



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM
VERTISSOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO DE LONGA DURAÇÃO**

Roberto Monteiro Ferreira Filho

AREIA, PB
DEZEMBRO - 2017

ROBERTO MONTEIRO FERREIRA FILHO

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM
VERTISSOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO DE LONGA DURAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”. Área de concentração: Relação-Solo-Água-Planta-Atmosfera.

Orientador: Prof. Djail Santos, PhD.

Coorientador: Prof. Bruno de Oliveira Dias, Dr.

AREIA, PB

DEZEMBRO - 2017

*Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.*

F481f Filho, Roberto Monteiro Ferreira.

Frações da matéria orgânica e atributos físicos de um vertissolo em sistemas de consórcio de longa duração / Roberto Monteiro Ferreira Filho. - Areia, 2017.
92 f. : il.

Orientação: Djail Santos.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Caatinga, Agricultura familiar, Sistemas de manejo. I. Santos, Djail. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

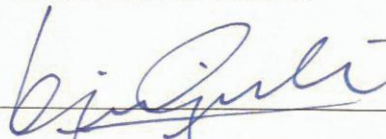
ROBERTO MONTEIRO FERREIRA FILHO

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM
VERTISSOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO DE LONGA DURAÇÃO**

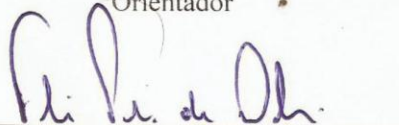
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de "Mestre em Ciência do Solo". Área de concentração: Relação-Solo-Água-Planta-Atmosfera.

Aprovada em 11 / 12 / 2017


BANCA EXAMINADORA



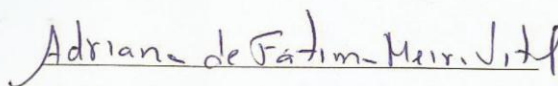
Prof. Djail Santos, PhD.
DSER/CCA/UEPB
Orientador



Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.
DSER/CCA/UEPB



Tancredo Augusto Feitosa de Souza, Dr.
PNPD/PPGCS/CCA/UEPB



Profa. Adriana de Fátima Meira Vital, Dra.
UATEC/CDSA/UFPG

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares em especial minha mãe (Maria José Pereira Monteiro) e ao meu pai (Roberto Monteiro Ferreira) por todo conhecimento de vida repassado até os dias de hoje, e ao Roberto Monteiro Ferreira Neto, meu filho que tanto gosto. Bem como para todos aqueles que contribuíram e contribuem para o avanço da Ciência do Solo.

AGRADECIMENTOS

Gratidão e louvores para o Grande Criador de todas as coisas! Te agradeço, meu Deus, por tudo que tens feito em minha vida para que sempre possa continuar na busca de novas conquistas.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, que desde cedo me incentivou na busca pelo conhecimento.

Aos meus irmãos Roberta Pereira Monteiro e Robério Pereira Monteiro por sempre receber o incentivo de vocês que tanto me inspira para continuar nessa trajetória de estudante.

À minha companheira Josefa Jussara Rêgo Silva, pelo seu carinho e incentivo, onde junto com Roberto Monteiro Ferreira Neto são fontes de inspiração em cada amanhecer para não desistir dos obstáculos que a vida proporciona.

Ao meu Orientador Prof. Djail Santos, por sempre demonstrar ser um homem de caráter e de coração bondoso para com os outros e pela sua transmissão de sabedoria e tranquilidade para poder agir diante das situações adversas da vida. Jamais irei esquecer dos seus ensinamentos nas nossas conversas produtivas.

Ao meu Coorientador Prof. Bruno de Oliveira Dias, pela sua simplicidade como ser humano, pelas ótimas aulas na disciplina de Matéria Orgânica do Solo e pela contribuição fundamental nesta pesquisa.

À Universidade Federal da Paraíba e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelas oportunidades a mim oferecidas.

À Coodenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudo concedida.

Aos produtores familiares do município de Queimadas-PB, em especial a família de senhor Val, pelo apoio imensurável para realização dessa pesquisa.

Aos chefes dos laboratórios de Matéria Orgânica do Solo, Física do Solo e Química e Fertilidade do Solo, pelo espaço cedido para condução das análises.

À Fabiana do Nascimento Santos pela sua disponibilidade e contribuição na fase inicial da pesquisa

Aos amigos que conquistei neste campus e que foram de grande importância nesta jornada, em especial, Kalline, Ewerton, Victor, Tiago, Ernandes, Tancredo, Luan, Ednaldo, Matheus, Caio, Gabriel e Leo.

A todos integrantes do grupo de estudo “Tenda” pelos bons momentos e dedicação nas produções científicas e, em especial, ao Dr.Tancredo por seu exemplo e incentivo aos estudos, bem como pelos momentos de descontração.

Aos grandes companheiros da casa em que me hospedei pelos bons momentos vivenciados e de aprendizado (Fernando, Rodrigo, Romário, Hélio, Aliton, Flávio, Magno, Leonardo e José).

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Rural e Setor de Transportes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

A todos os colegas capoeiristas pelos bons momentos durante esta etapa de formação que serviram como equilíbrio entre a vida acadêmica e pessoal.

À banca examinadora, pelas contribuições que servirão para enriquecer o trabalho e me permitirão avançar no conhecimento.

E a todos que participaram de forma direta ou indireta para realização dessa pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE SIGLAS	xiv
RESUMO GERAL	xv
ABSTRACT GERAL	xvii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Solos do bioma Caatinga.....	3
2.2 Definição de Vertissolos e suas características no bioma Caatinga.....	4
2.3 Matéria orgânica do solo e seus compartimentos	6
2.3.1 Métodos para acessar os compartimentos da MOS e o Nitrogênio do solo	7
2.4 Atributos físicos do solo.....	12
2.5 A Cultura da fava (<i>Phaseolus lunatus</i> L.)	15
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO I - INFLUÊNCIA DO USO E MANEJO DO SOLO NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM VERTISSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE AGRICULTURA FAMILIAR	27
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	30
1 INTRODUÇÃO	32
2 MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1 Caracterização dos ambientes em estudo	33
2.2 Solo, delineamento e amostragem de campo	36
2.3 Caracterização química	37
2.4 Análises estatísticas.....	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4 CONCLUSÃO	53
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CAPÍTULO II – ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM VERTISSOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO COM MÉDIA E LONGA DURAÇÃO	58
RESUMO.....	62
ABSTRACT.....	64
1 INRODUÇÃO	66
2 MATERIAL E MÉTODOS	67
2.1 Caracterização da área experimental.....	67
2.2 Ambientes de estudo	68

2.3 Ordem de solo, delineamento e amostragem do solo.....	68
2.4 Análises estatísticas.....	70
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4 CONCLUSÃO.....	75
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79

LISTA DE TABELAS

Revisão de Literatura		Página
Tabela 1.	Caracterização química de Vertissolos do bioma Caatinga.....	5
Tabela 2.	Caracterização física de Vertissolos do bioma Caatinga.....	5
Tabela 3.	Algumas propriedades químicas importantes das diferentes frações húmicas.....	11

Capítulo I

Tabela 1.	Fertilidade do solo nos quatro ambientes de estudos em três camadas.....	39
------------------	--	----

LISTA DE FIGURAS

Revisão de Literatura	Página
Figura 1. Frequência de ocorrência das principais ordens de solos do Bioma Caatinga.....	4
Capítulo I	
Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média no município de Queimadas-PB.....	33
Figura 2. Ambiente de vegetação nativa do bioma Caatinga (A), ambiente de crescimento secundário (B), ambientes com sistemas de consórcio feijão-milho-fava com 8 e 44 anos (C) e bovinos realizando pastejo em sistema de consórcio após colheita das culturas (D).....	35
Figura 3. Esquema de amostragem do solo em uma parcela experimental de 800 m ²	36
Figura 4. Teores de matéria orgânica leve (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de carbono da matéria orgânica leve (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (C) e três camadas (D) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de Nitrogênio da matéria orgânica leve (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (E) e três camadas (F) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga (F).....	40
Figura 5. Teores de carbono orgânico total (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de nitrogênio total (g kg ⁻¹) e carbono lábil (dag kg ⁻¹) em diferentes ambientes do bioma Caatinga (C e D). Estoques de carbono (Mg ha ⁻¹) e nitrogênio (Mg ha ⁻¹) em diferentes ambientes do bioma Caatinga (E e F).....	43
Figura 6. Teores de carbono da fração humina (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de carbono da fração ácido húmico (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (C) e três camadas (D) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de carbono da fração ácido fúlvico (g kg ⁻¹) em diferentes ambientes (E) e três camadas (F) do bioma Caatinga.....	48
Capítulo II	
Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média no município de Queimadas-PB.....	64
Figura 2. Esquema de coleta de amostras indeformadas em uma parcela experimental de	

800 m ²	66
Figura 3. Densidade do solo (g cm ⁻³) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga.....	68
Figura 4. Macroporosidade do solo (m ³ m ⁻³) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga.....	70
Figura 5. Resistência à penetração (kg cm ⁻²) em quatro ambientes e três camadas em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga.....	71

LISTA DE SIGLAS

- AD – Água Disponível
- CC – Capacidade de Campo
- CL – Carbono Lábil
- COT – Carbono Orgânico Total
- C-FAF – Carbono da Fração Ácido Fúlvico
- C-FAH – Carbono da Fração Ácido Húmico
- C-FHU – Carbono da Fração Humina
- C-MOL – Carbono da Matéria Orgânica Leve
- CS – Vegetação de Crescimento Secundário
- C-SH – Carbono das Substâncias Húmicas
- Ds – Densidade do Solo
- ECS – Estoque de Carbono no Solo
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ENS – Estoque de Nitrogênio no Solo
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- Ma – Macroporosidade do solo
- Mi – Microporosidade do solo
- MN – Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga
- MOL – Matéria Orgânica Leve
- MOS – Matéria Orgânica do Solo
- N-MOL – Nitrogênio da Matéria Orgânica Leve
- NT – Nitrogênio Total
- PMP – Ponto de Murcha Permanente
- Pt – Porosidade total
- SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SC8 – Sistema de Consórcio Feijão-Milho-Fava com 8 anos de Cultivo

SC44 – Sistema de Consórcio Feijão-Milho-Fava com 44 anos de Cultivo

SH – Substâncias Húmicas

RESUMO GERAL

FERREIRA FILHO, ROBERTO MONTEIRO. Frações da matéria orgânica e atributos físicos de um Vertissolo em sistemas de consórcio de longa duração. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Dezembro 2017. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Djail Santos, PhD.

Mudanças nas frações da matéria orgânica do solo (MOS) e nos atributos físicos de Vertissolos sob sistemas de agricultura familiar com médio e longo período de cultivo no bioma Caatinga são pouco conhecidas. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar o impacto de diferentes usos do solo em frações lábeis e recalcitrantes da MOS e em alguns atributos físicos de um Vertissolo sob sistemas de consórcio. A pesquisa foi desenvolvida no município de Queimadas, PB, na região do Agreste Paraibano. Os ambientes foram: (MN: Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS: Vegetação de crescimento secundário – ambiente recultivado com espécies arbóreas exóticas e típicas regionais há 10 anos; e SC8 e SC44: Áreas de agricultura familiar em sistema de consórcio feijão-milho-fava cultivadas a médio (8 anos) e longo (44 anos) prazos, respectivamente). Em cada parcela experimental de 800 m² foi realizado um padrão de amostragem aleatória simples com emprego de quatro quadrantes de 200 m². A amostragem do solo procedeu-se dentro de cada quadrante com cinco repetições para as frações da MOS e três repetições para os atributos físicos, respectivamente, nas camadas 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Foram comparados os teores de matéria orgânica leve (MOL), carbono da MOL (C-MOL), nitrogênio da MOL (N-MOL), carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL), nitrogênio total (NT), estoque de carbono no solo (ECS), estoque de nitrogênio no solo (ENS), carbono das frações humina (C-FHU), ácidos húmicos (C-FAH), ácidos fúlvicos (C-FAF), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD) e resistência à penetração (RP). Os maiores valores de MOL (2,38 g kg⁻¹), C-MOL (0,77 g kg⁻¹), N-MOL (0,07 g kg⁻¹), C-FHU (5,24 g kg⁻¹), C-FAH (1,9 g kg⁻¹) e C-FAF (1,74 g kg⁻¹) foram observados no ambiente MN. Já os maiores valores de ECS (10,58 Mg ha⁻¹) foram observados nos

ambientes *MN* (10,89 Mg ha⁻¹) e *CS* (10,58 Mg ha⁻¹) na camada de 0 - 0,05 m, enquanto os maiores valores de ENS foram observados nos ambiente *CS* (1,60 Mg ha⁻¹) e *MN* (1,55 Mg ha⁻¹) na camada de 0,10 - 0,20 m. Comparados com o ambiente *MN*, os ambientes *SC8* e *SC44* apresentaram valores de MOL, C-MOL, N-MOL, COT, NT, ECS, ENS, C-FHU, C-FAH e C-FAF inferiores, na ordem de 25,6 e 48,7 %; 52 e 85,7 %; 57,14 e 85,7 %; 13 e 44 %; 18,5 e 38,5 %; 11,26 e 43,7 %; 11,1 e 42,6 %; 8,55 e 42 %, respectivamente. Os maiores valores de Ds foram encontrados no ambiente *MN* (1,5 g cm⁻³) e na camada 0,10 - 0,20 m (1,35 g cm⁻³). Os maiores valores de Ma foram verificados nos ambientes *SC8* e *SC44* e na camada de 0 - 0,05 m (0,07; 0,06 e 0,05 m³m⁻³), respectivamente. Já o maior valor de RP (2,25 kg cm⁻²) foi verificado para a interação entre o ambiente *SC44* e a camada de 0,10 - 0,20 m. Não foram encontradas diferenças significativas entre os usos do solo e camadas de amostragem para as variáveis CL, Pt, Mi, CC, PMP e AD. Ambos os sistemas de consórcio alteram as frações lábeis e recalitrantes da MOS, bem como os atributos físicos Ds, Ma, e RP de Vertissolo nas condições deste estudo em relação à vegetação nativa do bioma Caatinga. Observou-se o maior conteúdo de MOL, COT, NT, ECS, C-FHU, C-FAH e C-FAF na camada superficial do solo (0 - 0,05 m) em relação às camadas subsuperficiais. Quando comparados ente si, observou-se que os sistemas de consórcio apresentaram valores semelhantes dos atributos físicos Ds, Ma e RP, porém diferiram do ambiente *MN*. Não houve alteração na retenção de água do solo entre os ambientes estudados. As tendências observadas neste estudo reforçam a importância de considerar os teores de carbono das frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos como potenciais indicadores de alterações no uso e manejo do solo.

Palavras-chave: Caatinga, Agricultura familiar, Sistemas de manejo, *Phaseolus lunatus* L.

MAIN ABSTRACT

FERREIRA FILHO, ROBERTO MONTEIRO. **Organic matter fractions and physical properties of a Vertisol in long-term common bean - maize - fava bean rotation.** Agrarian Sciences Center UFPB, December 2017. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Djail Santos, PhD.

The effects of medium- and long-term smallholder farming systems in the Brazilian tropical seasonal dry forest that promote changes in the organic matter fractions (MOS) and in the physical attributes of Vertisols are unknown. Our aim here, was to evaluate the impact of different land uses on labile carbon, recalcitrant fractions of MOS and physical properties of Vertissolo under common bean – maize – fava bean rotation. This study was carried out at Queimadas, Paraíba, Brazilian Northeast in a Vertissol under field conditions. Soils samples were collected from four environments: *MN*: Caatinga – This environment contains only native plant species from Caatinga biome (Control); *CS*: Secondary growth vegetation – This environment contains typical regional tree species (native and exotic plant species) over 10 years old; and *SC8* and *SC44*: These environments were characterized by medium (8 years) and long-term (44 years) smallholder farming systems in a common bean – maize- fava bean rotation. We establish for each environment one plot of 800 m². We collected soil samples from four sub-plots in each plot using a randomized systematic sampling. In each sub-plot we five and three soil samples to evaluate the fractions of the MOS and the physical attributes, respectively. For each sub-plot we also collected soil samples in three depths: 0.00 - 0.05 m; 0.05 - 0.10 m; and 0.10 - 0.20 m. Light-fraction of soil organic matter content (MOL), carbon of MOL (C-MOL), nitrogen of MOL (N-MOL), soil total organic carbon (TOC), labile carbon (LC), total nitrogen (TN), soil carbon stock (SCS), soil nitrogen stock (SNS), carbon fraction of humic substances [i.e., humin (CFHU), humic acids (CFAH) and fulvic acids (CFAF)], bulk density (Bd), total porosity (Pt), soil macroporosity (Ma), soil microporosity (Mi), field capacity (CC), permanent wilting point (PMP), soil available water (AD) and soil resistance to penetration (RP) were investigated. We found the highest values of MOL (2.38 g kg⁻¹), C-MOL (0.77 g kg⁻¹), N-MOL (0.07 g kg⁻¹), C-FHU (5.24 g kg⁻¹), C-FAH

(1.9 g kg⁻¹) and C-FAF (1.74 g kg⁻¹) in the *MN* environment. The highest SCS values were observed in the both *MN* (10.89 Mg ha⁻¹) and *CS* (10.58 Mg ha⁻¹) environments in the 0.00 – 0.05 m depth, while the highest values of SNS were observed in the *CS* (1.60 Mg ha⁻¹) and *MN* (1.55 Mg ha⁻¹) environments in the 0.10 – 0.20 m depth. When we compared the *MN* environment with the *SC8* and *SC44* environments, we have found that these last two environments presented lower values of MOL, C-MOL, N-MOL, COT, NT, ECS, ENS, C-FHU, C-FAH and C-FAF in the order of 25.6 and 48.7 %; 52 and 85.7 %; 57.14 and 85.7 %; 13 and 44 %; 18.5 and 38.5 %; 11.26 and 43.7 %; 11.1 and 42.6 %; 8.55 and 42 %, respectively. The highest values of Ds were found in the *MN* (1,5 g cm⁻³) environment and in the 0.10 - 0.20 m depth (1,35 g cm⁻³). The highest values of Ma were observed in the *SC8* and *SC44* environments and in the depth of 0 - 0.05 m (0.07; 0.06 and 0.05 m³m⁻³), respectively. The highest RP (2.25 kg cm⁻²) was observed in the *SC44* environment within the 0.10 - 0.20 m depth. No significant differences were found between the land uses and sampling soil depths for the CL, Pt, Mi, CC, PMP and AD. The medium- and long-term common bean – maize – fava bean rotation alter the labile and recalcitrant fractions of MOS, as well as the physical properties of a Vertisol in field conditions. The soil depth (0.00 - 0.05 m) presented the highest content of MOL, COT, NT, SCS, CFHU, CFAH and CFAF in relation to the subsurface depths (0.05 – 0.10 m and 0.10 – 0.20 m). We found no differences between the soil physical properties (Ds, Ma and RP) in both *SC8* and *SC44* environments, but they differed from the *MN* environment. There were no differences in soil water retention relationship among all the studied environments. Our study highlight the importance to consider the trends of soil carbon contents of humic acid fractions and fulvic acids as potential indicators of changes caused by different land use into soil profile.

Key words: Caatinga biome, Smallholder farming system, Soil management systems, *Phaseolus lunatus* L.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Na necessidade de produzir alimentos para sobrevivência e geração de renda o homem vem modificando a vegetação nativa de vários biomas, através da intensificação dos sistemas de uso e manejo dos solos para a realização de atividades agropecuárias. No entanto, deve-se salientar que práticas de manejo do solo provocam alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que em alguns casos pode acarretar na perda de qualidade edáfica, além de afetar a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (Niero et al., 2010).

O bioma Caatinga ocupa 11 % do território nacional e destaca-se como o mais representativo do semiárido brasileiro (BRASIL, 2012). Entre as ordens de solo predominantes neste bioma estão os Latossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos, ocupando cerca de 67 % (Jacomine, 1996). Ainda de acordo com Jacomine (1996), os Vertissolos apresentam apenas 1 % de representatividade neste bioma.

Em virtude dessa reduzida representatividade, são encontrados poucos trabalhos científicos sobre Vertissolos, principalmente em relação às diferentes formas de manejo, bem como, comparações com curtos e longos períodos de cultivos e suas influências sobre as frações mais lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo (MOS) e sobre os atributos físicos.

Na região Nordeste do Brasil os sistemas de consórcio entre culturas anuais são bastante utilizados nas unidades de produção familiar como estratégia para otimização do uso da terra, proporcionando maior proteção ao solo e menor risco de perdas da produção, permitindo uma intensificação da exploração agrícola no tempo e no espaço (Sousa et al., 2015; Oliveira Filho et al., 2016). Entre as diversas culturas consorciadas encontram-se a fava (*Phaseolus lunatus* L.) o milho (*Zea mays* L.), e os feijões [(*Phaseolus vulgaris* L.) e (*Vigna unguiculata* L. Walp.)], onde em algumas situações após a colheita das culturas, realiza-se a inserção de bovinos nas áreas para se alimentarem dos restos culturais.

Entre as culturas consorciadas a fava apresenta grande destaque como uma leguminosa produtora de grãos comestíveis com alto valor protéico. A fava é cultivada mundialmente, tendo no Brasil a região Nordeste como principal produtora, com destaque para a Paraíba como o maior produtor do país com uma produção de 1.238 toneladas (IBGE, 2016). Apesar da Paraíba ser o maior produtor de fava do país, informações científicas relacionadas às frações da MOS e alterações nos atributos físicos do solo em áreas sob cultivos com esta cultura ainda são limitada.

Avaliando diferentes sistemas de usos do solo tendo como referência à condição de vegetação nativa dos biomas Caatinga, Cerrado e Amazônia, vários autores observaram maiores teores de MOS nas áreas de referência (Matoso et al., 2012; Loss et al., 2013; Barros et al., 2015; Silva et al., 2015). Alguns trabalhos também confirmaram que o uso agrícola promoveu alterações nos atributos físicos do solo em relação ao solo sob vegetação nativa no bioma Caatinga, Cerrado e Amazônia (Corrêa et al., 2010; Carvalho et al., 2015; Mantovanelli et al., 2015). Sendo assim, a compreensão dos efeitos do uso e manejo do solo levando em consideração o ambiente natural é essencial para o entendimento dos sistemas agrícolas em relação à sua conservação ou degradação.

