILVA, L.S; REICHERT, J.M (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5 ed., 2007, p.307-332.
- LIMA, R.L.F.A. et al. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.1, p. 257-268, 2007.
- LOVELOCK, C.E. et al. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, v. 92, n.1, p.278-287, 2004.
- MELLONI, R. et al. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.1, p.7-13, 2001.
- MIRANDA, J.C.C. et al. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.1, p.1005-1014, 2005.
- OLIVEIRA, J.R.G. et al. O papel da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) autóctones no desenvolvimento de espécies vegetais nativas em área de dunas de restinga revegetadas no litoral do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Botânica**, v.32, n.4, p.663-670, 2009.
- OEHL, F. et al. Revision of Scutellospora and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza forming Glomeromycetes. **Mycotaxon**, v.106, n.1, p.311-360, 2008.
- RILLIG, M.C. et al. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, n.1, p.1257-1260, 2003a.

- RILLIG, M.C. et al. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, v.253, n.1, p.293-299, 2003b.
- RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v.28, n.1, p.355-363, 2004.
- RILLIG, M.C. et al. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 233, n.1, p.167-177, 2001.
- SALVIANO, A.A.C. et al. Mapeamento da Área Degradada da Microbacia I do Riacho Sucuruí em Gilbués, PI, através da Determinação da Capacidade de Uso das Terras. Rio de Janeiro, RJ, 2008. In: CONGRESSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS, 1, 2008, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: SBCS, 2008. CD-ROM.
- SCHOENHOLTZ, S.H. et al. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v.138, n.1, p.335-356, 2000.
- SCHUSSLER, A. et al. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v.105, n.1, p.1413-1421, 2001.
- SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 371p.
- SILVA, F.B. et al. Áreas degradadas em microbacia de Gilbués-PI utilizando imagens do sensor CCD-CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.4257-4260.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal components analysis in the software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 2009, Michigan. **Proceedings...** Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. p.49-56.
- SILVEIRA, R.B. et al. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.2, n.2, p.21-29, 2004.
- SOUSA, C.S. et al. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi after organic fertilization in maize, cowpea and cotton intercropping systems. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, n.2, p.149-156, 2012.
- SOUZA, R.G. et al. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, n.1, p.49-60, 2003.
- SOUZA, R.G. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in revegetated mined dunes. **Land degradation & development**, v.24, n.2, p.147-155, 2013.
- SOARES, C.R.F.S., CARNEIRO, M.A.C. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O., SOUZA, F.A., CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010, p.441-474.
- TIAN, C.Y. et al. Different effects of arbuscular mycorrhizal fungal isolates from saline or non-saline on salinity tolerance of plants. **Applied Soil Ecology**, v.26, n.1, p.143-148, 2004.
- TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CERETTA, C.A, SILVA, L.S; REICHERT, J.M (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2 ed., 2002, p. 195-276.
- WRIGHT, S.F. A fluorescent antibody assay for hyphae and glomalin from arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.226, n.1, p.171-177, 2000.
- WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.198, n.1, p.97-107, 1998.
- WU, T. et al. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for the revegetation of eroded red soils in subtropical China. **Plant and Soil**, v.239, n.1, p.225-235, 2002.