

SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

PROPÁGULOS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLOS DEFICIENTES EM FÓSFORO SOB DIFERENTES USOS, DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA NO NORDESTE DO BRASIL⁽¹⁾

Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima⁽²⁾, Ignácio Hernan Salcedo⁽³⁾
& Vânia da Silva Fraga⁽⁴⁾

RESUMO

A conversão de áreas de caatinga em agricultura e pecuária de subsistência é uma das características marcantes da região semi-árida do Nordeste do Brasil. O presente estudo investigou o efeito dessa conversão sobre os propágulos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em 10 locais diferentes, distribuídos nos Estados da Paraíba e de Pernambuco. Cada local consistiu de uma área de vegetação nativa (caatinga) contígua com uma área cultivada, na mesma posição de encosta. Amostras de solo foram coletadas a intervalos de 20–30 m, nas profundidades de 0–7,5 e 7,5–15 cm (10 locais x 2 usos do solo x 2 profundidades com 4 pontos amostrais) ao longo de uma transecção que cruzava as áreas contíguas. As raízes (< 2 mm) catadas das amostras de solo (n = 160) foram coloridas com azul de tripan para quantificar o grau de colonização por FMA, verificando-se também o tipo de estruturas fúngicas presentes. Esporos de FMA extraídos do solo por peneiramento úmido foram incubados em solução de cloreto de iodonitrotetrazólio (INT) e contados, considerando-se viáveis os corados pelo INT. O solo foi analisado quanto ao teor de P-resina e CO total (COT). Para análise dos resultados, as 10 áreas com vegetação nativa foram separadas em dois subgrupos: caatinga preservada (CaatP, n = 6) e caatinga raleada (CaatR, n = 4), por apresentarem diferentes graus de degradação. Pelo mesmo motivo, as áreas cultivadas também foram separadas em dois subgrupos: cultivada preservada (CultP, n = 4) e cultivada degradada (CultD, n = 6). Dessa forma, foram estabelecidos quatro níveis de intensidade de uso do solo ou degradação, conforme o histórico de uso, a observação visual da degradação da vegetação ou do solo e a erosão do solo avaliada pela técnica do ¹³⁷Cs. O efeito da intensidade de uso do solo nos propágulos de FMA somente foi observado na camada de 0–7,5 cm, exceto para esporos não-viáveis. A densidade de esporos viáveis variou de 1,4 a 6,8 esporos/50 g de solo e a de não-viáveis, de 91,4 a 226 esporos/50 g de solo. A categoria CaatR foi a que apresentou resultados mais

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recebido para publicação em agosto de 2004 e aprovado em fevereiro de 2007.

⁽²⁾ Bolsista de DCR do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Campus II. CEP 58397-000 Areia (PB). E-mail: regina_aguiar@hotmail.com

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. CEP 52740-540 Recife (PE). E-mail: salcedo@ufpe.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural, UFPB. E-mail: vfraga@cca.ufpb.br

consistentes em relação ao estímulo do desmatamento seletivo (raleamento) sobre os propágulos, com maior número de esporos viáveis, maior intensidade de colonização e diminuição da proporção de amostras com vesículas, em relação às demais categorias. Os teores de P-resina nas amostras de solo foram, em geral, muito baixos ($< 6 \text{ mg kg}^{-1}$), tendo-se observado que a colonização radicular em amostras com teores inferiores a $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ foi menos intensa naquelas com P-resina acima desse valor. Observou-se também que a colonização das raízes foi favorecida pelos teores mais altos de COT, o mesmo acontecendo com o número de esporos viáveis.

Termos de indexação: esporos viáveis, colonização micorrízica, vesículas, FMA, caatinga.

SUMMARY: *PROPAGULES OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAE IN P-DEFICIENT SOILS UNDER DIFFERENT LAND USES, IN SEMI-ARID NE BRAZIL*

The conversion of tropical dry forest into areas used for subsistence agriculture or livestock production is a common feature of the semi-arid region of NE Brazil. Our study looked into the effect of these land use changes on propagules of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) at ten sites distributed in the states of Paraíba and Pernambuco. Each site consisted of an area under native vegetation (Dry-Forest) adjacent to a cultivated area in the same slope position. Soil samples were taken at distance intervals of 20–30 m from two depths (0–7.5 and 7.5–15 cm) along a transect crossing the adjacent areas (10 sites x 2 land uses x 2 depths x 4 sampling points). Roots ($< 2 \text{ mm}$) found in the soil samples ($n = 160$) were stained with trypan blue to assess the percentage of AMF colonization as well as the type of fungal structures. The AMF spores were separated from soil by wet sieving, incubated in iodinitrotetrazolium chloride (INT) solution and counted; those stained with INT were considered viable. Soil samples were analyzed for resin-extractable P and total organic carbon (TOC). For data analysis, the 10 areas under dry forest were separated in two sub-groups: Undisturbed-Dry-Forest (UDF, $n = 6$) and Disturbed-Dry-Forest (DDF, $n = 4$), owing to the different degradation degrees. Likewise, the 10 cultivated areas were also separated in two sub-groups: Preserved-Cultivated (PC, $n = 4$) and Degraded-Cultivated (DC, $n = 6$). Thus, four levels of increasing land use intensity or degradation were established, in agreement with the land use history, visual symptoms of vegetation or soil degradation, and soil erosion measured using the ^{137}Cs technique. Effects of increasing soil degradation on AMF propagules were observed in the 0–7.5 cm layer only, except for non-viable spores. The density of viable spores varied from 1.4 to 6.8 spores/50 g soil and of non-viable spores from 91.4 to 226 spores/50 g soil. The most consistent results in relation to the effect of selective logging (thinning) on propagules were found in the DDF group which had a larger number of viable spores, more intense root colonization and a lower proportion of samples with vesicles than the other groups. Soil samples had very low concentrations of resin-extractable P ($< 6 \text{ mg kg}^{-1}$ soil). Root colonization was less intense in samples where the resin-extractable soil P was lower than 1.5 mg kg^{-1} soil than in samples with higher P concentrations. It was further observed that root colonization and the number of viable spores were favored by higher TOC concentrations.

Index terms: viable spores, mycorrhizal colonization, vesicles, AMF, Dry Forest.

INTRODUÇÃO

A abundância e viabilidade de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) – esporos, micélio extra-radicular e pedaços colonizados de raiz – determinam a persistência dos FMA no solo em situações adversas, como as decorrentes de

modificações no uso do solo (Brundrett et al., 1996a,b; Picone, 2000; Silva et al., 2001).