Portanto, em virtude das limitações de estudos com avaliação de diferentes manejos em Vertissolos do bioma Caatinga e suas influências nas frações lábeis (MOL, C-MOL, N-MOL, CL, COT, NT) e recalcitrantes da MOS (ECS, ENS, C-FHU, C-FAH e C-FAF), bem como nos atributos físicos do solo em sistemas de consórcio com produção de fava, há a necessidade de estudos nessa linha de pesquisa visando suprir a carência de informações.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o impacto de diferentes usos do solo em frações lábeis e recalcitrantes da MOS e atributos físicos de Vertissolo, a médio e longo prazo em sistemas de consórcio com feijão-milho-fava.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos do bioma Caatinga

O bioma mais representativo do Semiárido Tropical do Brasil é a Caatinga. Considerado como um bioma exclusivamente brasileiro, ocupa 11 % do território nacional, cobrindo aproximadamente 70 % do Nordeste com cerca de 980.133 km² (SIGSAB, 2014), com as seguintes características principais: (i) precipitações pluviométricas muito irregulares, com médias anuais variando de 400 a 800 mm; (ii) temperaturas relativamente estáveis com médias anuais na faixa de 24 a 26 °C, podendo ser atenuadas nas áreas mais elevadas para uma média de 22 °C; e (iii) evaporação média anual elevada e situada próximo a 2000 mm (BRASIL, 1972; BRASIL, 1973; Silva et al., 1993; Jacomine, 1996; Sá; Silva, 2010).

Para o entendimento dos tipos de solos do bioma Caatinga, é importante destacar que os solos resultam da ação combinada dos seus fatores de formação, isto é, do material de origem (geologia), do clima, do relevo e da ação dos organismos em função do tempo. Em relação à geologia da região semiárida, Jacomine (1996) dividiu em três áreas conforme a natureza do material originário: áreas do Cristalino; áreas do Cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos; e áreas sedimentares. Conforme este autor, na base cristalina, os solos geralmente são pouco profundos (espessura de cerca de 0,60 m), com baixa capacidade de infiltração de água, alto escoamento superficial e reduzida drenagem natural; já nas bacias sedimentares, os solos geralmente são profundos (espessuras superiores a 2 m, podendo ultrapassar 6 m), com alta capacidade de infiltração de água, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural.

As principais ordens de solos da região semiárida foram definidas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), por Jacomine (1996), segundo o qual, em áreas de vegetação de Caatinga (hipo e hiperxerófila), as ordens mais predominantes são os Latossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos, ocupando um total de 67 %, (Figura 1).

A partir dos dados observados na Figura 1, constata-se que os Vertissolos possuem 1 % de ocorrência em todo o bioma Caatinga e, em virtude dessa reduzida representatividade, poucos trabalhos científicos são encontrados para essa ordem de solo, principalmente em relação às diferentes formas de manejo, bem como, avaliações com

curtos e longos períodos de cultivos e suas respectivas influências nos atributos físicos e nos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS).

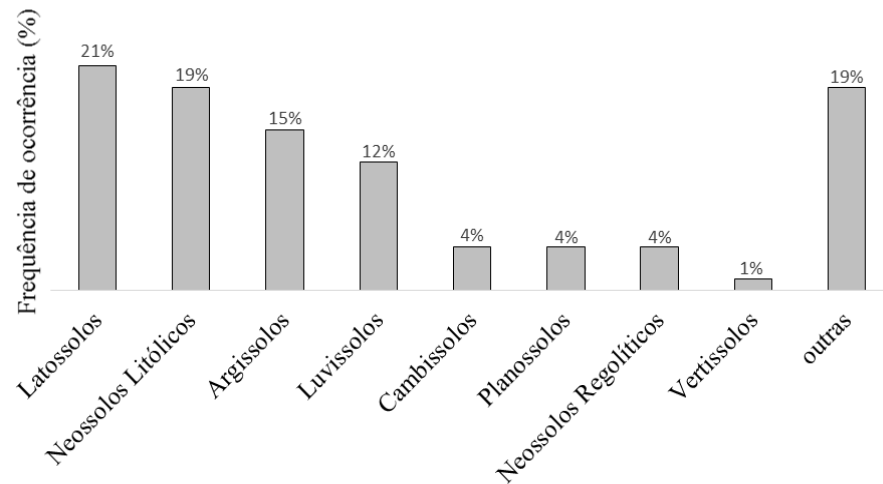


Figura 1. Frequência de ocorrência das principais ordens de solos do bioma Caatinga. (Fonte: Adaptado de Jacomine, 1996).

Portanto, faz-se necessária a realização de estudos enfocando estes aspectos em Vertissolos visando o enriquecimento científico e possíveis orientações para adoção de manejos mais sustentáveis.

2.2 Definição de Vertissolos e suas características no bioma Caatinga

Os Vertissolos abrangem aproximadamente 2,4 % ($3,35 \times 10^8$ hectares) da área global, e no Brasil ocupam $4,5 \times 10^6$ ha estando presentes em todas as regiões, representando $9,7 \times 10^5$ ha dos solos do bioma Caatinga (Jacomine et al., 1977; Dudal; Eswaran, 1988; Benedetti, 2008).

Vertissolo é um termo derivado do latim *vertere*, que significa inverter. Se refere à movimentação da massa do solo, na qual pode ocorrer a inversão dos materiais (FAO, 2014). Estes solos são constituídos por material mineral, possuem horizonte vértico e pequena variação textural no perfil, insuficiente para caracterizar um horizonte B textural (EMBRAPA, 2014). Possuem alto conteúdo de argila (>35 %), predominando as esmectíticas, e eventualmente outros tipos de argilominerais, tendo como limite mínimo de argila, 30 % no horizonte superficial (Soil Survey Staff, 1999; EMBRAPA, 2014). Com a variação do teor de água no perfil, a partir dos ciclos de umedecimento e secagem associados à mineralogia, esses solos passam a apresentar feições características, como exemplo, rachaduras, *slickensides*, agregados cuneiformes e/ou paralelepípedicos, e relevo *gilgai* (EMBRAPA, 2014).

Os Vertissolos apresentam alto potencial produtivo por possuírem boa fertilidade, característica esta que contribui positivamente para a produção de alimentos e energia em diversos agroecossistemas, inclusive no bioma Caatinga (FAO, 2014). Porém, suas propriedades físicas são as principais limitações, a exemplo da textura argilosa a muito argilosa (constituída em grande parte por argilominerais expansíveis), a dureza quando secos, a plasticidade e pegajosidade quando molhados, além da baixa permeabilidade e infiltração (Aydinalp, 2010; FAO, 2014). Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas características químicas e físicas de Vertissolos estudados no bioma Caatinga, segundo vários autores.

Tabela 1. Caracterização química de Vertissolos do bioma Caatinga.

Solo	pH (H ₂ O, 1:2,5)	P mg dm ⁻³	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺ -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	COT	Fonte
VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico	5,9	133,69	0,35	0,37	5,2	0	16,3	18,1	17,75	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Sódico típico	7,2	14,30	1,06	1,39	1,9	0	16,6	6,0	14,28	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Órtico típico	7,6	42,90	1,38	0,37	1,1	0	21,3	3,1	13,84	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Órtico solódico epirredóxico	5,4	2,55	0,58	0,42	6,6	0,05	14,9	8,8	13,24	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico	8,0	25,00	0,58	0,31	0	0	26,4	8,8	4,80	Menino (2013)
VERTISSOLO CROMADO	8,3	13,00	0,36	0,56	0	0	46,5	13,2	4,10	Corrêa et al. (2003)

M.O. = matéria orgânica; COT = carbono orgânico total.

Tabela 2. Caracterização física de Vertissolos do bioma Caatinga.

Solo	Areia -----kg dm ⁻³ -----	Silte	Argila	Ds g cm ⁻³	Pt m ³ m ⁻³	CC -----kg kg ⁻¹ -----	PMP	AD	Fonte
VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico	258	242	500	1,67	0,37	-	-	-	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO SÓDICO TÍPICO	254	294	452	1,72	0,36	-	-	-	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Órtico típico	251	157	592	1,65	0,41	-	-	-	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Órtico solódico epirredóxico	303	199	528	1,61	0,39	-	-	-	Lima (2014)
VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico	50,8	244,2	705	1,09	0,59	35,82	26,59	9,23	Menino (2013)
VERTISSOLO CROMADO	160	220	620	1,93	0,31	-	-	-	Corrêa et al. (2003)

VERTISSOLO HÁPLICO	409	331	260	-	-	-	-	-	Coelho (2012)
-----------------------	-----	-----	-----	---	---	---	---	---	------------------

Ds = densidade do solo; Pt = porosidade total; CC = capacidade de campo; PMP = ponto de murcha permanente; AD = água disponível.

2.3 Matéria orgânica do solo e seus compartimentos

A matéria orgânica do solo (MOS) apresenta composição muito abrangente podendo ser entendida como a fração que compreende todos os organismos vivos e seus restos que se encontram no solo, nos mais variados graus de decomposição (Silva; Mendonça, 2007). É o componente do solo mais complexo, dinâmico e reativo, além de contribuir para o crescimento e desenvolvimento das plantas através do seu efeito sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Tabatabai, 1996).

A MOS tem importância direta ou indireta nas atividades agrícolas, principalmente em solos tropicais, caracterizados por elevado grau de intemperismo. Nessas condições, entre outras contribuições, a MOS exerce influência nas características químicas (i.e., como a elevação da CTC por meio das substâncias húmicas), onde a fração húmica apresenta em torno de 400 - 800 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Outras propriedades influenciadas incluem o fornecimento de nutrientes como o nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) para as plantas, e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, já a principal propriedade física influenciada é a agregação, que atua indiretamente sobre a aeração, porosidade, densidade do solo, retenção de água, infiltração de água, entre outras, que são fundamentais para a capacidade produtiva do solo (Bayer; Mielniczuk, 2008).

Na biologia do solo a MOS atua como fonte de C, energia e nutrientes para os organismos quimioheterotróficos e, através da mineralização do N e S orgânicos, atua como fonte de energia aos microrganismos quimioautotóxicos (Bayer; Mielniczuk, 2008).

Os valores da MOS são resultantes da deposição de material orgânico (via serrapilheira ou excreta animal), incorporação ao solo, decomposição pelos meso, macro e microrganismos e, conseqüentemente, da mineralização dos compostos (Nascimento et al., 2010), sendo que as condições do ambiente, manejo do solo e a metodologia utilizada para quantificação são fatores que influenciam os teores da MOS.

Diversos modelos conceituais foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas para subdividir a matéria orgânica em diferentes compartimentos. No modelo mais genérico, apresentado por Theng (1987), citado por Silva; Mendonça (2007), a MOS pode ser dividida em dois compartimentos: matéria orgânica viva e matéria orgânica morta ou não-vivente. A fração viva é composta por raízes (5 - 10 %), macrorganismos (15 - 30 %) e microrganismos (60 - 80 %), ultrapassando raramente 4 % do COT do solo. Já a fração

morta contribui, em média, com 98 % do C em formas orgânicas, sendo subdividida em matéria macrororgânica (3 - 20 %) ou fração leve que consiste de resíduos de plantas e animais em decomposição e húmus, que consistem de substâncias húmicas (70 %) e não húmicas (30 %).

A partir das subdivisões nos compartimentos da MOS é possível estudá-los e sugerir os indicadores mais ou menos sensíveis em relação ao tipo de uso e manejo empregado no solo (Pulronik, 2009), sendo essa identificação em relação à maior ou menor sensibilidade necessária para os Vertissolos do bioma Caatinga. Outras metodologias utilizadas para separação da MOS ocorrem a partir dos fracionamentos químico e físico que serão abordados nos subtópicos a seguir.

2.3.1 Métodos para acessar os compartimentos da MOS e o Nitrogênio do solo

Em virtude da complexidade da MOS, diversas técnicas podem ser utilizadas para quantificar os vários compartimentos deste componente do solo. A seguir, serão descritas algumas técnicas empregadas no estudo da dinâmica da MOS que estão diretamente relacionadas à presente pesquisa: Carbono orgânico total, estoque de carbono, carbono lábil, nitrogênio total, estoque de nitrogênio, matéria orgânica leve e carbono das substâncias húmicas.

a) Carbono orgânico total, estoque de carbono e carbono lábil

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída basicamente por C, H, O, N, P e S, sendo que o C compreende cerca de 58 % da MOS (Stevenson; Cole, 1999). Devido à grande participação do C na constituição dos materiais orgânicos, estudos sobre a caracterização, dinâmica e funções da MOS são realizados, principalmente, por meio deste elemento químico.

Entre os fatores abióticos ligados à retenção ou acúmulo de C no solo estão: clima, mecânica do solo, manejo químico, e capacidade do solo de proteger a MOS (Bayer; Mielniczuk, 2008). Silva et al. (2006) destacaram que os compartimentos bióticos como a fauna edáfica (micro, meso e macro) são importantes reservatórios de MOS. Entretanto, os principais processos que influenciam nas perdas de C no solo estão ligados à lixiviação, erosão, volatilização e decomposição aeróbia ou anaeróbia (Lal, 1997).

Entre as várias metodologias de quantificação do carbono no solo, o carbono orgânico total (COT) compreende as diversas formas desse elemento químico e contribui

para as discussões sobre os fluxos do carbono a partir dos diferentes manejos utilizados nos solos (Ferreira et al., 2016; Prado et al., 2016; Oliveira Filho et al., 2017; Freitas et al., 2017), sendo utilizado também para o cálculo do estoque de carbono (Veldkamp, 1994).

Em estudo com Vertissolos da região Nordeste, Lima (2014) encontrou valores médios do COT de $14,77 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto Corrêa et al. (2003) encontraram valores para COT de 6,2 e $4,1 \text{ g kg}^{-1}$ em Vertissolos nas Várzeas de Sousa, no estado da Paraíba, sendo estes baixos valores atribuídos pelos autores à vegetação predominante na área (Caatinga hiper e hipoxerófila), caracterizada por baixa densidade populacional de espécies e baixa produção de massa verde.

Atualmente, diversos estudos demonstram que muitas variáveis podem influenciar os estoques de carbono no solo (ECS), dentre as quais pode-se citar: manejo do solo, textura do solo, relevo e déficit hídrico (Gatto et al., 2010; Rosendo e Rosa et al., 2012; Rosset et al., 2014), respectivamente. Portanto, o ECS é influenciado por diversos fatores que devem ser levados em consideração, no sentido de identificar qual ou quais fatores contribuem para melhorar, controlar e se correlacionar com essa variável ambiental.

Áreas com predomínio de vegetação nativa possuem estoque de biomassa vegetal maiores do que locais com cobertura de pastagens abertas ou áreas plantadas com culturas de ciclo curto, tendo padrão semelhante de carbono estocado no solo (Sampaio; Costa, 2011). Sendo assim, é importante analisar os solos do semiárido brasileiro e verificar a capacidade dos mesmos em estocar carbono e nitrogênio (Giongo et al., 2011).

As frações da MOS, especialmente as lábeis, são consideradas importantes fontes de C (von Lützwow et al., 2007) e respondem mais rapidamente às interferências antrópicas quando comparadas com os demais atributos do solo ou mesmo com COT, o que as torna excelentes indicadores de qualidade do solo (Salvo et al., 2010). A fração lábil da MOS apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo (Silva; Mendonça, 2007).

O Carbono lábil é uma varável que vem sendo muito utilizada em diversas pesquisas para auxiliar na compreensão da dinâmica do C no ambiente edáfico, tendo em vista que apresenta alta taxa de decomposição no solo em curto tempo (Leite et al., 2015; Faccin, 2016). Avaliando o CL no estado do Piauí em um Argissolo na Caatinga, Leite et al. (2015) observaram que nas camadas de 0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m, os teores de CL variaram de 0,1 a $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ e na camada de 0,10 - 0,20 m, de 0,1 a $0,9 \text{ g kg}^{-1}$. Sales et al. (2017) avaliando o CL observaram os maiores valores em área com vegetação nativa de

Caatinga e com preparo do solo conservacionista (2,95 e 2,89 g kg⁻¹), respectivamente e menor valor nas áreas com preparo do solo convencional (1,73 g kg⁻¹).

b) Nitrogênio total e Estoque de nitrogênio

O nitrogênio (N) ocupa posição de destaque entre os macronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, apresentando-se como constituinte de vários compostos, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila, sendo sua maior fração encontrada na forma orgânica do solo, onde mais de 95 %, está presente na MOS em diferentes moléculas e com variados graus de recalcitrância, ou como parte da biomassa de organismos vivos (Cantarella, 2007).

Para ser absorvido pelas plantas, o N orgânico presente na matéria orgânica do solo deve ser antes transformado para a forma mineral, ocorrendo nesse processo a mineralização, ou seja, a conversão do N orgânico para as formas minerais, sendo elas, a amoniacal (NH₄⁺) e, posteriormente, nítrica (NO₃⁻), de modo que esta última forma é predominante no ambiente edáfico em condições aeróbias (Cantarella, 2007).

Esse processo de transformação é realizado por diversos microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos como fonte de carbono, nitrogênio e energia (Moreira; Siqueira, 2002). As condições ótimas para mineralização do N orgânico do solo são aquelas que favorecem a atividade dos microrganismos: pH de 6,0 a 7,0 condições aeróbicas, umidade em torno de 50 a 70 % da capacidade de retenção de água pelo solo e temperatura entre 40 e 60 °C (Moreira; Siqueira, 2002).

Em solos sob clima tropical, a concentração de N total pode variar entre 0,02 e 0,4 %, podendo, em casos extremos de solos orgânicos, chegar a até 2 %, conforme mencionado por Stevenson (1994). Diversas pesquisas vêm utilizando o N total para contribuir nas discussões quanto aos diferentes sistemas de uso da terra e sua relação com o comportamento da MOS (Maia et al., 2008; Dantas et al., 2012; Loss et al., 2014; Soares et al., 2015; Barros et al., 2015).

Pesquisas direcionadas à determinação do ECS e estoque de nitrogênio (ENS) ainda são incipientes no bioma Caatinga. O ENS é controlado especialmente pelas condições climáticas e pela vegetação (Silva, 2015). Em sistemas agrícolas, os ECS e ENS são influenciados pelo manejo adotado, podendo-se citar como principais fatores contribuintes para reduções, o intenso revolvimento e as perdas por erosão que permitem aumento da atividade microbiana pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos e suas

enzimas (Souza et al., 2009). Em pesquisa realizada no semiárido brasileiro, Assis et al. (2010) considerando diferentes práticas de manejo em agroecossistemas irrigados encontraram que, independentemente do sistema de manejo, os estoques de C e N são reduzidos pelo cultivo do solo.

c) Matéria orgânica leve

As frações da MOS podem ser divididas em lábil (MOL), estável e inerte (Strosser, 2010). Uma técnica usada para estudar frações ou compartimentos da matéria orgânica é o chamado fracionamento físico que, de acordo com Roscoe & Machado (2002), pode ser classificado em dois tipos de métodos: os densimétricos e os granulométricos. Para fins desse estudo será enfatizado o método densimétrico.

O método de fracionamento densimétrico baseia-se na separação de frações orgânicas com base na densidade das partículas, obtendo-se a fração leve (FL), que corresponde à MOS não associada aos minerais, e a fração pesada (FP), a qual é associada aos minerais (Roscoe; Machado, 2002; Conceição et al., 2008). A FL pode ser separada em FL-livre ou interagregados (FLL) e FL-oclusa ou intragregados (FLO).

Outras formas de fracionamento físico são feitas por meio de quantificações de frações leves obtidas através de flotação do material orgânico em líquido de densidade variando de 1,6 a 2,0 kg L⁻¹ (Sohi et al., 2001) ou até mesmo em água (Anderson; Ingran, 1989).

A matéria orgânica leve (MOL ou FL) é de rápida decomposição, sensível às alterações de manejo do solo, como plantio, adubação e rotação de culturas, e é considerada como um bom indicador da qualidade do solo (Bayer et al., 2006; Strosser, 2010). Quanto as subdivisões da fração leve citadas anteriormente, alguns estudos mostraram, por meio de espectroscopia e microscopia eletrônica diferenças quanto à composição estrutural, o que resulta em diferentes níveis de recalcitrância (Wagai et al., 2009).

Muitas vezes, somente os estoques de carbono podem não ser sensíveis às variações que ocorrem em curto período de tempo, sendo frequente a utilização das frações mais lábeis da matéria orgânica a fim de discriminar melhor o manejo adotado (Bayer et al., 2004; Souza et al., 2009; Conte et al., 2011).

Portanto, entender como essas frações se comportam no ambiente edáfico a partir de um determinado sistema de cultivo e como elas estão relacionadas às mudanças da disponibilidade de nutrientes para plantas representa uma ferramenta importante para a adoção de práticas mais sustentáveis nas atividades agropecuárias.

d) Carbono das substâncias húmicas

As substâncias húmicas (SH) são misturas heterogêneas de polieletrólitos originadas pela degradação biológica de resíduos animais e vegetais e pela atividade de microrganismos (Stevenson, 1994; Rocha et al., 2000; Rosa et al., 2001; Rossi et al., 2011). Possuem alto teor de grupos funcionais contendo oxigênio na forma de carboxilas, hidroxilas fenólicas e carbonilas (Jordão et al., 1993; Sargentini Júnior et al., 2001; Rossi et al., 2011).

As SH podem ser classificadas segundo a sua solubilidade e reatividade o que, de certo modo, depende do tamanho de suas moléculas (Tabela 3). São classificadas em huminas, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. A humina é a fração insolúvel tanto no meio alcalino como no meio ácido; o ácido húmico é a fração escura extraída geralmente em meio alcalino sendo insolúvel em meio ácido diluído; e os ácidos fúlvicos são frações coloridas alcalino-solúveis que se mantêm em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação e possuem um maior conteúdo de grupos funcionais ácidos (Guerra et al., 2008).

Tabela 3. Algumas propriedades químicas importantes das diferentes frações húmicas.

Propriedades	Ácidos fúlvicos	Ácidos húmicos	Humina
Peso Molecular	640 - 5000	10000 - 100000	> 100000
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	~ 1400	~500	< 500

Fonte: Adaptado de Benites et al. (2003).

Dentre as substâncias húmicas, a humina geralmente tem predominância na fração orgânica de solos tropicais, pois as frações húmicas menos evoluídas (ácidos fúlvicos e húmicos) tendem a ser oxidadas, enquanto as mais estáveis (ácidos húmicos e humina) se acumulam (Canellas; Santos, 2005). Esta fração é menos propensa a mudanças, mesmo em sistemas de manejo diferentes, devido a sua composição mais recalcitrante e a sua insolubilidade (Primo et al., 2011). Loss et al. (2014) encontraram em um Vertissolo maior predominância da fração humina nas camadas de 0 - 5 e 5 - 10 cm.

A maior parte do carbono orgânico da superfície do planeta encontra-se na matéria orgânica humificada, ou seja, nas substâncias húmicas (Oliveira, 2011). A maioria dos

estudos concentra-se no C orgânico total (COT) e N total (NT), todavia, pequenas alterações nos totais de C e N são dificilmente detectáveis em curto prazo, em parte porque a variabilidade natural do solo é elevada. Assim, o declínio ou acréscimo de C, nas frações da MOS, pode permitir a mensuração do grau de preservação dos ecossistemas naturais e os possíveis impactos causados em sistemas agrícolas com diferentes tipos de manejo do solo (Silva et al., 2011).

