

## AGREGAÇÃO, GLOMALINA E CARBONO ORGÂNICO NA CHAPADA DO ARARIPE, CEARÁ, BRASIL<sup>1</sup>

CAMILA PINHEIRO NOBRE<sup>2\*</sup>, MARCELA LOPES LÁZARO<sup>2</sup>, MÁRIO MARCOS ESPIRITO SANTO<sup>3</sup>, MARCOS GERVASIO PEREIRA<sup>2</sup>, RICARDO LUIS LOURO BERBARA<sup>2</sup>

**RESUMO** - Vários fatores estão envolvidos na formação dos agregados do solo, sendo estes de origem química, física e biológica. A glomalina, proteína produzida por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), é uma das substâncias associadas com a agregação do solo. O objetivo desse estudo foi quantificar os teores de carbono orgânico do solo e glomalina em diferentes fitofisionomias no bioma Caatinga, na Chapada do Araripe (CE), e verificar sua relação com a estabilidade dos agregados e com a sazonalidade. Foram realizadas coletas de amostras de solo em épocas seca e chuvosa em três fitofisionomias (Brejo de altitude, Carrasco e Cerradão) na Floresta Nacional do Araripe para a determinação da estabilidade dos agregados, teores de carbono total, carbono particulado e glomalina. Foi verificado efeito da sazonalidade nos teores de glomalina facilmente extraível, sugerindo-se que esta fração da proteína é mais sensível às variações das estações do ano. As maiores correlações foram observadas entre os teores de carbono e as frações de glomalina, indicando que a proteína produzida pelos FMA tem relação direta com o carbono do solo, além de ser componente importante na agregação dos solos da Chapada do Araripe.

**Palavras-chave:** Agregação do solo. Indicadores de qualidade do solo. BRSP. Caatinga.

## SOIL AGGREGATION, GLOMALIN AND ORGANIC CARBON IN ARARIPE PLATEAU, CEARÁ, BRASIL

**ABSTRACT** – Several factors are involved in the formation of soil aggregates, specially chemical, physical and biological origin. The glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), is one of the substances associated with soil aggregation. The aim of this study was to quantify the levels of soil organic carbon and glomalin in different vegetation types in Caatinga biome in Araripe plateau - Ceará state, and verify the relationship with aggregate stability and seasonality. Soil samples were carried out in dry and rainy seasons, in three vegetation types (Brejo de altitude, Carrasco and Cerradão) in Araripe National Forest to determine the water stability aggregate, soil total carbon, particulate carbon and glomalin. Seasonality effect was observed in the levels of easily extractable glomalin, suggesting that this fraction of glomalin is more sensitive to seasonal variations. The highest correlations were observed between the variables soil carbon and both fractions of glomalin, indicating that the protein produced by AMF is directly related to the amount of carbon, in addition to being an important component in soil aggregation of the Araripe.

**Key Words:** Soil aggregate. Soil quality indicators. BRSP. Caatinga.

\*Autor de correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 27/02/2014; aceito em 14/10/2014.

Trabalho retirado de resultados de tese de doutorado em Ciência do Solo da primeira autora.

<sup>2</sup>Departamento de solos, Instituto de Agronomia, UFRRJ, BR 465, Km 47, 23890-000. Seropédica-RJ, [camilaenobre@yahoo.com.br](mailto:camilaenobre@yahoo.com.br).

<sup>3</sup>Departamento de Biologia Geral, UNIMONTES, Caixa postal 126, 39401-089, Montes Claros-MG.

## INTRODUÇÃO

Os agregados compõem a estrutura do solo e são importantes para a manutenção da sua porosidade e consequentemente aeração, para o crescimento vegetal e microbiano, infiltração da água e controle dos processos erosivos (BASTOS et al., 2005). Adicionalmente, conferem proteção química e física contra a mineralização da matéria orgânica, visto que reduzem a ação de compostos orgânicos de microorganismos, exsudatos e difusão do oxigênio, além de contribuir de forma significativa no armazenamento de carbono e ciclagem de nutrientes (LÜTZOW et al., 2006). A agregação do solo pode ser alterada diretamente pelo seu manejo ou indiretamente por fatores bióticos e abióticos que afetam a sua estabilidade (BARTO et al., 2010), sendo, portanto, considerado como indicador físico de qualidade dos solos.

O processo de formação dos agregados é influenciado por diversos fatores, quais sejam: qualidade e teor de argila; cátions polivalentes; óxido-hidróxidos de ferro; óxidos de alumínio; matéria orgânica; exsudatos radiculares; ação compressiva de raízes e hifas; e ciclos de umedecimento e secagem (CASTRO FILHO et al., 1998).