A conversão de áreas de caatinga para cultivo ou pastagem é bastante intensa na região semi-árida. Nessa região, o desenvolvimento vegetal é normalmente limitado pela incerteza e irregularidade das chuvas, o que resulta em longos períodos com ausência parcial

ou total de cobertura vegetal. Isso ocorre principalmente nas áreas de agricultura de subsistência (roçado), onde os restos culturais são utilizados como forragem; também ocorre nas áreas de pastagens, por causa do sobrepastejo (Menezes & Sampaio, 2000).

Essas mudanças no uso do solo provocaram perdas de C, N (até 50 %) e conversão de P orgânico em inorgânico (Tiessen et al., 1992; Fraga & Salcedo, 2004), além de favorecer processos erosivos nas encostas (Albuquerque et al., 2001; Fraga & Salcedo, 2004). Como a camada superior do solo é o principal reservatório de esporos, em caso de erosão, estes são perdidos juntamente com o solo (Day et al., 1987).

Informações quanto à diversidade de FMA (Maia & Gibertoni, 2002) e ao número e tipo de propágulos de FMA sob vegetação de caatinga (Souza et al., 2003; Silva et al., 2001) são bastante limitadas. Não há dados de campo sobre como esses propágulos são afetados pela substituição da caatinga para o uso agrícola ou pecuário do solo. Em geral, essas áreas apresentam baixos teores de P (Salcedo, 2004; Menezes et al., 2005), situação em que a atuação das micorrizas arbusculares é especialmente importante.

Por esses motivos, testou-se a hipótese de que o aumento na intensidade de uso do solo, criando um gradiente de degradação crescente dos agroecossistemas, produziria declínio na quantidade e viabilidade de esporos de FMA e na intensidade de colonização das raízes, devido às mudanças na fertilidade do solo e à ocorrência de erosão. Para isso, foram avaliadas a quantidade e viabilidade de esporos de FMA e o grau de colonização micorrízica das raízes, considerando diferentes usos do solo (caatinga preservada, caatinga raleada, cultivada preservada e cultivada degradada), e a variação nos teores de CO total e de P extraível por resina.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição geral da região amostrada

A precipitação pluvial média anual na região amostrada está na faixa de 500–1.000 mm, o que permite a exploração agrícola. Entretanto, a variabilidade das chuvas na quantidade, no espaço e no tempo (Reddy, 1983) é uma característica marcante da região, fazendo da média anual uma medida climática de alcance limitado (Sampaio, 1995). De forma geral, 20 % da precipitação pluvial anual ocorre num único dia e 60 % num único mês (Sampaio, 1995); há ocorrência anual de chuvas de curta duração com intensidade de 80 mm h⁻¹ e uma probabilidade de 10 % de ocorrer 100 mm de precipitação pluvial em 24 h (Tiessen & Santos, 1989). Da mesma forma, as temperaturas médias anuais

(entre 23 e 27 °C) não são muito representativas, porque a variação diária (entre 5 e 10 °C) é maior que a média mensal (< 5 °C). A evapotranspiração potencial (ETP) oscila entre 1.500 e 2.000 mm ano⁻¹ (Sudene, 1985), sendo essa faixa de variação da ETP relativamente estável para todo o semi-árido (Menezes & Sampaio, 2000). A alta demanda evaporativa e a elevada variabilidade temporal e espacial das chuvas, normalmente limitada em dois a quatro meses por ano, fazem com que a região semi-árida apresente balanço hídrico negativo durante 6 a 11 meses por ano.

Seleção de locais para amostragem

Amostras de solo foram coletadas em 10 locais diferentes, distribuídos em cinco municípios dos Estados da Paraíba e de Pernambuco (Quadro 1). O critério determinante para escolha dos locais foi a presença de duas áreas contíguas na mesma posição do relevo, uma delas com vegetação nativa (caatinga) e a outra cultivada (plantio ou pastagem) (Fraga, 2002; Fraga & Salcedo, 2004). As amostras de solo foram coletadas a intervalos de 20 a 30 m, nas profundidades de 0–7,5 e 7,5–15 cm (10 locais x 2 usos do solo x 2 profundidades x 4 pontos amostrais) ao longo de um transeção que cruzava as áreas contíguas e que mantinha constante a posição no relevo. O primeiro ponto amostral dentro de cada área distava 20–30 m da divisa entre as áreas. Obteve-se um total de 160 amostras (10 locais x 2 usos do solo x 2 profundidades x 4 pontos amostrais). A maioria dos solos tinha cascalho na superfície e dentro do perfil. Muitos deles estavam extremamente duros por causa de um período de seca prolongado, o que dificultou a retirada das amostras, sendo necessário utilizar uma ferramenta de corte feita de aço (25 x 6 x 0,8 cm). De cada ponto amostral foram retirados dois blocos de solo, com aproximadamente 25 cm de comprimento, 12 cm de largura e 7,5 cm de espessura.

Por ocasião da amostragem, as áreas de vegetação nativa apresentavam desde pousios relativamente recentes (um caso com 6 anos) até pousios com 20 ou mais anos (oito áreas); somente uma área cultivada apresentava restos culturais de milho e feijão, enquanto as demais mostravam pastagem muito rala, com exceção da área de Custódia-PE, que tinha boa cobertura de capim buffel (*Cenchrus ciliaries*) (Quadro 1). O critério de seleção utilizado na escolha dos locais resultou na amostragem de várias classes de solo (Embrapa, 1999) e históricos de uso das áreas, estes últimos obtidos por meio de entrevistas (Quadro 1). As declividades dos locais variaram entre 2,5 e 44 cm m⁻¹. Não foi realizado levantamento florístico das áreas amostradas com vegetação nativa; contudo, no bioma caatinga há elevada biodiversidade de espécies vegetais (Rodal & Sampaio, 2002). Em relação à xerofilia, a caatinga nos municípios de Juarez Távora e Alagoa Grande (PB) é hipoxerófila, e nos municípios restantes, hiperxerófila.

