



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ANA CECÍLIA DA COSTA SINCLAIR MARINHO

**MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM
CAMBISSOLO SUBMETIDO A DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS NA
REGIÃO DO SEMIÁRIDO-RN**

**MOSSORÓ - RN
DEZEMBRO DE 2014**

ANA CECÍLIA DA COSTA SINCLAIR MARINHO

**MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM
CAMBISSOLO SUBMETIDO A DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS NA
REGIÃO DO SEMIÁRIDO-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Jeane Cruz
Portela ó UFERSA


MOSSORÓ ó RN
2014

ANA CECÍLIA DA COSTA SINCLAIR MARINHO

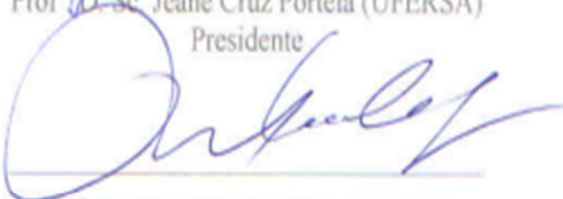
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestra em Manejo de Solo e Água".

APROVADA EM: 15/12/2014


BANCA EXAMINADORA



Prof.^a D. Sc. Jeane Cruz Portela (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Neroli Pedro Cogo (UFRGS)
Examinador externo



Prof.^a D. Sc. Eulene Francisco da Silva (UFERSA)
Examinadora

Catálogo na Fonte

Catálogo de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ

Sinclair, Ana Cecília da Costa.

Matéria orgânica e atributos físicos e químicos de um cambissolo submetido a diferentes usos agrícolas na região do semiárido-RN / Ana Cecília da Costa Sinclair. - Mossoró, 2015.

68f. il.

1. Caatinga. 2. Agroecologia. 3. Manejo do solo. I. Título

RN/UFERSA/BCOT/372
S616m

CDD 582.1

Dedico

Aos meus avós José Valdemar Maranhão e
Margarida Sinclair Maranhão (*in memoriam*)
pelos ensinamentos e valores transmitidos
durante toda minha vida. Aqui deixo o
meu **MUITO OBRIGADO**.

• Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias;
correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão. (Isaías 40:31)

Ofereço

Inicialmente a Deus, que me concede a
cada dia saúde, paz e coragem para vencer.

Ao meu amado esposo Paulo Marinho e
às minhas filhas Maria Júlia, Carolina e Lara,
sinônimo de amor, responsabilidade e confiança.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por me conceder saúde e paz para vencer os obstáculos que por ventura aparecem em nossas vidas. Obrigada, meu Senhor Jesus, por me abençoar e guiar meus passos. À minha grande mãe Maria Santíssima pela sua interseção e por toda luz e esperança.

Ao meu querido e amado esposo Paulo Marinho por todo amor, ensinamentos, compreensão, companheirismo e principalmente paciência nos momentos de ansiedade. Sem você, meu amor e meu porto seguro, com certeza eu não estaria aqui. Obrigada por tudo!!

Às minhas três filhas maravilhosas Julinha, Carol e Lara, sinônimo do mais puro amor, pelos momentos de alegria e descontração; sem vocês eu não teria paz e forças para continuar.

Aos meus anjos aqui na terra, minhas duas mães Dodô e Sílvia por todo amor, ensinamentos e valores transmitidos por toda minha vida. Obrigada, minha amada madrinha, por toda a sua dedicação e desvelo por mim.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido por proporcionar as condições necessárias para a pesquisa e conclusão do curso de pós-graduação.

Agradeço à Profª Drª Jeane Cruz Portela pela orientação, paciência, dedicação e pela confiança depositada em minha pessoa e amizade.

À professora Drª Eulene Francisco da Silva pela dedicação, generosidade, sabedoria e compreensão.

À minha querida amiga Ana Kaline da Costa Ferreira pela amizade, companheirismo e colaboração sempre espontânea nos trabalhos do experimento e pelo convívio diário sadio e alegre.

Aos meus queridos amigos Francisco Souto, Daianni Ariane da Costa Ferreira, Maria Valdete da Costa, Ana Cláudia Medeiros Souza e Karen Mariany pela amizade e palavras de incentivo, apoio e principalmente pelos momentos de convívio diário de muita alegria e descontração.

Ao Técnico do LASAP Elídio Andrade Barbosa pela colaboração nas análises químicas e por todos os ensinamentos e experiência transmitidos ao longo dessa caminhada.

Ao Técnico do LASAP Antônio Carlos da Silva pela colaboração nas análises físicas. Obrigada pela amizade e presteza.

Às alunas do curso de Pós Graduação em Manejo do Solo e água Líssia Letícia, Jussiara Sonally e Jucirema Ferreira da Silva pela colaboração durante a coleta do solo e análises químicas.