Alguns grupos de microorganismos estão relacionados com os processos de agregação dos solos. Entre estes grupos microbianos constam os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), filo *Glomeromycota*. Sua importância se dá não apenas pelo efeito mecânico das hifas, mas também pela produção de uma glicoproteína de natureza hidrofóbica denominada glomalina. Entre as principais funções desta proteína estão o auxílio na proteção das hifas fúngicas à dessecação e na agregação das partículas minerais e orgânicas presentes no solo (BARTO et al., 2010; PENG et al., 2013). A natureza da glomalina (resistência ao calor, insolubilidade e hidrofobicidade) garantem sua função cimentante, sendo usualmente utilizada em estudos de agregação devido a forte correlação com a estabilidade de agregados (PENG et al., 2013).

A relevância da glomalina em solos se dá, principalmente, por sua associação ao carbono, contribuindo para o incremento de seu reservatório no solo (DRIVER et al., 2005). Usualmente, essa proteína é separada em duas frações: fração 1, ou facilmente extraível; e fração 2, ou total (extraída com dificuldade) (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996). A primeira fração teria referência com a glomalina recentemente produzida pelos fungos, enquanto que a segunda seria o resultado do acúmulo da primeira ao longo do tempo, mais recalcitrante, e sofreria ações de intemperismo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996; KOIDE; PEOPLES, 2013; WU et al., 2014;).

Algumas lacunas no protocolo de extração da glomalina e, principalmente, sua quantificação levam a debates sobre estas metodologias. Muitos autores assumem que ácidos húmicos e outras proteínas de solo são extraídas pelo citrato de sódio utilizado no

processo de extração da proteína dos FMA, além de polifenóis, e que sua determinação com reagente de Bradford não corresponderia à quantidade de glomalina nos solos (PREGER et al., 2007; HONTORIA et al., 2009). Koide e Peoples (2013) concluem que a utilização deste reagente na quantificação de glomalina é eficiente.

A dinâmica dos FMA é afetada por fatores abióticos (temperatura, umidade, pH, fertilidade do solo) e bióticos (organismos de solo e vegetação). A Floresta Nacional do Araripe possui diferentes coberturas vegetais com características marcantes entre si que podem afetar o comportamento dos FMA, em especial a produção de glomalina. O presente estudo teve como objetivos estimar, em duas estações do ano, a estabilidade de agregados dos solos e quantificar os teores de carbono orgânico e glomalina, correlacionando-os com a agregação do solo de três fitofisionomias na Chapada do Araripe (CE), bioma Caatinga.

## MATERIAL E MÉTODOS

### a) Área de Estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Araripe – FLONA Araripe – (38.000 ha), localizada na chapada homônima (39° 28' W – 39° 32' W e 7° 14' S - 7° 17' S). O clima da região apresenta duas estações bem distintas, sendo caracterizado como Aw equatorial segundo Köppen. A temperatura média anual é de 25,7 °C e precipitação média de 754,4 mm, com altitude média de 800 m (SANTOS et al., 2009). Os solos da região são predominantemente classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo (JACOMINE et al., 1973).

Foram selecionadas três fitofisionomias para a realização do estudo na FLONA-Araripe: Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular – Brejo de Altitude (BA); Floresta Subcaducifolia Tropical Xeromorfa – Cerradão (CE); e Carrasco (CA).

Segundo Andrade-Lima (1981), os Brejos de Altitude são 'ilhas' de floresta úmida estabelecidas na região semiárida, sendo cercadas pela vegetação de Caatinga. Carrasco é um termo que tem sido utilizado para designar diferentes tipos de vegetação do Nordeste do Brasil e fora dele, o qual abrange Caatingas arbustivas de solos pedregosos, capoeiras (vegetação secundária) e áreas de vegetação aberta com arbustos de pequeno porte que ocorrem nas chapadas de Minas Gerais (ARAÚJO et al., 1998). O cerradão ou savana florestada é uma das subunidades fitogeográficas do Cerrado, possui fisionomia florestal, com árvores de até 15 metros de altura e dossel contínuo, ausência de gramíneas e sua ocorrência é predominante em clima tropical estacional (VELOSO et al., 1991). Fernandes (1990), ao estudar a vegetação do Estado do Ceará, realizou levantamento de espécies vegetais de ocorrência na FLONA-Araripe (Tabela 1).

**Amostragem e processamento das amostras**

Foram realizadas duas coletas durante o final das estações seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012). Seis trincheiras (0,60 x 0,40 m) foram abertas em cada uma das três fisionomias vegetais estudadas para a coleta de amostras de solos e agregados nas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-

0,20m, perfazendo um total de 54 amostras de solos e agregados por estação. O solo foi utilizado para análises de fertilidade (Embrapa, 1997) (Tabela 2) e análise textural (Day, 1965) (Tabela 3). Os agregados foram passados em peneiras de 8 e 4mm de diâmetro de malha, conforme Embrapa (1997). Os agregados retidos na peneira de 4mm foram utilizados para as análises.