Quanto à natureza da matéria orgânica, poucas são as informações sobre distribuição das substâncias húmicas em solos da região Nordeste do Brasil (Primo et al., 2011), bem como, informações sobre o carbono das substâncias húmicas no bioma Caatinga.

2.4 Atributos físicos do solo

Do ponto de vista físico, o solo é considerado um sistema trifásico muito heterogêneo, e as três fases são representadas da seguinte maneira: a fase sólida constitui a matriz do solo; a fase líquida consiste na água do solo, na qual existem substâncias dissolvidas, chamada de solução do solo, e a fase gasosa que é a atmosfera do solo (Ferreira, 2010).

Em virtude da complexidade dos atributos físicos do solo, diversas técnicas podem ser utilizadas para quantificá-los. Em seguida, serão descritos alguns atributos físicos que estão diretamente relacionados à presente pesquisa: densidade do solo, porosidade, resistência à penetração e água disponível.

a) Densidade do solo

Entre as propriedades físicas mais avaliadas está a densidade do solo (D_s), que fornece indicações a respeito do estado de compactação do solo e é calculada através da razão: massa do solo seco por unidade de volume (Reichardt; Timm, 2004; Donagema et al., 2011). Deve-se destacar que esta propriedade é importante por estar interligada à várias funções no solo, tais como capacidade de retenção de água, infiltração, aeração e facilidade para a germinação de sementes e crescimento das raízes (Matsinhe, 2016).

Em razão da D_s não ser uma propriedade constante, por que muda de acordo com a condição estrutural do solo, esta varia significativamente ao longo do tempo em resposta a mudanças na cobertura e manejo do solo (Batey, 2009), sendo de uma maneira geral, aumentada com a profundidade do perfil em virtude das pressões exercidas pelas camadas

superiores sobre as subjacentes que provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade (Andrade et al., 1998).

Resultados de D_s foram encontrados por Silva et al. (2015), os quais constataram valores médios significativamente maiores em áreas cultivadas, comparadas com o solo sob mata nativa no bioma Caatinga. Silva et al. (2013) avaliando a D_s no bioma Caatinga observaram melhores resultados na área sob mata nativa secundária, sendo esta variável menor em todas as profundidades quando comparado às demais áreas em estudo (cultivo de sabiá com 7 anos e pastagem com *Brachiaria decumbens* com 15 anos), resultado oriundo, segundo os autores, da ausência de pisoteio e do maior teor de C.

b) Porosidade do solo

A porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado por ar e água, de modo que este volume resulta na porosidade total, sendo subdividida em macro e microporosidade (Curi et al., 1993). De acordo com Reinert e Reichert (2006), a porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos e regula uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como a retenção e fluxo de água e ar.

No solo, entre as partículas maiores como a areia, predominam poros grandes (macroporos); já entre as partículas pequenas como a argila, predominam os poros pequenos (microporos) (Vieira et al., 1988).

Avaliando o efeito de diferentes usos agrícolas (ciclo curto, fruticultura, pastagem, área descartadas e vegetação nativa) nas propriedades físicas de solos de um perímetro irrigado do semiárido da região Nordeste, Corrêa et al. (2010) observaram que os valores de porosidade total foram maiores na superfície que em subsuperfície no solo sob vegetação de ciclo curto, fruticultura, pastagem e área descartada, resultado obtido provavelmente devido à prática de aração e gradagem e pelo maior acúmulo de MOS.

O aumento na densidade do solo, seguido pelo aumento da resistência à penetração pelos implementos agrícolas, causou considerável redução na macroporosidade de um Latossolo Vermelho Distrófico, provavelmente pelo efeito do preparo do solo no decréscimo dos macroporos e redução do conteúdo da MOS (Tavares Filho et al., 2010).

A macroporosidade é diretamente resultante da organização das partículas do solo e representa um dos melhores parâmetros para detectar a degradação da estrutura do solo pelo manejo, pois afeta a difusão de oxigênio, a drenagem da água e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas no perfil do solo (Baquero et al., 2012).

c) Resistência à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionada com o crescimento das plantas e que pode ser modificada pelos sistemas de preparo do solo (Tormena et al., 2002). De acordo com esta afirmação, Bavoso et al. (2010) constataram que as alterações estruturais no ambiente edáfico devido às diferentes formas de uso e preparo do solo promovem alterações na resistência à penetração.

A RP simula a força que as raízes das plantas podem exercer para o seu desenvolvimento, ou seja, a facilidade ou não com que as raízes penetram no solo sendo influenciada pela densidade, umidade, textura e estrutura do solo (Carvalho et al., 2012; Mion et al., 2012). A determinação da RP como indicador da compactação do solo pode ser realizada por meio de penetrômetros (Araújo et al., 2013). Mome Filho et al. (2014) destacam que existe uma relação inversa entre a RP e o teor de água do ambiente edáfico.

Além da RP expressar em valores a capacidade do desenvolvimento radicular, estudos indicam que este atributo físico apresenta influência direta no crescimento da parte aérea das plantas e na partição de carboidratos entre a raiz e a parte aérea (Masle; Passioura, 1987; Masle; Farquhar, 1988).

Coelho et al. (2012), avaliando a RP em Vertissolo do bioma Caatinga constataram aumento dos valores à medida que se aprofundaram as camadas, atingindo nas camadas mais profundas (0,30 - 0,40 m), níveis acima de 3.000 kPa em zonas específicas da área. Os autores salientaram que, por meio desses resultados, é possível monitorar a compactação, que se mostrou crítica em determinados pontos, e realizar o manejo do solo em pontos identificados, dependendo do nível de compactação.

d) Água disponível às plantas

Dentre as características hídricas utilizadas para a avaliação de diferentes manejos de solo adotados, está a água disponível às plantas, considerada como intervalo de umidade no qual a mesma está retida pela matriz do solo e pode ser absorvida pelas plantas (Andrade et al., 1998). O limite superior desse intervalo é considerado como capacidade de campo (CC), aceito conceitualmente como o máximo conteúdo de água retido pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado, já o limite inferior é representado pelo ponto de

murcha permanente (PMP) que refere-se ao teor de água abaixo do qual a planta não consegue absorver água pela forte retenção matricial (Veihmeyer; Hendrickson, 1931).

Avaliando a CC nas tensões (-0,01MPa a -0,033MPa) e o PMP (-1,5 MPa) em um Vertissolo Háplico Carbonático do bioma Caatinga, Diniz Neto et al. (2013), encontraram valores de 257; 191 e 127 g kg⁻¹, respectivamente, onde levando em consideração esses dados de disponibilidade hídrica os valores de água disponível foram de 130 e 64 g kg⁻¹ quando considerado os dois pontos de tensões da CC supracitados. Em avaliação de Vertissolo sob sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo Caatinga (SMCa), Menino (2013) encontrou valores, respectivamente, de CC, PMP e AD para a camada de 0-20 cm, de 0,476; 0,289 e 0,186 m³ m⁻³ para o sistema de manejo convencional e 0,416; 0,273 e 0,143 m³ m⁻³ para SMO e de 0,324; 0,227 e 0,097 m³ m⁻³ para o sistema de manejo na Caatinga.

2.5 A cultura da fava (*Phaseolus lunatus* L.)

A cultura da fava está entre as leguminosas produtoras de grãos de importância mundial e é explorada comercialmente na América do Norte, América do Sul, Europa, leste e oeste da África e sudeste da Ásia (Lopes et al., 2010). Sendo uma leguminosa a fava contribui para segurança alimentar mundial, haja vista sua adequação em diferentes ambientes sobretudo aqueles com características áridas, por ser fonte de proteínas e minerais (Fe, Ca, Mo), bem como por apresentar baixo impacto no desperdício alimentar, devido a capacidade de armazenamento dos grãos secos durante longos períodos sem perder o seu valor nutricional (FAO, 2016).

Serrano-Serrano et al. (2010) atribuem a origem da fava como andina, possuindo três grupos genéticos distribuídos geograficamente, sendo um andino e dois mesoamericanos. No Nordeste do Brasil é conhecida como fava, entretanto, também é denominada por outros nomes como feijão-fava, feijão-de-lima ou fava-de-lima (Santos et al., 2002).

A fava é a segunda espécie mais importante do gênero *Phaseolus*, sendo considerada alternativa alimentar e de renda (Chel-Guerrero et al., 2012; Santos et al., 2008). A sua importância socioeconômica se deve principalmente à sua rusticidade em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, o que possibilita prolongar a colheita em período seco (Azevedo et al., 2003), sendo colhida após a retirada do feijão e do milho.

Devido ao seu teor de proteína e demais características nutricionais, este grão pode ser utilizado na alimentação humana em substituição ao feijão comum (*Phaseolus vulgaris*

L.) que apresenta menor adaptação às condições climáticas adversas, tais como altas temperaturas e déficit hídrico (Vieira, 1992). A fava possui valor nutricional semelhante ao do feijão-comum. Seus grãos secos contêm aproximadamente 63 % de carboidratos, 25 % de proteína e 6 % de fibras (Guimarães, 2005). No entanto, seus grãos têm teores de proteína superiores aos relatados para o feijão-comum (Azevedo et al., 2003), fornecendo todos os aminoácidos essenciais à dieta alimentar humana (Chel-Guerrero et al., 2012).

O consumo da fava no Brasil ocorre principalmente na forma de grãos verdes cozidos, também consumidos como grãos secos cozidos (Santos et al., 2002). Segundo dados do IBGE (2016), o estado da Paraíba se destaca como um dos maiores produtores nacionais, ocupando o primeiro lugar no ranking em 2016.

Uma característica do cultivo da fava é o consórcio com outras culturas (mamona, mandioca e milho) ou espécies arbóreas (Lopes et al., 2010), sendo estas plantas utilizadas como suporte ou tutor para o seu desenvolvimento vegetativo. Apesar de existirem cultivares que podem ser colhidas aos 90 dias após a sementeira, com maturação uniforme, a maioria das variedades é de ciclo tardio, mostrando maturação desuniforme e necessitando de mais de uma colheita (Rachie et al., 1980).

Seu cultivo apresenta melhor adequação em solos areno-argilosos, férteis e bem drenados, tendo bom rendimento com pH entre 5,6 e 6,8 (Vieira, 1992). Já a sementeira é realizada por meio de sementeira direta, em covas espaçadas de 1,00 m × 0,50 m, realizando-se um desbaste quinze dias após a emergência, deixando-se duas plantas por cova (Filgueira, 2000). A profundidade de sementeira varia de 2,5 a 5,0 cm, a depender de cada espécie do consórcio, sendo que, quando adequada proporciona germinação e emergência de plântulas uniformes permitindo bons resultados ao desenvolvimento da cultura.

Além do consumo humano, esta leguminosa é usada como alimento animal, adubo verde e como cultura de cobertura para proteger o solo da erosão (Silva et al., 2010). Uma outra possibilidade desta cultura é a associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, que são capazes de fixar nitrogênio atmosférico e fornecê-lo a cultura, o que pode substituir, parcialmente, a adubação nitrogenada, resultando em benefícios ao agricultor (Antunes, 2010). Entretanto, há uma carência de informações sobre o efetivo potencial de fixação de nitrogênio por parte das variedades crioulas geralmente cultivadas pela agricultura familiar.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Cidade: CAB International, 1989. 171p.

ANDRADE, C. L. T. et al. Parâmetros de solo água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, v.27, 1998, Poços de Caldas, Mg. **Anais...** Manejo da Irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, p.1-132, 1998.

ANTUNES, J. E. L. **Diversidade genética e eficiência simbiótica de isolados de rizóbios nativos em feijão fava (*Phaseolus lunatus* L.)**. 2010. 109p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

ARAÚJO, A. O. et al. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.754-762, 2013. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v37n3/22.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2017.

ASSIS, C. P. et al. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.138, p.74-82, June. 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880910001015>>. Acesso em: 08 set. 2017.

AZEVEDO, J. N.; FRANCO, L. J. D.; ARAÚJO, R. O. C. Composição química de sete variedades de feijão-fava. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2003. 4p. (**Comunicado Técnico, 152**).

AYDINALP, C. Some important properties and classification of Vertisols under Mediterranean climate. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, n.6, p.449-452, mar.2010. Disponível em:<http://www.academicjournals.org/article/article1380792882_Aydinalp.pdf>. Acesso em: 07 set. 2017

BAQUERO, J. E. et al. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.63-70, Jan./Feb. 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n1/v36n1a07.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

BATEY, T. Soil compaction and soil management-A review. **Soil Use and Management**, v.25, p.335-345, dez. 2009. Disponível em:<http://barchampro.co.uk/sites/default/files/batey_2009_soil_compaction.pdf>. Acesso em: 07 set. 2017.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 227-234, 2010. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n1/a23v34n1>>. Acesso em: 09 set. 2017.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n7/21310.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2017.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Till. Res.**, v.86, p.237-245, fev. 2006. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>. Acesso em: 09 set. 2017.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: Sudene, 1972. v.2, 354 p. (**Boletim Técnico, 26**).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: Sudene, 1973. v.1, 359 p. (**Boletim Técnico, 26**).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Bioma Caatinga**. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 12 Agosto. 2017.

BENEDETTI, M. et al. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2591-2600, nov./dez. 2008.

BARROS, J. D. S. CHAVES, L. H. G. PEREIRA, W. E. Carbon and nitrogen stocks under different management systems in the Paraíba “Sertão”. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.13, p.130-136, Jan. 2015.

BENITES, V. M., MADARI, B., MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixocusto. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 2003 7p. Embrapa solos. (**Comunicado Técnico, 16**).

CANELLAS, L. P. Et al. Modelos estruturais de substâncias húmicas. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed) **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos de Goytacazes: UENF, p.13. 2005.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.375-470, 2007.

CARVALHO, J. J. et al. Avaliação da resistência do solo sob dois sistemas de manejo: plantio direto e convencional. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.22, n.2, p. 1-11. dez. 2012. Disponível em:<http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/2iWyap3vRUfb9KU_2013-5-17-18-15-18.pdf>. Acesso em: 09 set. 2017.

CARVALHO, R. P. et al. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, v.28, n.1, p.148-159, jan./mar. 2015. Disponível em:<<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3658/pdf/225>>. Acesso em: 09 set. 2017.

CHEL-GUERRERO, L. et al. Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) protein hydrolysates with ACE-I inhibitory activity. **Food and Nutrition Sciences**, v.3, p.511-521, 2012.

COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Vertissolo cultivado com manga no Perímetro Irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3. p.755-763, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n3/07.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.541-449, 2008. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/09.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1301-1309, out. 2011.

CORRÊA, M. M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27 n.2, p.311-324, 2003. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16232.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

CORRÊA, R. M. et al. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4. p.358-365, 2010.

CURI, N. et al. **Vocabulário da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 90p. 1993.

DANTAS, D. D. N. et al. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.18-26, 2012.

DINIZ NETO, M. A. et al. Disponibilidade hídrica de dois solos e diferentes idades de corte no comportamento agrônomico da Jureminha. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.24-33, 2013.

DONAGEMA, G. K. et al. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

DUDAL, R.; ESWARAN. H. Distribution, properties and classification of Vertisols. In: WILDING, L. P.; PUENTES, R. (Eds). **Vertisols: their distribution, properties, classification and management**. Texas: Texas A & M University Printing Center, College Station. p. 1-22. 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4 ed. Brasília: EMBRAPA. 266p. 2014.

FACCIN, F. C. et al. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.12, p.2000-2009, dez. 2016.

FAO. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 191p. (World Soil Resources Reports 106).

FAO.2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **As leguminosas contribuem para a segurança alimentar**. Disponível em:<http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/As_leguminosas_contribuem_para_a_Seguran%C3%A7a_Alimentar.pdf>. Acesso em: 10 set. 2017.

FERREIRA, E. A. B. et al. Carbon stocks in compartments of soil organic matter 31 years after substitution of native Cerrado vegetation by agroecosystems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-15, out. 2016. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v40/0100-0683-rbcs-18069657rbcs20150059.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2017.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. v. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FREITAS, R. C. A. et al. Soil organic matter quality in *Jatropha* spp. plantations in different edaphoclimatic conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, 1-18, out. 2017. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v41/0100-0683-rbcs-18069657rbcs20160218.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2017.

GATTO, A. et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1069-1079, 2010. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/07.pdf>>. Acesso em 7 out. 2017.

GIONGO, V. et al. Soil organic carbon in the Brazilian semi-arid tropics. **Dynamic soil, Dynamic plant**, Special issue 1, p.12-20, 2011.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.;

CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.19-26.

GUIMARÃES, W. N. R. **Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-lima (*Phaseolus lunatus* L., Fabaceae) da coleção de germoplasma do Departamento de Agronomia da UFRPE**. 2005, 73p. Dissertação (Mestrado em melhoramento genético de plantas). Recife-PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, vol.43, p.1-59, 2016.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, SBCS-UFV, 1996.

JACOMINE, P. K. T. et al. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia. Recife: EMBRAPA – SNLCS, 1977. v.1. 735 p. (**Boletim Técnico, 52**).

JORDÃO, C. P. Et al. Adsorção de cátions metálicos em ácidos húmicos de Latossolo. **Química Nova**, v.16, n.6, p.517-520, 1993.

LAL, R. Soil processes and greenhouse effect. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 199-212. (Advances in Soil Science, 9).

LEITE, F. C. et al. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4 p.394-401, 2015. Disponível em:<<http://www.agriambi.com.br/revista/v19n04/v19n04a15.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2017.

LIMA, G. K. **Caracterização de Vertissolos do Nordeste brasileiro**. 2014, 101p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Recife, PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAUJO, A. S. F. **A cultura do feijão-fava no meio-norte do Brasil**. Teresina: EDUFPI, p. 272, 2010.

LOSS, A. et al. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.5, p.2153-2168, set./out. 2013.

LOSS, A. et al. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.1, p.01-10, jan./mar. 2014.

LÜTZOW, M. et al. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology Biochemistry**, v.39, n.9, p.2183-2207, 2007. Disponível em:<<https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.007>>. Acesso em: 11 set. 2017.

MAIA, S. M. F. Frações de nitrogênio em luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1,

p.381-392, 2008. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/36.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2017.

MANTOVANELLI, B. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.58, n.2, p.122-130, abr./jun. 2015.

MASLE, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of soil strength on the relation of water use-efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings. **Plant Physiology**, v.86, n.1, p.32-38, jan. 1988.

MASLE, J.; PASSIOURA, J. B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.14, p.643-656, 1987.

MATOSO, S. C. G. et al. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v.42, n.2 p.231-240, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/aa/v42n2/v42n2a08.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.

MATSINHE, D. Z. **Uso de tubo de PVC para determinação da densidade do solo visando o manejo da irrigação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Viçosa, MG, 2016.

MENINO, I. B. **Indicadores físicos, químicos e biológicos de Vertissolos no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e suas implicações econômicas, sociais e ambientais na região**. 2013. 132p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Campina Grande, PB, 2013.

MION, R. L. et al. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.6, p.2057-2066, nov./dez. 2012. Disponível em:<www.redalyc.org/pdf/4457/445744116003.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p.

MOME FILHO, E.A. et al. Compared performance of penetrometers and effect of soil water content on penetration resistance measurements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.3, p.744-54, mai./jun. 2014.

NASCIMENTO, P. C. et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.339-348, 2010. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a07>>. Acesso em: 13 set. 2017.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p.1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, E. A. B. **Avaliação de método alternativo para extração e fracionamento de substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos**. 2011. 53p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Campinas, SP, 2011.

OLIVEIRA FILHO, A. F. Eficiência agrônômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v.47, n.4, p.729-736, out-dez, 2016.

OLIVEIRA FILHO, J. S.; PEREIRA, M. G.; AQUINO, B. F. Organic matter labile fractions and carbon stocks in a typic quartzipsamment cultivated with sugarcane harvested without burning. **Revista Caatinga**, v.30, n.1, p.24-31, jan./mar. 2017. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v30n1/1983-2125-rcaat-30-01-00024.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

PRADO, M. R. V. et al. Organic carbon and total nitrogen in the densimetric fractions of organic matter under different soil management. **Revista Caatinga**, v.29, n.2, p.263-273, abr./ jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v29n2/1983-2125-rcaat-29-02-00263.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v.7, n.5, p.1-11, 2011.

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36 p. (Embrapa Cerrados. **Documentos**, 264).

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RACHIE, K. O.; SONG, L.; LYMAN, J. Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) and potential in the tropics. In: SUMMERFIELD, R. J.; BUNTING, A.H. (Ed.). **Advances in legume science**. Kew: Royal Botanic Garden, 1980. p.375-381.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.

ROCHA, J.C.et al. Reduction of mercury (II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - A possible process of the mercury cycle in Brazil. **Talanta**, v.53, p.551-559, 2000.

ROSA, A. H.; ROCHA, J. C.; SARGENTINI JUNIOR, E. A flow procedure for extraction and fractionation of the humic substances from soils. In: SWIFT, R.S.; SPARK, K.M., (Ed.). **Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters**. New York: International Humic Substances Society, p.41- 46, 2001.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. de A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de cerrado. **Sociedade & Natureza**, v.24, n.2, p.359-376, maio/ago. 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n2/14.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoques de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes

sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.5, p.2351-2366, 2014.

ROSSI, C. Q. et al. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v.70, n.3, p.622-630, 2011. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n3/a18v70n3.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Eds). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, Embrapa Semiárido, 2010. 402p.

SALES, R. P. et al. Organic matter fractions of an irrigated oxisol under no-till and conventional tillage in the brazilian semiarid region. **Revista Caatinga**, v.30, n.2, p.303-312, 2017.

SALVO, L.; HERNANDEZ, J.; ERNEST, O. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. **Soil & Tillage Research**, v.109, p.116-122, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B. & COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semi-árido nordestino: Estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1275-1291, 2011. Disponível em:< <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/viewFile/232783/26783>>. Acesso em: 10 out. 2017

SANTOS, D. et al. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1407-1412, out. 2002. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n10/13219.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.

SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, cap.1, p.1-6. 2008.

SANTOS, J. O. et al. Rhizobia-*Phaseolus lunatus* symbiosis: importance and diversity n tropical Soil - a review. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v.2, p.56-60, jul. 2008.

SARGENTINI JUNIOR, E. et al. Substâncias húmicas aquáticas: fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com íons metálicos. **Química Nova**, v.24, n.3, p.339-344, nov. 2001.

SERRANO-SERRANO, M. L. et al. Gene pools in wild Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) from the Americas: evidences for an Andean origin and past migrations. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v.54, p.76-87, 2010.

SIGSAB. Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro. **Monitoramento dos Núcleos de Desertificação do Semiárido Brasileiro**. Disponível em:< <http://sigsab.insa.gov.br/desertificacao>>. Acesso em: 08 dez. 2017.

SILVA, A. S. et al. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.4, p.1064-1072, 2013. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v37n4/23.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2017.

SILVA, E. F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46. p.1321-1331, 2011.

SILVA, F. B. R. et al. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, PE: EMBRAPA CPATSA/Recife: EMBRAPA CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2v. (EMBRAPA-CPATSA. **Documentos**, 80).