A todos que fazem ou fizeram parte da família LASAP pelos momentos vividos nesse ambiente acolhedor que nos transmite, acima de tudo, paz e nos proporciona momentos de muita felicidade.

RESUMO

MARINHO, A.C.C.S. **Matéria orgânica e atributos físico-químicos de um Cambissolo submetido a diferentes usos agrícolas e manejo do solo no semiárido da Chapada do Apodi-RN 2015.** 57f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2015.

Ao manejar os solos da Caatinga percebe-se sua fragilidade em termos de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e alguns atributos. O uso de técnicas adequadas às condições agrícolas locais, levando em consideração o padrão climático, tipo de solo e o manejo da Caatinga se constituem como ferramenta essencial para manutenção dos recursos naturais. Com este estudo buscou-se um direcionamento a respeito das frações quantitativas da matéria orgânica (MOS) e os atributos físico-químicos do solo em função dos diferentes usos agrícolas e manejo do solo, visando apontar qual destes foram os mais sensíveis na distinção dos ambientes, tendo a Mata Nativa (AMN) como referência, identificando qual destes apresentaram melhorias e/ou restrições nos ambientes estudados. A pesquisa foi desenvolvida no município de Governador Dix-Sept Rosado, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança localizado na Microrregião da Chapada do Apodi-RN, em um Cambissolo Háptico eutrofico. As áreas estudadas foram: AMN - área de Mata Nativa, AP - área de Pomar de Cajaneiras, APC - área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados, ACOL - área de Colúvio e AAG - área Agroecológica. Foram realizadas análises de fertilidade do solo, análises físicas como a resistência a penetração, granulometria, densidade do solo e densidade de partículas, e também análises de carbono orgânico total e frações lábeis e recalcitrantes da MOS. Observou-se que a reação do solo quanto a fertilidade nas áreas estudadas apresentaram reações neutra a alcalina, sem a presença de Al^{+3} e $H+Al$, e sem elevada salinidade. O maior aporte de material orgânico na área AP (favoreceu aumento dos teores de P, Ca^{+2} e K^{+} no solo, e redução nos teores de Mg^{+2} e aumento da resistência à penetração do solo, provavelmente, deve-se ao pisoteio dos animais. Conclui-se que a área Agroecológica, manteve condição semelhante à Mata Nativa nas frações de C lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica (MOS), atingindo inclusive um IMC de 111. E os componentes principais demonstraram que alguns atributos químicos (P, K^{+} e Ca^{+2}) e frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica (MOS) foram indicadores da separação dos ambientes. Todavia, os mais sensíveis foram carbono lábil e índice de Manejo do carbono.

Palavras-chave: caatinga, agroecológico, carbono orgânico, resistência à penetração, labilidade, manejo do solo.

ABSTRACT

MARINHO, A.C.C.S. **Organic matter and physical-chemical properties of a Inceptisol under different agricultural use and soil management in the semiarid region of Apodi-RN Chapada** 2015. 57f. Dissertation (Master in Management of Soil and Water) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2014.

When handling the soil and the Savanna perceives its fragility in terms of decomposition of soil organic matter (MOS) and other attributes. The use of appropriate techniques to local agricultural peculiarities conditions taking into account the weather pattern, soil type and management of the Caatinga constitute an essential tool for maintenance of natural resources. With this study we sought a direction about the quantitative fractions of soil organic matter (MOS) and physico-chemical soil for different agricultural use and soil management, aiming to identify which of these were the most sensitive in distinguishing environments, and the Native Forest (AMN) as a reference, identifying which of these showed improvement and / or restrictions in the study sites. The research was conducted at Governador Dix-Sept Rosado, the Settlement Land of Hope Project located in the micro-region of Chapada Apodi-RN, in a Cambisol Eutrophic. The areas studied were: AMN - Native Forest area, AP - area Cajaraneiras orchard, APC - news area with conventional preparation of the soil in intercropping, ACOL - area of colluvium and AAG - Agro-ecological area. Soil fertility analyzes were performed, physical analysis such as resistance to penetration, particle size, bulk density and particle density, as well as total organic carbon analysis and labile and recalcitrant SOM. It was observed that the ground reaction as fertility study areas had neutral to alkaline reactions, without the presence of Al^{+3} and $Al + H$, and no high salinity. The most organic material contribution in AP area (favored increased P, Ca^{+2} and K^{+} in the soil, and reduction in Mg^{+2} levels and increased resistance to soil penetration, probably due to the trampling of animals. It is concluded that (AAG) retained condition similar to the AMN labile fractions C and recalcitrant organic matter (MOS), even reaching a IMC of 111 and major components shown that the chemical attributes (P, K^{+} , and Ca^{+2}) and labile and recalcitrant fractions of soil organic matter (MOS) were indicators of separation of environments. However, the most sensitive were labile carbon and carbon management index.