**Tabela 1.** Levantamento de espécies vegetais em áreas da FLONA-Araripe. Modificado de Fernandes 1990.

Espécies vegetais	Fitofisionomias			Espécies vegetais	Fitofisionomias		
	BA*	CA	CE		BA	CA	CE
<i>Acacia langsdorfi</i>	-	X	-	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	X		
<i>Agonandra brasiliensis</i>	-	-	X	<i>Erytroxylum barbatum</i>			X
<i>Anacardium microcarpum</i>	-	X	X	<i>Gochinatia lucida</i>		X	X
<i>Andira humilis</i>	-	X	-	<i>Hancornia speciosa</i>			X
<i>Anemopaegma scandens</i>	-	-	X	<i>Hirtella glandulosa</i>	X		
<i>Annona coriacea</i>	-	X	X	<i>Hymenaea eriogyne</i>		X	
<i>Atropa mutabilis</i>	-	X	-	<i>H. maranhensis</i>			X
<i>Bauhinia forficata</i>	X	-	-	<i>Hymenaea martiana</i>	X		
<i>Bauhinia macrostachya</i>	X	-	-	<i>Jacaranda brasiliensis</i>		X	
<i>Bocoa molis</i>	-	X	-	<i>Luetzelburgia auriculata</i>		X	
<i>Bowdichia virgilioides</i>	-	-	X	<i>Mimosa verrucosa</i>		X	
<i>Brosimum gaudichaudii</i>	X	-	-	<i>Parkia platycephala</i>			X
<i>Byrsonima crassifolia</i>	-	-	X	<i>Piptadenia obliqua</i>		X	
<i>Byrsonima sericea</i>	-	-	X	<i>Pirostegia venusta</i>	X		
<i>Caryocar coriaceum</i>	-	-	X	<i>Pithecellobium polycephalum</i>	X		
<i>Cassia ferruginea</i>	X	-	-	<i>Roupala montana</i>			X
<i>Chuquiragua sprengleriana</i>			X	<i>Senna gardeneri</i>		X	
<i>Cratylia floribunda</i>	X			<i>Senna rugosa</i>			X
<i>Croton argyrophyloides</i>		X		<i>Tabebuia ochracea</i>		X	X
<i>Croton jacobinensis</i>	X			<i>Vismia guianensis</i>	X		
<i>Croton zehntneri</i>		X		<i>Zanthoxylum gardneri</i>			X
<i>Dalbergia nigra</i>			X	<i>Z. rhoifolium</i>	X		

\*BA – Brejo de Altitude, CA – Carrasco e CE – Cerradão.

**Tabela 2.** Caracterização química dos solos das fitofisionomias estudadas nas épocas seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012).

Época seca											
Profundidade 0,00 - 0,05 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
BA*	4,45	22,37	1,20	0,00	0,45	2,32	4,85	5,99	11,22	11,29	22,51
CA	5,16	13,04	1,43	0,00	0,98	0,57	4,51	0,68	5,20	6,18	11,37
CE	5,16	16,21	1,43	0,00	0,73	0,98	4,21	1,43	5,53	6,36	11,89
Profundidade 0,05 - 0,10 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
BA	4,81	21,96	0,77	0,00	0,37	1,97	3,93	4,78	9,41	9,07	18,47
CA	4,80	11,89	0,91	0,00	0,82	0,75	3,51	0,57	5,50	4,89	10,39
CE	5,01	19,06	0,98	0,00	0,55	1,12	3,90	1,60	5,86	6,05	11,91
Profundidade 0,10 - 0,20 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
BA	4,41	21,68	0,77	0,00	0,40	1,92	3,89	3,74	10,78	7,53	18,31
CA	4,40	12,27	0,85	0,00	0,68	0,83	3,51	0,33	5,67	4,32	9,99
CE	4,91	15,72	0,78	0,00	0,48	1,17	3,28	1,43	5,89	5,20	11,08
Época Chuva											
Profundidade 0,00 - 0,05 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
BA	5,17	41,02	3,01	0,16	0,48	2,55	8,82	9,35	15,89	18,80	34,70
CA	5,00	12,59	2,75	0,14	0,57	0,75	6,79	2,16	4,47	9,65	14,12
CE	5,06	12,93	2,11	0,04	0,38	0,95	4,63	1,94	5,05	6,98	12,03
Profundidade 0,05 - 0,10 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
BA	5,30	34,40	2,27	0,05	0,28	1,78	7,39	9,13	12,38	16,84	29,21
CA	5,04	9,48	2,55	0,09	0,54	0,89	6,43	2,27	5,47	9,33	14,80
CE	5,29	10,04	1,44	0,02	0,28	1,05	4,27	1,94	4,76	6,50	11,26
Profundidade 0,10 - 0,20 m											
Área	pH	N	P	Ca	Mg	Al	K	Na	H+Al	SB	CTC
	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
BA	5,49	34,10	2,13	0,02	0,27	1,59	6,43	9,35	11,61	16,06	27,66
CA	5,02	13,16	2,09	0,04	0,48	0,91	5,83	2,48	5,62	8,83	14,45
CE	5,36	15,04	1,80	0,00	0,25	1,10	3,79	2,27	5,18	6,30	11,49

\*BA – Brejo de Altitude, CA – Carrasco e CE – Cerradão.