Quadro 1. Localização, classificação dos solos, histórico das áreas e categorias de intensidade de uso do solo

Município-UF	Coordenadas	Sigla solos ⁽¹⁾	Histórico da área	
			Vegetação nativa	Sob exploração agrícola
-----Tempo (anos)/categorias-----				
Juarez Távora-PB	35°35,5' W 7°8,5' S	TCol-4	> 20 em pousio/CaatP ⁽²⁾	> 25 com milho e feijão/CultD
Juarez Távora-PB	35°35' W 7°9' S	TCol-5	> 20 em pousio/CaatP	> 10 com milho e feijão – capim/CultD
Alagoa Grande- PB	35°37' W 7°3,5' S	PVAe	Não desmatada/CaatP	> 10 com pasto – milho (plantio morro abaixo)/CultD
Alagoa Grande-PB	35°38' W 7°8,5' S	TCol-6	> 25 em pousio/CaatP	> 12 com milho – capim pangola (plantio em curva de nível)/CultP
Alagoa Grande-PB	35°36' W 7°5,5' S	RLe-2	> 35 em pousio (raleamento muito limitado)/CaatP	> 20 com milho, feijão e fava – capim /CultP
Custódia-PE	37°50' W 8°10' S	TCO	Não desmatada/CaatP	>5 com capim buffel/CultP
São João do Cariri- PB	36°31,5' W 7°21' S	TCol-1	Não desmatada, mas raleada/ CaatR	> 14 com capim buffel consorciado com algaroba/CultD
Salgado de São Félix 2-PB	35°25' W 7°26' S	TCol-2	> 6 em pousio/CaatR	> 6 com feijão, milho e algodão – capim mimoso/CultD
Salgado de São Félix 1- PB	35°26' W 7°26' S	TCol-3	> 15 em pousio/ CaatR	> 5 com feijão, milho e algodão – capim mimoso/CultD
Alagoa Grande-PB	35°38' W 7°7,5' S	RLe-1	> 20 em pousio (raleada)/ CaatR	> 25 com milho, feijão e fava – capim nativo/CultP

⁽¹⁾ TCol: Luvisolo Crômico órtico litólico; TCO: Luvisolo Crômico órtico; RLe: Neossolo Litólico eutrófico; PVAe: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. ⁽²⁾ CaatP: caatinga preservada; CaatR: caatinga raleada; CultD: cultivada degradada; CultP: cultivada preservada.

Fonte: Adaptado de Fraga & Salcedo (2004).

Análises de propágulos de FMA e de solo

As amostras de solo foram destorroadas e, durante esse processo, foram catadas raízes finas (< 2 mm) de cada amostra. Após o destorroamento do solo, as amostras foram deixadas para secar ao ar e, depois, acondicionadas em sacos plásticos e guardadas no laboratório, em temperatura ambiente, até a extração de esporos. As raízes foram preparadas para observação da colonização por FMA, segundo a técnica de Phillips & Hayman (1970). A totalidade de raízes de cada amostra (n = 160) foi avaliada quanto ao grau de colonização por FMA em microscópio estereoscópico. Como a quantidade de raízes entre amostras foi variável, uma vez que eram provenientes de áreas com tipo e grau de cobertura de vegetação diferentes, as amostras foram atribuídas a diferentes classes, conforme estimativa da percentagem de raiz colonizada: classe 1: 0–5 %; 2: 6–25 %; 3: 26–50 %; 4: 51–75 %; e 5: 76–100 % (Kormanick & McGraw, 1982). A observação de arbúsculos nas raízes foi dificultada

pela diversidade do material radicular avaliado, ao passo que a de hifas e vesículas apresentou menor grau de dificuldade; por esse motivo, os arbúsculos não foram considerados nesta análise. Além disso, também foi anotada ocorrência de fungos que não formam micorrizas arbusculares, identificados por apresentarem hifas septadas ou estruturas reprodutivas diferentes das formadas pelos FMA.

Na estimativa da viabilidade de esporos de FMA com uso de INT, a concentração do reagente e tempo de contato sugeridos pelos autores foram 1 g L⁻¹ INT por 72 h em temperatura ambiente (Walley & Germida, 1995). Como nesse teste foram empregados isolados de *Glomus clarum* e *Glomus mosseae* (Glomaceae), os autores sugeriram testes com outras espécies de FMA, pois as diferenças na permeabilidade da parede do esporo e, ou, atividade metabólica poderiam afetar a reação de cor. Por esse motivo, foi feito um ensaio simples com isolados de *Glomus* sp. (Glomaceae), *Acaulospora* sp. (Acaulosporaceae) e

Gigaspora sp. (Gigasporaceae) extraídos de vasos de multiplicação. Após 24 h de incubação em 1 g L⁻¹ INT, quase todos os esporos de *Glomus* sp. e *Acaulospora* sp. estavam corados, e apenas poucos esporos de *Gigaspora* sp. apresentavam coloração levemente rosada. Após 72 h, todos os esporos de *Glomus* sp. e *Acaulospora* sp. e apenas alguns de *Gigaspora* sp. estavam corados; somente ao final de cinco dias os esporos de *Gigaspora* sp. também ficaram avermelhados, que foi o tempo escolhido para o presente estudo.

Esporos de FMA foram extraídos de 50 g de solo de cada amostra, por peneiramento úmido (Gerdemann & Nicholson, 1963) e centrifugação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). A suspensão de esporos foi colocada em placas de Petri, às quais se adicionou cloreto de iodonitrotetrazólio (INT) 10 g L⁻¹ (Walley & Germida, 1995). As placas foram deixadas em temperatura ambiente por cinco dias e, então, fez-se a contagem dos esporos viáveis e dos não-viáveis. Neste estudo foram considerados viáveis os esporos que reagiram com o INT, ficando avermelhados, e considerados não-viáveis aqueles com conteúdo citoplasmático, que não reagiram com o INT, mantendo sua coloração natural e os esporos sem conteúdo celular. A extração dos esporos foi feita cerca de um ano após a coleta das amostras.

O P nas amostras de solo de cada ponto amostral (0–7,5 e 7,5–15 cm) foi extraído com resina (P-resina) em suspensão aquosa (Sibessen, 1977) e determinado colorimetricamente (Murphy & Riley, 1962) após troca do P na resina com HCl. O CO total (COT) foi determinado pelo método de Snyder & Trofymow (1984).

Análise estatística

Independentemente do tipo de solo e relevo, observações *in situ* e históricos permitiram separar as áreas sob caatinga em duas categorias: “caatinga preservada” (seis áreas – CaatP) incluiu áreas de vegetação mais densa nunca desmatadas (últimos 30 anos) ou com pousio de mais de 20 anos; e “caatinga raleada” (quatro áreas – CaatR), que incluiu áreas com vegetação de porte arbóreo e subarbóreo menos densa, por conta de raleamento seletivo para extração de madeira (Quadro 1). Da mesma forma, as áreas cultivadas foram separadas em duas categorias: “cultivada preservada” (4 áreas – CultP), que incluiu áreas cultivadas com sinais de erosão pouco evidentes ou com cultivos mais bem manejados (curvas de nível em um caso); e “cultivada degradada” (seis áreas – CultD), que incluiu áreas com sinais de erosão do solo bastante evidentes, devido ao plantio morro abaixo, e pastagens com baixa cobertura do solo. As observações visuais de erosão foram confirmadas utilizando a técnica do ¹³⁷Cs (Fraga & Salcedo, 2004). Dessa forma, as quatro categorias assim definidas representaram um gradiente de aumento da intensidade do uso do solo ou degradação, considerando-se a categoria CaatP como referência de áreas mais preservadas.