Keyword: caatinga, agro-ecological, organic carbon, penetration resistance, lability.

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 - Médias dos atributos químicos de cambissolo háplico coletado em diferentes sistemas de manejo e sob caatinga, em duas profundidades, na Chapada do Apodi RN..... 29
- Quadro 2 - Frações de carbono da matéria orgânica do solo de Cambissolo háplico coletado em diferentes sistemas de manejo e sob caatinga, em duas profundidades, na Chapada do Apodi-RN..... 33
- Quadro 3 - Atributos físicos de Cambissolo háplico coletado em diferentes sistemas de manejo e sob caatinga, em quatro profundidades, na Chapada do Apodi-RN..... 39
- Quadro 4 - Coeficiente de correlação dos componentes principais (Fator 1 e 2) para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em função de cinco sistema de uso e manejo do solo, na camada de 0-5 e 5-10 cm..... 43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Microrregião da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. Fonte <https://www.google.com.br/search?q=microrregi%C3%83O+da+chapada+do+apodi2014>..... 17
- Figura 2 - <https://www.google.com.br/maps/@-5.5067702,37.4589616,2206m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>..... 18
- Figura 3 - (A1) Área de Mata Nativa (AMN) no período de estiagem (2013) detalhe da cobertura superficial, Área de Mata Nativa (AMN) (A2); Área de Mata Nativa (AMN) período chuvoso (B) (2014)..... 19
- Figura 4 - (A) Área de Pomar de Cajaraneiras *Spondia* sp. (AP) período destiagem; (B) Área de Pomar de Cajaraneiras *Spondia* sp (AP) período chuvoso..... 20
- Figura 5 - (A) Área de colúvio no período de estiagem; (B) Área de colúvio no período chuvoso..... 21
- Figura 6 - (A) Área de Caatinga hiperxerófila decídua, vegetação na periférica; (B) Área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC), com bordadura de milho..... 22
- Figura 7 - (A1, A2) Área Agroecológica (AA) no período chuvoso, (A3) Área Agroecológica (AA), no período seco..... 23
- Figura 8 - Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em função de cinco sistemas de uso e manejo do solo, na camada de 0-5e diagrama de ordenação dos componentes principais para a área de Mata Nativa (AMN), área de Pomar de Cajaraneiras (AP), área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), área de Colúvio (ACOL) e área Agroecológica (AAG)..... 43
- Figura 9 - Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em função de cinco sistemas de uso e manejo do solo, na camada de 5-10 e diagrama de ordenação dos componentes principais para a área de Mata Nativa (AMN), área de Pomar de Cajaraneiras (AP), área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), área de Colúvio (ACOL) e área Agroecológica (AAG)..... 44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Caracterização geral da região semiárida do nordeste do Brasil	4
3.2 Características da Chapada do Apodi	5
3.3 Sistemas Agroecológicos	6
3.4 Matéria orgânica do solo e sistemas produtivos no semiárido	7
3.5 Atributos químicos e físicos do solo no semiárido	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Descrição das áreas de estudo	17
4.1.1 Área de Mata Nativa (AMN)	18
4.1.2 Área de Pomar de Cajaraneiras (AP)	19
4.1.3 Área de Colúvio (ACOL)	20
4.1.4 Área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC)	21
4.1.5 Área Agroecológica (AAG)	22
4.2 Amostragem das áreas em estudo e o beneficiamento das amostras para realização das análises com estrutura deformada	23
4.3 Análise de Carbono orgânico	23
4.4 Análises químicas do solo	24
4.5 Análises físicas do solo	25
4.6 Análise estatística e interpretação dos resultados	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Atributos químicos do solo	27
5.2 Frações de carbono da matéria orgânica do solo	32
5.3 Atributos físicos do solo	38
5.4 Análise Multivariada dos atributos do solo	42
6. CONCLUSÃO	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de 982.563 km², abrangendo os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Bahia, Alagoas e Sergipe, caracterizado por altas temperaturas, reduzida precipitação pluvial, solos pouco intemperizados e pequena produção de fitomassa (Maia et al., 2007). Deste território, estima-se que 40, 30, 15 e 15% são ocupados com caatinga, pastos nativos, pastos plantados e lavouras, com estoques de biomassa de 47, 15, 2 e 1 Mg ha⁻¹, respectivamente. No geral, as concentrações de C no solo foram estimadas em 9,25 e 5 g C kg solo⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-100 cm, totalizando 8,9 Pg de carbono (Sampaio & Costa, 2011).

