



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

**ANA CAROLINA CÂMARA FERREIRA**

**ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS  
ANTROPIZADAS DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

**TERESINA - PI  
2014**

**ANA CAROLINA CÂMARA FERREIRA**

**ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS  
ANTROPIZADAS DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

**TERESINA - PI  
2014**

**ANA CAROLINA CÂMARA FERREIRA**

**Zootecnista**

**ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS  
ANTROPIZADAS DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

**Orientador:** Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

**Coorientador:** Dr. Bruno José Rodrigues Alves

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

**TERESINA - PI  
2014**

**ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS  
ANTROPIZADAS DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

ANA CAROLINA CÂMARA FERREIRA  
Zootecnista

Aprovada em 28/03/2014

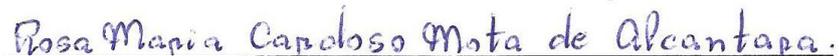
**Banca examinadora :**



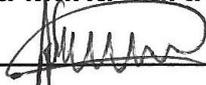
Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite - CPAMN/Presidente



Dr. Steel Silva Vasconcelos – Embrapa Amazônia Oriental/Titular



Dra. Rosa Maria Cardoso Mota de Alcantara – CPAMN /Titular



Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo –DEAS/CCA/UFPI/Titular

*“As dificuldades são passageiras. Desistir é para sempre.”*

L.A.

Às mulheres lindas e corajosas da minha vida, que são a minha inspiração e exemplos de caráter, resiliência e determinação,

### **OFEREÇO**

À minha pequena grande filha, meu porto mais seguro e à minha linda mãe, alicerce de tudo...

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda alegria e beleza do meu viver;

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro à execução do projeto de pesquisa;

À Embrapa Meio-Norte, pela cessão de estrutura operacional e logística para execução do projeto de pesquisa;

Ao Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite pela excelente orientação, constante incentivo, confiança, cumplicidade, grande amizade e as boas risadas;

À Professora Dra. Deborah Dick, pelos apoio e oportunidade de aprendizado e aos colegas da UFRGS pela acolhida. Agradecimento especial à Daniela Barbosa por todo suporte e à Ana Cristina Ludtke por toda ajuda e companheirismo;

Ao Professor Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo e ao Dr. Nico Eisenhauer pela parceria;

Aos colegas do laboratório de solos da Embrapa Meio-Norte: Adriana, Afonso, Arianne Márcia, Claudyanne, João Rodrigues, Moreira, Neyla, Nilza e Neuma pelas boas risadas, companhia e principalmente ajuda nas coletas e análises;

Aos colegas da Fazenda Experimental (Embrapa - São João do Piauí): Júlio Dutra e Francisco Teles e Ernandes, por todo comprometimento, dedicação e disponibilidade;

Ao assentamento Marrecas e à comunidade rural de São João do Piauí pela disponibilização das áreas para o estudo;

Aos colegas do PPGA pelo apoio e incentivo, em especial ao Alyson Alexandrino, Jayara e Ana Roberta pelo companheirismo e às amigas Claudyanne e Adriana pela cumplicidade, suporte e parceria;

À minha família pelo carinho, incentivo e suporte financeiro, em especial à Ana Beatriz, Ariadne e Rafael;

Às amigas de longas datas, longas distâncias e coração de perto: Indy, Kássia, Nanna, Maroquinha e Lulu;

Um especial agradecimento às pessoas que além da contribuição direta à execução do projeto, me deram conforto emocional, amparo e alicerce para tornar a temporada teresinense mais amena, divertida e feliz: César Nogueira & Família, Melissa Oda & Família e Marcos Emanuel & Família;

Meu eterno e profundo agradecimento aos meus amados Lúcio e Antônia, por terem sido muito mais que amigos, confidentes e porto seguro! Sem vocês a caminhada teria sido mais árdua, as subidas mais íngremes e a solidão uma companheira!;

Agradeço ainda, a todos que de alguma forma, participaram deste processo;

*Mange tak!*

## SUMÁRIO

### Sumário

|   |      |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS .....  | xiii |
| LISTA DE TABELAS .....  | xiv  |
| RESUMO GERAL.....   | ix   |
| GENERAL ABSTRACT .....  | 10   |
| INTRODUÇÃO GERAL.....   | 10   |
| REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....  | 13   |
| CAPÍTULO I – ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA E PROCESSOS MICROBIANOS<br>DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ANTROPIZADO EM ÁREAS DO<br>SEMIÁRIDO PIAUIENSE..... | 15   |
| RESUMO .....  | 15   |
| ABSTRACT.....   | 16   |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 17   |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 18   |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 23   |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 30   |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 31   |
| CAPÍTULO II – QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM UM<br>ARGISSOLO DA CAATINGA SOB SISTEMAS DE CULTIVO CONVENCIONAIS E<br>ALTERNATIVOS .....          | 36   |
| RESUMO .....  | 36   |
| ABSTRACT.....   | 37   |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 38   |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 39   |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 44   |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 53   |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 54   |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO. ESTADO DO PIAUÍ: REGIÃO SEMIÁRIDA (DESTAQUE EM CINZA) E MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO PIAUÍ (DESTAQUE EM PRETO). ..... 18
- FIGURA 2. EFEITO DOS TIPOS DE USO DO SOLO (CC: PASTAGEM DE CORTE; CM: MILHO; CP: CAUPI; GO: UVA; GP: PASTAGEM E NF: CAATINGA) E PROFUNDIDADE NO (A) TEOR DE CARBONO ORGÂNICO [DAG KG<sup>-1</sup>], (B) TEOR DE NITROGÊNIO [DAG KG<sup>-1</sup>], (C) ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO [MG HA<sup>-1</sup>] E (D) ESTOQUES DE NITROGÊNIO [MG HA<sup>-1</sup>]..... 27
- FIGURA 3. EFEITO DOS TIPOS DE USO DO SOLO (CC: PASTAGEM DE CORTE; CM: MILHO; CP: CAUPI; GO: UVA; GP: PASTAGEM E NF: CAATINGA) E PROFUNDIDADE NO (A) CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA [μG/G], (B) QUOCIENTE MICROBIANO [%], (C) RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO [(MGCO<sub>2</sub>G<sup>-1</sup>DIA<sup>-1</sup>)/DIA] (D) QUOCIENTE METABÓLICO [μGCO<sub>2</sub>μGCMIC<sup>-1</sup>DIA<sup>-1</sup>]..... 30

### CAPÍTULO II

- FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO. ESTADO DO PIAUÍ: REGIÃO SEMIÁRIDA (DESTAQUE EM CINZA) E MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO PIAUÍ (DESTAQUE EM PRETO). ..... 40
- FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DA FRAÇÃO C<sub>SH</sub> NAS FRAÇÕES C<sub>AH</sub> E C<sub>AF</sub> DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NA REGIÃO SEMIÁRIDA PIAUIENSE, NAS CAMADAS 0-5 E 5-10 CM. S1 (CAATINGA); S2 (PASTAGEM DE CORTE); S3 (CULTIVO DE MILHO); S4 (CULTIVO DE UVA IRRIGADO). ..... 48
- FIGURA 3. ESPECTRO DE FTIR DA FRAÇÃO AH DA CAMADA 0-5 CM DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO, NA REGIÃO SEMIÁRIDA PIAUIENSE. S1 (CAATINGA); S2 (PASTAGEM DE CORTE); S3 (MILHO); S4 (CULTIVO IRRIGADO DE UVA)..... 52

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1. DESCRIÇÃO E HISTÓRICO DE MANEJO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO ESTUDADOS. SÃO JOÃO DO PIAUÍ, PI. ....  | 19 |
| TABELA 2. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NA REGIÃO SEMIÁRIDA PIAUIENSE .....  | 22 |
| TABELA 3. TABELA ANOVA DOS VALORES DE F SOBRE OS EFEITOS DE USO DO SOLO NAS PROPRIEDADES DO SOLO (COT: CARBONO ORGÂNICO TOTAL, EST C: ESTOQUE DE CARBONO, CMIC: CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, QMIC: QUOCIENTE MICROBIANO, CO2: RESPIRAÇÃO DO SOLO, QCO2: QUOCIENTE METABÓLICO, NT: NITROGÊNIO TOTAL, EST N: ESTOQUE DE NITROGÊNIO) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES (SUPERIOR E INFERIOR) E ÉPOCA (SECA E CHUVOSA)..... | 26 |

### CAPÍTULO II

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1. DESCRIÇÃO E HISTÓRICO DE MANEJO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO ESTUDADOS. SÃO JOÃO DO PIAUÍ, PI. 2013. ....  | 40 |
| TABELA 2. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NA REGIÃO SEMIÁRIDA PIAUIENSE. ....  | 42 |
| TABELA 3. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NA REGIÃO SEMIÁRIDA PIAUIENSE. ....  | 45 |
| TABELA 4. DISTRIBUIÇÃO DOS COMPARTIMENTOS QUÍMICOS DO CARBONO EM ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NA REGIÃO SEMIÁRIDA PIAUIENSE.....                            | 49 |
| TABELA 5. DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NAS FRAÇÕES CHCL, CAF, CAH, CHU EM UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE. .... | 51 |
| TABELA 6. INTENSIDADE RELATIVA E ÍNDICE DE AROMATICIDADE DE AH NA CAMADA 0-5 CM EM ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE. ....                | 53 |

## RESUMO GERAL

### ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS ANTROPIZADAS DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE

Autor: Ana Carolina Câmara Ferreira  
Orientador: Dr. Luiz Fernando C. Leite  
Co-Orientador: Dr. Bruno José R. Alves

Mudanças no uso do solo são um dos mais importantes mecanismos antrópicos de alteração ambiental e o conhecimento dos efeitos destas alterações nos processos químicos e microbianos do solo ainda é limitado para a Caatinga. O objetivo deste trabalho foi avaliar as variações que ocorrem na matéria orgânica do solo (MOS) e suas frações químicas, em um Argissolo, por consequência da conversão da vegetação nativa (Caatinga) para diferentes usos agrícolas (pastagem de corte, pastagem convencional, cultivos de milho, feijão-caupi e uva). Amostras de solo foram coletadas (0-10 e 10-20 cm de profundidade) durante o período seco e chuvoso, no município de São João do Piauí, PI, para determinação dos estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT), das propriedades microbianas e dos teores de carbono nas frações extrato ácido ( $C_{HCL}$ ), ácido húmico ( $C_{AH}$ ), ácido fúlvico ( $C_{AF}$ ) e humina ( $C_{HU}$ ), além da análise de espectroscopia de infravermelho (FTIR) dos ácidos húmicos. No geral, os efeitos da conversão das áreas de Caatinga em áreas de cultivos, nas variáveis estudadas, foram mais pronunciados na camada superficial do solo. Os sistemas compostos por cultivos anuais contribuíram para o maior desgaste dos estoques de COT e NT, e perdas na qualidade da MOS via menor formação de  $C_{SH}$ . Já, os sistemas compostos por pastagens tiveram os índices biológicos do solo melhorados, demonstraram maior potencial para sequestro de carbono, incremento dos estoques de COT e NT, representando uma alternativa de uso sustentável do solo para a Caatinga.

**Palavras-chave:** *sustentabilidade, carbono do solo, Caatinga, substâncias húmicas*

## GENERAL ABSTRACT

### STOCKS AND QUALITY OF SOIL ORGANIC MATTER IN ANTHROPIZED AREAS OF BRAZILIAN SEMI-ARID

Autor: Ana Carolina Câmara Ferreira

Orientador: Dr. Luiz Fernando C. Leite

Co-Orientador: Dr. Bruno José R. Alves

Land-use change is one of the most important anthropogenic environmental change drivers and the knowledge of the effects of these changes in chemical and microbial soil processes is still limited to the Brazilian semiarid forest (Caatinga). The aim of this study was to evaluate the impact of five land-use changes (to maize and cowpea cropland, grape orchard, and cut and grazed pasture) on soil microbial properties, soil organic matter (SOM) and its chemical fractions of an Ultisol from Caatinga. Soil samples were collected (0-10 and 10-20 cm depth) during the dry and rainy season, in São João do Piauí, PI for determination of: carbon (TOC) and nitrogen (TN) stocks, the microbial properties, carbon contents in the SOM fractions - acid extract ( $C_{HCl}$ ), humic acid ( $C_{AH}$ ), fulvic acid ( $C_{AF}$ ) and humin ( $C_{HU}$ ). Overall, the effects of the conversion of Caatinga lands in croplands on SOM were more pronounced in the superficial soil layer. The crop systems contributed to reduce the TOC and TN stocks and the soil quality due lower formation of humic substances. However, the pasture systems had the soil microbial properties improved, showed the greatest potential for carbon sequestration, increase in the TOC and TN stocks, representing an sustainable land use for the Caatinga.

**Keywords:** *sustainability, soil carbon, Caatinga, humic substances*

## INTRODUÇÃO GERAL

No estado do Piauí, estima-se que aproximadamente 60% de sua área esteja sob domínio do semiárido, com prevalência do bioma Caatinga, que se caracteriza do ponto de vista climático, por déficit hídrico acentuado, altas taxas de insolação e evapotranspiração, além de reduzida e irregular distribuição pluviométrica (Santana & Souto, 2011). Juntamente com os parâmetros climáticos, a vegetação assume papel preponderante na caracterização do bioma, por sua formação xerófila (cactáceas, espécies arbóreas, herbáceas e arbustivas) altamente adaptada às condições de estresse hídrico.

Atualmente, a Caatinga é um dos biomas brasileiros mais ameaçados em consequência do uso inadequado de seus recursos naturais e substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. Aproximadamente 80% dos ecossistemas originais já foram antropizados (Ibama, 2009) e com solos em algum estágio de degradação e significativas alterações dos atributos físicos, químicos e biológicos. A fragilização destes solos é consequência da substituição da Caatinga por sistemas agrícolas associados ao aumento da intensidade de uso do solo e às práticas agrícolas de queima e pousio, que sujeitam o solo a uma maior exposição à ação dos agentes climáticos e aos longos períodos de estiagem, diminuindo o seu potencial produtivo e sua fertilidade natural, além de acelerar os processos de erosão e desertificação. (CCSA, 2011; Ibama, 2009; Galindo, 2007; Souto et al., 2006). O impacto destes distúrbios pode ser avaliado com base na matéria orgânica do solo, que refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, em seus diversos estágios de decomposição (Stevenson, 1994). A matéria orgânica do solo pode ainda ser dividida em dois grupos fundamentais: as biomoléculas e as substâncias húmicas (Stevenson, 1994; Menezes, 2008).