SILVA, G. F. et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.25-35, jul./set. 2015. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n3/1983-2125-rcaat-28-03-00025.pdf>>. Acesso em: 01 Dez. 2017.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. VI, 2007, p.275-374.

SILVA, J. M.; CHAVES FILHO, J. T.; FERREIRA, A. M. Concentração de carboidratos solúveis em folhas de *Phaseolus lunatus* L. em relação ao sombreamento. **Estudos**, v.37, n.2, p.403-417, mar./abr. 2010.

SILVA, R. F. da; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.697-704, abr. 2006.

SOARES, C. P. F. et al. Soil attributes and C and N variation in Histosols under different agricultural usages in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Bioscience Journal**, v.31, n.5, p.1349-1362, 2015.

SOHI, S. et al. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1121-1128, 2001.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2 ed. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (Agricultural Handbook 436).

SOUSA, J. L. M. et al. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.5, p.392-398, mai. 2015.

SOUZA, E.D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, p.1829-1836, 2009. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n6/a31v33n6.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soil**: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2.ed. New York: Wiley, 1999. 427p.

- STROSSER, E. Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. **Journal of Agrobiology**, v.27, p.49-60, 2010.
- TABATABAI, M.A. Soil organic matter testing: an overview. In: MAGDOFF, F.R., TABATABAI, M.A.; HANLON, Jr. (Eds.). **Soil organic matter: analysis and Interpretation**. Madison, WI, 51p. 1996.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Physical properties of dystrophic red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.925-933, 2010. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n3/34.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2017.
- THENG, B.K.G. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds), **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, Niftal Project, 1987. p.5-32
- TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.
- VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Science**, v.68, p.75-94, Aug. 1931.
- VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.
- VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. dos; VIEIRA, N. F. **Solos: propriedades, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ABEAS. p.153. 1988.
- VIEIRA, R.F. A cultura do feijão-fava. **Informe Agropecuário**, v.16, p.30-37, 1992.
- VON LÜTZOW, M. et al. Fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology Biochemistry**, v.39, p.2183-2207, 2007.
- WAGAI, R.; MAYER, L.M.; KITAYAMA, K. Nature of the “occluded” low-density fraction in soil organic matter studies: a critical review. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.55, p.13-25, 2009.

CAPÍTULO I

**INFLUÊNCIA DO USO E MANEJO DO SOLO NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA
ORGÂNICA DE UM VERTISSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE
AGRICULTURA FAMILIAR**

RESUMO

FERREIRA FILHO, ROBERTO MONTEIRO. **Influência do uso e manejo do solo nas frações da matéria orgânica de Vertissolo submetido a sistemas de agricultura familiar.** Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Dezembro de 2017. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Djail Santos, PhD.

Mudanças nas frações da matéria orgânica do solo (MOS) sob sistemas de agricultura familiar são pouco conhecidos. Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar o impacto de diferentes usos do solo sobre algumas frações lábeis e recalcitrantes da MOS em um experimento de campo com sistemas de consórcio de média (8 anos) e longa (44 anos) duração, cultivados em VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico em sistema de agricultura familiar, bem como verificar qual fração da MOS constitui-se um indicador mais sensível às mudanças no uso do solo. A pesquisa foi desenvolvida no município de Queimadas, PB, na região do Agreste Paraibano ($07^{\circ}21'51''$ S, $35^{\circ}54'02''$ W e altitude de 480 m). Os quatro ambientes foram: (MN: Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS: Vegetação de crescimento secundário – ambiente recultivado com espécies arbóreas típicas regionais com mais de 10 anos; e SC8 e SC44: Áreas de agricultura familiar em sistema de consórcio feijão-milho-fava cultivadas a médio (8 anos) e longo (44 anos) prazos, respectivamente. Em cada parcela experimental com 800 m^2 foi realizado um padrão de amostragem aleatória simples com emprego de quatro quadrantes de 200 m^2 . A amostragem do solo procedeu-se dentro de cada quadrante com cinco repetições nas camadas 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Foram comparados os teores matéria orgânica leve (MOL), carbono da MOL (C-MOL), e nitrogênio da MOL (N-MOL), carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL), nitrogênio total (NT), estoque de carbono no solo (ECS), estoque de nitrogênio no solo (ENS), carbono das frações: humina (C-FHU), ácidos húmicos (C-FAH) e dos ácidos fúlvicos (C-FAF), em quatro ambientes distintos. Observou-se diferenças significativas nos teores de MOL ($F_{3,44} = 15,38$; $p < 0,001$), COT ($F_{3,44} = 5,862$; $p < 0,01$), NT ($F_{3,44} = 4,893$; $p < 0,01$), ECS ($F_{3,44} = 21,03$; $p < 0,001$), ECN ($F_{3,44} = 13,651$; $p < 0,01$), C-FHU ($F_{3,44} = 6,854$; $p < 0,001$), C-FAH ($F_{3,44} = 4,640$; $p < 0,05$), C-FAF ($F_{3,44} = 4,017$; $p < 0,05$) entre os ambientes estudados. Os maiores valores de MOL ($2,38\text{ g kg}^{-1}$), C-MOL ($0,77\text{ g kg}^{-1}$), N-MOL ($0,07\text{ g kg}^{-1}$), C-FHU ($5,24\text{ g kg}^{-1}$), C-FAH ($1,9\text{ g kg}^{-1}$) e C-FAF ($1,74\text{ g kg}^{-1}$) foram observados na MN. Já

os maiores valores de ECS foram observados no ambiente de *MN* na camada de 0 - 0,05 m e o ENS foram observados no ambiente *MN* na camada de 0,10 - 0,20 m. Comparados com o ambiente *MN*, os ambientes *SC8* e *SC44* apresentaram MOL, C-MOL, N-MOL, COT, NT, ECS, ENS, C-FHU, C-FAH e C-FAF inferiores na ordem de 25,6 e 48,7 %; 52 e 85,7 %; 57,14 e 85,7 %; 13 e 44 %; 18,5 e 38,5 %; 11,26 e 43,7 %; 11,1 e 42,6 %; 8,55 e 42 %, respectivamente. Não houve diferença estatística para os teores de CL nos ambientes estudados. Conclui-se, portanto, que o consórcio com espécies de culturas anuais (*Zea mays* L., *Phaseolus lunatus* L., *Vigna unguiculata* L. Walp. e *Phaseolus vulgaris* L.), independentemente do tempo de cultivo em sistemas de agricultura familiar, influenciam negativamente as frações da matéria orgânica do solo. As tendências observadas neste estudo também reforçam a importância de considerar os teores de carbono das frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos como potenciais indicadores de alterações no uso e manejo do solo.

Palavras-chave: Agricultura familiar - Substâncias húmicas - *Zea mays* L. - *Phaseolus lunatus* L. - *Vigna unguiculata* L. Walp. - *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

FERREIRA FILHO, ROBERTO MONTEIRO. Influence of land use and soil management system on soil organic matter fractions of a Vertisol under smallholder farming system. Agrarian Sciences Center UFPB, December 2017. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Prof. Djail Santos, PhD.

Changes in soil organic matter fractions (MOS) under smallholder farming system in Brazilian semiarid are undescribed. Our aim here was to evaluate the impact of different land uses and soil management systems on labile carbon and recalcitrant fractions of MOS of a Vertisol in field conditions. Also, we aimed to identify which fraction of MOS could be used as a quality indicator to changes in soil organic matter compartment by land use. This study was carried out at Queimadas, Paraíba, Brazilian Northeast (07 °21' 51" S; 35° 54' 02"W and altitude of 480 m). Soil samples were collected from four environments: *MN*: Caatinga – This environment contains only native plant species from Caatinga biome (Control); *CS*: Secondary growth vegetation – This environment contains typical regional tree species (native and exotic plant species) over 10 years old; and *SC8* and *SC44*: These environments were characterized by medium (8 years) and long-term (44 years) smallholder farming systems in a common bean – maize- fava bean rotation. We establish for each environment one plot of 800 m². We collected soil samples from four sub-plots (200 m²) in each plot using a randomized systematic sampling. Soil sampling was performed within each sub-plot at five repetitions. We also collected soil samples in three soil depths: 0.00 – 0.05 m; 0.05 – 0.10 m and 0.10 – 0.20 m. Light-fraction of soil organic matter content (MOL), carbon of MOL (C-MOL), nitrogen of MOL (N-MOL), soil total organic carbon (TOC), labile carbon (LC), soil total Nitrogen (TN), soil carbon stock (SCS), soil nitrogen stock (SNS), carbon fraction of humic substances [i.e., humin (CFHU), humic acids (CFAH) and fulvic acids (CFAF)] were investigated. There were significant differences in MOL ($F_{3,44} = 15.38, p < 0.001$), TOC ($F_{3,44} = 5.862, p < 0.01$), NT ($F_{3,44} = 4.893, p < 0.01$), SCS ($F_{3,44} = 21.03; p < 0.001$), SNS ($F_{3,44} = 13.651, p < 0,01$), CFHU ($F_{3,44} = 6.854, p < 0.001$), CFAH ($F_{3,44} = 21.03, p < 0.001$), CFAF ($F_{3,44} = 4.017, p < 0.05$) among all the studied environments. We found the highest values of MOL

(2.38 g kg⁻¹), C-MOL (0.77 g kg⁻¹), N-MOL (0.07 g kg⁻¹), CFHU (5.24 g kg⁻¹), CFAH (1.9 g kg⁻¹) and CFAF (1.74 g kg⁻¹) in *MN* environment. The highest values of ECS were observed in *MN* environment at the 0.00 - 0.05 m. For ENS, the highest values were observed in the same environment, but at the 0.10 - 0.20 m. When we compare *MN* environment with both SC8 and SC44 environments, these last showed lower MOL, C-MOL, N-MOL, COT, NT, ECS, ENS, CFHU, CFAH and CFAF in order of 25.6 and 48.7 %; 52 and 85.7 %; 57.14 and 85.7 %; 13 and 44 %; 18.5 and 38.5 %; 11.26 and 43.7 %; 11.1 and 42.6 %; 8.55 and 42 %, respectively. There was no significant difference in the LC content in all studied environments. We concluded that the common bean – maize – fava bean rotation influence negatively the soil organic matter fraction in a Vertisol. Our study highlights the importance to consider the trends of in the carbon contents of humic acid fractions and fulvic acids as potential indicators of changes in land use and soil management systems.

Key words: Long-term field trial – Smallholder farming systems - Humic substances - *Zea mays* L. - *Phaseolus lunatus* L. - *Vigna unguiculata* L. Walp. - *Phaseolus vulgaris* L.

1 INTRODUÇÃO

O estudo da matéria orgânica do solo (MOS) é relevante tendo em vista sua importância para qualidade de um sistema agrícola produtivo, levando em consideração seus benefícios aos atributos químicos, físicos e biológicos do ambiente edáfico (Bayer; Mielniczuk, 2008).

Os Vertissolos possuem elevados teores de argila, com predominância de esmectitas (EMBRAPA, 2014), apresentando alta coesão quando seco e elevada plasticidade quando úmidos. Essa característica textural confere a estes solos teores satisfatórios de matéria orgânica, carbono orgânico total, estoque de carbono e nitrogênio, nitrogênio total e carbono das substâncias húmicas, devido à alta interação dos minerais de argila com a fração da MOS mais alterada (Dick et al., 2009; Rosendo; Rosa, 2012; Zinn et al., 2012; Loss et al., 2014).

Nas unidades de produção familiar da região Nordeste o sistema de cultivo predominante é o consórcio entre as culturas, cuja estratégia é o melhor uso da terra, maior proteção do solo, menor risco de perda da produção e mitigação dos efeitos das irregularidade climáticas, permitindo uma intensificação da exploração agrícola no tempo e no espaço (Sousa et al., 2015; Oliveira Filho et al., 2016). Entre as diversas culturas consorciadas encontra-se a fava (*Phaseolus lunatus* L.) que apresenta grande destaque como uma leguminosa produtora de grãos comestíveis com alto valor protéico. A fava é cultivada mundialmente, tendo no Brasil, a região Nordeste como principal produtora, com destaque para a Paraíba como o maior produtor nacional com uma produção de 1.238 toneladas (IBGE, 2016). Apesar de a Paraíba ser o maior produtor de fava do país, as informações científicas relacionadas às frações da MOS em áreas de cultivos com esta cultura ainda são limitadas.

Para tanto, esta pesquisa foi fundamenta na seguinte hipótese: as frações da MOS são reduzidas através do cultivo consecutivo a longo prazo quando comparadas a um ambiente de vegetação natural. Mudanças no sistema de uso da terra, como a substituição de sistemas naturais em áreas agrícolas que permitem preparo intensivo do solo e frequente

uso de queimadas promovem o rápido declínio da MOS (Silva; Mendonça, 2007). Em avaliação de ambientes com diferentes usos do solo no bioma Caatinga, Silva et al. (2015) observaram que o manejo do solo com agricultura em sequeiro à longo prazo (40 anos) influenciou na redução dos teores da MOS em 72,6 % em comparação à mata nativa. De fato, a redução nos teores da MOS ocorre em diversos solos cultivados principalmente a depender do manejo empregado a longo prazo. Portanto, a quantificação das frações lábeis e recalcitrantes da MOS, especialmente em condições semiáridas, pode fornecer informações importantes sobre possíveis mudanças do carbono em Vertissolos cultivados em agroecossistemas familiares (Muñoz-Romero et al., 2017). Assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes usos e manejos nas frações da matéria orgânica em Vertissolo sob sistemas de agricultura familiar em curto e longo prazos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos ambientes em estudo

A amostragem de solo foi realizada em uma área de agricultura familiar com quatro ambientes distintos localizada na “Fazenda Velha”, município de Queimadas, Paraíba, Brasil (Mesorregião do Agreste Paraibano, bioma Caatinga - 07°21'51''S, 35°54'02''W, 480 m). Os ambientes estudados apresentam clima do tipo As' (Tropical semiárido) de acordo com classificação de Köppen-Geiger, precipitação anual de 431,8 mm e temperatura média de 24,7 °C, respectivamente. Dados referentes às condições climáticas dos ambientes de estudo do período compreendido entre maio de 2016 e agosto de 2017 foram obtidos junto ao INMET (<http://www.inmet.gov.br>). Em particular, para a cidade de Queimadas, Paraíba, Brasil foram consideradas e reportadas a precipitação mensal e a temperatura média (Fig. 1).

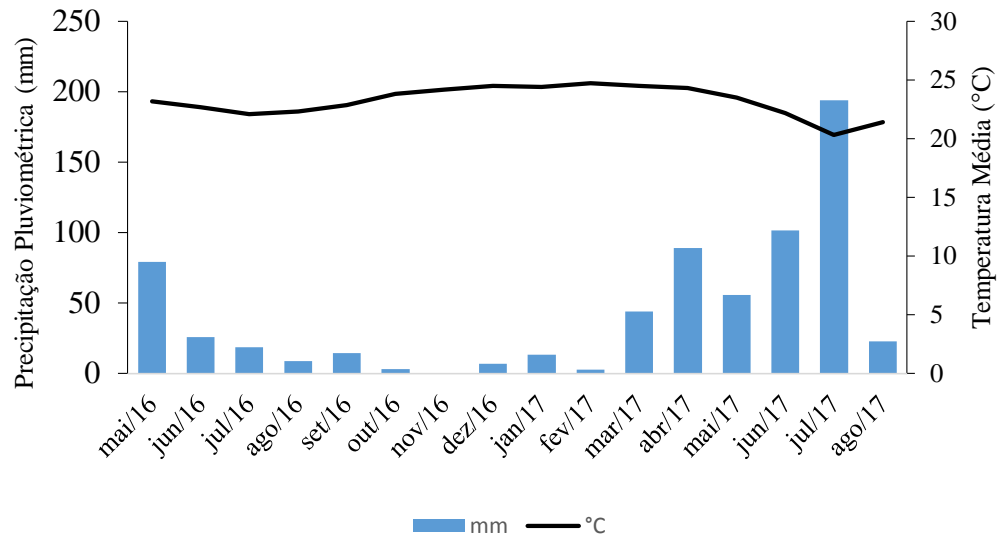


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média no município de Queimadas-PB. Fonte: <http://www.inmet.gov.br>.

Os quatro ambientes avaliados foram caracterizados como:

1. Caatinga (MN): Ambiente caracterizado pela presença de vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila, composta principalmente por juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), braúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), quixabeira (*Brumelia sertorum* Mart.), jurema branca (*Mimosa verrucosa* Benth.), aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.), aveloz (*Euphorbia tirucalli* L.), umburana [*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillett], e mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), Reserva Legal, Figura 2A;
2. Vegetação de crescimento secundário (CS): Ambiente caracterizado pela presença de vegetação de crescimento secundário. Há 10 anos que não é realizada nenhuma atividade agrícola neste ambiente (i.e., cultivo de fava). Observou-se na área a presença das espécies nativas jurema branca (*Mimosa verrucosa* Benth.), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), e da espécie exótica algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.], figura 2B;
3. Consórcio fava/milho/feijão com 8 anos de cultivo consecutivos (SC8): Ambiente com 25 ha, cultivado há 8 anos em sistema anual de rotação de culturas [Fava (Genótipo Orelha de vó – *Phaseolus lunatus* L.), milho (*Zea mays* L.), feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp)]. Antes dos cultivos, o solo era coberto por vegetação nativa característica do bioma Caatinga. Foi realizado o corte da vegetação e queima dos restos vegetais, em seguida, um corte com o trator para revolver o solo e, por último, o plantio utilizando o cultivador com tração animal. O espaçamento utilizado foi de 2,00 × 1,00 m. No espaçamento entre as fileiras

(2,00 m) foi cultivado os feijões carioca e macassar, Figura 2C. Após a colheita da fava (aos 150 dias) animais foram introduzidos na área para pastar, Figura 2D;

4. Consórcio fava/milho/feijão com 44 anos de cultivo consecutivo (SC44): Ambiente com 70 ha, cultivado há 44 anos com fava (Genótipo Orelha de vó), milho e os feijões carioca e macassar. Antes dos cultivos, o solo era coberto por vegetação nativa. Foi realizado o corte da vegetação e, em seguida, a queima dos restos vegetais. Para preparar o solo foi realizada a queima dos restos culturais do cultivo anterior, em seguida, um corte da terra com um trator para revolver o solo e por último o plantio foi realizado utilizando o cultivador com tração animal. O espaçamento utilizado foi de 2,00 × 1,00 m, Figura 2C. No espaçamento entre as fileiras (2,00 m) foi cultivado os feijões carioca e macassar Após a colheita da fava (aos 150 dias) animais foram introduzidos na área para pastejo. Nos ambientes SC 8 e SC 44 não foram realizadas adubações de fundação ou cobertura e nem aplicação de defensivos agrícolas.



Figura 2. Ambiente de vegetação nativa do bioma Caatinga (A), ambiente de crescimento secundário (B) e ambientes com sistemas de consórcio com 8 e 44 anos (C). Bovinos realizando pastejo em sistema de consórcio após colheita das culturas (D). (Fonte: Ferreira Filho, R. M.).

2.2 Solo, delineamento e amostragem de campo

O solo dos ambientes estudados foi classificado como VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico, e sequência de horizontes Apv, Biv, Cg e R, com textura franco-argilosa, relevo suave ondulado, presença de argilas de alta atividade o que lhe confere fendas quando seco e elevada plasticidade quando úmido (EMBRAPA, 2014; Santos 2015).

Empregou-se um esquema fatorial 4×3 , sendo quatro referente aos ambientes em estudos: Caatinga; Vegetação de Crescimento Secundário; Sistema de consórcio com 8 anos e Sistema de consórcio com 44 anos, e três referente as camadas 0 - 0,05 m; 0,05 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m.

Cada ambiente apresentou uma parcela experimental de 800 m^2 , sendo realizado um padrão de amostragem aleatória simples com emprego de quatro quadrantes com 200 m^2 . A amostragem do solo procedeu-se dentro de cada quadrante com cinco repetições independentes entre si nas camadas 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Cada ponto de amostragem foi constituído por uma mini-trincheira com 20 cm de profundidade, em sistema de zig-zag distanciadas por 2 m, conforme esquematizado na Figura 3. Em cada mini-trincheira foram coletadas as amostras simples referente as três camadas, logo em seguida foram inseridas em baldes de 8 litros devidamente identificado, onde após a coleta das 5 amostras do quadrante, houve a amogenização das amostras por camada retirando-se uma amostra composta de 500g para realização das análises.

----- 20 metros -----

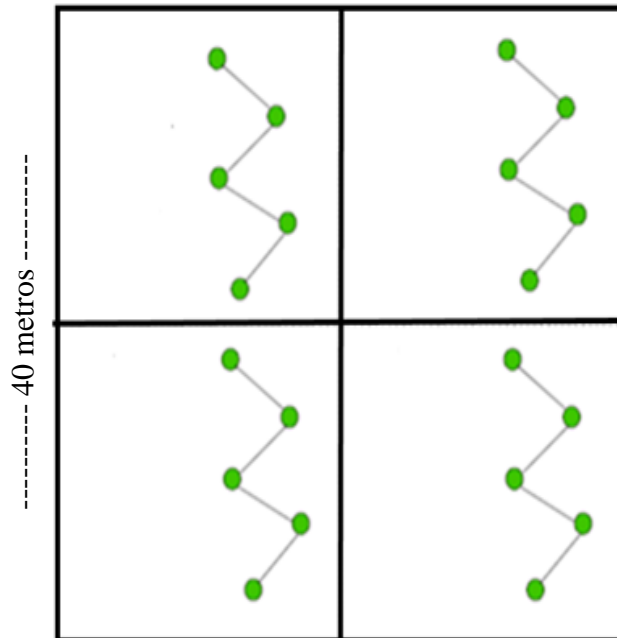


Figura 3. Esquema de amostragem do solo em um ambiente de 800 m².

O solo foi coletado no início de outubro de 2016, durante a época de baixa precipitação quando as plantas de fava estavam no estágio de maturação fisiológica e no ponto de colheita. Amostras de solo foram secas ao ar e à sombra e passadas em peneiras de 2 mm e 0,053 mm (270 Mesh).

Para a caracterização da fertilidade do solo foram efetuadas as determinações de pH em água, na relação 1:2,5, e teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, sódio, alumínio e matéria orgânica conforme Donagema et al. (2011).