O manejo da Caatinga tem sido uma boa opção para os agricultores, uma vez que, representa um novo enfoque de desenvolvimento rural, e não uma simples técnica agrícola que objetiva o aumento de produção. Todavia, ao manejar os solos desse sistema, percebe-se sua fragilidade em termos de decomposição do C no solo devido à alta temperatura e baixo aporte de resíduos vegetais e animais. Portanto, a exploração de uma cultura na caatinga deve estar condicionada à utilização racional de diversos fatores de produção, não apenas com vistas em obter índices de produtividade, mas também no sentido de preservar a sustentabilidade e qualidade do solo.

Neste contexto o sistema agroecológico pode ser uma alternativa de manejo sustentável, pois possui como característica principal a utilização de tecnologias que respeitam os princípios ecológicos, primando pela preservação dos espaços naturais, estimulando a reciclagem de nutrientes e conservando a biodiversidade (Santos et al., 2013). Considerando que o manejo sustentável da caatinga impede a devastação da vegetação do semiárido e visa a uma agricultura com princípios sistemáticos de sustentabilidade em bases ecológicas, é importante destacar que as ações de pesquisas voltadas para compreender as diversidades dos sistemas dos agricultores necessitam da integração de estudos das frações da matéria orgânica e análises físico-químicas dos solos submetidos a diferentes tipos de uso e manejo.

No estudo da matéria orgânica, o solo e suas formas de uso e manejo pode ser considerado fonte ou dreno de CO₂ atmosférico (Carvalho et al., 2009), dependendo do sistema de produção agrícola adotado, uma vez que, o declínio ou acréscimo da matéria orgânica do solo (MOS) pode nos permitir mensurar o grau de preservação dos agro ecossistemas. Alterações na MOS influenciam diretamente na conservação do ambiente, pois afetam a infiltração, retenção de água, susceptibilidade à erosão, a fertilidade do

solo, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo (Conceição et al., 2005, Ribeiro et al., 2011).

Quando se pesquisa em um ambiente com baixo teor de carbono, e onde a taxa de decomposição é maior que humificação da MOS devido das condições edafoclimáticas, alterações somente no carbono orgânico total pode ser difícil de ser detectada, por isso propõem-se estudos das frações lábeis e recalcitrantes da MOS. A fração lábil (carbono lábil, índice de manejo de carbono e biomassa microbiana) é de pequena permanência no solo e é uma alternativa para avaliar ações antrópicas sobre os agroecossistemas, já que apresenta alta sensibilidade às mudanças causadas pelo uso e sistemas de manejo do solo, além de ter influência sobre a fertilidade do solo por representar um reservatório de nutrientes que podem ser liberados para as plantas em curto prazo (Blair et al., 1995; Vieira et al. 2007; Rangel& Silva, 2007; Rossi et al., 2012).

As frações recalcitrantes (substâncias húmicas - SHs) são consideradas com maior tempo de residência no solo, e de acordo com a solubilidade diferencial em bases e ácidos, são divididas em frações ácidos húmicos, fúlvicos e humina. Tanto a quantidade da matéria orgânica, quanto a proporção das frações húmicas têm servido como indicadores de qualidade de solo, em razão da forte interação das substâncias húmicas com o material mineral e o manejo do solo (Silva& Mendonça, 2007; Silva et al., 2010). As substâncias húmicas contribuem com cerca de 85 a 90% do COT, por isso é importante a determinação dessa fração.

Com este estudo buscou-se um direcionamento a respeito das frações quantitativas da matéria orgânica (MOS) e os atributos físico-químicos do solo em função dos diferentes usos agrícolas e manejo do solo, visando apontar qual destes foram os mais sensíveis na distinção dos ambientes, tendo a caatinga como referência. Como também avaliar especificamente os atributos do solo, identificando qual destes apresentaram melhorias ou restrições nos ambientes estudados.

2. OBJETIVOS E METAS

2.1 OBJETIVO GERAL:

O objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo detalhado de um cambissolo no semiárido nordestino da Chapada do Apodi em termos de frações da matéria orgânica e atributos físico-químicos do solo submetidos a diferentes tipos de uso e manejo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Analisar a fertilidade do solo por meio da obtenção dos teores de bases trocáveis, acidez ativa e potencial, e fósforo do solo.
- b) Analisar o efeito do manejo do solo nos teores totais de C, C lábil e índice de manejo de C, e C nas frações humificadas do solo.
- c) Avaliar o efeito do manejo sobre a argila dispersa em água, granulometria, densidade de partículas e a resistência a penetração de raízes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização geral da região semiárida do nordeste do Brasil

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de 982.563 km², correspondendo a 48% da área total da região nordeste e 10% do território nacional, abrangendo os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Bahia, Alagoas e Sergipe. O Nordeste, em sua parte interiorana, caracteriza-se por apresentar clima semiárido, classificado como megatérmico, seco, dividido em três tipos conforme a classificação de Köppen: BShw, com chuvas de verão, ocorrendo desde o sul do Piauí ao oeste da Bahia e de Pernambuco; BShwø com chuvas de verão-outono, predominando no norte do Piauí, no Ceará e Rio Grande do Norte e oeste da Paraíba e, BShsø com chuvas de outono-inverno, ocorrendo na região costeira da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (Araújo Filho, 2002). As temperaturas médias são elevadas, em torno de 23-26° C, que resultam em fortes deficiências hídricas sazonais nos rios e nos solos (Barbosa, 2000).