A biomassa e a atividade microbianas são os principais indicadores biológicos do solo, sendo consideradas sensíveis às mudanças geradas no solo pelas práticas agrônômicas (Araújo et al., 2008; Silva et al., 2010). A biomassa microbiana (Cmic) consiste na fração viva da matéria orgânica do solo (MOS), que atua nos processos de decomposição e transformação dos resíduos orgânicos do solo, funciona como um reservatório de nutrientes que contribui para a manutenção da sustentabilidade do solo em longo prazo (Lopes et al., 2010). Da atividade metabólica da microbiota do solo,

muitos compostos são liberados, entre eles o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), resultante dos processos de respiração celular (Stevenson, 1994) e, a quantificação desta produção é um indicativo da decomposição da matéria orgânica do solo, da eficiência metabólica e abundância da microbiota do solo, sendo também um importante indicador biológico da qualidade do solo.

As substâncias húmicas (SH) correspondem a 80 e 90% do carbono orgânico do solo e a distribuição deste carbono em suas frações: ácido húmico, ácido fúlvico e humina é dependente do tipo de solo, do tipo de vegetação e do uso e manejo empregados. (Menezes, 2008; Dick & Martinazzo, 2006; Stevenson, 1994). O fracionamento químico das SH permite a realização de estudos comparativos entre diferentes usos do solo, por meio da observação das diferenças nos teores e na distribuição das frações húmicas (Menezes, 2008), pois em solos com menores níveis de perturbação, a liberação de nutrientes pela liteira e a absorção de nutrientes pelas plantas ocorrem em sincronia, mantendo estáveis os teores de C e sua distribuição nas diferentes frações de SH (Caetano et al., 2013). Portanto, conhecimento da distribuição da matéria orgânica em suas frações húmicas permite a seleção de manejos que promovam a manutenção ou recuperação dos teores de MOS, buscando o equilíbrio entre perdas e ganhos observados em ambientes sob vegetação natural/original.

Sistemas agrícolas conservacionistas tendem a preservar ou até mesmo a incrementar os teores da matéria orgânica do solo, podendo atribuir ao solo a capacidade de funcionar como um dreno do carbono atmosférico. Quanto menor a sustentabilidade de um sistema agrícola, maior o desgaste dos estoques de MOS e suas frações em relação às áreas de vegetação nativa (Zinn et al., 2005). Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar as alterações da dinâmica da matéria orgânica do solo e suas frações húmicas, em um Argissolo do semiárido piauiense causadas pela conversão da vegetação original (Caatinga) para o uso agrícola e identificar dentre os sistemas agrícolas comumente adotados na região (fruticultura irrigada, milho e pastagem de corte), os com potencial para preservação e manutenção da qualidade do solo e da capacidade produtiva das áreas.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Araújo, A.S.F., Santos, V.B., Monteiro, R.T.R., Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *Eur J Soil Biol* 44, 225-230, 2008.
- Caetano, J. O. et al., 2013. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37 (5): 1245-1255
- CCSA –Coordenadoria de convivência com o semiárido. Caracterização do semi-árido piauiense. Teresina: Governo do estado do Piauí. Disponível em: [http://www.semiarido.pi.gov.br/conheca\\_mais.php](http://www.semiarido.pi.gov.br/conheca_mais.php). Acesso em 17 de março de 2013
- Dick, D. P., Martinazzo, R., 2006. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: Poletto, C., Merten, G. H. (eds.) *Qualidade dos Sedimentos*. Porto Alegre: ABRH, 2006. cap. 4, p. 65-80.
- Galindo, I.C.L., 2007. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Estado de Pernambuco. Thesis (PhD) – Federal University of Pernambuco, Recife, 255p.
- Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis, 2009. URL: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga>. (Accessed 06/06/2013)
- Lopes MM, Salviano AAC, Araújo ASF, Nunes LAPL, Oliveira ME. 2010. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:1253-1259.
- Menezes, F.P., 2008. Substâncias Húmicas em solos de diferentes feições geomorfológicas no rebordo do planalto do Rio Grande do Sul. Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria.

- Santana, J.A.S., Souto, J.S.,2011. Produção de serapilheira na Caatinga da região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. *Idesia* 29 (2), 87-94.
- SILVA, A.P., BABUJIA, L.C, FRANCHINI, J.C.; SOUZA, R.A., HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil and crop management systems in short and long term experiments in Brazil. *Field Crops Research*. V.119, p.20-26, 2010.
- Stevenson, F.J., 1994. *Humus Chemistry*. New York : Wiley, 497p.
- Souto, P.C. Acumulação e decomposição da serrapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil. Tese de Doutorado. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. Areia – PB. 150f. 2006.
- ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.

# CAPÍTULO I – ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA E PROCESSOS MICROBIANOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ANTROPIZADO EM ÁREAS DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE\*

## RESUMO

Mudanças no uso do solo são um dos mais importantes mecanismos antrópicos de alteração ambiental, que afetam a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas. O conhecimento das consequências destas alterações nos processos químicos e microbianos do solo ainda é limitado para muitos ecossistemas. O semiárido brasileiro, que engloba o bioma Caatinga, tem experienciado a transformação das áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas, com efeitos até então pouco compreendidos sobre os processos do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de seis sistemas de uso do solo (vegetação nativa, pastagem de corte, pastagem convencional, cultivos de milho, feijão-caupi e uva) nos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) e nos processos microbianos de um Argissolo da Caatinga em amostras de solo coletadas (0-10 e 10-20 cm de profundidade) durante o período chuvoso e seco. Análise de variância *split-split plot* foi utilizada para testar dos sistemas, profundidade, época de coleta e da interação entre sistemas e profundidade nas propriedades microbianas do solo e estoques de COT e NT. Os efeitos dos sistemas de uso do solo foram mais pronunciados na camada superficial do que em profundidade e não apresentaram mesmo padrão para as propriedades microbianas. A conversão de áreas de vegetação nativa em áreas de culturas anuais propiciou perdas de carbono do solo, mas a conversão das áreas em pastagens contribuiu para aumentar o potencial de armazenamento de carbono dos solos. A pastagem convencional demonstrou além do aumento nos estoques de COT e NT, maior biomassa microbiana do solo e menores quocientes respiratórios, indicativo de elevado seqüestro de carbono, representando assim, uma alternativa de uso do solo sustentável para a Caatinga.

**Palavras-chave:** *biomassa microbiana, qualidade do solo, serviços ambientais, pastagem, Caatinga*

\*Artigo publicado: Ferreira A.C.C., Leite L.F.C., de Araújo A.S.F., Eisenhauer N. (2014) Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semiarid region of Northeast Brazil. *Land Degradation and Development*, DOI: 10.1002/ldr.2282

## **ABSTRACT**

Land-use change is one of the most important anthropogenic environmental change drivers affecting the biodiversity and functioning of ecosystems. There is limited knowledge of the consequences for soil processes in many regions around the globe. The Brazilian semiarid ecosystem known as Caatinga has experienced the transformation of native forest into agricultural land, with heretofore unknown effects on soil processes and microbial properties. The aim of this study was to evaluate the impact of six land-use types (native forest, maize and cowpea cropland, grape orchard, and cut and grazed pasture) on total organic carbon (COT) and total nitrogen (NT) stocks and soil microbial properties of an Ultisol from Caatinga. Soil samples (0-10 and 10-20 cm depth) were collected during the wet and dry period. Split-split plot analysis of variance was used to test the effects of land-use, soil depth, season and the interaction between land-use and soil depth on soil microbial properties, COT and NT stocks. Land-use effects were more pronounced in the top soil layer than in the lower layer, while the pattern was less consistent in soil microbial properties. Land conversion from native forest to cropland may cause C losses from the soil, but conversion to pastures may even increase the potential of soils to function as C sinks. Grazed pastures did not only show high COT and NT stocks, but also highest soil microbial biomass and lowest respiratory quotients, all indications for elevated soil C sequestration. Thus, grazed pastures may represent a land-use form with high sustainability for the Caatinga.

**Keywords:** *microbial biomass, soil quality, pasture, environmental services, Caatinga*

## 1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro abrange uma área de 980.000 km<sup>2</sup>, correspondente a 12% do território do Brasil, com prevalência do bioma Caatinga, que se encontra ameaçado em consequência do uso inadequado de seus recursos naturais e da substituição da vegetação nativa por cultivos e pastagens.

Para as regiões semiáridas tropicais, mudanças da cobertura do solo, associadas a diferentes tipos de manejo do solo, são importantes agentes de impacto e degradação ambiental (Fracetto et al., 2012; Wick et al., 2000; Sá et al., 2013). O aumento da intensidade de uso do solo associado às práticas agrícolas de queima e pousio, sujeitam os solos desta região à uma maior exposição à ação dos agentes climáticos, que contribui para o declínio da fertilidade natural e do potencial produtivo (Souto et al., 2005; Sampaio & Araújo, 2005; Galindo, 2007; Ibama, 2009), em consequência do comprometimento da qualidade (Jordan et al., 2010; Barbera et al., 2012; Bruun et al., 2013) e dos serviços ambientais do solo (Yu et al., 2013), indicados pela dinâmica da matéria orgânica e as propriedades microbianas (Ussiri & Lal, 2013),

No Brasil, aproximadamente 80% dos ecossistemas originais do semiárido estão antropizados (Ibama, 2009) e, à medida que as áreas de Caatinga são desmatadas para introdução de cultivos agrícolas, cresce o interesse da comunidade científica, preocupada com as mudanças ambientais globais, em compreender os efeitos das mudanças da cobertura do solo na dinâmica da matéria orgânica (MOS) e nas propriedades microbianas (Munoz-Rojas et al., 2013) dos solos da região. Embora vários estudos demonstrem que as mudanças no uso do solo envolvam alterações nos estoques de carbono (COT) e nitrogênio (NT) (Jarecki et al., 2005; Assis et al., 2010; Sousa et al., 2012; Albaladejo et al., 2013), consideráveis incertezas ainda permanecem sobre a magnitude desses efeitos sobre os solos do semiárido brasileiro.

De acordo com Brunn et al. (2013), as alterações das propriedades do solo dependem especificamente do tipo de uso do solo para a qual a vegetação original é convertida. Em geral, pastagens possuem grande potencial de seqüestro de carbono no solo (Lopes et al., 2010; Wilsey et al., 2002; Davidson et al., 2002), enquanto que os solos de cultivos anuais são mais susceptíveis às perdas de carbono e nutrientes (Li et al., 2003; Smith & Fallow, 2005; Song et al., 2005). Geralmente, diferentes tipos de cobertura do solo, em função das variações da qualidade e quantidade do aporte de resíduos orgânicos, causam efeitos diferenciados sobre as propriedades microbianas do solo (Santos et al., 2012) e a

avaliação destes efeitos pode ser utilizada como indicador sensível da qualidade do solo. Como exemplo, Nunes et al. (2012) observaram grande capacidade da biomassa microbiana do solo ( $C_{mic}$ ) em refletir as mudanças no uso do solo por sua estreita relação com as funções ecológicas do ambiente, na região semiárida do nordeste brasileiro.

Neste trabalho, foram avaliadas de forma comparativa as conseqüências das mudanças da cobertura do solo (pastagens de corte e convencional e cultivos de milho, uva e feijão-caupi) nas propriedades abióticas (COT e NT) e bióticas ( $C_{mic}$ , respiração basal –  $C_{CO_2}$ ) de um Argissolo localizado no semiárido piauiense, baseando-se na hipótese de que as diferentes coberturas do solo alteram as propriedades funcionais das comunidades microbianas do solo e a capacidade de sequestro de carbono dos solos do semiárido.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### *Localização e caracterização das áreas de estudo*

O estudo foi realizado no município de São João do Piauí - PI ( $08^{\circ}21'29''S$  e  $42^{\circ}14'48''W$ , altitude 244 m), localizado no semiárido piauiense, sob domínio do bioma Caatinga (Figura 1). O clima da região corresponde ao tipo Bshw (semiárido quente e seco), segundo Köppen, com chuvas concentradas no verão, precipitação média anual de 651,4 mm e temperatura média anual de  $30,5^{\circ}C$ . O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006).



**Figura 1. Localização geral da área de estudo. Estado do Piauí: região semiárida (destaque em cinza) e município de São João do Piauí (destaque em preto).**

Cinco sistemas foram selecionados para o estudo, com áreas sob diferentes tipos de antropização do bioma caatinga e com no mínimo cinco anos consecutivos de cultivo: pastagem de corte (GC), cultivo de milho (MC), pastagem convencional (GP), cultivo irrigado de uva (GO), cultivo de feijão-caupi (CC), além de uma área referencial de mata nativa (NF). As características e histórico de cultivo de cada sistema estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1. Descrição e histórico de manejo dos diferentes sistemas de uso do solo estudados. São João do Piauí, PI.**

| Sistemas                   | Identificação | Descrição e histórico de manejo   |
|----------------------------|---------------|---|
| Mata Nativa                | NF            | Caatinga – composta por plantas de porte arbóreo e arbustivo-arbóreo. As principais espécies encontradas na área (aproximadamente 90% do total de espécies) são: <i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J. B Gillet, <i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul., <i>Caesalpinia bracteosa</i> Tul, <i>Piptadenia macrocarpa</i> , <i>Xchinopsis brasiliensis</i> e <i>Mimosa hostilis</i> . O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, folhas e galhos) é de 2.1 Mg ha <sup>-1</sup> .   |
| Pastagem de corte irrigada | CP            | Pastagem de corte irrigada, cultivada com capim-elefante roxo ( <i>Pennisetum purpureum</i> Schumach cv. Roxo. De 1998. a 2006 a área foi cultivada com <i>Cenchrus ciliaris</i> . Em 2006 foi iniciada a implantação da pastagem atual, com <i>Pennisetum purpureum</i> irrigado. Para implantação foi realizado o preparo do solo com aração, gradagem e calagem (2 Mg ha <sup>-1</sup> calcário). Para manutenção da pastagem é feita uma adubação anual com 150 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 45 kg ha <sup>-1</sup> de N e 80 kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O. Nessa área são realizados três cortes por ano, sendo que em cada corte, são aplicados na superfície do solo, 4,7 Mg ha <sup>-1</sup> de esterco caprino. O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea e ervas daninhas) é da ordem de 4,8 Mg ha <sup>-1</sup> . |
| Cultivo de Milho           | CM            | O cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> ) foi introduzido na área em 1992, após corte e queima da vegetação nativa. Desde então, o cultivo do milho é realizado anualmente de forma convencional e sem fertilização química. A produtividade   |

média da área é de 1500 kg ha<sup>-1</sup>. Os restos culturais são utilizados para alimentação animal via pastejo. Ao final do ciclo da cultura o solo é deixado em pousio. O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, ervas daninhas e dejetos animais) é 3.0 Mgha<sup>-1</sup>.

Pastagem  
Convencional

GP

Área de pastagem, com capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schumach*), capim Tanzânia (*Panicum maximum*) e *Andropogon gayanus*. Nessa área a pastagem foi introduzida em 1992, após corte e queima da vegetação nativa. Não há registros de fertilização química e calagem na área. A área é utilizada para pastejo do gado, onde os animais permanecem por períodos alternados de 15 dias. Anualmente são aplicados 4 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco caprino. O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, ervas daninhas e dejetos animais) é de 1.9 Mg ha<sup>-1</sup>.