**Tabela 3.** Análise textural dos solos das fitofisionomias estudadas nas épocas seca (dezembro/2011) e chuvosa (maio/2012).

Área	Época Seca								
	0,00 - 0,05 m			0,05 - 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte
	g.kg <sup>-1</sup>			g.kg <sup>-1</sup>			g.kg <sup>-1</sup>		
BA*	300	454	246	377	587	36	348	487	165
CA	302	668	30	262	642	96	250	670	80
CE	360	536	104	262	616	19	270	560	170
Área	Época Chuvosa								
	0,00 - 0,05 m			0,05 - 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte
	g.kg <sup>-1</sup>			g.kg <sup>-1</sup>			g.kg <sup>-1</sup>		
BA	371	552	77	324	471	205	351	527	122
CA	279	610	111	312	651	37	332	628	40
CE	433	557	10	396	590	14	424	571	5

\*BA – Brejo de Altitude, CA – Carrasco e CE – Cerradão.

### Agregação do solo e Carbono Orgânico Total (COT)

Foram pesadas 25g de cada amostra de agregados retida na peneira de 4mm e submetidas à análise de determinação da distribuição dos agregados via úmida utilizando o aparelho de oscilação vertical de Yooder (KEMPER; CHEPIL, 1965) e jogo com cinco peneiras (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm). O material presente em cada peneira, após a tamisação em água por 15 minutos no aparelho de Yooder, foi seco a 45° C em estufa até atingir massa constante, pesado e utilizado para cálculo dos índices de agregação. Após a determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) os agregados retidos na peneira de 2mm foram macerados, passados em peneira de 53 µm e utilizados para a determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), segundo Yeomans e Bremner (1988).

### Glomalina e Carbono Orgânico Particulado (COP)

Parte dos agregados não submetidos à análise de estabilidade foi macerada para se determinar teores de proteína do solo reativa ao Bradford (BRSP) em suas duas frações (facilmente extraível e total) (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996). Fora pesado 1g de solo para cada fração, adicionados 8 ml de citrato de sódio (20 µM a pH 7,0 e 50 µM a pH 8,0) e submetidos ao autoclave por 30 minutos e 1 hora, respectivamente, para fração facilmente extraível e total. Após autoclavagem, procedeu-se centrifugação dos extratos por 15 e 10 minutos, de acordo com a fração em determinação. Para a fração total foram realizados quantos ciclos necessários até que o extrato apresentasse cor amarelo claro. Os teores de proteína foram determinados a partir do método de determinação de proteínas de Bradford (BRADFORD, 1976), o carbono orgânico particulado (COP) foi

determinado segundo Cambardella e Elliot (1992) e a determinação do carbono na fração areia por Yeomans e Bremner (1988).

### Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análises de normalidade de distribuição de erros (Lilliefors) e homogeneidade da variância (Cochran e Bartlett). Os dados normais foram submetidos a análise de variância e o teste de Bonferroni ao nível de 5% de significância e os não normais submetidos ao teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Além disso, foi estimado a correlação de Pearson para os teores de glomalina, agregação e carbono.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados em época chuvosa foram superiores aos obtidos em época seca, apresentando incremento de 9,24% em seus valores (Tabela 4). Houveram diferenças estatísticas significativas entre as fisionomias para mesma época e profundidade, sendo o Brejo de Altitude e Carrasco os ambientes com maiores valores de DMP, comparadas com CE. Em relação às profundidades em mesma fitofisionomia, os valores obtidos não foram significativos estatisticamente.

O diâmetro médio geométrico (DMG) foi superior na época chuvosa, com exceção de BA na profundidade 0,00 – 0,05m, onde o maior valor (4,73) foi obtido em época seca. Estatisticamente foram observadas diferenças entre as fitofisionomias estudadas para a mesma profundidade (Tabela 4). Os valores de DMG observados em BA foram sempre superiores às demais fisionomias, demonstrando que nesse ambiente os agregados de maior classe (> 2 mm) estão presentes em maior quantidade.

**Tabela 4.** Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em diferentes profundidades (0,00 - 0,05, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20m) em Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante as estações seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).

Fitofisionomias	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	DMP	DMG	DMP	DMG
Profundidade 0,00 - 0,05 m				
----- (mm) -----				
BA	4,18aB	4,73aA	4,71 aA	4,54 aB
CA	4,02 aB	3,21 bB	4,23 aA	3,72 bA
CE	3,12 bB	1,85 cB	3,98 bA	2,77 cA
Profundidade 0,05-0,10 m				
----- (mm) -----				
BA	4,16 aB	4,28 aB	4,78 aA	4,50 aA
CA	4,33 aB	3,75bB	4,38 aA	3,93 bA
CE	3,27 bB	2,16 cB	3,68 bA	2,53 cA
Profundidade 0,10-0,20 m				
----- (mm) -----				
BA	4,17 aB	4,75aB	4,88 aA	4,89 aA
CA	4,30 aB	3,83 bB	4,50 aA	3,97 bA
CE	3,84 bB	2,73 cB	3,89 bA	2,90 cA

Letras minúsculas demonstram diferenças estatísticas para mesma profundidade entre as diferentes fitofisionomias. Letras maiúsculas demonstram diferenças entre as estações estudadas. Teste t - Bonferroni a 5%.