A densidade de esporos e a colonização radicular em relação ao uso do solo e à profundidade foram comparadas pelo teste Kruskal-Wallis, e as médias, pelo teste t (Conover, 1980). Os dados de contagem de esporos foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$, mas ainda assim não apresentaram distribuição normal; por isso, foram também comparados pelo teste Kruskal-Wallis, e as médias, pelo teste t. Para estudar as relações de P-resina e COT com grau de colonização micorrízica das raízes, utilizou-se análise de frequências (Sokal & Rohlf, 1998), enquanto para relacionar COT com número de esporos viáveis empregou-se a regressão de Poisson (Lawless, 1987).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esporos viáveis e não-viáveis

A densidade de esporos viáveis na camada de 0–7,5 cm variou de 3,4 a 6,8 esporos por 50 g de solo (Quadro 2) e foi maior ($p < 0,05$) na categoria CaatR que em CultP (Quadro 2). Essa diferença não era esperada, pois em estudo anterior determinou-se que essas duas categorias apresentaram perdas de C e N (27 %) e de solo por erosão (CaatR = 2,2 cm de espessura; CultP = 1,4 cm) semelhantes (Fraga & Salcedo, 2004). Assim, é possível que o maior número de esporos viáveis em CaatR esteja mais relacionado com o tipo de cobertura vegetal à época de amostragem do que com a diminuição da fertilidade ou com as perdas de solo anteriores. Enquanto em CaatR permaneceu a vegetação nativa, embora perturbada, em CultP o desmatamento foi total, com substituição da mata nativa por agricultura ou pecuária de subsistência. Na camada de 7,5–15 cm o número de esporos viáveis não diferiu entre categorias de uso do solo, mas foi menor do que na camada superior; este último resultado coincidiu com a tendência encontrada em outros trabalhos (Bellgard, 1993; Ingleby et al., 1997).

A densidade de esporos não-viáveis (esporos com conteúdo celular que não reagiram ao corante e esporos sem conteúdo celular) oscilou entre um mínimo de 91 esporos por 50 g de solo (7,5–15 cm) e um máximo de 226 esporos por 50 g de solo (0–7,5 cm) (Quadro 2). Em ambas as camadas a categoria CultP apresentou o maior valor ($p < 0,05$) de esporos não-viáveis. Considerando-se a soma de esporos não-viáveis nas duas camadas (0–15 cm), as duas áreas de caatinga foram semelhantes, na faixa de 267 a 298 esporos por 100 g de solo, enquanto Cult P apresentou número maior ($p < 0,05$): 445 esporos por 100 g de solo. O aumento no número de esporos não-viáveis causado pelo desmatamento também foi constatado em floresta tropical úmida (Fischer et al., 1994). Esse número elevado de esporos não-viáveis é um registro de que o desmatamento estimulou a produção de esporos (Picone, 2000), mas que provavelmente não permaneceram viáveis pelas condições climáticas da

Quadro 2. Densidade média de esporos viáveis e não-viáveis em 50 g de solo nas profundidades de 0–7,5 e 7,5–15 cm, considerando o nível de degradação do solo

	0–7,5 cm		7,5–15 cm	
	Viáveis	Não-viáveis	Viáveis	Não-viáveis
CaatP (n = 24)	4,5 ab	152,3 b	2,8 a	145,9 b
CaatR (n = 16)	6,8 a	175,7 b	1,7 a	91,4 b
CultP (n = 16)	3,4 b	226,0 a	2,3 a	219,2 a
CultD (n = 24)	4,1 ab	133,5 b	1,4 a	92,6 b

CaatP: caatinga preservada; CaatR: caatinga raleada; CultP: cultivo preservado; CultD: cultivo degradado. Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

região semi-árida. O menor valor de esporos não-viáveis observado em CultD nas duas camadas, em relação a CultP (Quadro 2), provavelmente decorreu da erosão de solo, bem mais acentuada naquela situação (3,5 cm de espessura; Fraga & Salcedo, 2004).

Quando as amostras foram classificadas pelo número de esporos viáveis, independentemente de uso e profundidade, foi obtida a seguinte distribuição de freqüências: 14 % das amostras não apresentaram esporos viáveis; aproximadamente 60 %, divididas em partes iguais, continham um, dois ou três esporos viáveis; e, incluindo as amostras com quatro a sete esporos (22 %), praticamente se alcançou o número total de amostras (96 %). Quando se considerou a profundidade, a camada de 0–7,5 cm apresentou predomínio de amostras com quatro a sete esporos, enquanto na camada de 7,5–15 cm predominaram amostras contendo entre zero e dois esporos. Amostras com três esporos tiveram freqüências semelhantes nas duas camadas. É interessante ressaltar o predomínio de amostras com maior número de esporos viáveis na camada mais superficial nas condições do presente trabalho, uma vez que na época da amostragem as áreas cultivadas não apresentavam cobertura vegetal (com uma única exceção) e as de vegetação nativa apresentavam cobertura mínima, por causa de uma seca prolongada na região. Na ausência de cobertura vegetal, o dessecação da camada superficial é muito intenso e, ainda sob uma pastagem de capim buffel bem manejada (capim com altura média de 20 cm), a temperatura do solo (0–6 cm) atingiu 50 °C (Menezes et al., 2002), o que não favorece a manutenção de esporos viáveis (Tommerup, 1983; Bendavid-Val et al., 1997).

A proporção de esporos corados pelo INT oscilou entre 1,5 e 4 % dos esporos totais, na camada de 0–7,5 cm. McGee, et al. (1997), utilizando o mesmo método, encontraram 20 % de esporos viáveis em amostras de solo recém-coletadas, que diminuíram para 6-7 % após dois anos de estocagem. No presente estudo, o período de estocagem foi ao redor de um ano. Valores de esporos viáveis, determinados utilizando o aspecto do esporo em relação ao conteúdo celular,

oscilaram entre 6 e 18 % da contagem total de esporos em rizosferas de leguminosas (Ingleby et al., 1997) e entre 1,5 e 3 % em mata tropical úmida e pastagem, respectivamente (Fischer et al., 1994). Dos corantes indicadores de viabilidade, o INT tem mostrado resultados consistentes em relação à repetibilidade e a bioensaios (Walley & Germida, 1995; McGee et al., 1997). Entretanto, fatores como tamanho, permeabilidade da parede, atividade metabólica e grau de maturidade dos esporos podem afetar os resultados do teste com INT (Walley & Germida, 1995; McGee et al., 1997). Neste estudo, o aumento do tempo de incubação de três para cinco dias aumentou o número de esporos corados, o que contribuiu para que os resultados obtidos ficassem na mesma ordem de magnitude que os encontrados nos trabalhos citados. Seria interessante, em trabalhos futuros, analisar a relação entre esporos com conteúdo celular corado e não-corado pelo INT.