Cultivo irrigado  
de Uva

GO

Cultivo irrigado de uva (*Vitis vinifera* L), da variedade Benitaka iniciado em 2006, após corte e queima da mata nativa. Para implantação da cultura, o solo foi arado e gradeado. O espaçamento utilizado é de 4 m entre linhas e 2 m entre plantas. Durante o plantio o solo foi fertilizado com N (260 g planta<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (120 g planta<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (120 g planta<sup>-1</sup>). Doenças e pragas quimicamente controladas. A adubação de manutenção foi composta por N (160 kg ha<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (110 kg ha<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (160 kg ha<sup>-1</sup>) e 8 kg planta<sup>-1</sup>, aplicados duas vezes ao ano. A produtividade média é de 15 Mg/ha/colheita, sendo realizadas duas colheitas por ano. O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, ervas daninhas e dejetos animais) é de 1.5 Mg ha<sup>-1</sup>.

Cultivo de feijão-  
caupi

CC

Cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) introduzido na área em 2006, após de corte e queima da mata nativa, de forma convencional, sem irrigação e fertilização química. Após o término do ciclo da cultura a área é deixada em pousio até o início da próxima estação chuvosa. A produtividade média é de 0.2 Mg ha<sup>-1</sup> e o balanço anual de entrada de

resíduos orgânicos (biomassa herbácea, ervas daninhas e dejetos animais) é de 1.5 Mg ha<sup>-1</sup>

---

### *Amostragem e análise de solo*

Em cada sistema foram realizadas duas amostragens de solo, a primeira no período seco (2012) e a segunda no período úmido (2013). Para amostragem, o tamanho das áreas foi padronizado em 0,7 ha, nas quais quatro amostras compostas foram obtidas com a coleta com trado de cinco subamostras simples nas profundidades 0–10 e 10–20 cm, em um raio de cinco metros de um ponto central, definido aleatoriamente. Amostras para determinação da densidade do solo (Embrapa, 1997) foram coletadas em anéis volumétricos (49,06 cm<sup>3</sup>) em todas as profundidades. As amostras para as análises químicas e granulométricas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA). Para caracterização química e granulométrica do solo (Embrapa, 1997) foram utilizadas as amostras da primeira coleta (Tabela 2).

As análises microbiológicas do solo foram realizadas logo após as coletas, em subamostras (cerca de 300g), acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração (4-8°C). O carbono da biomassa microbiana (C<sub>mic</sub>) foi determinado pelo método de irradiação-extração (Islam & Weil, 1998). A respiração basal (C<sub>CO2</sub>) do solo foi estimada pela liberação de CO<sub>2</sub> a partir da incubação de 25 g de solo por sete dias. O CO<sub>2</sub> liberado pela respiração microbiana reagiu com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e foi quantificado por titulação com HCL 1 mol L<sup>-1</sup> (Alef & Nannipieri, 1995). O quociente metabólico (q<sub>CO2</sub>) foi obtido pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de C<sub>MIC</sub> (Silva et al., 2007) e o quociente microbiano (q<sub>MIC</sub>) obtido pela razão entre o C<sub>MIC</sub> e o carbono orgânico total (COT).

Nas amostras de TFSA trituradas e passadas em peneira de 60 mesh (0,210 mm) foram determinados o COT e o nitrogênio total (NT). O conteúdo de COT foi determinado pela oxidação à quente das amostras com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal, segundo o método modificado de Yeomans & Bremner (1988). O conteúdo de NT foi quantificado nas amostras de

solo submetidas à digestão sulfúrica e dosadas por destilação Kjeldhal (Bremner, 1996). Os estoques de COT e NT em cada profundidade foram calculados com a seguinte equação: Estoque de COT ou NT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) = conteúdo de COT ou NT x ds ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) x  $e$  (m), sendo  $e$  a espessura da camada de solo.

**Tabela 2. Atributos químicos e físicos de Argissolo sob diferentes tipos de uso na região semiárida piauiense**

| Sistemas                       | $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ | $\text{K}^+$ | $\text{Na}^+$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Al}^{3+}$ | H+Al                         | SB   | CTC  | m   |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------|------|------|-----|
|                                |                                  |              |               |                  |                  |                  |                              |      |      |     |
| <b>0 – 10cm</b>                |                                  |              |               |                  |                  |                  |                              |      |      |     |
| NF                             | 6.3                              | 0.3          | 0.3           | 2.3              | 0.4              | 0.03             | 2.28                         | 3.3  | 5.4  | 0.9 |
| CP                             | 7.7                              | 0.9          | 5.2           | 6.6              | 2.4              | 0.00             | 0.64                         | 15.1 | 15.7 | 0.0 |
| MC                             | 7.3                              | 0.6          | 2.2           | 4.7              | 1.6              | 0.00             | 1.29                         | 9.1  | 10.4 | 0.0 |
| GP                             | 7.1                              | 0.5          | 5.0           | 5.5              | 2.4              | 0.01             | 1.57                         | 13.4 | 14.8 | 0.1 |
| GO                             | 7.3                              | 0.4          | 0.8           | 1.7              | 0.7              | 0.00             | 1.15                         | 3.6  | 4.7  | 0.0 |
| CC                             | 6.5                              | 0.4          | 0.3           | 1.3              | 0.3              | 0.01             | 2.03                         | 2.3  | 4.2  | 0.6 |
| <b>10 - 20 cm</b>              |                                  |              |               |                  |                  |                  |                              |      |      |     |
| NF                             | 5.9                              | 0.2          | 0.2           | 0.8              | 0.2              | 0.11             | 2.06                         | 1.4  | 3.5  | 7.4 |
| CP                             | 7.8                              | 0.5          | 5.9           | 7.9              | 3.0              | 0.00             | 0.85                         | 17.3 | 18.1 | 0.0 |
| MC                             | 7.3                              | 0.3          | 1.4           | 3.5              | 1.4              | 0.00             | 1.11                         | 6.6  | 7.7  | 0.0 |
| GP                             | 7.1                              | 0.3          | 3.6           | 4.5              | 1.9              | 0.00             | 1.34                         | 10.2 | 11.6 | 0.1 |
| GO                             | 7.1                              | 0.3          | 0.6           | 1.3              | 0.5              | 0.00             | 1.32                         | 2.6  | 4.0  | 0.0 |
| CC                             | 6.1                              | 0.2          | 0.3           | 0.8              | 0.1              | 0.09             | 2.23                         | 1.4  | 3.6  | 6.4 |
| ----- $\text{g kg}^{-1}$ ----- |                                  |              |               |                  |                  |                  |                              |      |      |     |
|                                | Argila                           | Areia fina   | Areia grossa  |                  | Silte            |                  | Densidade                    |      |      |     |
|                                |                                  |              |               |                  |                  |                  | ---- $\text{g cm}^{-3}$ ---- |      |      |     |
| <b>0 – 10cm</b>                |                                  |              |               |                  |                  |                  |                              |      |      |     |
| NF                             | 120                              | 400          | 290           |                  | 190              |                  | 1.20                         |      |      |     |
| CP                             | 220                              | 250          | 100           |                  | 430              |                  | 1.28                         |      |      |     |
| MC                             | 170                              | 420          | 20            |                  | 390              |                  | 1.24                         |      |      |     |
| GP                             | 270                              | 210          | 80            |                  | 440              |                  | 1.21                         |      |      |     |
| GO                             | 130                              | 400          | 460           |                  | 10               |                  | 1.34                         |      |      |     |
| CC                             | 100                              | 820          | 50            |                  | 30               |                  | 1.33                         |      |      |     |
| <b>10 – 20cm</b>               |                                  |              |               |                  |                  |                  |                              |      |      |     |
| NF                             | 120                              | 370          | 310           |                  | 200              |                  | 1.22                         |      |      |     |
| CP                             | 240                              | 230          | 100           |                  | 430              |                  | 1.44                         |      |      |     |
| MC                             | 150                              | 560          | 10            |                  | 280              |                  | 1.36                         |      |      |     |
| GP                             | 190                              | 380          | 70            |                  | 360              |                  | 1.29                         |      |      |     |
| GO                             | 150                              | 370          | 450           |                  | 30               |                  | 1.36                         |      |      |     |
| CC                             | 110                              | 800          | 50            |                  | 40               |                  | 1.36                         |      |      |     |

(NF) área de vegetação nativa preservada (Caatinga); (CP) pastagem de corte ; (CM) cultivo de milho; (GP) pastagem convencional; (GO) cultivo irrigado de uva; (CC) cultivo de feijão –caupi.

### *Análise estatística*

Para testar o efeito de sistemas (mata nativa, pastagem de corte, cultivo de milho, pastagem convencional, cultivo irrigado de uva e cultivo de feijão-caupi), profundidade do solo (0-10 cm e 10-20 cm), época (período seco e chuvoso) e interação entre sistemas x profundidade do solo, nas propriedades microbianas do solo ( $C_{MIC}$ ,  $C_{CO_2}$ ,  $q_{MIC}$  e  $q_{CO_2}$ ) e na matéria orgânica do solo (COT e NT), os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em parcelas subdivididas (*split-split plot*), uma vez que as amostras foram coletadas nas mesmas parcelas nos períodos seco e chuvoso e que as amostras de diferentes profundidades foram retiradas da mesma trincheira, não sendo independentes uma das outras. As profundidades do solo foram consideradas como "subparcelas" e as diferentes épocas de coleta "sub-subparcelas" (Eisenhauer *et al*, 2009; Scheiner & Gurevitch, 2001). O teste da diferença menos significativa (LSD) foi realizado e os resultados considerados significativos para  $p < 0,05$ . As análises foram realizadas utilizando SAS 9.3 (SAS Institute).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A conversão da vegetação nativa em cultivos agrícolas alterou fortemente o conteúdo da matéria orgânica dos solos da Caatinga. Os efeitos dos sistemas nos estoques de COT e NT foram mais pronunciados nos primeiros 10 cm do solo (Figura 2), enquanto que para as propriedades microbianas não foi observado um padrão de resposta definido (Figura 3). Em geral, os estoques de COT e NT, foram significativamente mais elevados (70 e 65%, respectivamente) na camada superficial. Assis *et al.* (2010) também observaram que as alterações nos estoques de COT e NT foram mais pronunciadas em função da mudança do uso do solo, na camada mais superficial, em um Cambissolo do semiárido brasileiro.

Especificamente para Caatinga, não há consenso na literatura sobre os efeitos do uso do solo na dinâmica da matéria orgânica, porque as perdas e ganhos nos estoques de COT e NT dependem da natureza dos novos sistemas implantados (Fracetto *et al.*, 2012). Em geral, sistemas que se caracterizam por uma menor deposição de resíduos orgânicos na superfície do solo, contribuem para o aumento das taxas de erosão e

aceleração da decomposição da matéria orgânica do solo (Assis et al., 2010; Fracetto et al., 2012; Sousa et al., 2012; Albaladejo et al., 2013), que resultam na redução dos estoques de COT e NT das camadas mais superficiais do solo. Por outro lado, sistemas caracterizados pela cobertura perene do solo, com deposição de resíduos orgânicos elevada em comparação à mata nativa, contribuem para a preservação da umidade do solo, maior atividade microbiana e aumento dos estoques de COT e NT na subsuperfície do solo (Stockmann *et al.*, 2013).

Nos sistemas estudados, os estoques de COT e NT estavam concentrados na camada 0-10 cm (Figura 2). Em comparação com a Caatinga, os sistemas de pastagem (GP e CP) aumentaram os estoques de COT e NT (Figura 3a). A maior cobertura vegetal, a profundidade efetiva do sistema radicular em torno de 25 cm (Cunha et al., 2010) e o sistema radicular denso propiciado pelas gramíneas contribuem para o aumento das taxas de infiltração de água e redução da erosão e da densidade do solo (Silva & Mendonça, 2007), que reduzem as perdas de COT e NT armazenados na camada superior do solo. Esses fatores podem explicar o maior acúmulo de COT e NT nos sistemas constituídos pelas pastagens do que nos sistemas CM e CC. Normalmente, a ciclagem de raízes nas pastagens é maior do que em áreas de culturas anuais e o volume de raiz e a rizodeposição são os principais contribuintes para o acúmulo de COT no solo (Rasse et al., 2005).

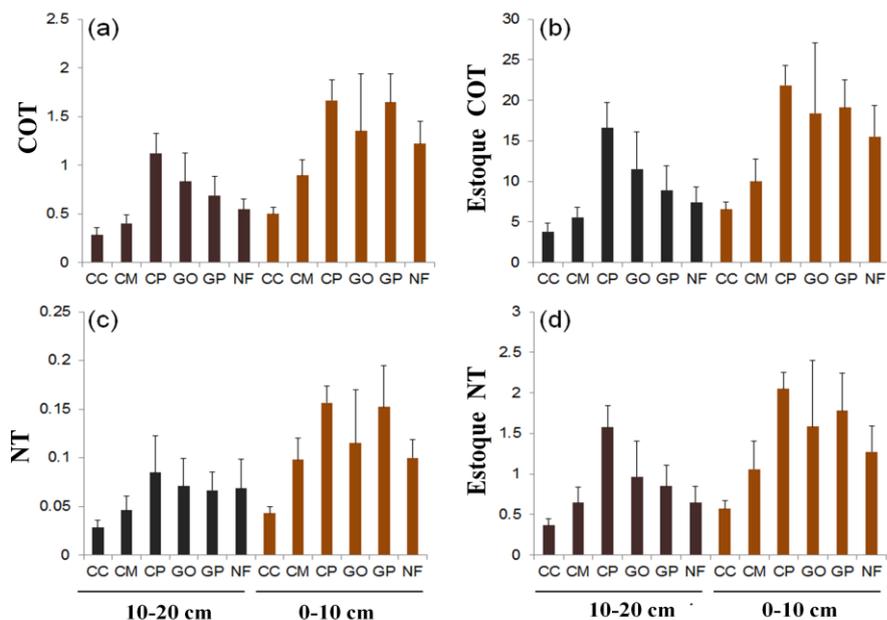
Os estoques de COT e NT no GP foram também influenciado pela adição de esterco e da ausência de preparo do solo, que propiciam a conversão de COT e NT em formas mais estáveis. Já em CP, a eficiência no acúmulo de COT e NT podem resultar do uso combinado de fertilizantes minerais e orgânicos com irrigação, que contribuem para uma maior mineralização do carbono e do nitrogênio, aumento da produção de biomassa de plantas e portanto, maiores entradas de matéria orgânica ao solo.

Os menores estoques de COT e NT nos sistemas CM e CC podem ser explicados pelo manejo empregado: reduzida fertilização orgânica, ausência de reposição dos nutrientes do solo via fertilizantes minerais, não incorporação de resíduos de culturas, revolvimento do solo no preparo e pousio. Além disso, durante o período de pousio, o solo permanece exposto, sem entradas de resíduos de orgânicos, propiciando maior desgaste do carbono e nitrogênio dos compostos mais lábeis, provavelmente como fonte de energia pela microbiota.