2.3 Caracterização química

Para a caracterização química foram determinados: carbono orgânico do solo, nitrogênio total do solo, fração leve da matéria orgânica, carbono orgânico da fração da leve, nitrogênio da fração leve, carbono associado as substâncias húmicas (i.e. ácido húmico, ácido fúlvico e humina), carbono lábil do solo e estoques de carbono e nitrogênio. O Carbono orgânico do solo foi estimado pelo método de digestão rápida em dicromato de potássio de acordo com metodologia descrita por Black et al. (1965). Nitrogênio total do solo foi estimado usando o método de Kjeldahl (Tedesco, 1995). A fração leve da matéria orgânica do solo foi estimada através da coleta de material orgânico proveniente de amostras de solo alcalinizadas em NaOH (0,1 mol L⁻¹) e deixadas em repouso durante 12 horas que foi retido em um conjunto de peneiras (0,250 mm – 60 Mesh) (Anderson;

Ingram, 1989). O carbono orgânico e o nitrogênio associados à fração leve foram estimados de acordo com Machado (2002). O Carbono lábil foi estimado através da oxidação de frações mais lábeis de C com permanganato de potássio (Blair et al., 1995; Shang; Tiessen, 1997). Os estoques de carbono e nitrogênio foram determinados de acordo com a equação [Est C = (COT × Ds × e) /10], sugerida por Veldkamp (1994). O carbono associado às substâncias foi estimado através da técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), com adaptação de Benites et al. (2003). As características químicas do solo nos quatro ambientes em estudo são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Fertilidade do solo nos quatro ambientes de estudo em três camadas.

Ambientes	pH (H ₂ O, 1:2,5)	P	K ⁺	Na ⁺	H + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	MO
		---mg dm ⁻³ ---				----- cmol _c dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹
Camada (0 – 0,05 m)										

MN	6,2	171,00	73,89	0,11	0,5	19,8	15,7	35,9	36,4	23,35
CS	6,4	271,30	246,20	0,22	0,4	23,0	17,4	41,3	41,7	22,57
SC8	6,7	348,80	176,80	0,18	0,2	25,0	24,3	50,0	50,2	21,39
SC44	6,7	290,00	288,90	0,27	0,1	24,2	13,0	38,3	38,4	11,47
Camada (0,05 – 0,10 m)										
MN	6,2	122,40	37,58	0,15	0,7	23,0	18,8	42,1	42,8	13,86
CS	6,2	158,70	55,22	0,26	0,3	27,5	17,6	45,5	45,8	12,14
SC8	6,7	238,90	65,40	0,25	0,3	27,2	27,2	53,5	53,9	11,55
SC44	6,8	262,90	71,63	0,70	0,1	23,6	18,6	43,1	43,2	8,78
Camada (0,10 – 0,20 m)										
MN	6,1	170,30	33,08	0,20	0,7	22,9	18,0	41,3	42,1	10,13
CS	6,2	161,50	45,39	0,30	0,4	26,6	67,3	43,8	44,3	9,83
SC8	6,8	286,10	42,89	0,65	0,1	27,6	24,0	52,4	52,6	9,43
SC44	6,8	272,40	41,31	0,50	0,0	20,5	19,7	40,0	40,9	8,14

MN- Caatinga - Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS - Vegetação de crescimento secundário recultivado com espécies típicas regionais com 10 anos; SC8 e SC44 - Sistema de consórcio fava, milho e feijão

2.4 Análises estatísticas

Foi empregada a análise de variância (Two-way ANOVA) para comparar os dados de matéria orgânica leve, carbono da matéria orgânica leve, nitrogênio da matéria orgânica leve, carbono orgânico total, carbono lábil, nitrogênio total, estoque de carbono, estoque de nitrogênio e carbono das substâncias húmicas (humina, ácido fúlvico e ácido húmico) das

amostras de solo coletadas nos quatro ambientes de estudo e nas três camadas de coleta. As médias foram comparadas através do teste de Bonferroni ($p < 0,05$) após análise de variância. Análise de variância e o teste de média foram realizados usando o software SAS[®] 9.1.3 Portable.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A conversão da vegetação nativa em sistemas de consórcio alterou fortemente o conteúdo da matéria orgânica de Vertissolo com diferentes usos na Caatinga. Observa-se nos dados da Figura 4A, que houve diferença significativa pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$) na quantidade de matéria orgânica leve do solo (MOL) em quatro condições de uso no bioma Caatinga. O ambiente de Caatinga (MN) apresentou o maior valor de MOL ($2,38 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto o menor valor ($1,22 \text{ g kg}^{-1}$) foi observado no ambiente com o sistema de consórcio cultivado durante 44 anos (SC44). No ambiente com vegetação de crescimento secundário (CS) o valor da MOL se aproximou daquele no ambiente MN, resultado provavelmente influenciado pelo tempo de pousio desta área (10 anos), associado à deposição de matéria orgânica pelas espécies vegetais presentes nos ambientes em estudo. Os maiores valores de MOL na MN decorrem possivelmente do fato do solo estar continuamente vegetado, favorecendo a deposição contínua de serrapilheira e ainda a ausência de ação antrópica, o que proporciona um ambiente favorável à manutenção dos teores de MOS (Guareschi et al., 2012). Esse padrão também pode ser atribuído à qualidade do material que está originando a MOL na área de MN, pois é comum esse tipo de vegetação apresentar grande diversidade de vegetais, que depositam no solo resíduos orgânicos de diferentes tamanhos e com alta quantidade de lignina (Cianciaruso et al., 2006). Variações do conteúdo dos teores de MOL podem ser oriundas das mudanças na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo, da relação entre a entrada por superfície e subsuperfície destes resíduos e, principalmente, das diferentes formas de manejo adotadas (Barreto et al., 2008).

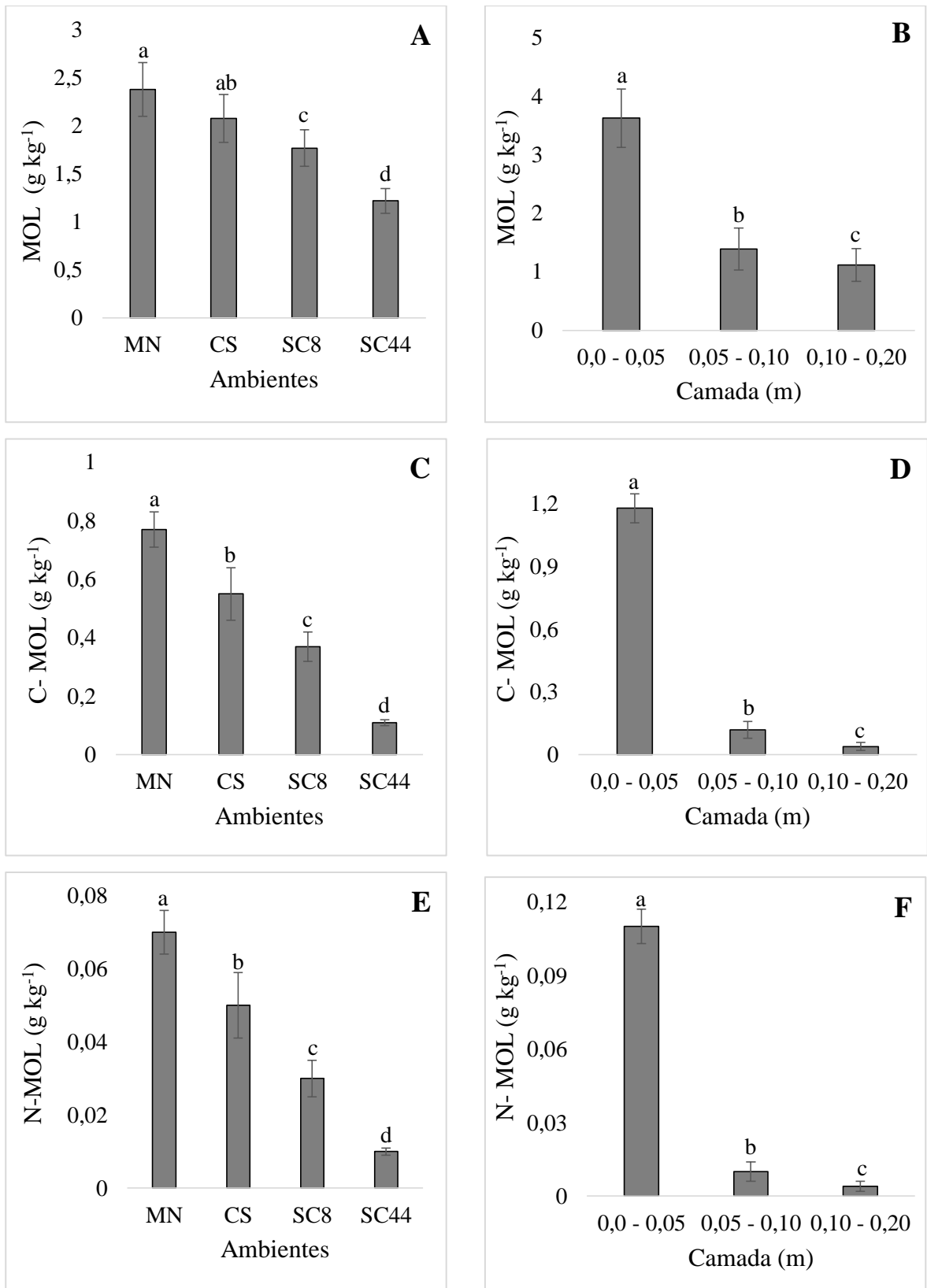


Figura 4. Teores de matéria orgânica leve (g kg⁻¹) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de carbono da matéria orgânica leve (g kg⁻¹) em diferentes ambientes (C) e três camadas (D) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga. Teores de Nitrogênio da matéria orgânica leve (g kg⁻¹) em diferentes ambientes (E) e três camadas (F) em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga (F). MN - Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS - Crescimento Secundário após 10 anos de cultivo. SC8 e SC44 - Sistema de consórcio com 8 e 44 anos de cultivo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Neste estudo, o teor de MOL na MN foi superior em relação aos ambientes CS, SC8 e SC44, em valores de 12,6; 25,6 e 48,7 %, respectivamente. Inúmeros trabalhos destacam o maior acúmulo de MOL (47,2 %; 47,1 % e 47,9 %) em áreas de mata nativa quando comparados com cultivos conservacionistas (Guareschi et al., 2012, Loss et al., 2012; Silva et al., 2015), respectivamente. No entanto, Xavier et al. (2006) encontraram valores de MOL 45,4% maiores em áreas conservacionistas, em comparação à mata nativa. Nesta mesma perspectiva, Fontana et al. (2011) encontraram menores teores de MOL em área de mata nativa (média de 4,20 g kg⁻¹) comparados a uma área com capoeira há 40 anos e uma área conservacionista, ambas apresentando teor médio de MOL igual (6,80 g kg⁻¹).

É importante destacar a diferença de 72,3 % entre os ambientes com os maiores teores (2,38 g kg⁻¹) de MOL obtidos nesta pesquisa, na condição Caatinga, e os maiores teores (6,80 g kg⁻¹) obtidos na pesquisa de Fontana et al. (2011) em condições de Mata Atlântica. Nas condições de Mata Atlântica, com precipitação pluviométrica média entre 1.500 e 2.500 mm anuais, a água exerce fator determinante para o crescimento dos vegetais e desenvolvimento da fauna edáfica, que posteriormente irá atuar na alteração dos resíduos vegetais resultando em maiores teores de MOL, em comparação ao bioma Caatinga com precipitação média anual de 800 mm.

Os dados dos valores médios referentes a MOL, C-MOL e N-MOL foram diferentes estatisticamente nas três camadas avaliadas (Figura 4B, 4D e 4F). A MOL apresenta-se com maiores valores médios, considerando-se os quatro ambientes em estudo, na camada de 0,0-0,05 m (3,63 g kg⁻¹) decrescendo na camada de 0,10 - 0,20 m (1,12 g kg⁻¹). A camada superficial apresentou valores superiores de MOL (61,7 % e 69,1 %), em relação às camadas intermediária e mais profunda, respectivamente. Essa tendência certamente ocorreu devido à camada de 0-0,05m receber uma maior deposição de resíduos orgânicos. Estes resultados corroboram a pesquisa realizada por Xavier et al. (2006) que encontraram em oito áreas avaliadas em um Neossolo Quartzarênico do bioma Caatinga valores de MOL 69,19 % maiores na camada mais superficial (0 - 5 cm) em comparação com a camada mais profunda (5 - 15 cm). Outra pesquisa em que os dados apresentaram comportamento semelhante ao presente estudo, contudo com uma menor porcentagem de diferença entre as camadas, foi realizada no Cerrado em um Latossolo por Melo et al. (2016), os autores avaliaram quatro áreas sob diferentes usos do solo e encontraram valores de MOL 34 % maiores na camada de 0 - 0,05 m quando comparados à camada de 0,05 - 0,10 m.

Observa-se nas figuras 4C e 4E que os dados dos valores médios referentes ao carbono da matéria orgânica leve (C-MOL) e o nitrogênio da matéria orgânica leve (N-MOL) nas camadas em estudo, diferiram estatisticamente pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$), seguindo a mesma tendência de comportamento verificado para quantidade de MOL nos quatro ambientes em estudo, apresentando maiores teores no ambiente MN (0,77 e 0,07 g kg^{-1}) e menores teores no ambiente SC44 (0,11 e 0,01 g kg^{-1}), respectivamente. Esta diferença de valores foi influenciada pelo manejo empregado em ambas as áreas ao longo dos anos onde, possivelmente, os maiores valores de C-MOL e N-MOL na área de MN foram influenciados pela maior deposição de resíduos orgânicos ricos em celulose e compostos mais recalcitrantes como a lignina, oriundos das espécies vegetais presentes no ambiente e, conseqüentemente, pelos menores valores de C-MOL e N-MOL no SC44, influenciados pelo fato de que o histórico de cultivo demonstra que o ambiente não recebeu adubação orgânica de manutenção durante os anos de cultivo, e também pelo pastejo realizado por bovinos após a colheita da fava, onde os animais se alimentam dos resíduos vegetais, reduzindo a ciclagem do carbono e nitrogênio no solo. Desta maneira, a ausência de manejo da fertilidade do solo contribuiu na diminuição do aporte de material orgânico no solo, com concomitante redução dos conteúdos de MOL e MOS, assim como observado por Guareschi et al. (2012).

Nas figuras 4D e 4E, observa-se que o comportamento dos teores de C-MOL e N-MOL apresentaram-se como o esperado, com tendência semelhante aos valores de MOL, sendo as diferenças entre os teores, 96,6 e 96,3 %, na camada 0 - 0,5 m em relação à profundidade de 0,10 - 0,20 m. Em estudo realizado por Xavier et al. (2006) em oito áreas avaliadas os maiores valores de C-MOL (18 %) e N-MOL (74,5 %) foram encontrados na camada de 0 - 5 cm em comparação com a camada de 5 - 15 cm.

Em outro estudo, Loss et al. (2012) avaliando um solo em condição de mata nativa e dois em sistemas de uso conservacionista, também encontraram maiores valores de C-MOL (8,46 %) e N-MOL (24,8 %), na camada de 0 - 5 cm em relação à camada de 5 - 10 cm, respectivamente. Já em pesquisa realizada por Oliveira Filho et al. (2017) avaliando uma mata nativa e um sistema de uso conservacionista não se verificou diferença nos teores de C-MOL nas camadas de 0 - 0,025; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m, sendo os valores médios entre os ambientes de 4,27; 4,19; 4,21; 4,21 e 4,16 g kg^{-1} , respectivamente.

O Carbono orgânico total (COT) do solo apresentou diferença significativa pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$) nos quatro ambientes estudados (Figura 5A). O ambiente MN foi o que apresentou maior teor de COT (11,22 g kg^{-1}), enquanto o SC44 apresentou o

menor teor ($6,44 \text{ g kg}^{-1}$). A conversão de áreas de vegetação nativa em cultivo agrícola e florestal geralmente resulta na diminuição de 20 a 50 % dos teores de COT (Lal et al., 2005).

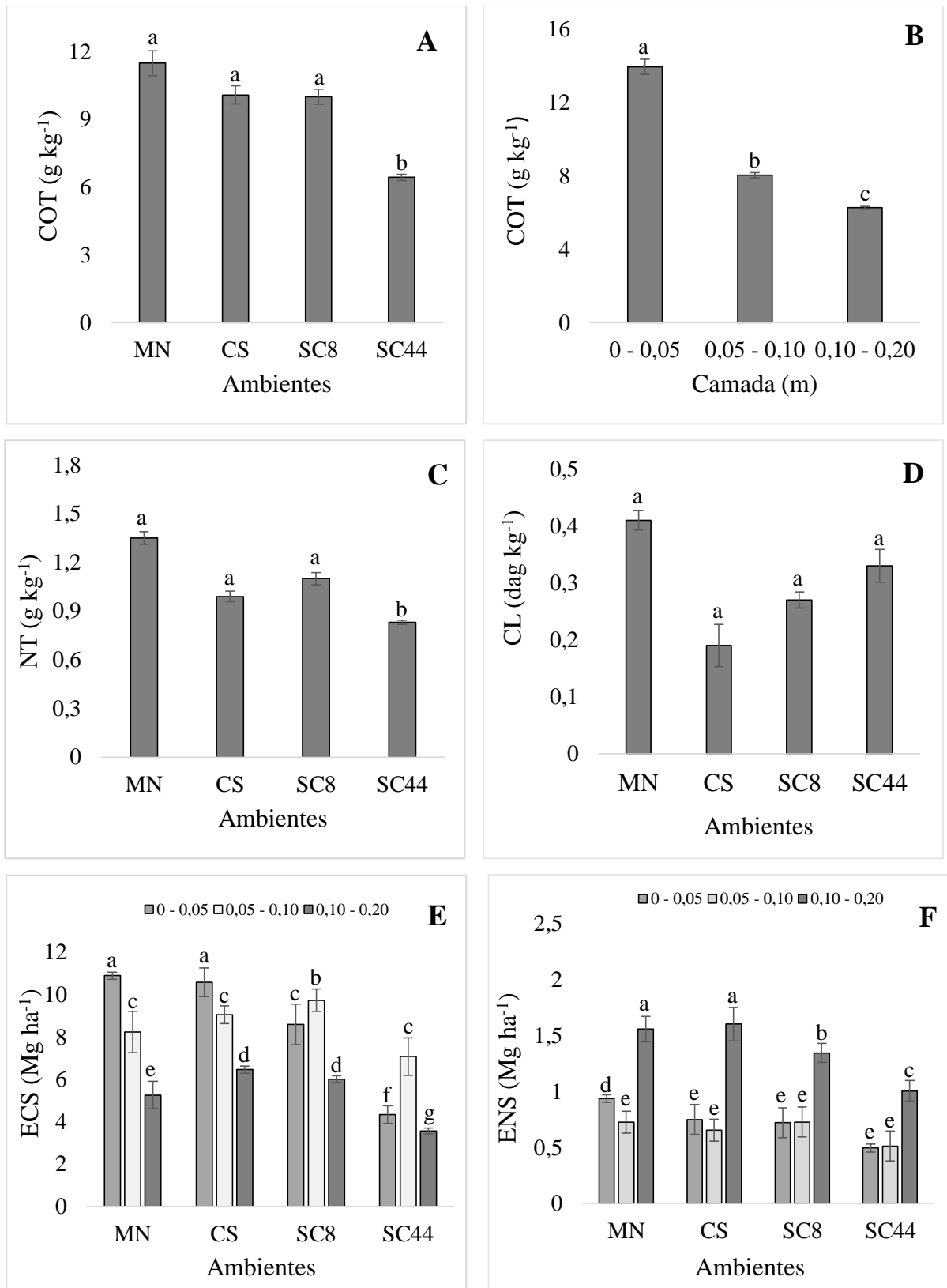


Figura 5. Teores de carbono orgânico total (g kg^{-1}) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo do bioma Caatinga. Teores de nitrogênio total (NT) e carbono lábil (dag kg^{-1}) em diferentes ambientes do bioma Caatinga (C e D). Estoques de carbono (Mg ha^{-1}) e nitrogênio (Mg ha^{-1}) em diferentes ambientes do bioma Caatinga (E e F). MN - Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS - Crescimento Secundário após 10 anos de cultivo. SC 8 e SC44 - Sistema de consórcio com 8 e 44 anos de cultivos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade.

O ambiente de MN apresentou diferenças de 10,8 % e 42,6 % no teor de COT, em relação aos SC com 8 e 44 anos, respectivamente. Semelhante a essa pesquisa, alguns autores encontraram maiores teores de COT na MN em relação as demais áreas avaliadas (Matoso et al., 2012; Loss et al., 2013; Barros et al., 2015), corroborando a tendência de que os teores de C tendem a diminuir com o cultivo do solo em comparação à vegetação nativa (Assis et al., 2006).

Os teores de COT no solo em todos os ambientes de estudos avaliados tiveram tendência geral de diminuição com o aumento da profundidade (Figura 5B), visto que a camada superficial do solo é a zona onde a deposição de materiais orgânicos ocorre com maior intensidade (Don et al., 2011). Diversos trabalhos que avaliaram o COT de Vertissolos em diferentes profundidades, constataram maiores teores nas camadas ou horizontes superficiais, seguindo uma tendência natural para maioria dos solos, devido as maiores deposições de resíduos orgânicos e conseqüentemente seu maior acúmulo na superfície (Parsamanesh et al., 2013; Bajgai et al., 2015; Munõs-Romero et al., 2017). Oliveira et al. (2008) verificaram que devido à ação dos microrganismos na MOS as camadas superficiais são mais sensíveis às variações no conteúdo de C.

Em pesquisa realizada por Lima (2014), esta autora encontrou em um Vertissolo Ebânico Órtico típico valor de COT ($17,75 \text{ g kg}^{-1}$) no horizonte Ap referente a profundidade de 0 - 8 cm e valor de ($5,48 \text{ g kg}^{-1}$) no horizonte BAv referente a profundidade de 8 - 20 cm, ou seja, o valor de COT encontrado na camada de 0 - 20 cm foi de $11,6 \text{ g kg}^{-1}$. Já nesta pesquisa, o valor de COT considerando o somatório das profundidades avaliadas cujo referem-se a camada de 0 - 20 cm foi de $9,42 \text{ g kg}^{-1}$, apresentando-se 18,8 % menor em relação a pesquisa supracitada. Contudo, deve-se salientar que estes valores de COT obtidos na pesquisa realizada por Lima (2014) os dados foram obtidos a partir de uma única área e nesta pesquisa os dados são oriundos dos quatros ambientes em estudos, mesmo com esta diferença, observa-se semelhança nos dados para o solos de mesma classificação conforme EMBRAPA (2014).

Seguindo a mesma tendência dos valores já apresentados da MOL, C-MOL, N-MOL e COT os maiores teores de Nitrogênio total do solo (NT) foram encontrados na área de MN ($1,35 \text{ g kg}^{-1}$), porém nesta variável houve semelhança estatística pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$) entre a MN, CS e SC8, já o menor valor foi encontrado no SC44 ($0,83$

g kg⁻¹), como pode ser observado na figura 5C. Houve uma diferença de 61,48 % entre a área que apresentou o maior teor (MN), com a área de menor teor (SC44). A semelhança estatística entre os ambientes MN, CS e SC8, possivelmente ocorreu devido ao ambiente de MN e CS após 10 anos de cultivo, estarem continuamente vegetado favorecendo a manutenção nos teores de MOS (Guareschi et al., 2012) e, conseqüentemente, do nitrogênio bem como pelo curto período de cultivo no SC8 fornecer N ao solo a partir das leguminosas cultivadas, associado ao menor número de revolvimento para o preparo do solo. Portugal et al. (2010) e Barros et al. (2015) encontraram teores mais elevados de NT em condições de ambiente natural em comparação com aqueles cultivados.