Colonização radicular

A maior parte das amostras analisadas em ambas as profundidades (n = 146) foi incluída nas classes 2 e 3 de colonização (6–25 % e 26–50 % de colonização, respectivamente); nenhuma das amostras foi incluída na classe 5 (76–100 %) e somente 11 e 3 amostras foram incluídas nas classes 1 (0–5 %) e 4 (51–75 %), respectivamente (Quadro 3). A elevada freqüência de amostras com raízes colonizadas (93 % do total) ressalta a importância e abrangência dessa simbiose também na região semi-árida (McGee, 1989; Mohammad et al., 2003), mesmo com as modificações no uso do solo avaliadas no presente trabalho. Esse resultado, combinado com o baixo número de esporos viáveis, pode indicar que a infectividade micorrízica nos locais amostrados seja mais dependente de raízes colonizadas que de esporos. De modo geral, a classe 2 foi predominante, mas na camada superficial (0–7,5 cm) a distribuição de amostras entre as classes 2 e 3 teve valores mais próximos (41 vs. 33 amostras, respectivamente) que na camada de 7,5–15 cm (57 vs 15 amostras, respectivamente).

Quadro 3. Número de amostras distribuídas por classes de colonização radicular por FMA em áreas de caatinga e cultivadas nas profundidades de 0–7,5 e 7,5–15 cm

Classe de colonização	0–7,5 cm				7,5–15 cm			
	CaatP ⁽¹⁾	CaatR	CultP	CultD	CaatP	CaatR	CultP	CultD
1 (0–5 %)	1	0	2	1	2	0	1	4
2 (6–25 %)	13	5	10	13	18	14	12	13
3 (26–50 %)	10	11	4	8	4	2	3	6
4 (51–75 %)	0	0	0	2	0	0	0	1
5 (76–100 %)	0	0	0	0	0	0	0	0
Significância ⁽²⁾	B	A	B	AB	a	a	a	a

⁽¹⁾ CaatP: caatinga preservada; CaatR: caatinga raleada; CultP: cultivada preservada; CultD: cultivada degradada. ⁽²⁾ Categorias de intensidade de uso do solo seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P < 0,1$). As letras maiúsculas referem-se à profundidade de 0–7,5 cm, e as minúsculas, à profundidade de 7,5–15 cm; em CaatP e CultD, $n = 24$, e em CaatR e CultP, $n = 16$.

O efeito da mudança no uso do solo foi representado no quadro 3 pelas variações na proporção de amostras incluídas em cada classe de colonização. Na profundidade de 0–7,5 cm, a maior proporção de raízes na classe 3 ($p < 0,10$) em CaatR, em relação às outras categorias (Quadro 3), coincidiu com o maior número de esporos viáveis também quantificado nessa categoria de uso (Quadro 2). Isso indica que a retirada parcial do estrato arbóreo ou subarbóreo foi uma perturbação que estimulou a atividade dos FMA em relação à categoria CaatP. O raleamento aumenta o estrato herbáceo, normalmente composto de gramíneas nativas, pelo incremento na entrada de luz (Araújo Filho, 1990). Esperava-se que as categorias CultP e CultD também apresentassem aumentos em colonização e esporos viáveis em relação à CaatP, semelhantemente ao verificado após o desmatamento e a substituição por gramíneas em outros ecossistemas (Siqueira et al., 1989; Fischer et al., 1994; Picone, 2000; Carpenter et al., 2001). Entretanto, as categorias CultP e CultD representaram condições ambientais de maior estresse, não somente por conta da condição semi-árida (Jacobson, 1997), compartilhada com as outras categorias, mas particularmente pelo manejo inadequado das áreas nas categorias CultP e CultD, que por ocasião da amostragem não apresentavam quase nenhuma cobertura vegetal. Nesse sentido, a categoria CaatR representou uma situação de estresse menor, que estimulou os FMA.

Na camada de 7,5–15 cm houve predomínio da classe de colonização 2, sem diferenciação entre níveis de degradação (Quadro 3). Essa ausência de efeito dos níveis de degradação nessa camada, também observada no caso de esporos viáveis (Quadro 2), indicou que o efeito das perturbações ambientais nessas variáveis afeta principalmente a camada mais superficial do solo.

Estruturas de FMA nas raízes

As estruturas dos FMA nas raízes colonizadas dentro de cada categoria de uso do solo apresentaram a mesma distribuição nas duas camadas, talvez pela continuidade das raízes, e, por esse motivo, os resultados foram totalizados para a camada de 0–15 cm de solo (Figura 1).

As estruturas mais frequentes foram hifas ou ocorrência conjunta de hifas e vesículas de FMA, independentemente da categoria de uso do solo (Figura 1). As proporções de raízes com essas estruturas foram semelhantes nas áreas CaatP, CultP e CultD. Na área CaatR, no entanto, a quantidade de raízes com hifas e vesículas foi metade daquelas apenas com hifas (Figura 1). As vesículas são estruturas de reserva dos FMA nas raízes (Smith & Read, 1997), sendo possível que sua diminuição seja devida à destinação do material estocado para a produção de esporos, visto que em CaatR foi encontrada a maior quantidade de esporos viáveis (Quadro 2) e intensidade de colonização (Quadro 3). A baixa frequência de amostras sem estruturas fúngicas (A) ou com ocorrência de fungos que não formam micorrizas arbusculares (D, E e F) não permitiu relacioná-las com os efeitos de uso do solo (Figura 1).

Fósforo, carbono orgânico total (COT) e propágulos de FMA

A elevada variabilidade dos valores de atributos dos solos (textura, COT, P-resina, P total e CTC) (Fraga, 2002; Fraga & Salcedo, 2004) agrupados em cada categoria dificultou a detecção mais clara dos efeitos dos níveis de degradação crescente (CaatP, CaatR, CultP, CultD) sobre os propágulos de FMA. Por esse motivo, nesta seção as categorias foram desconsideradas, analisando-se de forma explícita a relação dos propágulos de FMA com os teores de