Um solo bem estruturado apresenta agregados estáveis às ações mecânicas e quanto maiores forem os agregados maiores serão os espaços porosos entre os agregados, conferindo maior taxa de infiltração da água e tornando o solo menos susceptível a processos erosivos (CASTRO FILHO et al., 1998). Os solos das fitofisionomias estudadas, em especial das áreas BA e CA, apresentaram altos valores de DMP, caracterizando solos com boa agregação e capacidade de infiltração e retenção de água. Fontana et al. (2010) ao estudarem os índices de agregação de Latossolo em tabuleiros costeiros observaram a redução do DMP em relação à profundidade. Wendling et al. (2005) verificaram redução nos valores de DMP e DMG em profundidade. No presente estudo não foi observado redução em profundidade, mas manutenção ou acréscimo de DMP e incremento de DMG de acordo com o ambiente estudado. BA é o ambiente com maiores valores de DMP e DMG quando comparado aos demais, podendo ser um indicativo de menor grau de perturbação. Os menores valores obtidos em CE estão relacionados à perturbação antrópica de extração de lenha e pelas próprias características da área, qual seja: árvores mais esparças e sem espinho, quando comparadas a CA. Áreas com vegetação nativa e com maior aporte de material vegetal, sem interferência de cultivos, apresentam maiores valores de DMG e DMP, além de agregados mais estáveis (LOSS et al., 2011).

Os teores de COT foram superiores na estação seca, comparados com a época chuvosa. A única exceção foi na profundidade 0,00 - 0,05m de CA, onde as diferenças estatísticas não foram significativas (Tabela 5). O ambiente com COT mais elevado foi BA em ambas estações seguidos por CE e CA na

época seca. Na estação chuvosa, os teores de COT em CA foram superiores aos de CE. Apesar dos teores de carbono orgânico em profundidade não serem significativos estatisticamente, em CE foi observado um aumento dos teores de carbono em profundidade durante a época chuvosa.

Os teores de COP na época chuvosa foram maiores quando comparados com a época seca, com exceção de CE, que apresentou maiores valores de carbono associado à fração areia durante a estação seca (Tabela 5). Na área de fisionomia BA foram observados os maiores teores de COP, o que está diretamente relacionado à quantidade de matéria orgânica fornecida pelos vegetais presentes nesta área.

A vegetação influencia diretamente nos teores de carbono do solo e em sua agregação devido a ação cimentante de exsudados de raízes ou sua ação mecânica (WENDLING et al., 2005). A fitofisionomia BA, por possuir vegetação mais densa e de maior porte, apresenta maior deposição de serrapilheira quando comparada a CA e CE. Estas duas fitofisionomias apresentam árvores de porte reduzido quando comparadas a BA, que perdem suas folhas durante a época seca (Carrasco) ou possuem densidade populacional de árvores reduzidas, com grandes áreas de clareira (Cerradão).

O sistema radicular e o acúmulo de material vegetal pode influenciar nos maiores teores de carbono nas camadas superficiais do solo (CORDEIRO et al., 2010). A exposição do solo na área de Cerradão, devido a esparsa cobertura vegetal, promove um aumento na decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos, resultando na rápida oxidação da matéria orgânica (CANELLAS et al., 2002).

**Tabela 5.** Teores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP) em diferentes profundidades (0,00 - 0,05, 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20m) em Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante as estações seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).

Fitofisionomias	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	COT	COP	COT	COP
Profundidade 0,00 - 0,05 m				
----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
BA	51,27 aA	18,25 aB	34,27 aB	27,06 aA
CA	27,27 bA	6,22 cB	27,62 bA	7,72 bA
CE	21,97 bA	9,65 bA	14,97 cB	4,49 cB
Profundidade 0,05 - 0,10 m				
----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
BA	47,18 aA	16,13 aB	33,49 aB	20,87 aA
CA	20,06 bB	6,42 cB	26,38 bA	8,50 bA
CE	20,85 bA	9,69 bA	15,42 cB	4,53 cB
Profundidade 0,10 - 0,20 m				
----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
BA	45,47 aA	14,82 aB	31,16 aB	22,49 aA
CA	20,06 bB	6,38 cB	26,22 abA	8,24 bA
CE	24,82 bA	10,64 bA	16,58 bB	5,93 cB