A caatinga possui formação vegetal com características bem definidas com árvores baixas, arbustos, cactáceas e bromeliáceas agrupadas em três estratos: arbóreo, medindo de 8 a 12 metros; arbustivo de 2 a 5 metros e herbáceo com menos de 2 metros (Alves et al. 2009). Em estudo desenvolvido na caatinga do Rio Grande do Norte na Estação Ecológica do Seridó (EsEc-Seridó), Santana e Souto (2011) constataram-se que, após doze meses foram depositados 2.068,55 kg ha⁻¹ de serrapilheira, com as folhas constituindo a fração predominante responsável por 79,90% do material decíduo. A fitomassa de galhos e cascas atingiu 9,27% do total depositado, enquanto a participação de material reprodutivo foi de 2,92% e a de miscelânea 7,91% (fragmentos de folhas, galhos, ramos, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais de difícil identificação, além de insetos ou partes destes e fezes), sendo que o pico de deposição da fração material reprodutivo ocorreu em março, enquanto para as demais frações ocorreu em maio, que coincidiu com o início da estação seca durante o período estudado, reduzindo durante o período de menor precipitação pluvial (julho-dezembro) e voltando a crescer após as chuvas de janeiro, mostrando marcante sazonalidade.

Na região semiárida, os solos são, em geral, pouco desenvolvidos em função das condições de escassez das chuvas, tornando os processos químicos e físicos mitigados.

Os rios da região são na maioria, intermitentes e condicionados ao período chuvoso, quando realmente se tornam rios superficiais, ao passo que no período de estiagem parecem se extinguir e na realidade estão submersos nos aluviões dos vales, ou baixadas, compondo o lençol freático com pouca reserva de água (Araújo, 2011).

3.2 Características da Chapada do Apodi

A Chapada do Apodi está localizada na divisa dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará e se destaca como um importante polo de exploração agrícola da região de Mossoró. Caracterizada por uma variabilidade de solos que se prestam de modo satisfatório para os cultivos agrícolas, como os Argissolos, Cambissolos e Latossolos. Associados às condições de luz, calor e umidade, bem como às modernas tecnologias de irrigação, que levem em consideração as potencialidades locais, profundidade efetiva do solo, o tipo de solo e drenagem são ideais para a exploração de cultivos de maior produtividade e rentabilidade. As áreas estudadas estão sobre calcário da Formação Jandaíra, que, em determinados locais, é recoberto por sedimentos arenosos mais recentes do Grupo Barreiras. Ocorrem também áreas aluvionais formadas por sedimentos não consolidados, arenosos, siltosos e argilosos referentes ao Holoceno (DNOCS, 1978).

A Formação Jandaíra é caracterizada por camadas de calcário calcítico de cor cinza-clara e branca ou amarela, com granulação fina a média, e por calcário dolomítico cinzento ou amarelo de granulação geralmente mais grosseira. Além destes, são encontrados outros tipos: calcário com pequenas conchas de moluscos, nodulosos, lageados, gredosos, arenosos e arenitos calcíferos. Por outro lado, o Grupo Barreiras é formado por sedimentos de areia, silte e argila de cores bastante variadas, sendo a vermelha a predominante (Mota et al., 2008).

O processo de povoamento na Chapada do Apodi se deu no início do século XX, se intensificando a partir da década de 30. As populações ao sofrerem com intensos períodos de estiagem, pequenos agricultores iniciavam o plantio, derrubada da mata para a lenha, retirando recursos e iniciando sua ação sobre os solos, para atender suas necessidades, conforme Freitas (2010) *apud* Sena (2004).