Em contraste com estudos anteriores relatando reduções nos estoques de COT e NT em áreas de fruticultura irrigada do semiárido (Assis et al., 2010; Fialho et al., 2006), o sistema GO apresentou estoques de COT mais elevados que os da Caatinga nas camadas (0-10 e 10-20cm) e estoque de NT mais elevado na camada (0-10cm), apesar de preparo do solo com queima durante a implantação da cultura e remoção dos resíduos de poda. Algumas características do sistema de manejo podem ter contribuído para esses resultados, tais como (i) o sistema de espaldeira em pérgola, que aumenta o sombreamento e preserva o teor de umidade do solo, (ii) presença de estrato herbáceo entre as videiras, que diminui a erosão do solo e contribui para um maior aporte de resíduo orgânico, e (iii) o uso associado de adubo orgânico e fertilizante nitrogenado, que contribui para a mineralização de N a partir de resíduos orgânicos e para estabilização do carbono nos solos (Puget & Lal, 2005).

**Tabela 3. Tabela ANOVA dos valores de F sobre os efeitos de uso do solo nas propriedades do solo (COT: carbono orgânico total, Est C: estoque de carbono, C<sub>MIC</sub>: carbono da biomassa microbiana, q<sub>MIC</sub>: quociente microbiano, CO<sub>2</sub>: respiração do solo, qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico, NT: nitrogênio total, Est N: estoque de nitrogênio) em diferentes profundidades (superior e inferior) e época (seca e chuvosa).**

|             | GL | COT           |                  | Estoque COT   |                  | C <sub>MIC</sub> |                  | q <sub>MIC</sub> |                  | C <sub>CO2</sub> |                  | qCO <sub>2</sub> |                  | NT            |                  | Estoque NT    |                  |
|-------------|----|---------------|------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
|             |    | F             | P                | F             | P                | F                | P                | F                | P                | F                | P                | F                | P                | F             | P                | F             | P                |
| Sistemas    | 5  | <b>40.42</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>24.43</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>76.49</b>     | <b>&lt;0.001</b> | <b>17.29</b>     | <b>&lt;0.001</b> | <b>21.20</b>     | <b>&lt;0.001</b> | <b>15.18</b>     | <b>&lt;0.001</b> | <b>35.58</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>24.41</b>  | <b>&lt;0.001</b> |
| Parcela     | 18 | 0.63          | 0.853            | 1.03          | 0.442            | 0.54             | 0.920            | 0.92             | 0.562            | 0.16             | 1.000            | 0.33             | 0.993            | 0.34          | 0.992            | 0.82          | 0.667            |
| Prof.       | 1  | <b>493.72</b> | <b>&lt;0.001</b> | <b>313.99</b> | <b>&lt;0.001</b> | <b>282.23</b>    | <b>&lt;0.001</b> | <b>4.70</b>      | <b>0.044</b>     | 3.41             | 0.082            | <b>8.54</b>      | <b>0.009</b>     | <b>308.09</b> | <b>&lt;0.001</b> | <b>230.86</b> | <b>&lt;0.001</b> |
| Prof x Sist | 5  | <b>14.98</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>9.49</b>   | <b>&lt;0.001</b> | <b>66.01</b>     | <b>&lt;0.001</b> | <b>7.86</b>      | <b>&lt;0.001</b> | 1.17             | 0.363            | 0.32             | 0.893            | <b>13.80</b>  | <b>&lt;0.001</b> | <b>7.76</b>   | <b>&lt;0.001</b> |
| Subparcela  | 18 | 0.19          | 0.999            | 0.18          | 0.999            | 0.23             | 0.999            | 0.43             | 0.973            | 0.22             | 1.000            | 0.33             | 0.993            | 0.16          | 1.000            | 0.18          | 1.000            |
| Época       | 1  | 0.54          | 0.467            | 0.73          | 0.397            | 0.51             | 0.480            | 0.01             | 0.912            | <b>18.81</b>     | <b>&lt;0.001</b> | <b>9.50</b>      | <b>0.003</b>     | 0.08          | 0.783            | 0.19          | 0.664            |
| Erro Total  | 47 |               |                  |               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |               |                  |               |                  |



**Figura 2. Efeito dos tipos de uso do solo (CC: pastagem de corte; CM: milho; CP: caupi; GO: uva; GP: pastagem e NF: Caatinga) e profundidade no (a) teor de carbono orgânico [dag kg<sup>-1</sup>], (b) teor de nitrogênio [dag kg<sup>-1</sup>], (c) estoque de carbono orgânico [Mg ha<sup>-1</sup>] e (d) estoques de nitrogênio [Mg ha<sup>-1</sup>]**

A biomassa microbiana do solo ( $C_{MIC}$ ) do solo foi influenciado pelos sistemas estudados (Tabela 3), apresentando maiores valores na camada 0-10 cm do que na camada 10-20 cm (Figura 3a). A  $C_{MIC}$  é fortemente influenciada pela disponibilidade de matéria orgânica e este é também o principal fator para redução de  $C_{MIC}$  em profundidade (Santos et al., 2012). Geralmente nas camadas superficiais, os maiores níveis de aporte de resíduos orgânicos (Santos et al., 2012), umidade e oxigênio (Fierer et al., 2003) favoreceu o desenvolvimento da biomassa microbiana. Especialmente em ecossistemas do semiárido, a variabilidade da umidade do solo é muito maior na camada superior do que nas camadas inferiores (Wilkinson et al., 2002; Fierrer et al., 2003), acarretando efeitos pronunciados sobre a biomassa microbiana do solo.

Os maiores valores de  $C_{MIC}$  foram observados nos sistemas CP e GP (Figura 3a) principalmente na camada 0-10 cm. O elevado  $C_{MIC}$  do solo das pastagens pode ser uma resposta direta à influência das três espécies de plantas forrageiras (*Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum* e *Andropogon gayanus*) e do manejo caracterizado pela utilização de maior quantidade de insumos orgânicos (Tabela 1). Diferentes espécies de plantas de forrageiras podem ter diferentes efeitos sobre a biomassa microbiana do solo em função da forma como diferem na quantidade e qualidade dos resíduos depositados

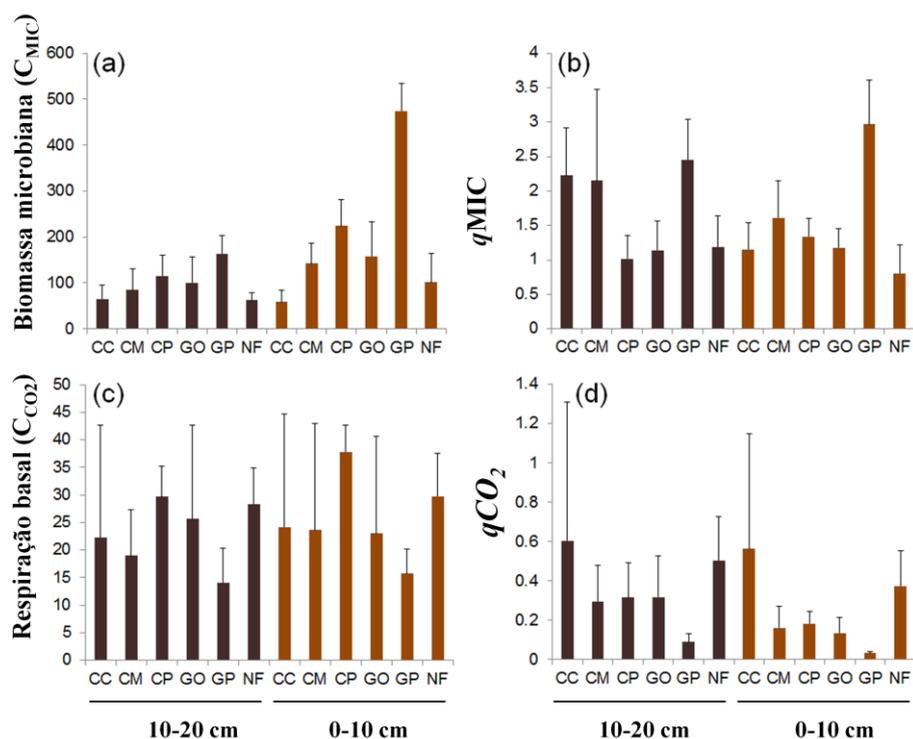
sob o solo (Agbenin e Adeniyi, 2005). Tais efeitos específicos das plantas podem ser particularmente acentuados na camada superficial do solo, onde mais de 80% das raízes herbáceas (maioria das gramíneas) são encontrados (Cunha et al., 2011). De acordo com esta hipótese, em um solo seco tropical. Lopes et al. (2010) encontraram maior  $C_{MIC}$  na camada superficial do solo em um sistema de pastagem com *P. maximum*, em comparação com sistemas dominados por árvores de *Leucaena leucocephala*. De acordo com Grayston et al. (1996), a quantidade e a qualidade do material exsudado são características de cada espécie vegetal e grupo funcional (ex.: gramíneas e leguminosas) que possuem grande influência sobre as comunidades microbianas do solo. Efeitos significativos sobre a biomassa microbiana do solo também foram observados em estudos avaliando diferentes culturas e variações nas quantidade e qualidade do aporte de resíduos (Lopes et al., 2010; Ekenler & Tabatabai, 2002).

Os sistemas CM, GO e CC apresentaram menores teores de COT e NT (Figura 3a), o que pode ter influenciado o  $C_{MIC}$ . Estes resultados estão de acordo com Franzluebbers et al. (1995), que encontraram maior  $C_{MIC}$  na profundidade de 0-20 cm em solos sob pastagem do que em lavouras, devido aos maiores teores de carbono orgânico e, por consequência, maior fonte de energia para o crescimento da biomassa microbiana do solo. Assim, os resultados deste estudo fornecem evidências adicionais de que os sistemas constituídos por pastagem possuem maior potencial para acúmulo de carbono que os demais.

O quociente microbiano ( $q_{MIC}$ ) dos sistemas avaliados foi de 1,6%, com os maiores valores observados na camada 0-10 e 10-20 cm do sistema GP e na camada 10-20 cm dos sistemas CC e CM (Figura 3b). O  $q_{MIC}$  tem sido utilizado como um indicador das futuras alterações da matéria orgânica em resposta ao uso do solo (Sparling, 1997) e seus valores devem variar entre 1 e 4% (Sparling, 1992). Os valores observados neste estudo, em todos os sistemas avaliados, encontram-se neste intervalo e estão em conformidade com Iyyemperumal et al. (2007), que encontraram valores entre 1 e 2 em pastagens. Além disso, os valores mais elevados encontrados nos sistemas constituídos por pastagens podem estar associados aos maiores teores de  $C_{MIC}$  observados nestes sistemas, sugerindo uma grande proporção de matéria orgânica do solo ocupado pela biomassa microbiana.

A respiração basal ( $C_{CO_2}$ ) foi significativamente afetada apenas pelo efeito dos sistemas de uso do solo (média geral  $24,43 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), e os maiores valores foram observados em CP (Figura 3c). Os elevados valores de respiração, devido à maior atividade biológica, podem indicar no curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e elevado nível de produtividade do ecossistema, e em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (Islan & Weil , 2000; Silva et al., 2007; Santos et al., 2012).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) reflete a eficiência dos microorganismos heterotróficos em converter carbono orgânico em biomassa microbiana ( Anderson & Domsch , 1990). O  $qCO_2$  apresentou valores significativamente mais elevados para a camada 10-20 cm (47 % , Tabela 2) demonstrando uma perda de eficiência metabólica em profundidade. Entre os sistemas, o  $qCO_2$  apresentou maior valor em CC (Figura 3d) o que indica, menor eficiência da biomassa microbiana no uso do carbono, com maiores perdas via liberação de  $CO_2$  e menor incorporação de carbono nos tecidos microbianos. O  $qCO_2$  dos sistemas constituídos por pastagens (Figura 3d) indicou maior eficiência das comunidades microbianas no uso do carbono do que nos demais sistemas de cultivo estudados.



**Figura 3.** Efeito dos tipos de uso do solo (CC: pastagem de corte; CM: milho; CP: caupi; GO: uva; GP: pastagem e NF: Caatinga) e profundidade no (a) carbono da biomassa microbiana [µg/g], (b) quociente microbiano [%], (c) respiração basal do solo [(mgCO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>)/dia] (d) quociente metabólico [µgCO<sub>2</sub>µgC<sub>mic</sub><sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>].

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados destacam que mudanças no uso do solo do semiárido piauiense podem ter fortes efeitos sobre as propriedades orgânicas, microbianas e químicas. A conversão das áreas de Caatinga em áreas de cultivo podem causar perdas de carbono no solo, porém a conversão para sistemas de pastagens podem até mesmo aumentar o potencial dos solos em acumular carbono. Tais efeitos foram mais evidentes na camada superficial do solo (0-10 cm), mas também são relevantes para as camadas mais profundas do solo (10-20 cm), indicando que o manejo do solo pode melhorar a função dos solos consideravelmente.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agbenin JO, Adeniyi T. 2005. The microbial biomass properties of a savanna soil under improved grass and legume pastures in northern Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 109:245-254.
- Albaladejo J, Ortiz R, Garcia-Franco N, Navarro AR, Almagro M, Pintado JG, Martínez-Mena M. 2013. Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *Journal of Soil and Sediments* 13:265-277.
- Alef K, Nannipieri P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, Academic Press, 576p.
- Anderson JM, Domsch KH. 1990. Application of ecophysiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry* 22:251-255.
- Assis CP, Oliveira TS, Dantas JAN, Mendonça ES. 2010. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138:74–82.
- Barbera V, Poma I, Gristina L, Novara A, Egli M. 2012. Long-term cropping systems and tillage management effects on soil organic carbon stock and steady state level of c sequestration rates in a semiarid environment. *Land Degradation & Development*. 23:82–91.
- Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Nitrogen total. In: Page AL, Miller RH, Keeney, DR (Eds). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy 2, 595-624.
- Bruun TB, Elberling B, De Neergaard A, Magid J. 2013. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. *Land Degradation & Development*. doi: 10.1002/ldr.2205.
- Cunha FF, Ramos MM, Alencar CAB, Martins CE, Cóser AC, Oliveira RA. 2011. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. *Acta Scientiarum Agronomy* 32:351-357.