Já Seyoum (2016) encontrou maiores teores de NT em Vertissolo nas condições de mata nativa da Etiópia e pastagem (2 g kg⁻¹) em comparação a área cultivada com leguminosas (*Vicia faba* L.) e (*Pisum sativum* L.) e gramíneas (*Triticum aestivum* e *Triticum durum*), (*Eragrostis tef* Zucc.) e (*Hordeum vulgare* L.) onde foi encontrado (0,9 g kg⁻¹).

Deve-se destacar que níveis totais de nitrogênio entre 0,1 e 0,2 % são baixos, enquanto aqueles abaixo de 0,1 % são muito baixos para solos tropicais (Landon, 1991; Hailu et al., 2015). Portanto, constata-se que os teores de NT nos solos das áreas em estudo são baixos a muito baixos. Estes resultados possivelmente foram influenciados devido as altas temperaturas característica do bioma tropical em estudo (Caatinga), que leva à rápida perda da MOS devido à volatilização bem como lixiviação no período úmido, contribuído assim, para perdas de Nitrogênio (Hailu et al., 2015). Em condições locais, além dos fatores acima, a remoção contínua das colheitas associados com a baixa deposição de MOS, também contribuiu para os mais baixos teores de NT no SC44 em relação aos demais ambientes em estudo.

Para o CL não houve diferenças significativa pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$). Embora estatisticamente inválido os maiores teores de C-lábil foram encontrados na área de MN. Esse resultado pode ser explicado pela maior adição de resíduos nesta área em comparação as demais, estando também associado ao maior teor de C total nesta área (Figura 5D). Em pesquisa realizada por Silva et al. (2011) os autores obtiveram maiores teores de CL em uma Mata nativa em comparação com uma área de pastagem e 3 áreas de manejo conservacionista. Leite et al. (2013) também encontraram maiores teores de CL na área de mata nativa em comparação com as outras área em estudo a saber: monocultivo, consórcio e pastagem. Os autores atribuíram que os maiores teores de CL observados nas áreas nativas, estão diretamente associados ao maior aporte de resíduos vegetais (parte

aérea e raízes) e à maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados (Vieira et al., 2007; Muller et al., 2012).

Observa-se nas Figuras 5E e 5F que os estoques de Carbono (ECS) e Nitrogênio (ENS) apresentaram diferença significativa pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$), com interação entre os fatores (ambientes \times profundidades). O ECS apresentou os maiores teores na área de MN ($10,89 \text{ Mg ha}^{-1}$) quando avaliado na camada de 0 a 0,05 m (Figura 5E). Em comparação com os maiores estoques obtidos para cada ambiente, o ECS na MN foi superior ao CS, SC8 e 44 anos em 2,8; 10,7 e 29,2 %. Esses dados corroboram a pesquisa realizada por Barros et al. (2015), que encontraram maiores valores de ECS na camada superficial (0-10 cm) em relação a 10 - 20 cm, sendo os valores na MN ($14,93$ e $12,04 \text{ Mg ha}^{-1}$), cultivo anual com milho e feijão ($11,48$, e $8,49 \text{ Mg ha}^{-1}$) e na área de culturas permanentes com goiaba, coco e mamão ($9,04$ e $8,36 \text{ Mg ha}^{-1}$), respectivamente. A transformação de sistemas naturais em áreas agrícolas pode levar ao rápido declínio dos estoques de C (Silva et al., 1994), sendo este resultado de milhares de anos de formação, incorporados através da serrapilheira e das raízes (Aduan et al., 2003).

No ambiente de CS o ECS na profundidade 0 a 0,05 m ($10,58 \text{ Mg ha}^{-1}$), foi o que mais se aproximou do valor encontrado no ambiente natural, esse comportamento foi influenciado pelo não revolvimento do solo durante o processo de regeneração associado ao fornecimento pelas diversas espécies vegetais presentes nos ambientes em questão (Guareschi et al., 2012).

Nos ambientes SC8 e SC44 anos observou-se que na camada superficial o ECS apresentou valores inferiores em relação a camada intermediária. Estes resultados podem ser atribuídos ao revolvimento do solo no preparo da área para o plantio, que possivelmente contribuiu para redução de MOS na camada de 0 a 0,05 m, e um incremento nos centímetros seguintes do perfil. Foi na camada mais profunda, que constatou-se os menores valores de ECS em todos ambientes com destaque para o SC44 ($3,56 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 5E).

Considerando o somatório do ECS das profundidades avaliadas, ou seja na camada de 0-20 cm os valores foram: MN: $24,38$; CS: $26,10$; SC8: $24,32$ e SC44: $14,97 \text{ Mg ha}^{-1}$. Os valores de ECS dos ambientes MN, CS e SC8 se aproximaram aos apresentados por Aquino (2015) em Vertissolo sob Caatinga no município de Iguatu-CE em área conservada ($24,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) e raleada ($25,01 \text{ Mg ha}^{-1}$). Esses dados estão dentro do intervalo dos valores relatados por Giongo et al. (2011) em solos do semiárido brasileiro (20 a $48,4 \text{ Mg ha}^{-1}$).

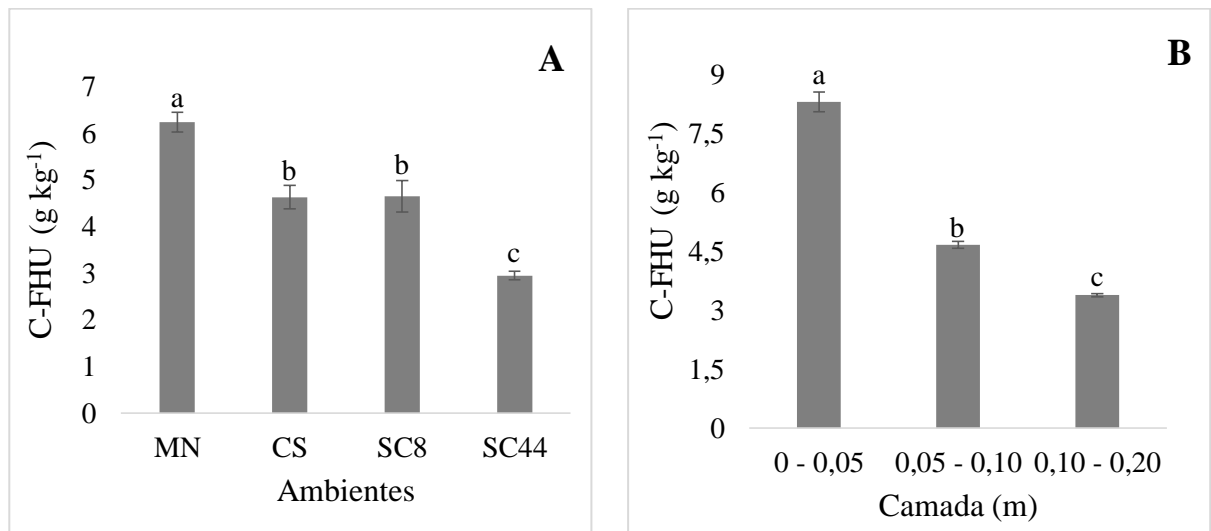
Os maiores valores do ENS foram observados na camada 0,10 - 0,20 m em todos os ambientes analisados, sendo verificado que na MN e no CS os valores foram semelhantes

(1,55 e 1,60 Mg ha⁻¹), respectivamente. Dessa forma, o aumento do N nos ambientes MN e CS estão provavelmente vinculados ao maior volume de resíduos vegetais retornados ao solo e, também, aos maiores ECS nesses sistemas, cujos remetem a uma maior deposição de MOS. Assim, o maior armazenamento de C implica em maior disponibilidade de N, uma vez que mais de 95 % do N do solo está presente na forma orgânica (Camargo et al., 1999). Já em relação aos sistemas de consórcios verificou-se que com o passar dos anos ocorreu redução no ENS (Figura 5F). O fato do ENS apresentar os maiores teores na profundidade 0,10 a 0,20 m, pode estar associado à maior mobilidade que esse nutriente tem no solo e, além disso, a falta de cobertura vegetal pode ter intensificado as perdas do mesmo por lixiviação (Cantarella, 2007).

Na camada de 0 a 0,05 m os maiores valores de ENS foi na MN. Já na camada 0,05-0,10 m o ENS foi igual estatisticamente na MN, CS e SC8. Seguindo uma tendência semelhante ao ECS o ENS apresentou menores valores nas profundidades do SC44 quando comparado aos demais ambientes ou seja o sistema de manejo mais perturbado pela ação antrópica apresentou uma tendência em armazenar menos C e N orgânico no solo.

Avaliando um Vertissolo sob diferentes sistemas de manejos no bioma Caatinga na microbacia hidrográfica do Riacho Val Paraíso-PB, Barros et al. (2015), observaram maiores valores de ENS também na mata nativa, contudo, diferentemente dessa pesquisa estes autores encontraram maiores valores do ENS em superfície, sendo os valores nas camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm para as áreas de mata nativa, culturas anuais e culturas permanentes (1,45 e 1,16; 1,16 e 0,80 Mg ha⁻¹ e 0,82 e 0,77 Mg ha⁻¹, respectivamente). Estes autores, a partir dos melhores resultados obtidos na condição de mata nativa relativos ao aporte de C e N no solo, enfatizaram que é importante manter as áreas de veteção nativa para compensar as emissões resultantes dos sistemas de cultivos e produção de gado no sertão paraibano.

Quanto às frações húmicas da MOS, houve diferença significativa pelo teste de Bonferroni ($p < 0,05$) nos quatro ambientes e nas três profundidades (Figura 6). Pôde-se constatar que a fração húmica foi superior em relação ao carbono das substâncias húmicas (C-SH) entre os ambientes, com os maiores teores na MN (C-FHU= 5,24; C-FAH= 1,9 e C-FAF= 1,74 g kg⁻¹), seguido pelos ambientes CS e SC8, cujo foram iguais estatisticamente. Os menores teores de C-SH foram observados no SC44 (C-FHU= 2,95; C-FAH= 1,09 e C-FAF= 1,01 g kg⁻¹). Sousa et al. (2012) verificaram maiores valores de C-FHU (14,74 a 19,26 g kg⁻¹) para duas condições de floresta nativa no bioma Caatinga. Em condição de Cerrado, Vinhal-Freitas et al. (2017) também verificaram que o C-FHU apresentou as maiores concentrações (22 g kg⁻¹).



Já em outro estudo, Loss et al. (2014) observaram essa mesma tendência para um Vertissolo na camada de 0-15 cm com 13,16; 4,47 e 4,42 g kg⁻¹, para o C-FHU, C-FAH e C-FAH, respectivamente. Porém, em um Argissolo na camada de 0 - 15 cm os autores observaram maiores teores de C-FHU em área de pastagem (19,84 g kg⁻¹) comparando-se a área de mata nativa (14,33 g kg⁻¹).

Quando comparados os teores de C entre as frações húmicas, verificaram-se maiores teores de C-FHU seguidos de C-FAH, independente dos ambientes avaliados (Figura 6).

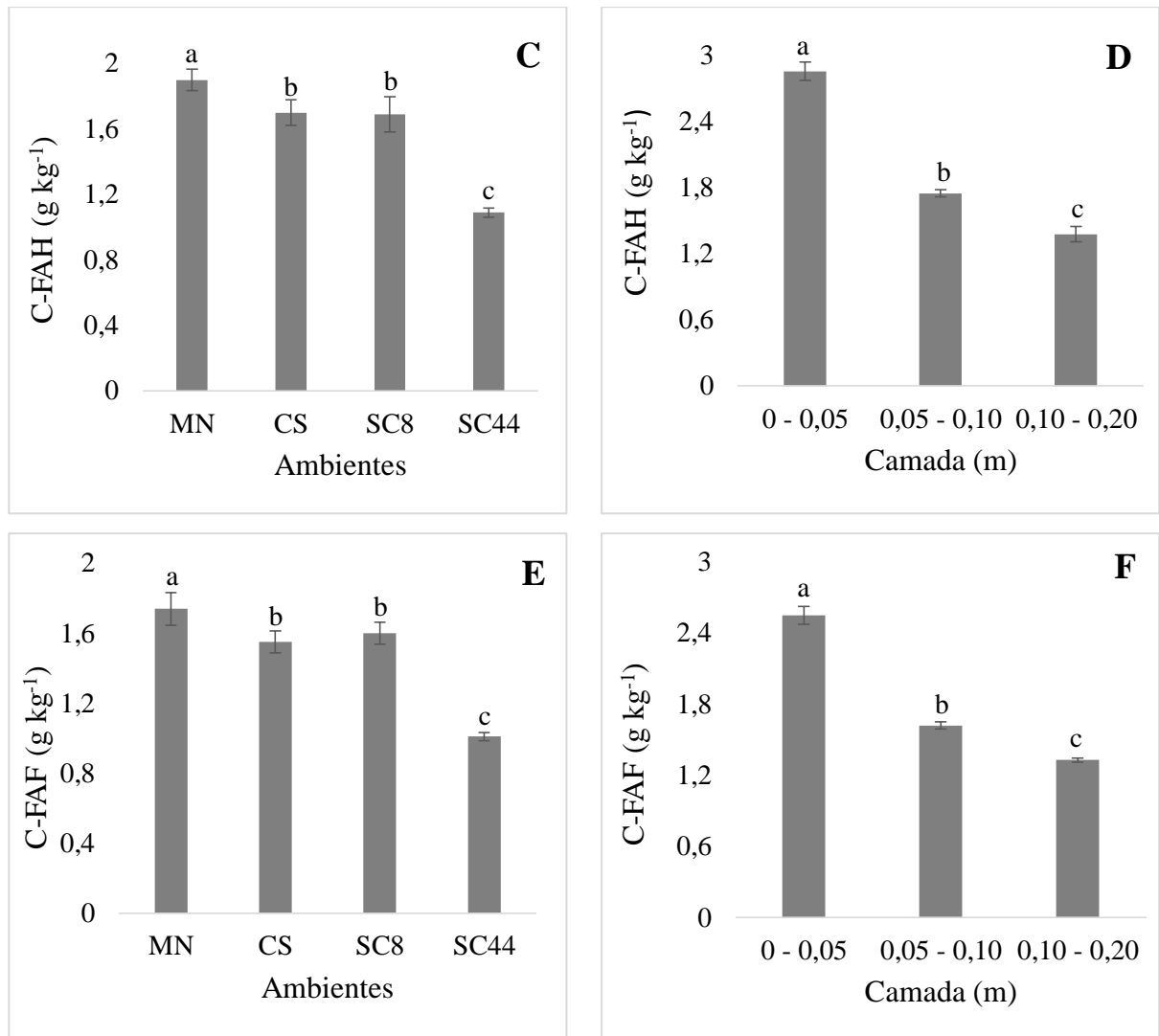


Figura 6. Teores de carbono da fração humina (g kg^{-1}) em diferentes ambientes (A) e três camadas em Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga (B). Teores de carbono da fração ácido húmico (g kg^{-1}) em diferentes ambientes (C) e três camadas de Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga (D). Teores de carbono da fração ácido fúlvico (g kg^{-1}) em diferentes ambientes (E) e três camadas de Vertissolo Ebânico do bioma Caatinga (F). MN - Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS - Crescimento Secundário após 10 anos de cultivo. SC8 e SC44 - Sistema de consórcio com 8 e 44 anos de cultivos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade.

argilominerais 2:1 nos solos estudados, houve o favorecimento de uma possível associação da fração humina com a matriz mineral. A fração humina tem predominância entre as substâncias húmicas de solos tropicais mesmo em diferentes sistemas de manejo, devido a sua composição mais recalcitrante e a sua insolubilidade (Primo et al., 2011).

Em relação às maiores concentrações do C-FAH obtidas neste estudo na área de MN (Figura 6C), Sousa et al. (2012) e Kotzé et al. (2016) encontraram resposta semelhante em áreas tropicais secas ($5,46$ e 6 g kg^{-1} , respectivamente) após comparação com os demais ambientes em estudo.

O fato das áreas CS e SC8 apresentarem valores intermediários dos C-FAH ($1,7$ e $1,69 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) pode estar relacionado aos de 10 anos de pousio na área de

CS, sendo este um tempo considerado para desenvolvimento de algumas espécies vegetais e posterior adição de MOS no processo de ciclagem de nutrientes (Fontana et al., 2011), e no SC8 pelo curto período de exploração do solo quando comparado ao SC44. Em relação à área de SC44 os menores teores ($1,09 \text{ g kg}^{-1}$) já eram esperados, uma vez que o maior revolvimento do solo nesse sistema de uso favoreceu a mineralização da MOS, devido a sua exposição à ação da microbiota causada pela ruptura dos agregados (Seddaiu et al., 2013).

Os valores médios C-FAF variaram $1,01$ a $1,74 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 6E). Em todos os ambientes avaliados a FAF foi menor $7,53 \%$ quando comparados a FAH e a $66,23 \%$ em relação a FHU, este resultado pode ser explicado em virtude do menor tempo de residência desta fração no solo em comparação com as FAH e FHU (Stevenson, 1994; Rosa et al., 2017).

Os maiores teores do C-FAF verificadas na área de MN podem estar associados à deposição constante de material orgânico ao solo oriundo da diversidade florística do ambiente. Estes resultados corroboram os de Vinhal-Freitas et al. (2017), que também verificaram maiores concentrações de C-FAF (5 g kg^{-1}) nas áreas de vegetação nativa.

De acordo com os autores os resultados foram influenciados pela diversidade florística do local, condições edafoclimáticas, e por o C-FAF ser facilmente decomponível.

Nas profundidades entre os ambientes (Figura 6B, 6D e 6E) o C-SH foi predominante na camada superficial (C-FAF= $2,55$; C-FAH= $2,86$ e C-FHU= $8,31 \text{ g kg}^{-1}$), e apresentou decréscimo com o aumento das profundidades. Mesmo com o aumento da profundidade houve predominância da fração humina, seguida pelos ácidos húmicos e fúlvicos. Esses resultados corroboram com a pesquisa realizada por Loss et al. (2014), em que os autores verificaram predominância do C-FHU nas profundidades avaliadas em duas ordens de solo (Vertissolo e Argissolo), seguidos pelo C-FAH e C-FAF, como uma exceção na profundidade $0,5$ a 10 cm do Vertissolo onde o C-FAF foi superior ao C-FAH. Após quantificação do C-SH em diferentes sistemas de uso do solo, Loss et al. (2010) também encontraram valores superiores de C-FHU em comparação ao C-FAH e C-FAF nas áreas em estudo independentemente da estação verão ou inverno.

Nesta pesquisa o valor de C-FHU representou $63,6$; $58,1$ e 54% do COT em relação as três profundidades em ordem crescente. Quando relacionaram os teores de C-FHU com o COT nas cinco áreas em estudo, Loss et al. (2010) observaram valores superiores a 50% . Os autores atribuíram que maiores valores de carbono na forma de C-FHU favorecem as propriedades da fração coloidal da MOS, tais como: retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions (Souza; Melo, 2003).

Como foi observado nesta pesquisa que os valores de C-SH reduziram principalmente nos sistemas de consórcio quando comparados a MN, deve-se destacar que a redução do conteúdo de substâncias húmicas com uso da terra pode indicar perda de função do solo devido à importância destas substâncias sobre propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Stevenson, 1994; Lugato et al., 2009).

Resultados das frações lábeis e humificadas da MOS em Vertissolos sob agroecossistemas de produção de fava no Nordeste do Brasil são escassos na literatura. Deste modo, esforços devem ser realizados para otimizar estudos sobre essas frações da matéria orgânica, visto a importância que esta desempenha na fertilidade do solo, seja como fonte de nutrientes para as plantas ou mesmo como fonte de energia aos microrganismos do solo, bem como, por serem indicadoras da qualidade da MOS.

4 CONCLUSÃO

O manejo adotado nas áreas de agroecossistemas com fava consorciada, principalmente a longo prazo, não favoreceu adições de resíduos, ocasionando baixos teores dos indicadores de qualidade da MOS;

As frações lábeis e humificadas apresentam sensibilidade ao manejo do solo, sendo os menores teores desses parâmetros observados no sistema de consórcio com 44 anos;

O manejo adotado nos agroecossistemas de produção de fava diminui as frações da MOS em comparação com o ambiente natural de Caatinga;

A camada superficial do solo (0 - 0,05 m) tem o maior conteúdo MOL, COT, NT, C-FHU, C-FAH e C-FAF em relação às camadas subsuperficiais;

O conteúdo de COT foi maior na fração recalcitrante do que na fração lábil;

No ambiente CS um período de 10 anos foi suficiente para a regeneração das frações MOL, COT, NT, ECS e ENS, em comparação com o ambiente controle (MN);

Os teores de C-SH foram superiores no ambiente de Caatinga sendo iguais estatisticamente nos ambientes de crescimento secundário e sistema de consórcio com 8 anos;

As tendências observadas neste estudo também reforçam a importância de considerar os teores de carbono das frações ácido húmico e ácido fúlvico como potenciais indicadores de alterações no uso e manejo do solo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAN, E. A.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30p.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. CAB International, 1989. 171p.

AQUINO, D.N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Fortaleza, CE, 2015.

ASSIS, C. P. et al. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.10, p.1541-1550, 2006. Disponível em:<www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/122451/1/Carbono.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2017.

- BAJGAI, Y. et al. Soil organic carbon and microbial biomass carbon under organic and conventional vegetable cropping systems in an Alfisol and a Vertisol. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.101, p.1-15, 2015.
- BLACK, C. A. et al. **Methods of soil analysis, Part II**. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. p.1367-1378, 1965.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Aust. Journal of Agricultural Research**, v.46, p.1459-1466.1995.
- BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1471-1478, Agos. 2008. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a11v32n4.pdf>> Acesso em: 03 nov. 2017.
- BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H.; G. PEREIRA, W. E. Carbon and nitrogen stocks under different management systems in the Paraíba "Sertão". **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.130-136, 2015.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7p. (**Comunicado técnico**).
- CAMARGO, F. A. C. et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, Genesis, p.117-137, 1999.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.
- CIANCIARUSO, M. V. et al. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerrado na estação ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v.20, n.1, p.49-59, 2006. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/abb/v20n1/06.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- CORRÊA, M. M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.311-324, 2003. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16232.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.
- DICK, P. D. et al. Química da matéria orgânica do solo. In: MELLO, V. F; ALLEONI, R. F (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009, v.2, cap. 1, p. 1-55.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks- a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.17, p.1658-1660, 2011.

DONAGEMA, G. K. et al. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

EMPRESA BRASILEIRA DE PEQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4 ed. Brasília: Embrapa, 2014. 266p.