Segundo Souza (2005) os solos que recobrem a Chapada do Apodi possui fertilidade média a alta, com a presença de rochas calcárias, porém deve-se levar em conta que o

homem é capaz de transformar o meio explorando suas potencialidades e não respeitando suas limitações, Souza (2005) faz um levantamento das potencialidades, limitações e riscos de ocupações: (Tabela 1)

Tabela 1 Características naturais, capacidade de suporte e riscos de ocupações da Chapada do Apodi - RN

<u>Características Naturais Dominantes</u>	<u>CAPACIDADE DE SUPORTE Potencialidades -Limitações</u>		<u>Riscos de ocupações</u>
Superfície baixa, com níveis altimétricos inferiores a 100m em rochas de bacia Mesozóica potiguar, capeada por calcários (formação Jandaíra) sobrepostos aos da formação Açú. Clima semi-árido quente com chuvas médias anuais entre 650-700 mm; baixa frequência de cursos d'água e com solos dotados de fertilidade natural alta com Cambissolos que são revestidos por caatinga	Alta Fertilidade natural dos solos;	Baixo potencial de águas superficiais;	Exploração mineral de calcário processado de modo descontrolado pode trazer efeitos danosos ao ambiente
	Topografias favoráveis;	Limitações quanto à recarga e captação de água;	
	Bom potencial de águas subterrâneas e boa filtragem;	Grande profundidade do lençol de água subterrânea;	
	Jazidas de calcário sedimentar.	Precipitação pluvial baixa e irregular; Inexistência de locais propícios a barramentos de rios.	

Fonte: Souza, 2005.

3.3 Sistemas Agroecológicos

Agroecologia é um conjunto de princípios gerais aplicáveis aos sistemas agropecuários sustentáveis. Pode ser descrita como uma ciência que tem por objeto o estudo holístico dos agrossistemas, que buscam copiar os processos naturais empregando um enfoque de manejo de recursos naturais para condições específicas de propriedades rurais respondendo pelas necessidades e aspirações de agricultores em determinadas regiões (Altieri, 2001).

A agroecologia emerge como alternativa diante da problemática gerada pelo modelo da revolução verde baseando-se nos princípios da sustentabilidade ecológica, social, econômica, cultural e espacial/geográfica, *õ(...) trata-se de uma nova abordagem que integra os princípios agrônômicos, ecológicos e socioeconômicos à compreensão e avaliação do efeito das tecnologias sobre os sistemas agrícolas e a sociedade como um todo* (Altieri, 1998).

Fernández & Garcia (2001) sugerem cinco propriedades dos agroecossistemas que podem ser usados como indicadores de sustentabilidade: produtividade, estabilidade, sustentabilidade ambiental, equidade e autonomia. Caporal & Costabeber (2002) consideram que, para o desenvolvimento rural sustentável, deve-se levar em conta seis aspectos os quais se relacionam entre si e estão divididos em três níveis: ecológico, econômico e social (primeiro nível), cultural, político (segundo nível) e ética (terceiro nível).

Agricultura sustentável deve incorporar valores humanos básicos, valorizar as comunidades rurais em seus aspectos humanos e culturais, considerando no mesmo patamar, tanto a diversidade cultural quanto a biodiversidade vegetal e animal (Schlindwin & Paulus, 2001). Essa sustentabilidade de um agroecossistema só é alcançada, quando se consegue, por meio de um enfoque interdisciplinar, o equilíbrio entre diferentes dimensões, onde o fundamento ecológico se combina com os componentes sociais, econômicos e políticos (Gliessman, 2003).

A busca pela sustentabilidade nos sistemas agrícolas sugere-se o uso da agricultura familiar, onde a própria família é responsável pelo funcionamento da propriedade e pela produção e há predominância do trabalho familiar em relação à mão-de-obra participativa.

A diversidade de cultivos agrícolas na agricultura familiar reflete a sua própria natureza, em particular sua capacidade e tentativa de adaptação às condições ambientais locais, à disponibilidade de recursos, à experiência, à cultura e à história das famílias assim como às condições impostas pelo mercado e pela sua inserção na sociedade (Guanziroli et al., 2001).

Predominantemente, os sistemas de produção adotados pela agricultura familiar são complexos, nos quais há uma combinação coerente de várias culturas e a criação de animais dentro de uma mesma unidade de produção e transformações primárias tanto para o consumo familiar como para o mercado. Os mesmos refletem as potencialidades e limitações socioambientais, intrínsecas de cada espaço, bem como a história local e das pessoas que os adotam (Souza, 2006).