- Davidson EA, Nepstad DC, Klink C, Trumbore SE. 2002. Pasture soils as carbon sink. *Nature* 376:472 – 473
- Embrapa. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2<sup>nd</sup> edition. Rio de Janeiro, 212p.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção e Informação, 412p,
- Eisenhauer N, Straube D, Johnson EA, Parkinson D, Scheu S. 2009. Exotic ecosystem engineers change the emergence of plants from the seed bank of a deciduous forest. *Ecosystems* 12: 1008-1016.
- Ekenler M, Tabatabai M.A. 2002.  $\beta$ -Glucosaminidase activity of soils: effect of cropping systems and its relationship to nitrogen mineralization. *Biology & Fertility of Soils* 36:367-376.
- Fierer N, Schimel JP, Holden PA. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry* 35:167–176.
- Fracetto FJC, Fracetto GGM, Cerri CC, Feigl BJ, Neto MS. 2012. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1545-1552.
- Franzluebbers K, Weaver RV, Juo ASR, Franzluebbers AJ. 1995. Mineralization of carbon and nitrogen from cowpea leaves and activity in soil with different levels of microbial biomass. *Biology & Fertility of Soils* 19:100-102.
- Galindo, I.C.L., 2007. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Estado de Pernambuco. Thesis (PhD) – Federal University of Pernambuco, Recife, 255p.

- Grayston SJ, Vaughan D, Jones D. 1996. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology* 5:29-56.
- Islan KR, Weil RR. 2000. Soil quality indicator proprieties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soil & Water Conservation* 55:69-78.
- Iyyemperumal K, Israel DW, Shi W. 2007. Soil microbial biomass, activity and potential nitrogen mineralization in a pasture: impact of stock camping activity. *Soil Biology and Biochemistry* 39:149-157.
- Jarecki MK, Lal R, James R. 2005. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers' fields in northeastern Ohio. *Soil & Tillage Research* 81:265–276.
- Jórdan A, Zavala LM, Gil J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in Southern Spain. *Catena* 8:77-85.
- Li CS, Zhuang Y, Frohking S, Galloway J, Harriss R, Moore B, Schimel D, Wang XK. 2003. Modeling soil organic carbon change in croplands of China. *Ecological Application* 13:327–336.
- Lopes MM, Salviano AAC, Araújo ASF, Nunes LAPL, Oliveira ME. 2010. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:1253-1259.
- Menezes RSC, Sampaio EVSB, Giongo V, Perez-Marin AM. 2012. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology* 72:643-653.
- Muñoz-Rojas M, Jordán A, Zavala LM, De La Rosa D, Abd-Elmabod SK, Anaya-Romero M. 2013. Impact of land use and land cover changes on organic carbon stocks in mediterranean soils (1956–2007). *Land Degradation & Development*. doi: 10.1002/ldr.2194

- Nunes JS, Araújo ASF, Nunes LAPL, Lima LM, Carneiro RFV, Tsai SM, Salviano AAC. 2012. Land Degradation on Soil Microbial Biomass and Activity in Northeast Brazil. *Pedosphere* 22:88-95.
- Puget P, Lal R. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil & Tillage Research* 80:201–213.
- Rasse DP, Rumpel C, Dignac MF. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil* 269:341-356.
- Sá JCM, Séguy L, Tivet F, Lal R, Bouzinac S, Borszowski PR, Briedis C, Santos JB, Hartman DC, Bertoloni CG, Rosa J, Friedrich T. 2013. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land Degradation & Development*. doi:10.1002/ldr.2218.
- Santos VB, Leite LFC, Nunes LAPL, Melo WJ. 2012. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. *Geoderma* 170:227-231.
- Scheiner SM, Gurevitch J. 2001. *Design and analysis of ecological experiments*, 2nd ed. Oxford University Press, New York.
- Smith P, Fallow P. 2005. Carbon sequestration in European croplands. *SEB Experimental Biology Service* 21:47-55.
- Song GH, Li LQ, Pan GX, Zhang Q. 2005. Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation. *Biogeochemistry* 74:47–62.
- Sousa FP, Ferreira TO, Mendonça ES, Romero RE, Oliveira JGB. 2012. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148: 11-21.
- Sparling GP. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research* 30:195-207.

- Sparling GP. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst C, Doube BM, Gupta V.V.S.R. (eds) Biological indicators of soil health. CAB Int, Cambridge. pp. 97-120.
- Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field D.J, Henakaarchchi N, Jenkins M, Minasny B, McBratney AB, Courcelles VR, Singh K, Wheeler I, Abbott L, Angers DA, Baldock J, Bird M, Brookes PC, Chenu C, Jastrow JD, Lal R, Lehmann MJ, O'Donnell AG, Parton WJ, Whitehead D, Zimmermann M. 2013. The known and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164:80-99.
- Ussiri DAN, Lal R. 2013. Land Management Effects on Carbon Sequestration and Soil Properties in Reclaimed Farmland of Eastern Ohio, USA. *Open Journal of Soil Science* 3:46-57
- Wick B, Tiessen H, Menezes RSC. 2000. Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. *Plant and Soil* 222:59-70.
- Wilkinson S, Anderson J, Scardelis S, Tisiafouli M, Taylor A, Wolters V. 2002. PLFA profiles of microbial communities in decomposing conifer litters subject to moisture stress. *Soil Biology & Biochemistry* 34:189–200.
- Wilsey BJ, Parent G, Roulet NT, Moore TR, Potvin C. 2002. Tropical pasture carbon cycling: relationships between C source/sink strength, above-ground biomass and grazing. *Ecology Letters* 5: 367–376.
- Yeomans JC, Bremmer JM. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19: 1467-1476.
- Yu B, Stott P, Di XY, Yu HX. 2013a. Assessment of land cover changes and their effect on soil organic carbon and soil total nitrogen in Daqing Prefecture, China. *Land Degradation & Development*. doi:10.1002/ldr.2169

## **CAPÍTULO II – QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM UM ARGISSOLO DA CAATINGA SOB SISTEMAS DE CULTIVO CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS**

### **RESUMO**

As alterações na dinâmica e na qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) e de seus compartimentos ainda é pouco estudada nas condições da Caatinga. O objetivo deste trabalho foi avaliar as variações que ocorrem na MOS e suas frações químicas em um Argissolo, por consequência da conversão da vegetação nativa (Caatinga) para diferentes usos agrícolas. No município de São João do Piauí, PI, foram coletadas amostras de solos nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em áreas de caatinga (S1), pastagem de corte (S2), milho (S3) e cultivo irrigado de uva (S4). Foram determinados os teores de carbono orgânico total (C), nitrogênio total (N), o teor de carbono nas frações extrato ácido ( $C_{HCL}$ ), ácido húmico ( $C_{AH}$ ), ácido fúlvico ( $C_{AF}$ ), humina ( $C_{HU}$ ) e realizada a análise de espectroscopia de infra vermelho (FTIR) dos ácidos húmicos. A mudança do uso do solo gerou variação na distribuição do carbono nas diferentes frações da MOS, indicando alterações na qualidade da MOS. Dentre os sistemas estudados, o mais propenso a modificar os processos de degradação dos solos do semiárido foi o S2, que além de preservar a distribuição do carbono entre as frações húmicas próxima à distribuição natural, observada no solo sob vegetação nativa (Caatinga), elevou os teores das substâncias húmicas, que atuam como condicionadores do solo, propiciam um melhor ambiente para o desenvolvimento radicular, melhoram a estrutura do solo e aumentam a absorção dos nutrientes.

**Palavras-chave:** semiárido, *qualidade do solo, indicadores, substâncias húmicas*

## ABSTRACT

Changes in dynamics and quality of soil organic matter (SOM) and its compartments are poorly studied in the conditions of Brazilian semiarid. This study aimed to evaluate the variations in SOM and its chemical fractions on an Ultisol, in consequence of the conversion of the Brazilian semiarid forest (Caatinga) lands in crop lands. Soil samples (0-5 and 5-10 cm depth) were collected in São João do Piauí, PI, from the following systems: Caatinga (S1), cut pasture (S2), crop with maize (S3) and grape orchard (S4). Were analysed the contents of soil organic carbon (C), total nitrogen (N), the carbon content in the acid extract fractions ( $C_{HCl}$ ), humic acid ( $C_{AH}$ ), fulvic acid ( $C_{AF}$ ), humin ( $C_{HU}$ ). Chemical composition of humic acids was evaluated by infrared spectroscopy (FTIR). The change of land use resulted in a decrease in the distribution of carbon in the different fractions of SOM, indicating changes in the quality of SOM. Among the systems studied, the more prone to modify the processes of land degradation in the Brazilian semiarid was the S2, which in addition to preserve the distribution of carbon between the humic fractions next to natural distribution, observed in the soil under native vegetation (Caatinga), increased the contents of humic substances, which act as soil conditioners, provide a better environment for root growth, improve soil structure and increase nutrient absorption.

**Keywords :** *semi-arid, soil quality, indicators, humic substances*

## 1. INTRODUÇÃO

A substituição de ambientes naturais por cultivos agrícolas acarreta alterações na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e os efeitos desta perturbação normalmente se expressam de forma negativa nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Guimarães et al., 2013; Wendling et al., 2011; Menezes, 2008), com intensidades dependentes do uso e manejo do solo (Chivenge et al., 2007).

Nas áreas do semiárido brasileiro, a diminuição da qualidade do solo é causada pela adoção de sistemas de manejo convencionais, baseados nos processos de corte e queima (associada à prática de uma agricultura de baixo insumo e ao uso intensivo do solo). A presença de solos com baixos teores de MOS, decorrente do menor aporte de resíduos vegetais e das altas temperaturas e escassez hídrica, contribuem para reduzir a qualidade do solo. Tais características, resultam no esgotamento da fertilidade natural destes solos e contribuem para a perpetuação da cultura da agricultura migratória e a demanda de novas áreas para cultivo (Primo et al., 2011).

Como forma de criar estratégias de manejo que reduzam o impacto da agricultura sobre o bioma Caatinga (Coelho et al., 2014; Albuquerque et al., 2002), que possui cerca de 80% dos seus ecossistemas naturais antropizados e em algum estágio de degradação (Ibama, 2009), estudos voltados para a compreensão dos mecanismos envolvidos na preservação da qualidade dos solos sob exploração agrícola nesta região tem sido desenvolvidos.

O uso sustentável do solo compreende, entre outros fatores, a manutenção ou até mesmo o incremento gradativo dos teores de MOS (Caetano et al., 2013) que, além de ser considerada fonte primária de nutrientes às plantas, influencia os processos de infiltração e retenção de água e a susceptibilidade à erosão (Gregorich et al., 1994). A MOS também é um atributo-chave da qualidade do solo (Martins, 2009; Doran & Parkin, 1994), por possuir alta sensibilidade às alterações do uso do solo e práticas de manejo (Caetano et al., 2013; Chivenge et al., 2007). Dentre os compartimentos da MOS para avaliações qualitativas estão as substâncias húmicas (SH) (Silva & Mendonça, 2007) que correspondem ao compartimento envolvido na maioria das reações químicas do solo, devido à sua grande reatividade (Menezes, 2008; Canellas et al., 1999). As SH correspondem a 80-90% do carbono orgânico do solo (C), cuja a

distribuição em frações ácido húmico ( $C_{AH}$ ), ácido fúlvico ( $C_{AF}$ ) e humina ( $C_{HU}$ ) depende do tipo de solo, do tipo de vegetação e do uso e manejo empregados (Menezes, 2008; Dick & Martinazzo, 2006; Stevenson, 1994).

O fracionamento químico das SH permite a realização de estudos comparativos entre diferentes usos do solo, por meio da observação das diferenças nos teores e na distribuição das frações húmicas (Menezes, 2008). Em solos com menores níveis de perturbação, a liberação de nutrientes pela liteira e a absorção de nutrientes pelas plantas ocorrem em sincronia, mantendo estáveis os teores de C e sua distribuição nas diferentes frações de SH (Caetano et al., 2013; Campos et al., 2004). Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar as alterações das SH e suas frações, em um Argissolo do semiárido piauiense por consequência da conversão da vegetação original (Caatinga) para o uso agrícola (cultivo de uva, milho e pastagem de corte).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### ***Localização***

O estudo foi realizado no município de São João do Piauí - PI ( $08^{\circ}21'29''S$  e  $42^{\circ}14'48''W$ , altitude 244 m), localizado no semiárido piauiense, sob domínio do bioma Caatinga (Figura 1). O clima da região corresponde ao tipo Bshw (semiárido quente e seco), segundo Köppen, com chuvas concentradas no verão, temperatura média anual de  $30,5^{\circ}C$  e precipitação média anual de 651,4 mm. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006).



**Figura 1. Localização geral da área de estudo. Estado do Piauí: região semiárida (destaque em cinza) e município de São João do Piauí (destaque em preto).**

#### *Descrição das áreas*

Três sistemas foram selecionados para o estudo, com áreas sob diferentes tipos de uso do solo e com no mínimo cinco anos consecutivos de cultivo: pastagem de corte (S2), cultivo de milho (S3) e cultivo irrigado de uva (S4), além de uma área referencial de mata nativa (S1). As características e histórico de cultivo de cada sistema estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1. Descrição e histórico de manejo dos diferentes sistemas de uso do solo estudados. São João do Piauí, PI. 2013.**

| <b>Tipo de uso do solo</b> | <b>Identificação</b> | <b>Descrição e histórico de manejo</b>   |
|----------------------------|----------------------|--|
| Mata Nativa                | S1                   | Caatinga – composta por plantas de porte arbóreo e arbustivo-arbóreo. As principais espécies encontradas na área (aproximadamente 90% do total de espécies) são: <i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J. B Gillet, <i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul., <i>Caesalpinia bracteosa</i> Tul, <i>Piptadenia macrocarpa</i> , <i>Xchinopsis brasiliensis</i> e <i>Mimosa hostilis</i> . O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, folhas e galhos) é de 2.1 Mg |

---

|                             |    |   |
|-----------------------------|----|---|
|                             |    | ha <sup>-1</sup> .  |
| Pastagem de corte irrigada  | S2 | <p>Pastagem de corte irrigada, cultivada com capim-elefante roxo (<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach cv. Roxo. De 1998. a 2006 a área foi cultivada com <i>Cenchrus ciliaris</i>. Em 2006 foi iniciada a implantação da pastagem atual, com <i>Pennisetum purpureum</i> irrigado. Para implantação foi realizado o preparo do solo com aração, gradagem e calagem (2 Mg ha<sup>-1</sup> calcário). Para manutenção da pastagem é feita uma adubação anual com 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Nessa área são realizados três cortes por ano, sendo que em cada corte, são aplicados na superfície do solo, 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco caprino. O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea e ervas daninhas) é da ordem de 4,8 Mg ha<sup>-1</sup>.</p> |
| Cultivo de Milho            | S3 | <p>O cultivo de milho (<i>Zea mays</i>) foi introduzido na área em 1992, após corte e queima da vegetação nativa. Desde então, o cultivo do milho é realizado anualmente de forma convencional e sem fertilização química. A produtividade média da área é de 1500 kg ha<sup>-1</sup>. Os restos culturais são utilizados para alimentação animal via pastejo. Ao final do ciclo da cultura o solo é deixado em pousio. O balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, ervas daninhas e dejetos animais) é 3.0 Mgha<sup>-1</sup>.</p>   |
| Fruticultura irrigada - Uva | S5 | <p>Cultivo irrigado de uva (<i>Vitis vinifera</i> L), da variedade Benitaka iniciado em 2006, após corte e queima da mata nativa. Para implantação da cultura, o solo foi arado e gradeado. O espaçamento utilizado é de 4 m entre linhas e 2 m entre plantas. Durante o plantio o solo foi fertilizado com N (260 g planta<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (120 g planta<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (120 g planta<sup>-1</sup>). Doenças e pragas quimicamente controladas. A adubação de manutenção foi composta por N (160 kg ha<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (110 kg ha<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (160 kg ha<sup>-1</sup>) e 8 kg planta<sup>-1</sup>, aplicados duas vezes ao ano. A produtividade média é de 15 Mg/ha/colheita, sendo realizadas duas colheitas por ano. O</p>  |

---

balanço anual de entrada de resíduos orgânicos (biomassa herbácea, ervas daninhas e dejetos animais) é de 1.5 Mg ha<sup>-1</sup>.