FONTANA, A. et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.3, p. 545-550, 2011. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v33n3/v33n3a24.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

GIONGO, V. et al. Soil Organic carbon in the Brazilian Semi-arid tropics. **Global Science Books, Dynamic soil, dynamic plant**, v.5, Special Issue 1, p. 12-20, 2011.

GUARESCHI, R. F., PEREIRA, M. G., PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.909-920, 2012. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n3/21.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

HAILU, H. et al. Soil fertility status and wheat nutrient content in Vertisol cropping systems of Central Highlands of Ethiopia. **Agriculture and Food Security**, v.4, n.19, p.1-10, 2015. DOI 10.1186/s40066-015-0038-0.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, vol.43, p.1-59, 2016.

KOTZÉ, E. et al. Land use change affecting soil humic substances in three semi-arid agroecosystems in South Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.216, p.194-202, 2016.

LANDON, J. R. **Booker tropical soil manual**: A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Essex: Longman Scientific and Technical; 1991. 530 p.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**. v.220, p.242-258. 2005.

LEITE, L. F. C. et al. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1257-1263, 2013. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n12/v17n12a02.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

LIMA, G. K. Caracterização de vertissolos do Nordeste brasileiro. 2014. 101 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo), Recife, PE, 2014.

LOSS, A. et al. Carbon, nitrogen and natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ of light-fraction organic matter under no-tillage and crop-livestock integration systems. **Acta Scientiarum**.

Agronomy, v.34, n.4, p.456-472, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v34n4/a15v34n4.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

LOSS, A. et al. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.35, p.2153-2168, 2013.

LOSS A. et al. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v.69, n.4, p.913-922, 2010. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n4/v69n4a18.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

LOSS, A. et al. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.1, p.01-10, 2014.

LUGATO, E. et al. Relationship between Aggregate pore size distribution and organic-humic carbon in contrasting soils. **Soil & Tillage Research**, v.103, p.153-157, 2009.

MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo: um procedimento para a estimativa pormenorizada do sequestro de carbono pelo solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA – solos, 2002. 6p. (**Comunicado técnico, 9**).

MATOSO, S. C. G. et al. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v.42, n.2, p.231-240, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/aa/v42n2/v42n2a08.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2017.

MELO, G. B. et al. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1511-1519, 2016. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v51n9/0100-204X-pab-51-09-1511.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

MÜLLER, C. B.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Oxidizable fraction of organic carbon in an argisol under different land use systems. **Cerne**, v.18, n.2, p.215-222, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n2/a05v18n2.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

MUÑOZ-ROMERO, V. et al. Effects of tillage, crop rotation and N application rate on labile and recalcitrant soil carbon in a Mediterranean Vertisol. **Soil & Tillage Research**, v.169, p.118-123, 2017.

OLIVEIRA FILHO, A. F. et al. Eficiência agrônômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.729-736, 2016. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n4/1806-6690-rca-47-04-0729.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

OLIVEIRA FILHO, J. S.; PEREIRA, M. G.; AQUINO, B. F. Organic matter labile fractions and carbon stocks in a typical quartzipsamment cultivated with sugarcane harvested without burning. **Revista Caatinga**, v.30, n.1, p.24-31, 2017. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v30n1/1983-2125-rcaat-30-01-00024.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

OLIVEIRA, J.T. et al. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.132-138, 2008. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32nspe/28.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2017.

PARSAMANESH, N. et al. Evaluation of distribution functions of organic carbon with soil depth in Vertisols and Inceptisols. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v.2, p.177-183, 2013.

PORTUGAL, A. F. et al. Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p.545-553, 2010. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v57n4/a18v57n4.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no Nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v.7, p.1-11, 2011.

ROSA, D. M.; Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.2, p.221-230, 2017. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rca/v48n2/1806-6690-rca-48-02-0221.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de cerrado. **Sociedade & Natureza**, v.24, n.2, p.359-376, maio/ago. 2012. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n2/14.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

SANTOS, F. N. **Qualidade do solo em cultivos consorciados de fava em agroecossistemas familiares no Agreste da Paraíba**. 2015. p.119. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.

SEDDAIU, G. et al. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.167, p.1-11, 2013.

SILVA, E. F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura- pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SILVA, G. F. et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.25-35, 2015. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n3/1983-2125-rcaat-28-03-00025.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Cap. VI, 2007, p.275-374.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESSCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região do cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.3, p.541-547, 1994.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science Society of America Journal**, v.162, p.795-807, 1997.

SEYOUM, M. Assessment of soil fertility status of Vertisols under selected three land uses in Girar Jarso District of North Shoa Zone, Oromia National Regional State, Ethiopia. **Environmental Systems Research**, v.5, p.1-16, 2016.

SOUSA, F. P. et al. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.148, p.11-21. 2012.

SOUSA, J. L. M. et al. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.5, p.392-398, 2015.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1113-1122, 2003. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n6/19206.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: Wiley, 1994. 496p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020.

TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p. (**Boletim técnico**, 5).

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VIEIRA, F. C. B. et al. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v.96, p.95-204, 2007.

VINHAL-FREITAS, I. C. et al. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, New York, v.74, p.182-190, 2017.

XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.247-258, 2006. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n2/a06v30n2.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

ZINN, Y. L. et al. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões Sul e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1395-1406, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n5/03.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM VERTISSOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO COM MÉDIA E LONGA DURAÇÃO

RESUMO

FERREIRA FILHO, ROBERTO MONTEIRO. Atributos físicos de Vertissolo em sistemas de consórcio com média e longa duração. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Dezembro de 2017. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Djail Santos, PhD.

Diferentes sistemas de manejo agrícola e seu tempo de utilização provocam alterações nos atributos físicos do solo, induzindo a uma perda de sua qualidade em decorrência da remoção da vegetação nativa e o uso da mecanização agrícola. São poucos os resultados de estudos sobre a influência do tempo de cultivo nos atributos físicos de Vertissolos manejados em sistemas de consórcio com a cultura da fava (*Phaseolus lunatus* L.) no semiárido nordestino. Diante disso, avaliou-se as alterações de alguns atributos físicos de Vertissolos sob sistemas de consórcio cultivados com a cultura da fava tendo como referência uma área sob Caatinga.

A pesquisa foi realizada no município de Queimadas, na mesorregião do Agreste Paraibano. O solo dos ambientes em estudo foi um VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico. Em cada parcela experimental de 800 m² foi realizado um padrão de amostragem aleatória simples com emprego de quatro quadrantes de 200 m², a amostragem do solo procedeu-se dentro de cada quadrante em três repetições distintas e independentes nas camadas 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. As amostras indeformadas de solo (98,12 cm³) foram coletadas dentro de cada quadrante com a abertura de 3 mini-trincheiras com 20 cm de profundidade distanciadas por 4 m. Os ambientes de estudo foram: (MN: Ambiente controle com vegetação tipicamente nativa do bioma Caatinga; CS: Vegetação de crescimento secundário – ambiente recultivado com espécies arbóreas típicas regionais com 10 anos; e SC8 e SC44: Áreas de Agricultura familiar em sistema de consórcio cultivadas a médio (8 anos) e longo (44 anos) prazos, respectivamente). Os atributos físicos avaliados foram: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD) e resistência do solo à penetração (RP). A RP foi avaliada no campo nas profundidades de 2,5; 7,5 e 15 cm. Observou-se diferença significativa para Ds ($F_{3,36} = 17,42$; $p < 0,001$; $F_{3,36} = 8,21$; $p < 0,01$), Ma ($F_{3,36} = 15,5$; $p < 0,001$; $F_{3,36} = 7,63$; $p < 0,01$), e RP ($F_{3,36} = 7,54$; $p < 0,001$). Os maiores valores de Ds foram encontrados no ambiente MN e na camada de 0,10 - 0,20 m (1,5 e 1,35 g cm⁻³), respectivamente. Os maiores valores de Ma foram verificados no ambiente SC8 e SC44 e na camada de 0 - 0,05 m (0,07; 0,06 e 0,05 m³m⁻³), respectivamente. Já o maior valor de RP (2,25 kg cm⁻²) foi

verificado para a interação entre o ambiente *SC44* e a camada de 0,10 - 0,20 m. Não foram encontradas diferenças significativas entre os ambientes e as camadas de amostragem do solo nas variáveis Pt, Mi, CC, PMP e AD. Os diferentes sistemas de manejo alteram as propriedades físicas do Vertissolo estudado em relação à vegetação nativa. A desinsidade do solo foi superior nos ambientes sem o revolvimento do solo (*MN*) e há 10 anos em regeneração (*CS*). Os sistemas de consórcio apresentaram os menores valores de *Ds*. Os maiores valores de macroporosidade foram observados nos ambientes em que ocorreram o revolvimento do solo para o plantio sendo eles: *SC8* e *SC44* anos. Nos quatro ambientes avaliados a *RP* apresentou os maiores valores na camada de 0,10 - 0,20 m.

Palavras-chave: *Phaseolus lunatus* L., Caatinga, sistemas de manejo

ABSTRACT

FERREIRA FILHO, ROBERTO MONTEIRO. **Vertisol physical properties in medium- and long-term common bean – maize – fava bean rotation in field conditions of brazilian semiarid.** Agrarian Sciences Center UFPB, December 2017. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Djail Santos, PhD.

Different of soil management systems can change the soil physical properties in medium- and long-term of their utilization. These changes can induce soil quality loss due to intense mechanization and lacking native plant species in a natural ecosystem. Some studies have reported the influence of consecutive farming systems on soil physical attributes of Vertisols in intercropping systems with fava (*Phaseolus lunatus* L.) in the brazilian northeast. Our aim here was to evaluate the effects of plant rotation systems on soil physical properties of a Vertisol under field conditions of Caatinga biome. This study was carried out at Queimadas, Paraíba, Brazilian Northeast. Soil samples were collected from four environments: *MN*: Caatinga – This environment contains only native plant species from Caatinga biome (Control); *CS*: Secondary growth vegetation – This environment contains typical regional tree species (native and exotic plant species) over 10 years old; and *SC8* and *SC44*: These environments were characterized by medium (8 years) and long-term (44 years) smallholder farming systems in a common bean – maize- fava bean rotation. We establish for each environment one plot of 800 m². We collected soil samples from four sub-plots (200 m²) in each plot using a randomized systematic sampling. Soil sampling was performed within each sub-plot at three repetitions. We also collected soil samples in three soil depths: 0.00 – 0.05 m; 0.05 – 0.10 m and 0.10 – 0.20 m. Undisturbed soil samples (98.12 cm³) were collected within each quadrant with the opening of 3 mini-trenches with 20 cm depth spaced 4 m apart. Bulk density (Bd), total porosity (Tp), soil macroporosity (Ma), soil microporosity (Mi), field capacity (CC), permanent wilting point (PMP), available water, and resistance to penetration (PR) were evaluated. PR was evaluated in the field at depths of 2.5; 7.5 and 15 cm. There were significant differences for Bd ($F_{3,36} = 17.42, p < 0.001, F_{3,36} = 8.21, p < 0.01$), Ma ($F_{3,36} = 15.5, p < 0.001, F_{3,36} = 7.63, p < 0.01$), and PR ($F_{3,36} = 7.54, p < 0.001$) among all studied treatments. The highest values of Bd were found in the *MN* environment at the 0.10 - 0.20 m (1.5 and 1.35 g cm⁻³), respectively. The highest values of Ma were verified in both *SC8* and *SC44* at the layer of 0 - 0.05 m (0.07, 0.06 and 0.05 m³m⁻³), respectively. The highest value of RP

(2.25 kg cm^{-2}) was verified in the *SC44* environment at the 0.10 - 0.20 cm. No significant differences were found between the environments and the soil sampling layers in the variables Tp, Mi, CC, PMP and AD. The different soil management systems alter soil physical properties of a Vertissol in field conditions of Brazilian semiarid. Bulk density was higher in the environments without soil rotation (*MN*) and 10 years in regeneration (*CS*). The consortium systems showed the lowest values of Bd. The highest values of macroporosity were observed in the environments where the soil was stirred for planting: *SC8* and *SC44* years. In the four environments evaluated, RP presented the highest values in the 0.10 - 0.20 m layer.

Keywords: *Phaseolus lunatus* L., Caatinga, management systems

1 INTRODUÇÃO

Poucas são as respostas voltadas para as alterações dos atributos físicos de Vertissolos sob diferentes manejos em áreas de agricultura familiar no bioma Caatinga, sendo o monitoramento dos atributos físicos uma ferramenta que auxilia na avaliação de possíveis alterações no sistema solo, bem como para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Pereira et al., 2011).

No bioma Caatinga a área com Vertissolos representa apenas 1 % entre as ordens do SiBCS (Jacomine et al., 1996). Devido a sua fertilidade natural possuem alto potencial produtivo para o cultivo de várias espécies (FAO, 2014). Porém, sua mineralogia permite a ocorrência de características físicas peculiares como: (i) Textura normalmente argilosa, ou muito argilosa, nos horizontes superficiais; (ii) Fendas verticais no período seco; (iii) Consistência quando seco, variando de muito dura a extremamente dura e quando molhado, muito plástica e muito pegajosa; e (iv) Baixas permeabilidade e infiltração (Aydinalp, 2010; FAO, 2014; EMBRAPA, 2014).

Nas unidades de produção familiares da região Nordeste atividades agropecuárias como a criação de animais e cultivo de plantas são fundamentais para a nutrição e geração de renda dos agricultores familiares, onde o sistema de cultivo predominante é o consórcio entre culturas (Oliveira Filho et al., 2016), como exemplo: o milho (*Zea mays* L.), os feijões [(*Phaseolus vulgaris* L.) e (*Vigna unguiculata* L. Walp.)], e a fava (*Phaseolus lunatus* L.) que se destaca como uma leguminosa produtora de grãos comestíveis com alto valor protéico.

A região Nordeste é a principal produtora de fava e o Estado da Paraíba foi o maior produtor em 2016 com uma produção de 1.238 toneladas (IBGE, 2016). Mesmo a Paraíba sendo um grande produtor nacional de fava, há necessidade de pesquisas que avaliem a influência do seu cultivo consorciado com outras culturas e com a criação de bovinos, nos atributos físicos do solo.

Esta pesquisa foi fundamentada na seguinte hipótese: alguns atributos indicadores da qualidade física do solo são modificados a partir do cultivo em consórcio a longo prazo em comparação a um ambiente de vegetação nativa. A implantação de sistemas agrícolas em áreas ocupadas por vegetação nativa pode acarretar em alterações das propriedades

físicas, químicas e biológicas do solo (Arcoverde et al., 2015). Várias alterações físicas no meio edáfico já foram constatadas em virtude da remoção da cobertura vegetal, como na porosidade, densidade do solo, distribuição dos agregados e estrutura (Silva et al., 2015; Marinho et al., 2016; Silva et al., 2018), cujas alterações comprometem diretamente a aeração, a resistência à penetração, o fornecimento de água, entre outros (Reichert et al., 2016).

O presente estudo teve como objetivo avaliar atributos físicos de um Vertissolo em sistemas de consórcio cultivados com feijão, milho e fava no Agreste Paraibano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada em uma área de agricultura familiar com quatro ambientes distintos, localizada na “Fazenda Velha”, município de Queimadas, Paraíba, Brasil, na mesorregião do Agreste Paraibano, bioma Caatinga - 07°21'51''S, 35°54'02''W, 480 m. O clima é do tipo As' (Tropical semiárido) de acordo com classificação de Köppen-Geiger, precipitação anual de 431,8 mm, e temperatura média de 24,7 °C. Dados referentes às condições climáticas dos ambientes de estudo do período compreendido entre maio de 2016 e agosto de 2017 foram obtidos no site do INMET (<http://www.inmet.gov.br>). Em particular, para a cidade de Queimadas, Paraíba, Brasil, foram consideradas e reportadas a precipitação mensal e a temperatura média (Fig. 1).

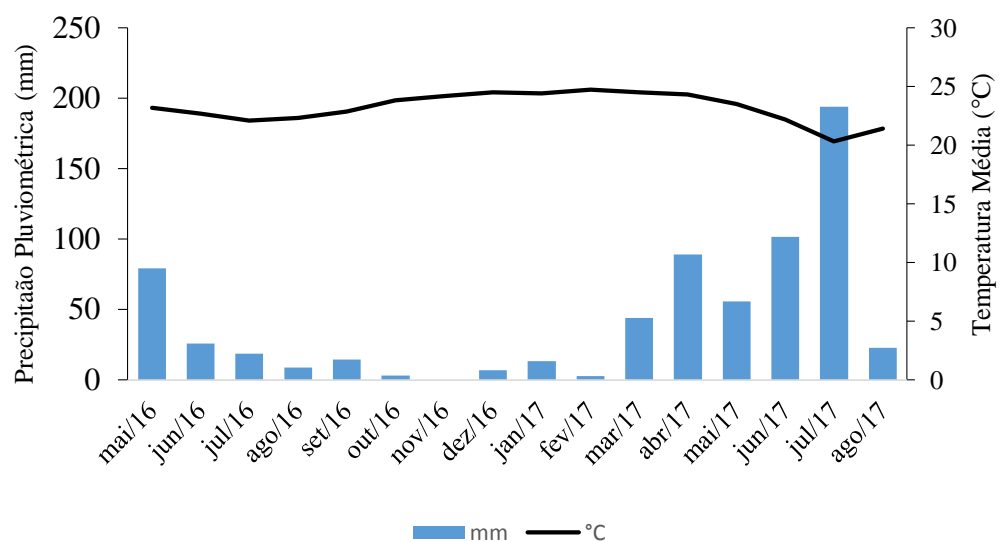


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média no município de Queimadas-PB. Fonte: <http://www.inmet.gov.br>.

2.2 Ambientes de estudo

De acordo com o levantamento exploratório e tomando como base o histórico, manejo e uso da terra foram selecionados quatro ambientes distintos entre si para avaliação. Os quatro ambientes avaliados foram caracterizados como:

1. Caatinga (MN): Ambiente apresenta vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila, composta principalmente por aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.), aveloz (*Euphorbia tirucalli* L.), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), braúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), quixabeira (*Brumelia sertorum* Mart.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), jurema branca (*Mimosa verrucosa* Benth.), umburana [*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillett.] e mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), Reserva Legal;
2. Vegetação de crescimento secundário (CS): Ambiente que apresenta vegetação de crescimento secundário. Há 10 anos que não é realizada nenhuma atividade agrícola neste ambiente (i.e., cultivo de fava). Essa área foi cultivada com fava, milho e feijão sendo em seguida deixada para pousio há 10 anos. Observou-se na área a presença das espécies nativas jurema branca (*Mimosa verrucosa* Benth), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), e da espécie exótica algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.].
3. Consórcio fava/milho/feijão com 8 anos de cultivo consecutivos (SC8): Ambiente cultivado há 8 anos em sistema anual de rotação de culturas [Fava (orelha de vó – *Phaseolus lunatus* L.), milho (*Zea mays* L.), feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp)]. Antes dos cultivos havia predomínio no ambiente de vegetação nativa típica do bioma Caatinga. Para o preparo inicial do ambiente a ser cultivado foram realizados o corte e queima da vegetação nativa seguida de aração e gradagem com trator objetivando o revolvimento do solo. Antes do plantio foi realizada uma aração com cultivador de tração animal. O espaçamento utilizado foi de 2,00 × 1,00 m. No espaçamento entre as fileiras (2,00 m) foi cultivado os feijões carioca e macassar. Após a colheita da fava (150 dias) bovinos foram introduzidos na área para pastejo.
4. Consórcio fava/milho/feijão com 44 anos de cultivo consecutivos (SC44): Ambiente cultivado há 44 anos com fava (orelha de vó), milho e feijão carioca e macassar. Antes dos cultivos havia predomínio no ambiente de vegetação nativa típica do bioma Caatinga. Para o preparo inicial do ambiente a ser cultivado foram realizados o corte e queima da vegetação nativa seguida de aração com trator objetivando o revolvimento do solo. Antes do plantio foi realizada uma aração com cultivador de tração animal. O espaçamento utilizado foi de 2,0 × 1,0 m. No espaçamento entre as fileiras (2,0 m) foi cultivado o feijão carioca e o feijão macassar. Após a colheita da fava (150 dias) bovinos foram introduzidos na área para pastejo.

2.3 Ordem de solo, delineamento e amostragem do solo

O solo dos ambientes estudados foi classificado como: VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico, com textura franco-argilosa, relevo suave ondulado, presença de argilas expansivas de alta atividade que lhe conferem fendas quando seco e sequência de horizontes Apv, Biv, Cg e R (EMBRAPA, 2014; Santos, 2015).

Empregou-se um esquema fatorial 4×3 , sendo quatro referente aos ambientes em estudos: Caatinga; Vegetação de crescimento secundário; Sistema de consórcio com 8 anos e Sistema de consórcio com 44 anos, e três referente as camadas 0 - 0,05 m; 0,05 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m.

Cada ambiente apresentou uma parcela experimental de 800 m^2 , sendo realizado um padrão de amostragem aleatória simples com emprego de quatro quadrantes com 200 m^2 . A amostragem do solo procedeu-se dentro de cada quadrante com cinco repetições independentes entre si nas camadas 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m.

A amostragem do solo procedeu-se dentro de cada quadrante em três pontos repetidos distanciados por 4 metros nas camadas 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m, conforme esquematizado na Figura 2. A época da amostragem no início de outubro de 2016, durante a época de baixa precipitação e quando as plantas de fava estavam no estágio de maturação fisiológica e no ponto de colheita.

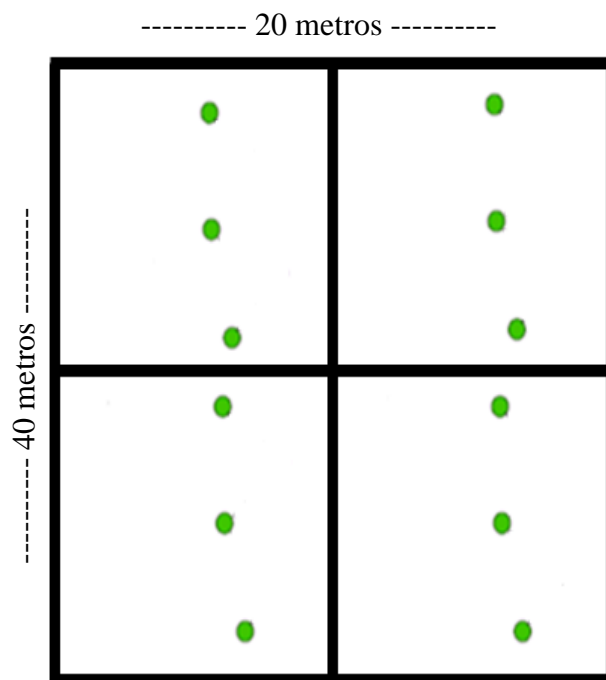


Figura 2. Esquema de coleta de amostras indeformadas em ambiente com 800 m^2 .