3.4 Matéria orgânica do solo e sistemas produtivos no semiárido

No geral em relação aos estoques e fluxos de carbono no Semiárido Nordeste as concentrações de C (carbono) no solo foram estimadas em 9,25 e 5 g C kg solo⁻¹, nas

camadas de 0-20 e 20-100 cm, totalizando 8,9 Pg de C (SAMPAIO & COSTA, 2011). Martins (2009) em estudos na caatinga hiperxerófila conservada encontrou estoques de COT (Carbono orgânico total) de 13,8; 7,8 e 7,7 g kg⁻¹ no fim do período seco e de 14,0; 9,5 e 7,2 g kg⁻¹ no fim do período chuvoso, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. No agreste paraibano, Fraga & Salcedo (2004) em solos sob caatinga, determinaram em média 13,7 g de COT kg⁻¹ de solo na camada de 0-15 cm (período úmido) e Sousa (2006), em microbacia em São João do Cariri-PB, sob diferentes tipos de vegetação caatinga, encontrou valores entre 4,16 e 11,42 g kg⁻¹ em Luvisolos e 3,94 a 6,27 g kg⁻¹, em Vertissolos, em período úmido, na camada de 0-20 cm. As maiores concentrações de COT encontrados no fim do período de estiagem foram provavelmente decorrentes da deposição de folhedo e morte de raízes finas ($\varnothing < 2$ mm) que ocorrem durante o período seco, e que são as principais entradas de carbono no solo. Com o início das chuvas, a maior umidade no solo determina um forte aumento da atividade biológica, com a consequente mineralização de parte do carbono aportado (Salcedo & Sampaio, 2008).

Como na caatinga o sistema é frágil em termos de decomposição do C no solo devido à alta temperatura e baixo aporte de resíduo, a exploração de uma cultura na caatinga deve estar condicionada à utilização racional de diversos fatores de produção, não apenas com vistas em obter índices de produtividade, mas também no sentido de preservar a qualidade do solo, portanto análises físico-químicas e da matéria orgânica do solo (MOS) periódicas são fundamentais para observar a sustentabilidade do sistema produtivo.

O estudo da matéria orgânica do solo é um tema essencial para que se alcance a manutenção e preservação da agricultura nos agroecossistemas, apesar da matéria orgânica, quando bem manejada, encontrar-se numa faixa de apenas 1 a 6% em percentagem de peso na maioria dos solos, esta apresenta alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, pois a natureza do carbono (lábil, particulado, livre, protegido em complexos organo-minerais) exerce papel significativo nestas propriedades (Silva & Mendonça, 2007). Além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes para as plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão, e também atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo (Silva & Mendonça, 2007).

Em estudo realizado em um Argissolo em Minas Gerais, após 23 anos submetidos a diferentes manejos, Hickmann et al. (2012) observaram existir correlações positivas do COT com índices de agregação (diâmetro médio ponderado, geométrico, e estabilidade de agregados), e o sistema plantio direto melhorou os atributos físicos e recuperou os teores de COT do solo na camada superficial de 0-5 cm. Outros estudos também demonstraram que a maior agregação ($p < 0,05$) na superfície do solo em sistema de semeadura direta correspondeu ao maior acúmulo de COT (Castro Filho et al., 1998; Wendling et al., 2005; Silva et al., 2008).

No semiárido nordestino, a degradação dos recursos naturais tem sido provocada pelo aumento da intensidade de manejo inadequado do solo, das culturas agrícolas e redução da cobertura vegetal nativa (Menezes & Sampaio, 2002). Quando se retira a vegetação nativa, no caso a caatinga, e associa-se isso a longos períodos de estiagem, observa-se uma acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, reduzindo, conseqüentemente, seu potencial produtivo, degradando o solo (Trevisan et al., 2002). O teor de C orgânico tem sido utilizado frequentemente como indicador-chave da qualidade do solo, tanto em sistemas agrícolas como em áreas de vegetação nativa (Jansen, 2005).

Para o bioma Caatinga, vários autores discutem tanto ganhos como perdas nos estoques de Carbono e Nitrogênio nos diferentes usos do solo e tipo de vegetação. Maia et al. (2006) no semiárido cearense, em sistemas convencionais e agrossilvipastoris observaram que no cultivo intensivo (milho), no sistema Agrossilvipastoris (milho/leucena/pastejada por ovinos como banco de proteína) e, no Agrossilvipastoris tradicional (milho/pastejo ovinos) promoveram redução de 40, 38 e 35% nos teores de COT, respectivamente, em relação à caatinga nativa na camada de 0-6 cm. Assis et al. (2010) avaliando o impacto dos agroecossistemas irrigados, anuais e perenes na MOS e frações de fósforo na Chapada do Apodi/RN em um Cambissolo Háptico, concluíram que os estoques de COT e nitrogênio total (NT), e C em substâncias húmicas foram reduzidos pelo cultivo do solo, independentemente do sistema de manejo. Além disso, o cultivo afetou a dinâmica de P no solo, aumentando a fração de P inorgânico no agroecossistema perene e, a fração de P orgânico no agroecossistema anual.