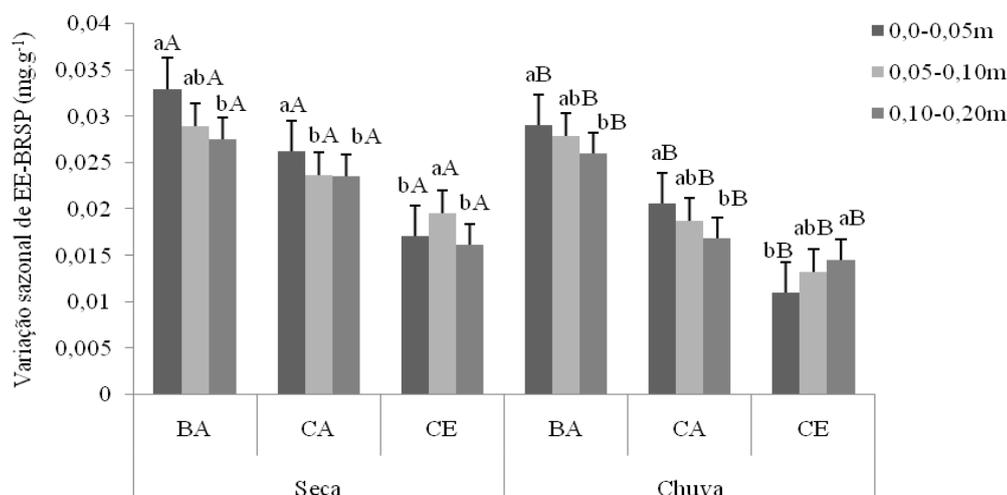
Letras minúsculas comparam fitofisionomias em mesma profundidade. Letras maiúsculas comparam fitofisionomias nas diferentes estações, em mesma profundidade. Teste t -Bonferroni a 5%.

O COP funciona como um bom indicador físico para verificar modificações no manejo ou substituição da vegetação natural por cultivos, relacionando-se diretamente ao aporte de material vegetal ao solo (LOSS et al., 2009). O acréscimo de COP na estação chuvosa pode ser justificado pelo acúmulo de folhas sobre o solo e possível redução na taxa de decomposição, em especial na área de Brejo altitude.

Os teores de glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) nas três fitofisionomias estudadas foram mais elevados na época seca (média de 0,023 mg g<sup>-1</sup>), comparada com a estação chuvosa (média de 0,019 mg g<sup>-1</sup>) (Figura 1).

De forma geral, no ambiente de Brejo de Altitude (BA) foram quantificados os maiores teores de EE-BRSP seguido pelas áreas CA e CE em ambas as estações estudadas. Houve redução em profundidade nos teores da fração facilmente extraível em BA para ambas estações. Em CA, durante a época seca, os maiores valores de EE-BRSP foram obtidos na profundidade 0,00 – 0,05m, enquanto que nas demais profundidades os teores não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Contudo, durante a época chuvosa, os teores de EE-BRSP no Carrasco reduziram. Em CE, na época seca, a maior quantidade dessa fração proteica foi encontrada na profundidade 0,05 – 0,10m e na época chuvosa houve acréscimo nos teores de EE-BRSP em profundidade.

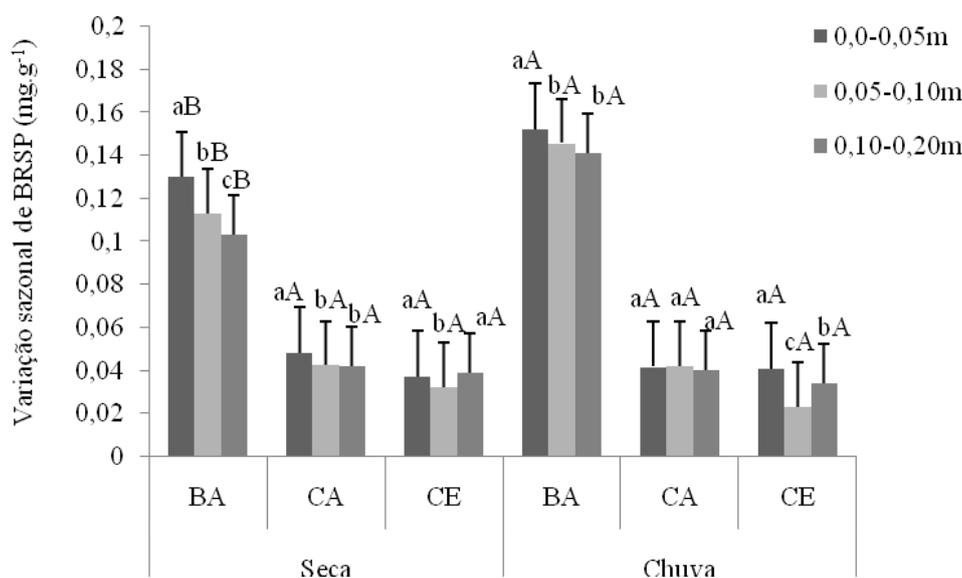
tude (BA) foram quantificados os maiores teores de EE-BRSP seguido pelas áreas CA e CE em ambas as estações estudadas. Houve redução em profundidade nos teores da fração facilmente extraível em BA para ambas estações. Em CA, durante a época seca, os maiores valores de EE-BRSP foram obtidos na profundidade 0,00 – 0,05m, enquanto que nas demais profundidades os teores não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Contudo, durante a época chuvosa, os teores de EE-BRSP no Carrasco reduziram. Em CE, na época seca, a maior quantidade dessa fração proteica foi encontrada na profundidade 0,05 – 0,10m e na época chuvosa houve acréscimo nos teores de EE-BRSP em profundidade.