### *Amostragem e análise de solo*

As amostras de solo foram coletadas em maio de 2012. Para amostragem de solo, o tamanho das áreas foi padronizado em 0,7 ha, subdivididos em parcelas para sorteio dos pontos amostrais, onde quatro amostras compostas foram obtidas com a coleta de cinco subamostras simples na profundidade 0-5 e 5-10 cm, em um raio de cinco metros do ponto central, definido aleatoriamente. A maior diferenciação da distribuição do carbono orgânico do solo em profundidade, em estudos comparativos de uso e manejo do solo, é observada nas camadas mais superficiais (Caetano et al., 2013; Barreto et al., 2008; Menezes et al., 2008). As amostras utilizadas para caracterização química e granulométrica do solo foram secas ao ar, destorroadas, maceradas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA) (Embrapa, 2011).

**Tabela 2. Atributos químicos e físicos de Argissolo sob diferentes tipos de uso na região semiárida piauiense.**

| Uso | Prof. (cm) | pH <sub>H2O</sub> | Ca  | Mg  | K   | Al   | Na   | CTC  | m    | Ds                   | Argila | Areia | Silte |
|-----|------------|-------------------|---|-----|-----|------|------|------|------|----------------------|--------|-------|-------|
|     |            |                   | ----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) ----- |     |     |      |      |      | (%)  | (gcm <sup>-3</sup> ) |        | (%)   |       |
| S1  | 0-5        | 6,5               | 3,1   | 0,5 | 0,3 | 0,03 | 0,40 | 6,8  | 0,58 | 1,4                  | 22,3   | 34,5  | 43,2  |
|     | 5-10       | 6,2               | 1,4   | 0,3 | 0,2 | 0,03 | 0,20 | 4,0  | 1,26 | 1,5                  | 21,5   | 30,4  | 48,1  |
| S2  | 0-5        | 7,7               | 6,8   | 2,5 | 1,1 | 0,00 | 5,3  | 16,1 | 0    | 1,2                  | 12,4   | 70,7  | 16,9  |
|     | 5-10       | 7,7               | 6,4   | 2,2 | 0,7 | 0,00 | 5,1  | 15,2 | 0    | 1,3                  | 11,4   | 70,6  | 18,0  |
| S3  | 0-5        | 7,3               | 4,6   | 1,7 | 0,6 | 0,00 | 2,4  | 10,6 | 0    | 1,2                  | 15,8   | 45,3  | 38,9  |
|     | 5-10       | 7,2               | 4,7   | 1,5 | 0,6 | 0,00 | 2,0  | 10,1 | 0    | 1,4                  | 17,3   | 45,1  | 37,6  |
| S4  | 0-5        | 7,5               | 1,8   | 0,8 | 0,4 | 0,00 | 1,0  | 5,0  | 0    | 1,4                  | 1,7    | 86,2  | 12,1  |
|     | 5-10       | 7,2               | 1,5   | 0,6 | 0,4 | 0,00 | 0,6  | 4,3  | 0    | 1,3                  | 13,2   | 83,3  | 3,5   |

**S1 (Caatinga); S2 (Pastagem de corte); S3 (Cultivo de milho); S4 (Cultivo de uva irrigado).**

Nas amostras de TFSA trituradas e passadas em peneira de 60 mesh (0,210 mm) foram determinados os teores de C e nitrogênio total (N) por combustão seca (Flash EA

1112 ThermoFinnigan) e as substâncias húmicas foram fracionadas quimicamente empregou-se solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, segundo método adaptado de Dick et al. (1998). A uma massa de 1 g de solo peneirado foram adicionados 25 mL de HCL 0,1 mol L<sup>-1</sup> e a suspensão foi agitada por duas horas. Após centrifugação (2500 rpm, 5 minutos), o sobrenadante foi separado e armazenado sob refrigeração. Nesta etapa obteve-se o extrato ácido contendo matéria orgânica de baixo peso molecular. Em seguida, o resíduo foi submetido a tratamento com 25mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> sob agitação de três horas. O extrato alcalino foi separado por centrifugação (2500 rpm, cinco minutos) e o procedimento foi repetido até o sobrenadante ficar incolor (8 a 9 extrações). O volume total do extrato alcalino foi medido e uma alíquota de 10 mL foi separada para análise do teor de C correspondente às substâncias húmicas solúveis (SH). A solução alcalina foi acidificada a pH 2,0 com HCl 4 mol L<sup>-1</sup>, deixada em repouso por 24 horas. Por centrifugação (4000 rpm, 5 minutos) a fração dos ácidos fúlvicos (AF - sobrenadante) foi separada da fração dos ácidos húmicos (AH - precipitado). O volume do extrato de AF foi medido e uma alíquota de 10 mL foi retirada para análise do teor de C.

Os teores de carbono no extrato ácido (C<sub>HCL</sub>), no extrato de substâncias húmicas solúveis (C<sub>SH</sub>) e no extrato de ácidos fúlvicos (C<sub>AF</sub>) foram quantificados determinando-se a absorvância em 580 nm (Shimadzu-UV-160 A) após oxidação do carbono com dicromato de potássio em meio ácido a 60 °C durante quatro horas (Dick et al., 1998). As curvas padrão foram obtidas em solução de frutose em água e em HCL 0,1 mol L<sup>-1</sup> nas seguintes concentrações de C: 0,30, 60, 90, 120, 210, 300 ppm. Antes da reação com dicromato, 1 mL do extrato contendo as SH foi diluído em 10 mL de água destilada (fator de diluição = 11). As quantidades de matéria orgânica de baixo peso molecular, de substâncias húmicas solúveis e de ácidos fúlvicos foram estimados pelos valores obtidos em C<sub>HCL</sub>, C<sub>SH</sub> e C<sub>AF</sub>, considerando-se que nos respectivos extratos estas são as únicas formas presentes de carbono (Dick et al., 1998). O teor de C devido aos AH foi inferido a partir da equação: C<sub>AH</sub> = C<sub>SH</sub> - C<sub>AF</sub>, onde C<sub>AH</sub> representa o teor de carbono sob a forma de ácidos húmicos. Para a obtenção do teor de C presente na forma de huminas (C<sub>HU</sub>) empregou-se a fórmula: C<sub>HU</sub> = C - (C<sub>SH</sub> + C<sub>HCL</sub>). A partir dos resultados do fracionamento de SH determinou-se as razões C<sub>HCL</sub>/C, C<sub>SH</sub>/C, C<sub>AF</sub>/C, C<sub>AH</sub>/C, C<sub>HU</sub>/C. O índice de humificação (IH), que permite inferir a proporção de matéria orgânica humificada em relação ao teor de carbono total do solo foi calculado pela fórmula: IH =

$(C_{AH}+C_{AF}+C_{HU})/C$  (Canellas & Santos, 2005).

Os ácidos húmicos (AH) foram purificados com solução de HCl/HF (5%/5%) (Dick et al. 1998) e a composição química determinada por espectroscopia de FTIR (Shimadzu FTIR 8300) com varredura de espectro de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , resolução de 32 scans, utilizando-se 1 mg de amostra e 100 mg de KBr. As bandas de absorção dos espectros foram atribuídas segundo Tan (2003), as intensidades relativas segundo Gerzabek et al. (2006) e o índice de aromaticidade calculado pela da razão entre a intensidade do pico em 1630  $\text{cm}^{-1}$  associado aos grupos aromáticos, e a intensidade do pico em 2920  $\text{cm}^{-1}$ , associado aos grupos alifáticos (Chefetz et al., 1996).

#### *Análise estatística*

Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva, obtendo-se a média e o desvio padrão dos diferentes atributos avaliados, verificando-se assim, a variação destes atributos em relação aos usos do solo avaliados.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### *Composição elementar da MOS*

Os sistemas de uso do solo estudados apresentaram teor médio de C de  $9,9 \pm 5,01$   $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 3), nos primeiros 10 cm de profundidade. Este valor é considerado baixo quando comparado a outras classes de solos e aos solos de outros biomas brasileiros, porém está dentro do intervalo médio dos teores observados para Argissolos ( $11,2 \pm 7,3$   $\text{g kg}^{-1}$ ) e solos da Caatinga ( $8,0 \pm 1,4$   $\text{g kg}^{-1}$ ) (Santos et al., 2013).

Os teores de C variaram nos sistemas entre 5,09 (S4) a 19,01  $\text{g kg}^{-1}$  (S2) e os teores de N entre 0,49 (S4) a 1,69  $\text{g kg}^{-1}$  (S2), ambos decrescendo em profundidade (Tabela 3). Os teores de C e N na camada 0-5 cm foram mais elevados do que na camada 5-10 cm, evidenciando a importante contribuição da camada superficial do solo para a concentração de MOS, sendo este comportamento menos evidenciado no S3. Provavelmente a menor diferenciação dos teores de C e N entre as camadas no S3 seja resultante das sucessivas gradagens no cultivo do milho, que tendem a homogeneizar o

solo superficial (Freixo et al., 2002).

No solo sob Caatinga (S1), os teores de C e N foram estatisticamente diferentes aos do S2 e superiores em S3 e S4 na camada 0-5 cm. No geral, em áreas sob mata nativa há maior teor de carbono na superfície porque a contribuição da liteira é maior do que a das raízes (Ruivo et al., 2005), porém, em áreas de pastagem, devido ao menor ciclo de vida das gramíneas comparado aos de espécies arbóreas, ocorre contínua adição de resíduos orgânicos em profundidade (Menezes et al., 2008; Ruivo et al., 2005).

Os teores de C na camada 0-10 cm, comparativamente ao S1, foram reduzidos em 19,9% no sistema S3 e 31,9 % no sistema S4. Já os teores de N foram mantidos em S3 e reduzidos em 31,3% em S4. A prática do pousio, que durante o período seco mantém a superfície do solo desnuda, associada ao preparo mecanizado do solo, podem ser características do sistema S3 que contribuem para maiores perdas do C e N armazenados nas camadas superficiais. Em contrapartida, o manejo do sistema S4 não está sendo eficiente na restituição ao solo dos teores de C e N demandados pelo cultivo da uva, levando à redução desses elementos. O sistema S2 incrementou os respectivos teores de C e N em 90,7 e 86,7 %, na camada 0-10 cm, demonstrando ser para estas variáveis, o sistema estudado de uso do solo mais sustentável para as áreas agrícolas da Caatinga.

O valor médio da relação C/N nos solos avaliados foi de 10,3 (Tabela 3). Entre os sistemas, todos apresentaram valores similares aos da Caatinga, exceto S3 que apresentou valores inferiores. Em geral, valores de relação C/N entre 10 e 20 indicam predominância de MOS humificada (Sparks, 1995; Stevenson, 1994) e os valores observados neste estudo sugerem alto grau de humificação dos solos, indicativo de maiores perdas de carbono e predominância no solo de formas menos lábeis. Lima et al. (2007) em estudo sobre indicadores de qualidade do solo no semiárido cearense, também observaram valores baixos de relação C/N com variações entre 9,3 e 10, na camada 0-10 cm.

**Tabela 3. Atributos químicos e físicos de Argissolo sob diferentes tipos de uso na região semiárida piauiense.**

| Uso | Prof. | C | N | C/N |
|-----|-------|---|---|-----|
|-----|-------|---|---|-----|

|    | (cm) | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |        |      |        |       |        |
|----|------|-------------------------------|--------|------|--------|-------|--------|
| S1 | 0-5  | 11,45                         | ± 1,67 | 1,03 | ± 0,25 | 11,26 | ± 1,07 |
|    | 5-10 | 6,59                          | ± 0,78 | 0,63 | ± 0,13 | 10,61 | ± 0,98 |
|    | 0-10 | 9,02                          | ± 1,22 | 0,83 | ± 0,28 | 10,90 | ± 0,92 |
| S2 | 0-5  | 19,01                         | ± 1,94 | 1,69 | ± 0,19 | 11,26 | ± 0,14 |
|    | 5-10 | 15,39                         | ± 0,08 | 1,41 | ± 0,00 | 10,95 | ± 0,04 |
|    | 0-10 | 17,20                         | ± 1,01 | 1,55 | ± 0,20 | 11,11 | ± 0,20 |
| S3 | 0-5  | 7,72                          | ± 1,53 | 0,86 | ± 0,12 | 8,99  | ± 0,54 |
|    | 5-10 | 6,72                          | ± 0,78 | 0,81 | ± 0,16 | 8,41  | ± 0,66 |
|    | 0-10 | 7,22                          | ± 1,16 | 0,83 | ± 0,04 | 8,70  | ± 0,59 |
| S4 | 0-5  | 7,19                          | ± 2,05 | 0,65 | ± 0,25 | 11,20 | ± 1,12 |
|    | 5-10 | 5,09                          | ± 0,33 | 0,49 | ± 0,02 | 10,48 | ± 0,19 |
|    | 0-10 | 6,14                          | ± 1,19 | 0,57 | ± 0,20 | 10,84 | ± 0,78 |

**S1 (Caatinga); S2 (Pastagem de corte); S3 (Cultivo de milho); S4 (Cultivo de uva irrigado).**

#### *Distribuição da MOS em compartimentos químicos*

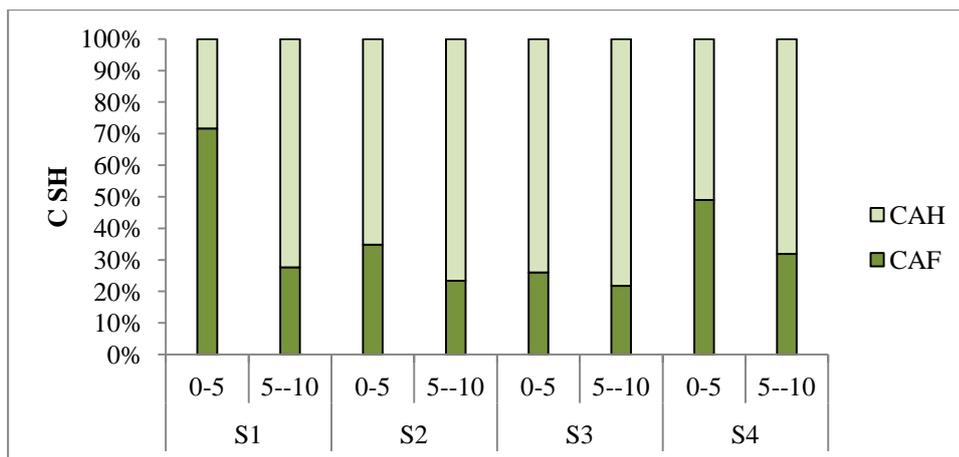
O carbono no extrato ácido ( $C_{HCL}$ ) apresentou teores inferiores em relação aos extratos das substâncias húmicas solúveis ( $C_{SH}$ ), dos ácidos fúlvicos ( $C_{AF}$ ), dos ácidos húmicos ( $C_{AH}$ ) e huminas ( $C_{HU}$ ), independentemente da profundidade analisada ou do tipo de uso do solo (Tabela 4). Nos sistemas, o teor de  $C_{HCL}$  variou entre 0,11 (S4) e 0,59 (S2) g kg<sup>-1</sup>, com decréscimo em profundidade. Os sistemas S2 e S3 apresentaram valores de  $C_{HCL}$  superiores aos demais em todas as camadas analisadas. Geralmente nas áreas compostas por gramíneas, os resíduos orgânicos, por apresentarem alta degradabilidade, favorecem a formação de frações mais facilmente biodegradáveis como  $C_{HCL}$  (Menezes, 2008; Loss et al., 2006; Ruivo et al., 2005), que corresponde a compostos hidrofílicos menores do que as estruturas dos ácidos húmicos e fúlvicos, quimicamente mais lábeis, de fraca associação aos minerais, oriundos principalmente da atividade microbiana e da exsudação das raízes (Potes et al., 2010; Dick et al., 1998).