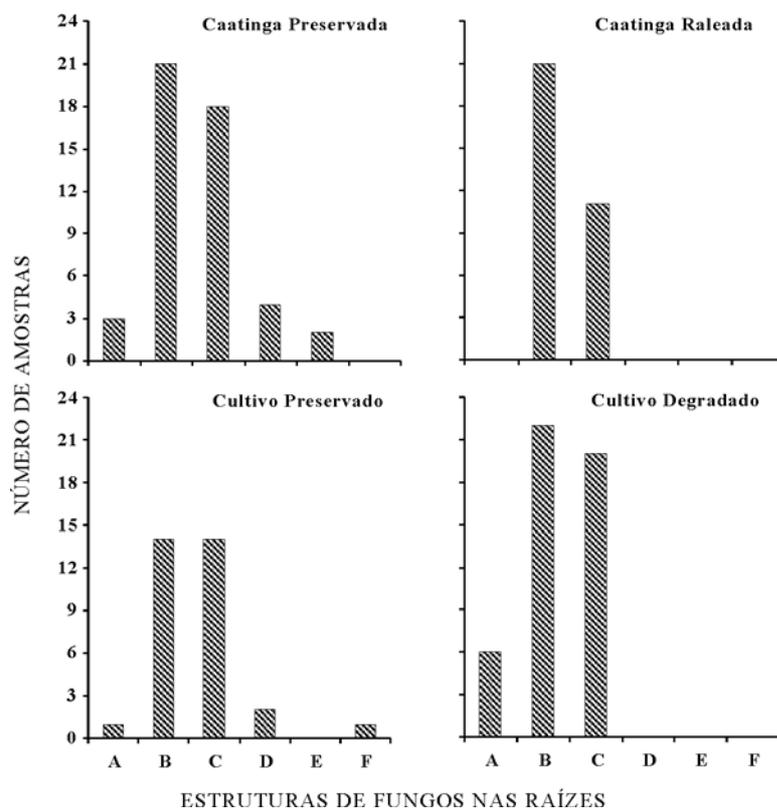


Figura 1. Número de amostras com diferentes estruturas de fungos nas raízes, em áreas sob caatinga ou cultivadas, na camada de 0–15 cm. (A) não detectadas; (B) hifas de FMA; (C) hifas e vesículas de FMA; (D) hifas e vesículas de FMA e fungos que não formam micorrizas arbusculares; (E) hifas de FMA e de fungos que não formam micorrizas; (F) fungos que não formam micorrizas.

P-resina e COT, independentemente da origem da amostra. Nesta análise, os teores de P-resina e COT foram separados em classes, considerando-se uma única população amostral, que incluiu os resultados das duas camadas de solo. O P-resina é, além da água, o principal nutriente a limitar o crescimento vegetal na região semi-árida (Sampaio et al., 1994; Fraga & Salcedo, 2004; Menezes et al., 2005), situação na qual a contribuição dos FMA é especialmente importante. Por sua vez, o CO é considerado um indicador da qualidade do solo, porque controla a disponibilidade de nutrientes (reservatórios de N, P e S orgânicos) e pela sua relação com a atividade biológica do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

A quase totalidade (98 %) das amostras de solo (0–7,5 e 7,5–15 cm) apresentou teores de P-resina considerados muito baixos ($< 10 \text{ mg dm}^{-3}$ – IAC, 2006) e que não se relacionaram com a densidade de esporos viáveis. A relação de P-resina com as classes de colonização das raízes foi resumida na figura 3, para as classes de colonização 2 e 3. Os valores de P-resina foram divididos em intervalos de igual amplitude até 3 mg kg^{-1} e com amplitudes maiores nos últimos dois, visando manter um número superior a 10 amostras por intervalo (Figura 2). Por esse motivo, na construção da figura 2 não foram consideradas três

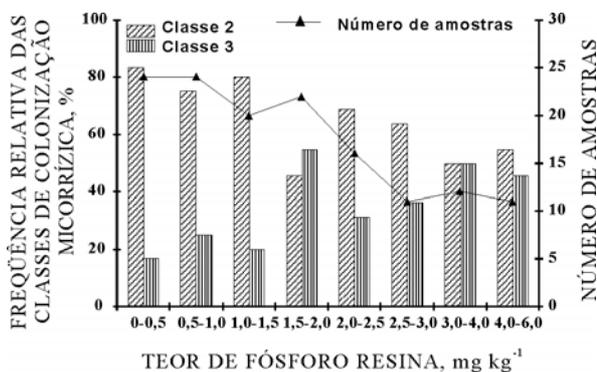


Figura 2. Frequências relativas das classes de colonização micorrízica (classe 2: 6–25 %; classe 3: 26–50 %) nos intervalos das classes de P disponível pela resina, na camada de 0–15 cm. Intervalos das classes de P são fechados para o menor valor.

amostras com teores de P-resina entre 6 e 10 mg kg^{-1} , as quais foram consideradas na análise estatística descrita no parágrafo seguinte.

Os quatro primeiros intervalos de P-resina apresentaram número de amostras semelhantes entre

si (~23 por intervalo) e, juntos, abrangeram mais da metade das amostras (Figura 2). Nos três primeiros intervalos houve predomínio da classe de colonização 2; nos três intervalos seguintes, a classe 3 aumentou sua participação; e nos dois últimos as duas classes apresentaram frequências semelhantes. Essa tendência sugere menor percentagem de colonização quando P-resina tem valor inferior a $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo e vice-versa. Para testar essa hipótese, foi obtida a frequência de amostras das classes 2 ou 3 de colonização com valores de P-resina acima ou abaixo de $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (quadro de contingência 2×2). A hipótese nula de independência entre as variáveis classe de colonização e concentração de P-resina foi rejeitada ($p < 0,01$) pelo teste de qui-quadrado (Sokal & Rohlf, 1998). A menor intensidade de colonização com P-resina ($< 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo), verificada em condições de campo, talvez seja explicada pelo estresse nutricional da vegetação causado pela deficiência de P, que não favoreceria a colonização com FMA. Acima desse limiar, o aumento da colonização micorrízica sugere o benefício da associação para a nutrição das plantas em condições de deficiência ainda intensa de P.

As classes de colonização micorrízica 1 e 4 foram observadas em somente 14 amostras, as quais não foram incluídas na figura 2, para sua maior clareza. Entretanto, os resultados seguiram a tendência mencionada anteriormente, uma vez que a classe 1 de colonização foi observada em 11 amostras, dos quais sete apresentavam P-resina $< 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo e quatro, $> 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo. Na classe 4 de colonização foram contabilizadas unicamente três amostras, não sendo razoável avaliar um número tão limitado de casos.

As amostras analisadas representaram ampla variedade de situações de campo que envolveu diferentes tipos de solo, de relevo e de vegetação. A diversidade de espécies vegetais em áreas de caatinga é elevada (Rodal & Sampaio, 2002) e nas áreas sob cultivo predominaram, na maioria dos casos, raízes de gramíneas espontâneas. Portanto, dada a especificidade ecológica da relação fungo-hospedeiro (Moreira & Siqueira, 2002), não é possível afirmar que o limiar de P-resina mencionado anteriormente seria aplicável a espécies vegetais específicas.