**Figura 1.** Teores de proteína do solo reativa ao Bradford (mg g<sup>-1</sup>), fração facilmente extraível (EE-BRSP) em diferentes profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) em Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante as estações seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012).

Letras minúsculas comparam as diferentes profundidades para mesma fitofisionomia. Letras maiúsculas comparam mesma fitofisionomia entre estações. Teste t-Bonferroni a 5%.

Em relação aos teores de BRSP, apenas BA apresentou diferenças significativas entre as estações estudadas, sendo a época chuvosa com maior teor dessa fração, enquanto que CA e CE mantiveram teores bem próximos entre as estações (Figura 2). O ambiente com maior quantidade da fração BRSP foi BA, seguido de CA e CE. Durante a época seca houve redução na quantidade dessa fração proteica em profundidade no Brejo de Altitude e na época chuvosa maior teor de BRSP foi encontrado na profundidade de 0,00 – 0,05m. CE, em ambas as estações, apresentou menor quantidade de glomalina total em 0,05 – 0,10m.

O real papel das frações de glomalina (facilmente extraível e total) ainda não foi elucidado. A primeira fração pode estar relacionada com a atividade dos FMA e, através de sua acumulação, garante o *pool* da segunda fração (KOIDE; PEOPLES, 2013). De forma geral, é notória a contribuição da glomalina para o estoque de carbono nos solos, sendo importante, inclusive, para o sequestro de carbono (DRIVER et al., 2005). Estima-se que a glomalina contribui com 37% e 4% de C e N, respectivamente, em solos tropicais, representando 3% e 5% do *pool* desses elementos nos solos (LOVELOCK et al., 2004).



**Figura 2.** Teores de proteína do solo reativa ao Bradford ( $\text{mg.g}^{-1}$ ), fração facilmente total (BRPS) em diferentes profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m) em Brejo de Altitude (BA), Carrasco (CA) e Cerradão (CE) na Chapada do Araripe durante as estações seca (dez/2011) e chuvosa (maio/2012). Letras minúsculas comparam as diferentes profundidades para mesma fitofisionomia. Letras maiúsculas comparam mesma fitofisionomia entre estações. Teste Kruskal-Wallis a 5%.

Poucos relatos são encontrados na literatura a respeito dos padrões da glomalina de acordo com a sazonalidade. Ermran et al. (2012) estudaram as variações dos teores da proteína no Nordeste da Espanha durante um ano e observaram padrão similar ao verificado nas áreas de estudo na Chapada do Araripe. Houve um aumento nos teores de EE-BRSP no verão (seco) e redução na estação chuvosa. Esses resultados demonstram padrão sazonal da fração proteica, podendo ser uma resposta dos fungos a situações de estresse. Durante períodos de estresse as hifas dos fungos micorrízicos seriam estimuladas a buscar nutrientes e água para manter o simbiote vegetal até que as condições ambientais se tornem favoráveis. Além disso, é possível que essas frações proteicas e hidrofóbicas sejam produzidas para aumentar a proteção de hifas frente a processos de dessecação (BARTO et al., 2010; PENG et al., 2013).

A fração BRSP apresentou teores semelhantes nas duas épocas avaliadas, sugerindo que ela não

seja influenciada pela sazonalidade, cujos resultados corroboram os observados por Ermran et al. (2012).

Todas as variáveis estudadas apresentaram correlação positiva e estatisticamente significativa a 1% de probabilidade. Entretanto, as correlações mais altas foram para EE-BRSP x COT ( $r = 0,66$ ), EE-BRSP x COP ( $r = 0,62$ ), BRPS x COP ( $r = 0,83$ ) e EE-BRSP x DMG e BRSP x DMG (ambas com  $r = 0,64$ ) (Tabela 6).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais agentes de agregação em solos tropicais. Todavia, espera-se que as modificações nos índices de agregação estejam relacionados à variação do conteúdo de MOS no solo (CASTRO FILHO et al., 1998). Diversos trabalhos correlacionam de forma positiva os índices de agregação com os teores de carbono (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005; ROZANE et al., 2010).

Devido a grande contribuição da glomalina na agregação do solo esta proteína é bastante relaciona-

da com índices de agregação. Wilson et al. (2009) verificaram correlação positiva e elevada entre a agregação do solo, o sequestro de carbono e a densidade de FMA em estudo a longo prazo. Este padrão

também foi observado por Fokon et al. (2012), onde os autores relataram altos coeficientes de correlação entre a agregação, EE-BRSP e BRPS.

**Tabela 6.** Matriz de correlação entre as variáveis analisadas em distintas fisionomias vegetais na chapada do Araripe durante os dois períodos de observação.