O teor de carbono das substâncias húmicas solúveis ( $C_{SH}$ ) nos sistemas variou entre 2,29 (S4) e 8,14 (S2) g kg<sup>-1</sup> (Tabela 4), com valores decrescentes em profundidade

nos sistemas da caatinga (S1), pastagem (S2) e uva (S4). Com relação a esta fração, o uso agrícola do solo beneficiou apenas o S2, que apresentou teor médio (0-10 cm) superior ( $7,24 \text{ g kg}^{-1}$ ) ao observado em S1 ( $3,86 \text{ g kg}^{-1}$ ). Apesar dos valores de  $C_{SH}$  dos sistemas S1, S3 e S4 terem sido similares ( $3,86$ ;  $3,77$  e  $3,49 \text{ g kg}^{-1}$ ), a partição do carbono entre  $C_{AH}$  e  $C_{AF}$  ocorreu de forma distinta nos sistemas (Figura 2).

Os sistemas estudados apresentaram teores médios de  $1,69$  e  $3,2 \text{ g kg}^{-1}$  de  $C_{AH}$  e  $C_{AF}$ , muito inferiores aos teores médios de  $13,7$  e  $20,8 \text{ g kg}^{-1}$  de  $C_{AH}$  e  $C_{AF}$  reportados para a Caatinga por Santos et al. (2013). Os teores de  $C_{AF}$  variaram de  $0,73$  (S4) a  $3,15$  (S1)  $\text{g kg}^{-1}$  nos sistemas estudados, com decréscimo dos teores em profundidade apenas em S1 e S4. Os sistemas S2 e S4 não diferiram de S1 (0-10 cm) e apresentaram teor médio ( $1,87 \text{ g kg}^{-1}$ ) superior ao observado em S3 ( $0,89 \text{ g kg}^{-1}$ ). Sendo  $C_{AF}$  uma fração constituída essencialmente por polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos oriundos da decomposição dos resíduos orgânicos, a prática do pousio do manejo de S3, pode justificar o comprometimento da formação dos ácidos fúlvicos neste sistema. Ademais, como esta fração apresenta menor massa molecular, maior solubilidade e mobilidade no solo, o preparo mecanizado do solo de S3 pode colaborar para o desgaste desta fração nas camadas mais superficiais.

Comparativamente à caatinga (S1), os demais tipos de uso do solo avaliados contribuíram para incremento dos teores de  $C_{AH}$  na camada 0-10cm. A formação e acúmulo de  $C_{AH}$  observada em S2 ( $5,19 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi aproximadamente o triplo do valor observado para a S1 ( $1,83 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o dobro do observado para S3 e S4 ( $2,87$  e  $1,98 \text{ g kg}^{-1}$ ). A intensidade da fertilização orgânica com esterco no manejo de S2, associada ao uso de fertilizantes minerais, podem ter contribuído para a formação de AH com maior grau de policondensação e, por isso, mais estáveis, como os resultados reportados por Cunha et al. (2009) em estudo sobre mudanças qualitativas nos ácidos húmicos de solos sob fertilização orgânica e mineral, na cultura da goiabeira no vale do São Francisco, no estado de Pernambuco.



**Figura 2. Distribuição relativa da fração C<sub>SH</sub> (substâncias húmicas) nas frações C<sub>AH</sub> (ácidos húmicos) e C<sub>AF</sub> (ácidos fúlvicos) de um Argissolo sob diferentes tipos de uso na região semiárida piauiense, nas camadas 0-5 e 5-10 cm. S1 (Caatinga); S2 (Pastagem de corte); S3 (Cultivo de milho); S4 (Cultivo de uva irrigado).**

A relação C<sub>AH</sub>/C<sub>AF</sub> (Tabela 4), expressa a diferente dinâmica de formação de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos (Santana et al., 2011), como também as alterações seletivas na fração mais solúvel (C<sub>AF</sub>) por mineralização ou lixiviação para subsuperfície (Caetano et al., 2008; Benites et al., 2003). Os valores médios da relação C<sub>AH</sub>/C<sub>AF</sub> (0-10 cm) nos sistemas estudados (2,27) foram superiores ao valor médio (0,66) apresentado por Santos et al. (2013) para os solos do bioma Caatinga. Todos os sistemas, exceto S4, apresentaram valores da camada 5-10 cm superiores aos da camada 0-5 cm, evidenciando a diminuição de C<sub>AF</sub> em profundidade. Cunha et al. (2001) também observou perdas da fração CAF em profundidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Por outro lado Caetano et al. (2008) ressaltam que em solos de textura arenosa como os deste estudo, a predisposição para as perdas de C<sub>AF</sub> é maior.

Os maiores teores de C<sub>HU</sub> (0-10 cm) foram observados no S2 (9,58 g kg<sup>-1</sup>), seguido de S1, S3 e S4 (4,93; 3,21 e 2,43 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Apenas os sistemas S1 e S2 apresentaram maior proporção (>50%) desta fração (Tabela 5), diferentemente de Menezes (2008), que verificou maior proporção de C<sub>HU</sub> em Argissolos. Lima et al. (2008) também observaram que em solo cultivado com pastagem, a maior proporção de C foi proveniente da fração C<sub>HU</sub> (>60%). O maior percentual de argila no solo do sistema S1 (~22%) em relação aos solos dos demais sistemas (~12%) pode ter contribuído para a dinâmica de formação de C<sub>HU</sub>, devido à propensão de formação de complexos organo-minerais estáveis, de maior resistência à degradação microbiana,

conforme observado por Carvalho dos Santos et al. (2013), Pulronik (2009) e Barreto et al. (2008).

A análise das razões de  $C_{HCL}/C$ ;  $C_{AF}/C$ ;  $C_{AH}/C$ ;  $C_{HU}/C$  (Tabela 5) demonstraram aspectos da distribuição do C que não puderam ser observados apenas com a análise dos teores absolutos das frações. No ambiente do semiárido, a formação da fração  $C_{HCL}$  foi menos favorecida, visto que em todos os tipos de uso do solo, esta fração representou menos de 5% do C, com os sistemas S1 e S2 apresentando as menores proporções. Este resultado corrobora com aqueles observados para IH (Tabela 4) que variou entre 0,95 e 0,99, indicando que a maior parte da MOS está entre as frações humificadas (CAF, CAH, CHU), independente da profundidade e do tipo de uso do solo. No geral, a baixa proporção de  $C_{HCL}$  no carbono do solo é característica de ambientes que desfavorecem a atividade microbiana, afetando a ciclagem de compostos mais facilmente decomponíveis que conduzem à formação de  $C_{HCL}$  (Menezes, 2008; Moreira & Siqueira 2002). O uso agrícola do solo propiciou maior formação de SH do que no solo sob mata nativa, principalmente nos sistemas S3 e S4, em que mais de 50% do C estava sob esta forma. Porém, a distribuição das frações  $C_{AF}$  e  $C_{AH}$  entre os dois sistemas foi mais balanceada em S4 (22,97 e 32,98% respectivamente) do que em S3, (12,54 e 40,43% respectivamente). Em todos os sistemas, a proporção de  $C_{AH}$  foi maior na camada 0-5 do que na camada 5-10 cm, exceto em S4. A menor proporção de  $C_{AH}$  em profundidade sugere redução do aporte de C jovem ao sistema, com reflexos negativos sobre a qualidade do húmus e atividade microbiana (Canellas et al., 2007). O teor de C na forma de  $C_{HU}$  foi superior aos das demais frações (> 53%) nos sistemas S1 e S2.

**Tabela 4. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono em Argissolo sob diferentes tipos de uso na região semiárida piauiense.**

| Uso | Prof. | $C_{HCL}$                     | $C_{SH}$   | $C_{AF}$   | $C_{AH}$   | $C_{Hu}$    | IH         | $C_{AH}/C_{AF}$ |  |  |  |  |  |
|-----|-------|-------------------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------------|--|--|--|--|--|
|     | (cm)  | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |            |            |            |             |            |                 |  |  |  |  |  |
| S1  | 0-5   | 0,33 ±0,01                    | 4,40 ±0,29 | 3,15 ±0,53 | 1,25 ±0,24 | 6,72 ±1,40  | 0,97 ±0,01 | 0,41 ±0,15      |  |  |  |  |  |
|     | 5-10  | 0,12 ±0,00                    | 3,33 ±0,40 | 0,92 ±0,20 | 2,41 ±0,20 | 3,15 ±0,38  | 0,98 ±0,00 | 2,66 ±0,35      |  |  |  |  |  |
|     | 0-10  | 0,22 ±0,02                    | 3,86 ±0,34 | 2,04 ±0,37 | 1,83 ±0,02 | 4,93 ±0,89  | 0,98 ±0,00 | 1,53 ±0,25      |  |  |  |  |  |
| S2  | 0-5   | 0,59 ±0,01                    | 6,34 ±0,18 | 2,21 ±0,25 | 4,14 ±0,43 | 12,08 ±1,75 | 0,97 ±0,00 | 1,90 ±0,41      |  |  |  |  |  |
|     | 5-10  | 0,19 ±0,01                    | 8,14 ±1,33 | 1,90 ±0,68 | 6,23 ±0,65 | 7,07 ±1,40  | 0,99 ±0,00 | 3,44 ±0,89      |  |  |  |  |  |

|    |      |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |
|----|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
|    | 0-10 | 0,39 | ±0,01 | 7,24 | ±0,57 | 2,05 | ±0,47 | 5,19 | ±0,11 | 9,58 | ±1,57 | 0,98 | ±0,01 | 2,67 | ±0,65 |
|    | 0-5  | 0,31 | ±0,09 | 3,53 | ±0,17 | 0,92 | ±0,02 | 2,62 | ±0,20 | 3,88 | ±1,27 | 0,96 | ±0,00 | 2,86 | ±0,29 |
| S3 | 5-10 | 0,18 | ±0,01 | 4,00 | ±0,46 | 0,87 | ±0,14 | 3,13 | ±0,32 | 2,54 | ±0,31 | 0,97 | ±0,00 | 3,61 | ±0,22 |
|    | 0-10 | 0,25 | ±0,05 | 3,77 | ±0,32 | 0,89 | ±0,06 | 2,87 | ±0,26 | 3,21 | ±0,79 | 0,97 | ±0,00 | 3,23 | ±0,03 |
|    | 0-5  | 0,33 | ±0,07 | 4,70 | ±0,44 | 2,30 | ±0,84 | 2,40 | ±0,40 | 2,17 | ±1,68 | 0,95 | ±0,02 | 1,15 | ±0,59 |
| S4 | 5-10 | 0,11 | ±0,00 | 2,29 | ±0,40 | 0,73 | ±0,09 | 1,56 | ±0,49 | 2,69 | ±0,08 | 0,98 | ±0,00 | 2,19 | ±0,93 |
|    | 0-10 | 0,22 | ±0,03 | 3,49 | ±0,42 | 1,51 | ±0,37 | 1,98 | ±0,05 | 2,43 | ±0,80 | 0,96 | ±0,01 | 1,67 | ±0,17 |

**S1 (Caatinga); S2 (Pastagem de corte); S3 (Cultivo de milho); S4 (Cultivo de uva irrigado).**

**Tabela 5. Distribuição relativa do carbono orgânico do solo nas frações CHCL, CAF, CAH, CHU em um Argissolo sob diferentes tipos de uso no semiárido piauiense.**