Foi encontrada relação positiva significativa ($p < 0,01$) entre os teores médios de COT e o número de esporos viáveis de todas as amostras, utilizando-se a regressão de Poisson (StatSoft, 2001). Para viabilizar a observação gráfica dessa relação, a variável COT foi separada em sete intervalos, relacionando-se o teor médio das amostras em cada um deles com o número médio de esporos viáveis correspondente (Figura 3). Utilizou-se amplitude de intervalo maior nas duas extremidades da escala de teores de COT que nos restantes, para se obter um mínimo de 10 amostras por intervalo.

Uma vez que os FMA não têm capacidade de mineralizar matéria orgânica, o benefício do COT na sobrevivência dos esporos, evidenciado na figura 3,

pode ser indireto, visto que maiores teores de COT estão associados a solos mais férteis, que favorecem o desenvolvimento da planta (Hayman, 1982; Brundrett et al., 1996a; Mohammad et al., 2003). É provável que o maior teor médio de COT na camada de 0–7,5 cm ($13,2 \text{ g kg}^{-1}$ de solo) do que na de 7,5–15 cm ($8,3 \text{ g kg}^{-1}$ de solo) (dados não tabelados) tenha contribuído para a ocorrência de maior número de esporos viáveis na camada mais superficial (Quadro 2).

Os benefícios do COT pareceram atuar também sobre a colonização, uma vez que a frequência de amostras na classe 3 de colonização micorrízica superou a da classe 2 em solos com teores de COT acima de 14 g kg^{-1} (Figura 4). É interessante ressaltar que essas amostras eram todas da camada de 0–7,5 cm, sendo 25 provenientes de áreas de caatinga (19 de CaatP e seis de CaatR) e cinco de CultP. Assim, na medida em que o número de esporos e a intensidade de colonização relacionaram-se com os teores de COT, também se relacionaram com as categorias de intensidade de uso do solo. Essas relações não foram observadas no caso de P-resina.

Os critérios utilizados para agrupar áreas representativas de elevada variabilidade ambiental (solo, profundidade, material originário, pluviosidade, topografia, cobertura vegetal), que permitiram relacionar situações de degradação crescente com perdas também crescentes de solo e de sua fertilidade (Fraga & Salcedo, 2004), não foram tão efetivos no caso dos FMA. A natureza das variáveis relacionadas à fertilidade do solo e aos FMA é bastante diferente, pois a fertilidade atual do solo resulta da integração no tempo das retiradas de nutrientes pelas plantas, normalmente sem reposição, além de perdas por erosão. Por sua vez, as variáveis relacionadas com atividade biológica, embora mantenham ligação com a fertilidade do solo, são influenciadas, dentro de certos limites, pelas condições vigentes de umidade e pelo

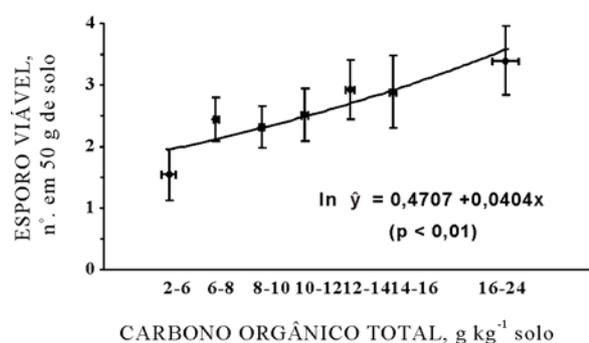


Figura 3. Relação entre o número de esporos viáveis e teor de carbono orgânico total (COT), na camada de 0–15 cm. Os desvios representam o erro-padrão. Os intervalos de COT são fechados para o menor valor. O nível de probabilidade indicado na figura foi obtido utilizando-se a regressão de Poisson.

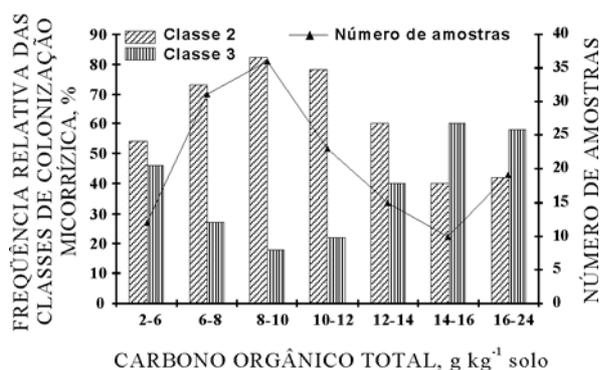


Figura 4. Freqüências relativas das classes de colonização micorrízica (classe 2: 6–25 %; classe 3: 26–50 %) nos intervalos das classes de carbono orgânico total (g kg⁻¹ solo), nas amostras de 0–15 cm. Intervalos das classes de COT são fechados para o menor valor.

tipo e grau de cobertura vegetal (Fischer et al., 1994; Brundrett et al., 1996b). Assim, é possível que a atenuação dos efeitos da degradação nas variáveis micorrízicas quantificadas tenha sido causada pelo período prolongado (dois anos) de seca na região, que afetou todos os sistemas de uso. Por outro lado, a análise dos resultados considerando uma única população amostral, independentemente da origem das amostras, permitiu encontrar tendências mais definidas entre as micorrizas arbusculares e os teores de P e de COT em campo.

CONCLUSÕES

1. Não foi observado declínio no número de esporos viáveis e intensidade de colonização em consequência do aumento da degradação ambiental, representado pelas categorias de uso do solo.
2. Os efeitos do aumento na degradação do solo nos propágulos de FMA foram observados quase que exclusivamente na camada de 0–7,5 cm.
3. Amostras com teores de P-resina inferiores a 1,5 mg kg⁻¹ de solo apresentaram colonização radicular menos intensa que amostras com teores entre 1,5 e 6 mg kg⁻¹ solo.
4. Os aumentos nos teores de COT do solo favoreceram a ocorrência de maior número de esporos viáveis e o aumento na intensidade de colonização micorrízica.