Variáveis <sup>a</sup>	EE-BRSP	BRPS	COT	COP	DMP	DMG
EE-BRSP	1	0,68**	0,66**	0,62**	0,47**	0,64**
BRPS	-	1	0,33**	0,83**	0,46**	0,64**
COT	-	-	1	0,33**	0,26**	0,40**
COP	-	-	-	1	0,36**	0,51**
DMP	-	-	-	-	1	0,86**
DMG	-	-	-	-	-	1

<sup>a</sup>Variáveis analisadas: EE-BRSP = glomalina facilmente extraível; BRPS = glomalina total; COT = carbono orgânico total; COP = carbono orgânico particulado; DMP = diâmetro médio ponderado; e DMG = diâmetro médio geométrico. \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade, segundo teste F.

Os coeficientes de correlação foram elevados entre glomalina e agregação do solo encontrados neste estudo, devendo estar relacionados com a ação que essa proteína promove no solo, servindo como agente bioquímico cimentante como outras diversas proteínas (RILLIG et al., 2005). As altas correlações observadas entre a glomalina e o carbono demonstram que a proteína produzida pelos FMA contribui, de forma direta, com o *pool* carbono no solo (FOKON et al., 2012).

## CONCLUSÕES

Os teores de carbono orgânico e glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) apresentaram padrão sazonal, sendo seus maiores teores observados na época seca. Por outro lado, BRSP não apresentou variações sazonais significativas, sugerindo ser EE-BRSP mais sensível às estações do ano.

Os maiores valores de correlação foram observados entre os teores de carbono (COT e COP) e as frações da glomalina (EE-BRSP e BRSP), indicando que a proteína influencia diretamente nas concentrações de carbono no solo da Chapada do Araripe, sendo importante componente de sua agregação.

## AGRADECIMENTOS

À FAPERJ e a CAPES pela bolsa de estudos da primeira autora. Ao ICMBio pela licença para coletas, à FLONA-Araripe pela estrutura, PPBio e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG CRA - APQ-00001-11) e a *Inter-American Institute for Global Change Research* (IAI-CRN II-021).

## REFERÊNCIAS

ANDRADE-LIMA, D. The Caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 149-163, 1981.

ARAÚJO, F. S. et al. Composição florística da vegetação de carrasco, Novo Oriente, CE. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 15-26, 1998.

BASTOS, R. S. et al. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.

BARTO, E. K. et al. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2316-2324, 2010.

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

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CANELLAS, L. P. et al. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of Eucalyptus and sugar cane. **Terra Latinoamerica**, Texcoco, v. 20, n. 4, p. 371-381, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação

- com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- CORDEIRO, F. C. et al. Atributos edáficos em pastagens da região noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 106-113, 2010.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, v. 1, p. 545-556.
- DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 101-106, 2005.
- EMRAN, M.; GISPERT, M.; PARDINI, G. Patterns of soil organic carbon, glomalina and structural stability in abandoned Mediterranean terraced lands. **European Journal of Soil Science**, v. 63, p. 637-649, 2012.
- FERNANDES, A. **Temas fitogeográficos**. Stylos Comunicações, Fortaleza, 1990. 116 p.
- FOKOM, R. et al. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil Tillage Research**, v. 120, p. 69-75, 2012.
- FONTANA, A. et al. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 291-297, 2010.
- HONTORIA, C. et al. Bradford reactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. **Soil Biology Biochemistry**, v. 41, p. 1583-1585, 2009.
- JACOMINE, P. T. K.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório** – reconhecimento de solos do estado do Ceará. v. 2. Recife: MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1973. p. 502.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965, p. 499-510.
- 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.
- LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.
- LOSS, A. et al. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 68-75, 2009.
- 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, p. 278-287, 2004.
- LÜTZOW, M. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions. **European Journal of Soil Science**, v. 57, n. 4, p. 426-445, 2006.
- PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology Biochemistry**, v. 57, n. 2, p. 411-417, 2013.
- PREGER, A. C. et al. Losses of glomalin-related soil protein under prolonged arable cropping: a chronosequence study in sandy soils of the South African Highveld. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 2, p. 445-453, 2007.
- RILLIG, M. C. et al. Microbiota accompanying different arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence soil aggregation. **Pedobiologia**, v. 49, n. 3, p. 251-259, 2005.
- ROZANE, D. E. et al. Estoque de Carbono e estabilidade de Agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob Diferentes Manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.
- SANTOS, C. A.; FLORENZANO, T. G.; NORA, E. L. D. Estudo geológico-geomorfológico da sub-bacia leste do Araripe com aplicação de variáveis morfométricas derivadas a partir de dados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 3355-3362.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.
- WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WILSON, G. W. T. et al. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. **Ecology Letters**, v. 12, p. 452–461, 2009.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**. v. 161, n. 8, p. 575–586, 1996.

WU, Q. S. et al. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliolate orange. **Scientific reports**, v. 4, n. 5823, p. 1-8, 2014.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.