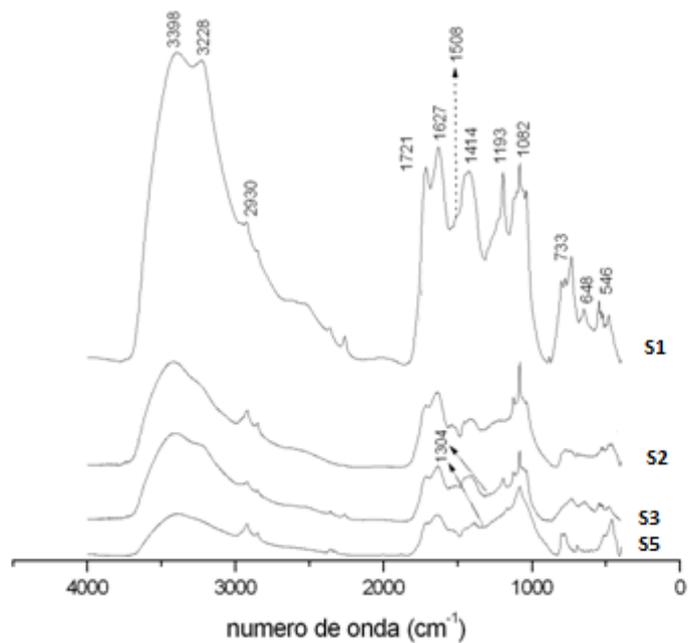
| Uso | Prof. | -----%----- |       |       |        |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |       | CHCL/C      |       | CSH/C |        | CAF/C |       | CAH/C |       | CHU/C |       |
| s1  | 0-5   | 2,91        | ±0,59 | 38,66 | ±3,08  | 27,48 | ±0,66 | 11,19 | ±3,74 | 58,43 | ±3,67 |
|     | 5--10 | 1,76        | ±0,23 | 50,50 | ±0,07  | 13,88 | ±1,36 | 36,62 | ±1,29 | 47,74 | ±0,16 |
|     | 0--10 | 2,34        | ±0,41 | 44,58 | ±1,51  | 20,68 | ±1,01 | 23,90 | ±2,51 | 53,08 | ±1,91 |
| s2  | 0-5   | 3,09        | ±0,26 | 33,49 | ±2,47  | 11,73 | ±2,51 | 21,76 | ±0,04 | 63,42 | ±2,72 |
|     | 5--10 | 1,20        | ±0,06 | 52,89 | ±8,92  | 12,37 | ±4,50 | 40,51 | ±4,43 | 45,91 | ±8,86 |
|     | 0--10 | 2,15        | ±0,10 | 43,19 | ±5,70  | 12,05 | ±3,50 | 31,14 | ±2,19 | 54,66 | ±5,79 |
| s3  | 0-5   | 3,99        | ±0,34 | 46,41 | ±6,94  | 12,13 | ±2,71 | 34,28 | ±4,24 | 49,60 | ±6,61 |
|     | 5--10 | 2,74        | ±0,17 | 59,52 | ±0,12  | 12,94 | ±0,60 | 46,58 | ±0,72 | 37,74 | ±0,29 |
|     | 0--10 | 3,36        | ±0,08 | 52,97 | ±3,53  | 12,54 | ±1,05 | 40,43 | ±2,48 | 43,67 | ±3,45 |
| s4  | 0-5   | 5,46        | ±1,02 | 67,11 | ±11,89 | 31,54 | ±2,65 | 35,58 | ±8,63 | 27,43 | ±7,54 |
|     | 5--10 | 2,23        | ±0,09 | 44,80 | ±5,05  | 14,41 | ±2,62 | 30,39 | ±7,67 | 52,97 | ±4,96 |
|     | 0--10 | 3,86        | ±0,82 | 55,96 | ±3,97  | 22,97 | ±0,01 | 32,98 | ±3,98 | 40,18 | ±4,79 |

**S1 (Caatinga); S2 (Pastagem de corte); S3 (Cultivo de milho); S4 (Cultivo de uva irrigado).**

#### *Comportamento espectral dos ácidos húmicos*

A fração AH corresponde à fração intermediária no processo de estabilização dos compostos húmicos e é um marcador natural do processo de humificação (Rangel & Silva, 2007). Os espectros de FTIR obtidos para os AH purificados da camada 0-5 cm, demonstraram feições muito similares, com picos característicos em determinadas regiões, variando em intensidade, mas com poucas variações nas frequências de absorvância entre os sistemas (Figura 3). Foram identificadas as seguintes bandas de absorção e suas respectivas atribuições: banda larga em 3400-3345  $\text{cm}^{-1}$  atribuída ao estiramento O-H em grupo fenólico (contribuição de OH alifático e amina); banda na região de 3250-3000  $\text{cm}^{-1}$  devido ao estiramento C-H aromático; banda na região de 2923-2845  $\text{cm}^{-1}$  devido ao estiramento C-H alifático; banda em 1720  $\text{cm}^{-1}$  referente ao estiramento C=O do grupo carboxílico; banda na região em 1640-1620  $\text{cm}^{-1}$  atribuída ao

estiramento C=C aromático; banda em torno de 1540-1500  $\text{cm}^{-1}$  referente à deformação N-H, ao estiramento C=N e a elongação C=C de compostos aromáticos; bandas em torno de 1440-1410  $\text{cm}^{-1}$  devido à deformação C-H alifático; banda em 1380-1300  $\text{cm}^{-1}$  atribuída à flexão assimétrica de grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  ; banda em 1253-1220  $\text{cm}^{-1}$  atribuída ao estiramento C-O e à deformação OH do grupo carboxílico; banda em 1195-1115  $\text{cm}^{-1}$  atribuída à presença de grupos metoxilicos; bandas em torno de 1080  $\text{cm}^{-1}$  atribuídas aos estiramentos C-O em polissacarídeos. As bandas  $\sim 1000 \text{ cm}^{-1}$  são atribuídas à impurezas oriundas da formação de quelatos orgânicos com sílica, podendo estar relacionado à presença de argilas não removidas completamente no processo de purificação.



**Figura 3.** Espectro de FTIR da fração AH da camada 0-5 cm de Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes tipos de uso, na região semiárida piauiense. S1 (caatinga); S2 (pastagem de corte); S3 (milho); S4 (cultivo irrigado de uva)

A análise comparativa dos espectros contribuiu para a identificação das alterações qualitativas dos AH nos solos do semiárido em decorrência do tipo de uso e o índice de aromaticidade ( $\text{IR}1630/\text{IR}2920$ ) permitiu discriminar os AH dos sistemas em função da aromaticidade (Tabela 6). O AH de S1 e S3 caracterizaram-se por apresentar aromaticidade superior aos dos demais sistemas ( $\text{IR}1630/\text{IR}2920 = 10,8$  e  $7,1$  respectivamente) e maior proporção de estruturas aromáticas ( $\text{IR}3228 = 7,9$  e  $5,2$  ;  $\text{IR}1636 = 26,9$  e  $30,4$  respectivamente), indicativo de maior proporção de estruturas

derivadas de resíduos orgânicos mais lignificados (Sherestha et al., 2008). Em contrapartida, menor aromaticidade foi observada na constituição dos AH dos sistemas S4 e S2 ( $IR1630/IR2920 = 2,4$  e  $3,7$ ). Nestes sistemas, a detecção de IR1542 permitiu observar a presença de compostos nitrogenados e no menor grau de decomposição e de humificação dos AH, em função da presença de polissacarídeos, o que pode estar relacionado à adubação dos solos com fertilizantes nitrogenados e a maior participação do nitrogênio no material orgânico em superfície. A não detecção de IR1542 nos espectros de S1 e S3 sugere que os compostos orgânicos nitrogenados são preferencialmente decompostos em relação às demais estruturas orgânicas (Neto, 2010) nas condições do semiárido. Maior proporção de IR 1720 foi observada nos AH de S3 e pode estar associada à maior oxidação da MOS, em função de intensa atividade microbiana (Fuentes et al., 2006), decorrente do revolvimento do solo, que proporciona um ambiente mais oxidado (Neto, 2010). Em relação aos demais sistemas, S2 proporcionou a adição de compostos orgânicos mais ácidos (grupos carboxílicos) aos AH, observado pela presença de IR 1252.

**Tabela 6. Intensidade relativa e índice de aromaticidade de AH na camada 0-5 cm em Argissolo sob diferentes tipos de uso no semiárido piauiense.**

| Uso           | IR3228 | IR2930 | IR1721 | IR1636 | IR1542 | IR1414 | IR1380 | IR1252 | IR1193 | IR1630/IR2920 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| ----- % ----- |        |        |        |        |        |        |        |        |        |               |
| <b>S1</b>     | 7,9    | 2,5    | 25,9   | 26,9   | n.d.   | 16,5   | n.d.   | n.d.   | 20,2   | <b>10,8</b>   |
| <b>S2</b>     | n.d.   | 7,0    | 23,4   | 25,7   | 8,2    | 7,6    | n.d.   | 7,6    | 20,5   | <b>3,7</b>    |
| <b>S3</b>     | 5,2    | 4,3    | 30,4   | 30,4   | n.d.   | 11,3   | n.d.   | n.d.   | 18,2   | <b>7,1</b>    |
| <b>S4</b>     | n.d.   | 9,8    | 20,3   | 23,6   | 7,2    | n.d.   | 11,8   | n.d.   | 26,9   | <b>2,4</b>    |

**S1 (caatinga); S2 (pastagem de corte); S3 (milho); S4 (cultivo irrigado de uva)**

#### 4. CONCLUSÕES

A conversão dos solos do semiárido em uso agrícola alteraram a distribuição do carbono entre as frações húmicas, favorecendo principalmente a dinâmica de formação

dos ácidos húmicos, que por possuírem maior conteúdo de carbono em sua composição, sugerem maior potencial de acúmulo carbono nos solos.

As características qualitativas e o grau de humificação dos ácidos húmicos foram mais alterados nos sistemas de pastagem de corte e cultivo irrigado de uva com incremento da proporção de grupos funcionalizados. Dentre os sistemas estudados, o mais propenso a modificar os processos de degradação dos solos do semiárido foi o constituído pela pastagem de corte, que além de preservar a distribuição do carbono entre as frações húmicas próxima à distribuição natural, observada no solo sob vegetação nativa (Caatinga), elevou os teores das substâncias húmicas, que atuam como condicionadores do solo, propiciam um melhor ambiente para o desenvolvimento radicular, melhoram a estrutura do solo e aumentam a absorção dos nutrientes.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Albuquerque, A. W., Lombardi Neto, F., Srinivasan, V. S., & Santos, J. R., 2002. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(1), 136-141.
- Barreto, A. C. et al., 1997. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1471-1478.
- Barreto, A.C. et al., 2008. 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, p.1471-1478.
- Benites, V.M.; Madari, B. & Machado, P.L.O.A., 2003. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. (Comunicado Técnico, 16). Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 7p.
- Caetano, J. O. et al., 2013. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37 (5): 1245-1255.

- Campos, D. V. B. et al., 2004. Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em Argissolo de Conceição da Barra – ES. (Circular técnica, 10). Rio de Janeiro: EMBRAPA. Seropédica, 2004.
- Canellas, L. P. et al., 1999. Reações da matéria orgânica. In: Santos, G. A., Camargo, F. O. (eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 5, p. 69-90.
- Canellas L.P. & Santos G.A., 2005. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, 309 p.
- Carvalho dos Santos, D., Oliveira F. M., Liane R. L., Kunde J.C., Pillon, R.C., Flores, C. A., 2013. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Ciência Rural*, 838-844.
- Chefetz, B.; Hatcher, P.; Hadar, Y. & Chen, Y., 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *J. Environ. Qual.*, 25:776-785.
- Chivenge, P.P.; Murwira, H.K.; Giller, K.E.; Mapfumo, P. & Six, J., 2007. Long term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on constrating soils. *Soil Till. Res.*, 94:328-337.
- Coelho, V. H., Montenegro, S. M., Almeida, C. D. N., de Lima, E. R., Neto, A. R., & de Moura, G. S., 2014. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 18(1), 64-72.
- Cunha, T.J.F. et al., 2001. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 27-36.
- Cunha, T. J. F., Bassoi L. H., Simões, M. L., Martin-Neto, L., Petreire V.G., Ribeiro P.R.A., 2009. Ácidos húmicos em solo fertirrigado no vale do São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1583-1592.

- Dick, D. P., Gomes, J., Rosinha, P. B., 1998. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 22(4): 603-611.
- Dick, D. P., Martinazzo, R., 2006. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: Poletto, C., Merten, G. H. (eds.) *Qualidade dos Sedimentos*. Porto Alegre: ABRH, 2006. cap. 4, p. 65-80.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (eds). *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSAJ, Madison, (35), p.3-22.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: 21 p.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção e Informação, 412p.
- Freixo, A., Machado, P., Guimarães, C., Silva, C., Fadigas, F.S., 2002. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:425-434.
- Fuentes, J.P., Bezdicek, D.F., Flury, M., Albrecht, S., Smith, J.L., 2006. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. *Soil Tillage Res.*, 88:123-131.
- Gerzabek, M. H., Antil, R. S., Kougel-Knabner, I., Knicker, H., Kirchmann, H., Haberhauer, G., 2006. How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: A spectroscopic approach. *Europ. J. Soil Sci.*, 57:485-494.
- Guimarães, D. V., Gonzaga, M. I. S., Silva, T. O., Silva T. L., Dias, N.S., Matias, M. I. S., Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil and Tillage Research* 126: 177-182.
- Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M., Ellert, B. H., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canad. Journ. of Soil Sci.*, 74:367-375.

- Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis, 2009. URL: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga>. (Accessed 06/06/2013)
- Lima, H. V. O., Oliveira, T. S., Mendonça M. M., Mendonça E., Lima, P. J., 2007. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(5), 1085-1098.
- Loss, A., Pereira, M. G., Brito, R. J., 2006. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. *Revista Universidade Rural, Série Ciência da Vida, Seropédica*, 26 (1).
- Martins, C.M., 2009. Atributos de solos e sua relação com o processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Menezes, F.P., 2008. Substâncias Húmicas em solos de diferentes feições geomorfológicas no rebordo do planalto do Rio Grande do Sul. Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria.
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O., 2002. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 626 p.
- Neto, L. F. S., 2010. Pedogênese e Matéria Orgânica de Solos hidromórficos da região metropolitana de Porto Alegre. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Primo, D.C., Menezes, R.S.C., Silva, T.O., 2011. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena* 7(5):1-13.
- Potes, M. L., Dick, D.P., Dalmolin, R.S.D., Knicker, H., ROSA, A. S., 2010. Matéria orgânica em Neossolos de altitude: Influência da queima da pastagem e do tipo de vegetação na sua composição e teor. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:23-32.
- Pulronik, K. et al., 2009. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33:1125-1136.

- Rangel, O. J. P., Silva, C. A., 2007. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1609-1623.
- Ruivo, M. L. et al., 2005. Caracterização da Manta Orgânica e da Matéria Orgânica Leve em Diferentes Tipos de Solo em uma Toposeqüência na Ilha de Algodual/Maiandeuá, PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, 1 (1): 227-234.
- Silva, I.R. & Mendonça, E. S. Matéria orgânica do solo. In: Novais R.F. et al., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. P275-374.
- Santana, G. S. et al., 2011. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (2):.461-472.
- Santos, C. A. A., 2005. Matéria orgânica de Argissolo vermelho e Latossolo Bruno sob diferentes sistemas de manejo e sob vegetação nativa: distribuição em frações físicas, qualidade e sorção do herbicida atrazina. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, L. L., Lacerda, J. J. J., & Zinn, Y. L., 2013. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4): 955-968.
- Shrestha, B. M., Certini, G., Forte, C., Singh, B.R., 2008. Soil organic matter quality under different land uses in a mountain watershed of Nepal. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72:1563-1569.
- Sparks, D., 1995. *Environmental soil chemistry*. San Diego, Academic Press.
- Stevenson, F.J., 1994. *Humus Chemistry*. New York : Wiley, 497p.
- Tan, K. H., 2003. *Humic matter in soil and the environment. Principles and controversies*. New York: Marcel Dekker, 385p.

Wending, B., Juckach, I., Mendonça, E. S., Alvarenga, R. C., 2010. Organic matter pools of soil under pines and annual cultures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 1707-1722.