AGRADECIMENTOS

Ao Inter American Institute for Global Change Research (IAI), CNPq e CAPES, pelo financiamento da pesquisa e pela concessão de bolsas aos pesquisadores.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F. & SRINIVASAM, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água num Luvissole em Sumé (PB). R. Bras. Ci. Solo, 25:121-128, 2001.
- ARAÚJO FILHO, J.A. Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris. Circular técnica 11. Sobral, Embrapa/CNPC, 1990. 18p.
- BELLEGARD, S.E. The topsoil as the major store of the propagules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in southeast Australian sandstone soils. Mycorrhiza, 3:19-24, 1993.
- BENDAVID-VAL, R.; RABINOWICH, H.D.; KATAN, J. & KAPULNIK, Y. Viability of VA-mycorrhizal fungi following soil solarization and fumigation. Plant Soil, 195:185-193, 1997.
- BRUNDRETT, M.C.; ASHWATH, N. & JASPER, D.A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. I. Propagules of mycorrhizal fungi and soil properties in natural habitats. Plant Soil, 184:159-171, 1996a.
- BRUNDRETT, M.C.; ASHWATH, N. & JASPER, D.A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. II. Propagules of mycorrhizal fungi in disturbed habitats. Plant Soil, 184:173-184, 1996b.
- CARPENTER, F.L.; MAYORGA, S.P.; QUINTERO, E.G. & SCHROEDER, M. Land-use erosion of a Costa Rican ultisol affect soil chemistry, mycorrhizal fungi and early regeneration. For. Ecol. Manag., 144:1-17, 2001.
- CONOVER, W.J. Practical nonparametric statistics. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1980. 490p.
- DAY, L.D.; SYLVIA, D.M. & COLLINS, M.E. Interactions among vesicular-arbuscular mycorrhizae, soil, and landscape position. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:635-639, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação/Embrapa, 1999. 412p.
- FISCHER, C.R.; JANOS, D.P.; PERRY, D.A.; LINDERMAN, R.G. & SOLLINS, P. Mycorrhiza inoculum potentials in tropical secondary succession. Biotropica, 26:369-377, 1994.
- FRAGA, V.S. Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. 70p. (Tese de Doutorado)
- FRAGA, V.S. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:215-224, 2004.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* extracted from soil by wet-sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc., 46:235-244, 1963.
- HAYMAN, D.S. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathol., 72:1119-1125, 1982.

- INGLEBY, K.; DIAGNE, O.; DEANS, J.D.; LINDLEY, D.K.; NEYRA, M. & DUCOUSSO, M. Distribution of roots, arbuscular mycorrhizal colonization and spores around fast-growing tree species in Senegal. *For. Ecol. Manag.*, 90:19-27, 1997.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. Análise de solo e planta. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br>> Acesso em 17 fev. 2006.
- JACOBSON, K. Moisture and substrate stability determine VA-mycorrhizal fungal community distribution and structure in arid grassland. *J. Arid Environ.*, 35:59-75, 1997.
- JENKINS, W. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Dis. Report*, 48:692, 1964.
- KORMANICK, P.P. & MCGRAW, A.C. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: SCHENCK, N.C., ed. *Methods and principles of mycorrhizal research*. Minnesota, American Phytopathological Society, 1982. p.34-37.
- LAWLESS, J.F. Negative binomial and mixed Poisson regression. *Canad. J. Statist.*, 15:209-225, 1987.
- MAIA, L.C. & GIBERTONI, T.B. Fungos registrados no semi-árido nordestino. In: SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M.; VIRGÍNIO, J. & GAMARRA-ROJAS, C.F.L., eds. *Vegetação e flora da caatinga*. Recife, Associação Plantas do Nordeste e Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, APNE/CNIP, 2002. p.163-176.
- MCGEE, P.A. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil. *Mycol. Res.*, 92:28-33, 1989.
- MCGEE, P.A.; PATTINSON, G.S.; HEATH, R.A.; NEWMAN, C.A. & ALLEN, S.J. Survival of propagules of arbuscular mycorrhizal fungi in soils in eastern Australia used to grow cotton. *New Phytol.*, 135:773-780, 1997.
- MENEZES, R.S.C. & SAMPAIO, E.V.S.B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: OLIVEIRA, T.S.; ROMERO, R.E.; ASSIS JR, R.N. & SILVA, J.R.C.S., org. *Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.20-46.
- MENEZES, R.S.C.; GARRIDO, M.S. & PEREZ, A.M. Fertilidade dos solos no semi-Árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. Anais. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. CD-ROM
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. & ELLIOTT, E.T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. *Agrofor. Syst.*, 56:27-38, 2002.
- MOHAMMAD, M.J.; HAMAD, S.R. & MALKAWI, H.I. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. *J. Arid Environ.*, 53:409-417, 2003.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 626p.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P.A. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36, 1962.
- PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55:158-161, 1970.
- PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. *Biotropica*, 32:734-750, 2000.
- REDDY, S.J. Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment - a review. *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:823-847, 1983.
- RODAL, M.J.N. & SAMPAIO, E.V.S.B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M.; VIRGÍNIO, J. & GAMARRA-ROJAS, C.F.L., eds. *Vegetação e flora da caatinga*. Recife, Associação Plantas do Nordeste e Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, APNE/CNIP, 2002. p.11-24.
- SALCEDO, I.H. Fertilidade do solo e agricultura de subsistência: Desafios para o semi-árido nordestino. FERTBIO 2004, Lages, 2004. FERTIBIO. Lajes, UDESC, 2004. CD-ROM
- SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the Brazilian Caatinga. In: BULLOCK, S.H.; MOONEY, H.A. & MEDINA, E., eds. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p.35-63.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & SILVA, F.B.R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: PEREIRA, J.R. & DE FARIA, C.M.B., eds. *Fertilizantes: Insumo básico para agricultura e combate à fome*. Petrolina, Embrapa-CPATSA/SBCS, 1994. p.51-71.
- SIBESSEN, E. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant available elements from the soil. *Plant Soil*, 46:665-669, 1977.
- SILVA, G.A.; MAIA, L.C.; SILVA, F.S.B. & LIMA, P.C.F. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia, Brasil. *R. Bras. Bot.*, 24:135-143, 2001.
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. & OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 24:1499-1506, 1989.
- SMITH, S.E. & READ, D.J. *Mycorrhizal symbiosis*. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1997. 605p.
- SNYDER, J.D. & TROFYMOW, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:587-597, 1984.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3. ed. New York, W.H. Freeman, 1998. 887p.
- SOUZA, R.G.; MAIA, L.C.; SALES, M.F. & TRUFEM, S.F.B. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *R. Bras. Bot.*, 26:49-60, 2003.

- STATSOFT. Statistica (data analysis software system), version 6. Tulsa, 2001. www.statsoft.com.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. RECURSOS NATURAIS DO NORDESTE – SUDENE. Investigação e potencial (sumário de atividades). Recife, 1985. 183p.
- TIESEN, H. & SANTOS, M.C.D. Variability of C, N and P content of a tropical semi-arid soil as affected by soil genesis, erosion and land clearing. *Plant Soil*, 119:337-341, 1989.
- TIESEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic-matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 38:139-151, 1992.
- TOMMERUP, I.C. Temperature relations of spore germination and hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 81:381-387, 1983.
- WALLEY, F.L. & GERMIDA, J.J. Estimating the viability of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungal spores using tetrazolium salts as vital stains. *Mycologia*, 87:273-279, 1995.