Antes da amostragem, em virtude da baixa umidade do solo foram adicionados 9 L de água em cada ponto de coleta. As amostras indeformadas de solo foram coletadas com

um amostrador tipo Uhland, utilizando-se cilindros volumétricos de $98,12 \text{ cm}^3$, e após a coleta foram envolvidas com plástico filme e identificadas. Nos três pontos em cada quadrante onde foram coletadas as amostras, abriu-se uma mini-trincheira para a avaliação da resistência à penetração (RP) nas profundidades de 2,5; 7,0 e 15 cm, utilizando-se um penetrômetro de bolso Modelo 16-T0171, sendo os valores expressos em kg cm^{-2} . Após as leituras da RP, coletou-se amostras nas mesmas profundidades desta variável para análise do teor de umidade do solo sendo os valores 0,20, 0,26, 0,22 e 0,26 kg kg^{-1} para os ambientes MN, CS, SC8 e SC44 anos, respectivamente.

A densidade do solo (Ds) foi determinada a partir de amostras com estrutura preservada, coletadas em cilindros de volume conhecido e secas a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, até massa constante (Blake; Hartge, 1986). O volume de macroporos foi determinado por meio de retenção de água após saturação das amostras do solo que, em seguida, foram submetidas à tensão de 6 kPa na mesa de tensão. O volume de microporos foi obtido pela diferença entre a massa da amostra após equilíbrio na mesa de tensão e a massa obtida após secagem por 24 horas a $105 \text{ }^\circ\text{C}$. A porosidade total foi obtida pelo somatório de macro e microporosidade (Donagema et al., 2011). Para determinação das umidades na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) foi utilizado um aparelho extrator de Richards a potenciais matriciais de -0,030 MPa e de -1,5 MPa e, pela diferença entre a CC e a PMP, foram calculados os valores de água disponível (AD) conforme (Donagema et al., 2011).

2.4 Análises estatísticas

Foi empregado a análise de variância (Two-way ANOVA) para comparar os dados de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, umidade gravimétrica e resistência à penetração das amostras de solo coletadas nos quatro ambientes de estudo e nas três camadas de amostragem. As médias foram comparadas através do teste de Bonferroni ($p < 0,05$), após análise de variância. A análise de variância e o teste de média foram empregados usando o software SAS[®] 9.1.3 Portable.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 3 a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) para a densidade do solo (Ds), entre os ambientes e as camadas avaliadas. Foram observados os

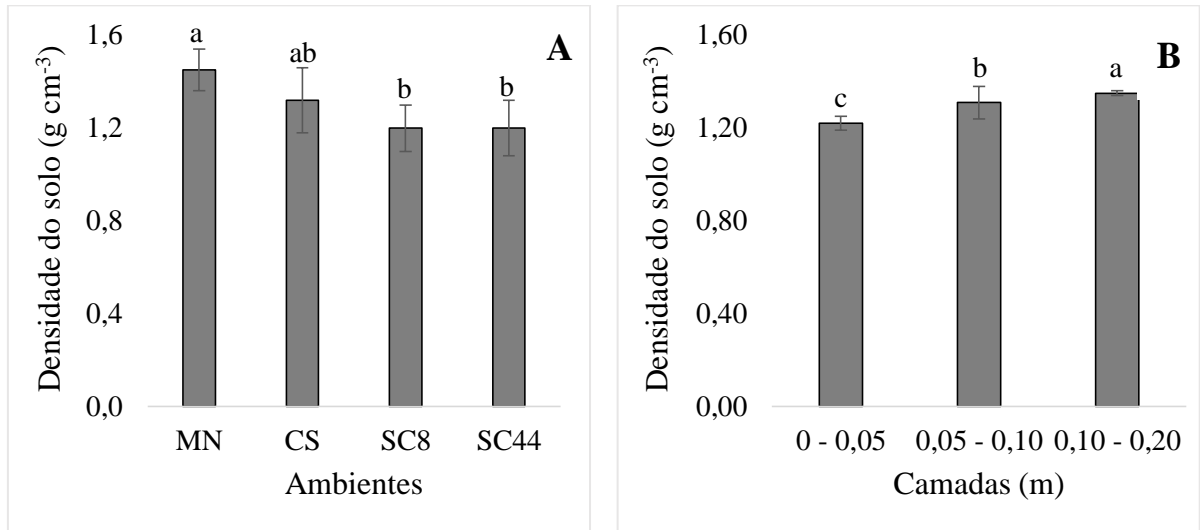


Figura 3. Densidade do Solo (g cm^{-3}) em diferentes ambientes (A) e valores nos diferentes horizontes (B) do solo do bioma Caatinga. MN - Caatinga - vegetação tipicamente nativa; CS - Crescimento Secundário após 10 anos de cultivo; SC8 e SC44 - Sistema de consórcio com 8 e 44 anos de cultivo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Os valores de Ds encontrados nos quatro ambientes estão dentro da amplitude de normalidade previstos para os solos de textura argilosa ($1,0 - 1,6 \text{ g cm}^{-3}$) conforme Buckman e Brady (1983).

O fato de o ambiente Caatinga apresentar maior Ds, possivelmente está relacionado com uma menor perturbação antrópica em relação aos sistemas de consórcio, que devido ao Revolvimento do solo com o uso de mecanização, promoveu alteração da sua estrutura na camada em estudo (0 - 0,20 m), conforme pode-se constatar na Figura 4A, com aumento da macroporosidade nas áreas de cultivo.

Sales et al. (2016) observaram em dois sistemas de cultivo sob um Latossolo no semiárido que a Ds foi menor nos ambiente com maior intensidade de revolvimento do solo ($1,45 \text{ g cm}^{-3}$) em comparação quando houve menor intensidade de revolvimento ($1,63 \text{ g cm}^{-3}$), sendo os sistemas de cultivo convencional e plantio direto, respectivamente.

Avaliando um VERTISSOLO EBÂNICO Ortíco típico no município de Cachoerinha-PE, situado no bioma Caatinga, Lima (2014) observou valor de Ds ($1,63 \text{ g cm}^{-3}$) semelhante ao encontrado na MN ($1,5 \text{ g cm}^{-3}$).

Em pesquisa realizada por Corrêa et al. (2003) foram encontrados em dois Vertissolos no município de Sousa-PB, valores de Ds superiores aos obtidos nesta pesquisa (1,93 e 1,90 g cm⁻³). De acordo com os autores, esses altos valores de densidade provavelmente foram influenciados pelo alto grau de dispersão das argilas do solo, que favoreceu um arranjo dos argilominerais, a migração à curta distância, e consequentemente o preenchimento de poros, que associados com a contração e a expansão, promoveram esse maior adensamento.

Já Mohammed (2017) após avaliar o impacto do uso e das práticas de manejo nos atributos físicos e químicos de um Vertissolo localizado no distrito de Pawe (Etiópia), encontrou valor inferior de Ds (1,19 g cm⁻³) no tratamento controle (vegetação nativa). Porém, em três das quatro áreas de cultivo avaliadas este autor encontrou valores Ds semelhantes aos observados nos ambientes SC8 e SC44 (1,22; 1,21 e 1,24 g cm⁻³). Os menores valores de Ds na área de vegetação nativa foi atribuída pelos autores ao maior conteúdo de matéria orgânica.

Observa-se que a Ds nas camadas de 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m apresentaram tendência de acréscimo com o aumento da profundidade (Figura 3B). Resultados similares foram constatados por Corrêa et al. (2003) ao avaliarem dois Vertissolos em Sousa-PB, com valores de 1,93; 2,05 e 2,21 g cm⁻³ nas camadas de 0 - 18, 18 - 45 e 45 - 80 cm, respectivamente, e de 1,90, 1,90, 1,93 e 1,98 g cm⁻³ nas camadas 0 - 17, 17 - 40, 40 - 66 e 66 - 85+ cm, respectivamente.

Giday et al. (2015) também observaram maiores valores de Ds nas maiores profundidades em um Vertissolo no Tigray do Sul (Etiópia), sendo os valores 1,18; 1,29 e 1,32 g cm⁻³ nas camadas de 0 - 25, 25 - 98 e 98 - 150+ cm, respectivamente. Os maiores valores de Ds na camada mais profunda, em comparação às camadas superiores, ocorrem devido à pressão exercida por estas sobre as camadas subsuperficiais e também aos mecanismos de eluviação de argila provocando o fenômeno do adensamento (Dantas et al., 2010; Sales et al., 2016).

Observa-se diferenças significativas ($p < 0,05$) na macroporidade (Ma) entre os ambientes e as camadas em estudos (Figura 4). Os maiores valores foram verificados nos ambientes SC8 e SC44, que não diferiram estatisticamente, e os menores valores foram encontrados nos ambientes MN e CS (Figura 4A). Este comportamento da Ma entre os ambientes possivelmente está associado a movimentação do solo no preparo da área para o plantio, já que as práticas da aração e gradagem promovem redução do volume de microporos e aumento no volume de macroporos (Matias et al., 2012).

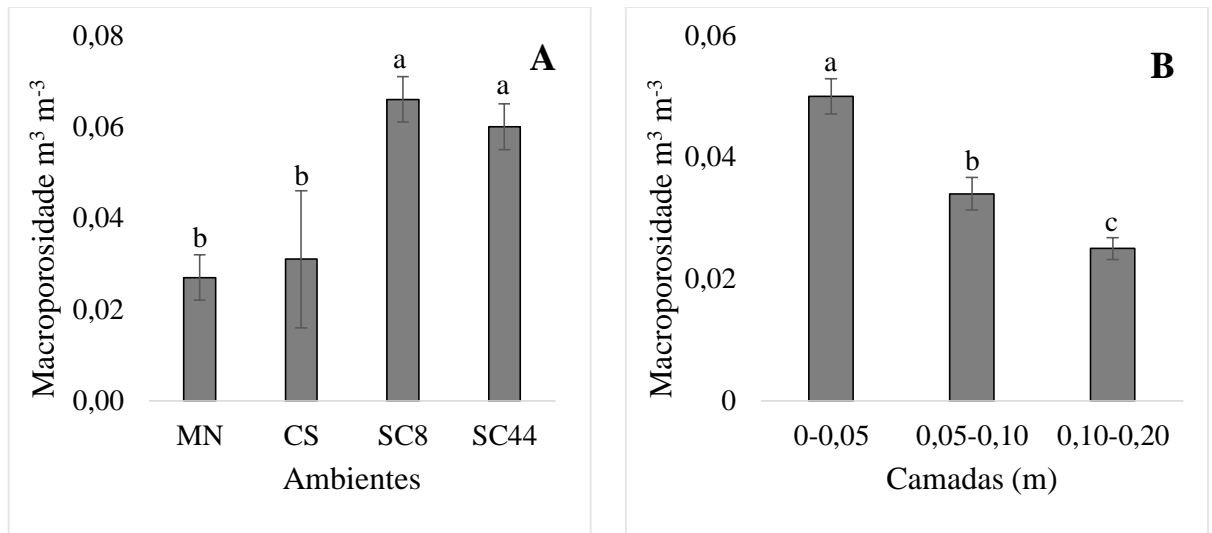


Figura 4. Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em diferentes ambientes (A) e três camadas (B) em Vertissolo Ebrânico do Bioma Caatinga. MN - Caatinga - vegetação tipicamente nativa; CS - Crescimento Secundário após 10 anos de cultivo; SC8 e SC44 - Sistema de consórcio com 8 e 44 anos de cultivos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Esses resultados corroboram com a pesquisa realizada em 4 áreas por Mota et al. (2017), que encontraram nos ambientes em que o solo foi revolvido utilizado grade aradora para realização do cultivo com frutíferas, maiores valores médios de macroporosidade ($0,104$ e $0,101 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) nas camadas $0 - 0,1$ e $0,1 - 0,2$ m, respectivamente, quando comparados com uma área de mata secundária com 10 anos no bioma Caatinga ($0,88$ e $0,91 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$).

Já Sales et al. (2016) observaram que os valores de macroporos foram significativamente menores no solo cultivado, em comparação ao solo sob mata nativa. Diferentemente dos dados obtidos nesta pesquisa e nas pesquisas citadas anteriormente, Mascarenhas et al. (2017) não encontraram diferença significativa na Ma no ambiente de mata nativa comparando-se com um sistema agroflorestal multiestratificado, um cultivo de cacau sob manejo agroecológico e uma área de pastagem, sendo os valores $0,12$, $0,12$, $0,10$ e $0,13 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$.

Os resultados apresentados mostram que o manejo adotado nos sistemas de consórcio com 8 e 44 anos promoveram alterações na Ma, quando comparados aos ambientes MN e CS, cujos resultados estão em conformidade com van Ouwerkerk e Boone (1970), indicando que sistemas com menor mobilização do solo mudam a distribuição do tamanho dos poros, com redução dos poros de maior tamanho.

Os valores de Ma apresentaram tendência de decréscimo conforme o aumento da profundidade, sendo o maior valor na camada $0 - 0,05$ m ($0,05 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$). Mota et al. (2017),

observaram essa mesma tendência nos solos de quatro áreas cultivadas com valores de 0,104, 0,101 e 0,095 m^3m^{-3} , nas camadas de 0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,3 m, respectivamente.

Em virtude dos Vertissolos possuírem textura normalmente argilosa ou muito argilosas nos horizontes superficiais (EMBRAPA, 2014), conseqüentemente apresentam predomínio de microporos em relação aos macroporos (Amaro Filho et al., 2008). Por isto, independentemente de ambientes e profundidades, a macroporosidade apresentou valores baixos quando comparada a solos com textura mais arenosa. No bioma Caatinga, especificadamente na Chapada do Apodi-CE, Mioti et al. (2013) avaliando um Cambissolo Háplico carbonático típico, de textura franco argilo arenosa encontraram valores de M_a de 1,4 m^3m^{-3} para a camada de 0 - 20 cm superior em 95 % em relação ao ambiente SC8 do presente estudo.

Os resultados da resistência à penetração (RP) nos quatros ambientes e nas três profundidades estão apresentados na Figura 5. Observa-se que os maiores valores de RP foram obtidos nos sistemas de consórcio com 44 anos (2,3 kg cm^{-2}) e 8 anos (1,9 kg cm^{-2}) na camada mais profunda. Para os ambientes de MN e CS os maiores valores também foram observados na camada mais profunda, sendo 1,3 e 1,4 kg cm^{-2} , respectivamente. Em razão dos ambientes MN e CS não sofrerem revolvimento do solo, provavelmente ocorreu concomitantemente nesses ambientes maiores processos de floculação, agregação e redução na velocidade de mineralização da matéria orgânica (Castro Filho et al., 1998), contribuindo assim, para os menores valores desta variável nesta camada.

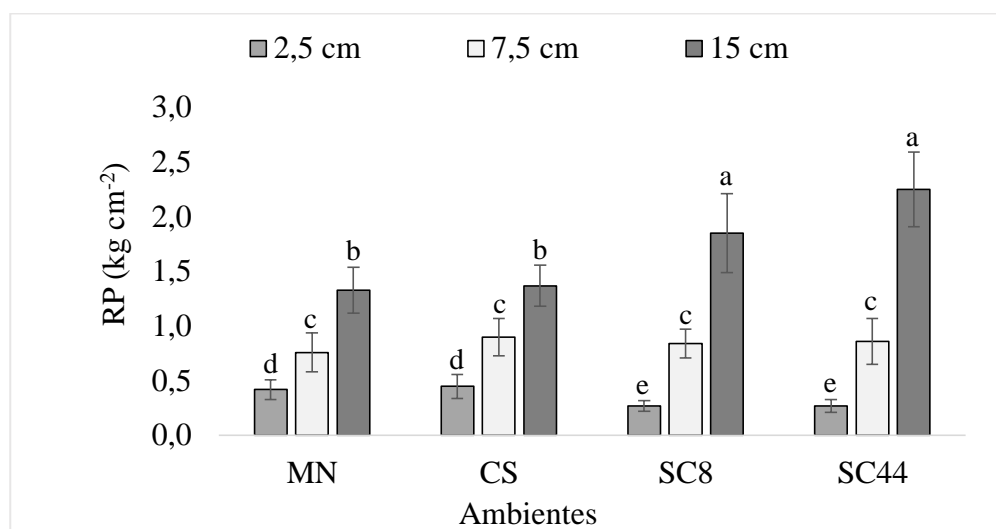


Figura 5. Resistência à penetração em quatro ambientes e três camadas de Vertissolo do bioma Caatinga. MN - Caatinga - vegetação tipicamente nativa; CS - Crescimento Secundário após 10 anos de cultivo. SC8 e SC44 - Sistemas de consórcio com 8 e 44 anos na ca de cultivos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de mento do solo nestes ambientes contribuindo para maiores valores de macroporosidade, conforme

foi observado na Figura 4A. De maneira geral, a RP apresentou valores crescentes da camada superficial para as subsuperficiais, sendo essa tendência encontrada também por Coelho et al. (2012) em avaliação de um Vertissolo cultivado há mais de 15 anos com a cultura da manga no município de Juazeiro-BA.

Entre os quatro ambientes estudados, apenas o SC44 na profundidade de 15 cm, apresentou valor de RP superior a $2,0 \text{ kg cm}^{-2}$. A partir desse dado, esta condição possivelmente causará efeitos restritivos ao crescimento das plantas, pois embora não haja um consenso sobre os valores de RP limitantes ao desenvolvimento das plantas, normalmente se adotam de 2,0 a 2,5 MPa ou $2,0 \text{ kg cm}^{-2}$ (Taylor et al., 1966; Argenton et al., 2005; Betioli Júnior et al., 2012; Sales et al., 2016).

Assim, faz-se necessário para as condições desse estudo uma avaliação da RP abaixo dos 15 cm, para que seja possível comprovar ou não uma possível camada compactada que restrinja o desenvolvimento radicular. Isso porque os ambientes com sistemas de consórcio apresentam propensão a alterações nesta variável, considerando o uso de máquinas para o preparo do solo e o pastejo de animais ao final do ciclo da fava.

Nesta pesquisa não houve diferença estatística para os atributos CC, PMP, AD, e Pt. Portanto independentemente do ambiente avaliado não ocorreu alteração na capacidade de retenção de água do solo.

4 CONCLUSÃO

Os diferentes usos e manejos influenciam nos atributos físicos de Vertissolo do bioma Caatinga;

Os sistemas de consórcio apresentaram valores semelhantes dos atributos físicos Ds, Ma e RP, porém diferiram do ambiente MN;

A densidade do solo foi superior nos ambientes sem o revolvimento do solo (MN) e há 10 anos em regeneração (CS);

A partir da RP a compactação superficial foi mais intensa nos sistemas de consórcio, mas não alterou a retenção de água;

Não houve diferença estatística entre os ambientes CS e MN, quanto aos atributos físicos

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO FILHO, J. ASSIS JUNIOR, R. N. MOTA, J. C. A. Relações massa-volume. In: **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p.137-165. 2008.

ARCOVERDE, S. N. S. et al. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.5 p.1473-1482, 2015. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n5/0100-0683-rbcs-39-5-1473.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.425-435, 2005. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n3/25743.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

AYDINALP, C. Some important properties and classification of vertisols under Mediterranean climate. **African Journal of Agricultural Research**, v.5, n.6, p.449-452, 2010.

BETIOLI JÚNIOR, E. et al. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.971-982, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n3/27.pdf>>. Acesso em 03 dez. 2017.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE A, ed. **Methods of soil analysis**. 2nd. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America; 1986b. Pt.1. p.377-82. (Agronomy monography, 9).

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

CASTRO FILHO, A.; 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**, v.22, p.527-538, 1998. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n3/19.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.755-764, 2012. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n3/07.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

DANTAS, V. B. Comportamento físico de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes doses de palha de aveia. **Revista Verde**, v.5, n.5, p.06-11, dez. 2010.

DONAGEMA, G. K. et al. (Org.) **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4 ed. Brasília: Embrapa, 2014. 266p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 191p. 2014 (World Soil Resources Reports 106).

GIDAY, O.; GIBREKIDAN, H.; BERHE, T. Soil fertility characterization in Vertisols of Southern Tigray, Ethiopia. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v.2, p.1-7, 2015.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, vol.43, p.1-59, 2016.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, SBCS-UFV, 1996.

LIMA, G. K. **Caracterização de vertissolos do Nordeste brasileiro**. 2014. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Recife, PE, 2014.

MATIAS, A. S. R. et al. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.414-420, 2012. Disponível em:<<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=v7i3a1462&path%5B%5D=1167>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

MARINHO, A. C. C. S. et al. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.1, p.32-41, 2016.

MASCARENHAS, A. R. P. et al. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.37, n.89, p. 19-27, jan./mar. 2017.

MIOTTI, A. A. et al. Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.2, p.536-545, 2013. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v35n2/24.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2017.

MOHAMMED, M. Y. Impact of land use and management practice on soil physical and chemical quality indicators of Vertisols at Pawe, Northwestern Ethiopia. **African Journal of Agricultural Research**, v.12, p.1306-1313, 2017.

MOTA, J. C. A. et al. Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.11, p.277-289, 2017.

OLIVEIRA FILHO, A. F. et al. Eficiência agrônômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.729-736,

2016. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n4/1806-6690-rca-47-04-0729.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

PEREIRA, F.S. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1. p.87-95. 2011. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n1/a08v35n1.pdf>>. Acesso em 05 dez. 2017.

REICHERT, J.M. et al. Fire-free fallow management by mechanized chopping of biomass for sustainable agriculture in eastern Amazon: Effects on soil compactness, porosity, and water retention and availability. **Land Degradation & Development**, v.27, p.1403-1412, 2016.

SALES, R. P. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.3, p.429-438, jul-set, 2016.

SANTOS, F. N. **Qualidade do solo em cultivos consorciados de fava em agroecossistemas familiares no Agreste da Paraíba**. 2015. p.119. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.

SILVA, C. P. et al. Glomalin-Related Soil Protein Content in Areas of Degraded and Revegetated Caatinga in the Municipality of Irauçuba. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n.1, p.302-312, 2018.

SILVA, G. F. et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.25-35, jul./set. 2015. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n3/1983-2125-rcaat-28-03-00025.pdf>>. Acesso em: 01 Dez. 2017.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

VAN OUWERKERK, C.; BOONE, F.R. Soil-physical aspects of zerotillage experiments. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.18, p.247-261, 1970.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de consórcio promoveram alterações nas frações da MOS e nos atributos físicos (Ds, Ma e RP) de Vertissolo em comparação ao ambiente de vegetação nativa no bioma caatinga;

As frações da MOS e os atributos físicos avaliados foram semelhantes estatisticamente nos ambientes mata nativa e crescimento secundário;

O sistema de consórcio com maior tempo de uso do solo (SC44) apresentou os menores teores de MOS;

A prática do revolvimento do solo contribuiu para alteração dos atributos físicos Ds e Ma, em comparação ao ambiente de mata nativa;

É necessário adotar práticas de manejo que adicionem material orgânico ao solo, visando elevar os teores das frações da MOS em Vertissolos do bioma Caatinga.