No centro-norte baiano, em Irecê, Fracetto et al. (2012) constataram que a conversão da caatinga para o cultivo da mamona ocasionou uma diminuição de cerca de 50 % no estoque de C e N no solo. A meia-vida da MOS calculada para a região do semiárido estudada foi de 4,7 anos e à emissão de C do solo, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, conforme proposto pelo Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa

(IPCC) foi de 2,47 Mg C ano⁻¹. Analisando os estoques de C e N em um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de fruteiras irrigadas no semiárido, Bernardi et al. (2007) observaram que os estoques de C e N na área com vegetação de Caatinga na camada de 0 a 40 cm foram de 27,6 e 2,4 Mg ha⁻¹, respectivamente, além disso, a retirada da vegetação natural e o cultivo das fruteiras levaram a reduções de 5 a 23% e 4 a 21% nos estoques de C e N do solo, respectivamente. As culturas do sapoti e da graviola contribuíram para o aumento dos estoques de C e N após a retirada da vegetação natural. Em plantio convencional de mamoneira e policultivo, em duas localidades distintas do semiárido, Almeida (2010) verificou que, no sistema de uso policultivo, quando comparado ao sistema convencional, houve incremento no COT de 46% e 61,65 % e na MOS de 45,08% e 61,3% em Cafarnaum e Umburanas, respectivamente. Esse resultado provavelmente está relacionado ao maior aporte de material vegetal no sistema de uso policultivo, devido ao plantio adensado e as podas feitas anualmente com restos vegetais deixados sobre o solo.

Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas a diferentes usos agrícolas do solo e das culturas agrícolas. As reduções nestes compartimentos são, de modo geral, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo total de C do solo (Leite et al., 2003; Conceição et al., 2005; Silva et al., 2011). Dentre os compartimentos o carbono lábil (CL) apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007).

Além do que ao analisar essa fração pode-se determinar o índice de manejo de carbono (IMC), sugerido por Blair et al. (1995) e Vieira et al. (2007), que leva em consideração aspectos da labilidade da MOS e permite comparar as mudanças que ocorrem no C orgânico total (COT) e no C lábil (CL), em consequência do uso e manejo do solo, todavia estudos no semiárido não são relatados. Assim no Sudeste Sul e, Dieckow et al. (2005) e Souza et al. (2009) observaram que os estoques de CL diminuíram rapidamente, porém sua recuperação também foi rápida, o que sugere o uso do CL como um indicador sensível da dinâmica do C no sistema. Blair et al. (1995), ao avaliar solos da Austrália e do Brasil, constataram que o cultivo agrícola (trigo em rotação com leguminosas e cana-de-açúcar) resultou em maior redução do CL (63,3%), em comparação àquelas observadas para o CNL (39,3%) e o COT (44,9%). Ao avaliar a dinâmica desses compartimentos, em Latossolo do Brasil, após 12 meses sob cobertura

morta, em um experimento conduzido com cana-de-açúcar, esses mesmos autores observaram aumentos de 39,7, 2,4 e 8,5% no CL, CNL e COT, respectivamente.

O uso e manejo do solo podem afetar as outras frações da MOS, que são as frações recalitrantes, essas são intituladas substâncias húmicas (SHs) que são exatamente aquelas que vão significar a manutenção do teor de MOS, com todos os reflexos desejáveis disso em termos da funcionalidade do sistema. De acordo com a solubilidade em bases e ácidos, as SHs são operacionalmente divididas em frações ácidos húmicos, fúlvicos e humina. A quantidade da matéria orgânica e a proporção das frações húmicas têm servido como indicadores de qualidade de solo, em razão da forte interação das substâncias húmicas com o material mineral e o manejo do solo (Silva & Mendonça, 2007; Silva et al., 2010). As substâncias húmicas contribuem com cerca de 85 a 90% do COT, por isso é importante a determinação dessa fração.

As SHs são fortemente influenciadas pela textura do solo, comparando dois solos do RS, um Latossolo Vermelho com 680 g kg⁻¹ de argila e um Argissolo Vermelho com 220 g kg de argila, Bayer (1996) mostrou que o revolvimento contínuo do solo tem efeitos diferentes sobre a taxa de decomposição da MOS. Enquanto que no solo argiloso as taxas de decomposição sob preparo convencional (PC) e semeadura direta (SD) foram 1,4% e 1,2%, respectivamente, no solo franco, a diferença foi mais acentuada (5,4% no PC e 2,9 % no SD). Provavelmente, a maior estabilidade da MOS, sob solo argiloso, esteja relacionada à maior proteção coloidal (interação com a fração mineral) e física da MOS, comparativamente ao solo com textura franco.

A importância das SHs não está somente nos atributos físico-químicos do solo ou na interação e permanência do COT. Estudos demonstraram seus efeitos também nas plantas. Segundo Maggioni et al. (1987), os ácidos húmicos podem influenciar a absorção de nutrientes via efeito enzimático, por intermédio da atividade de ATPase dependente de potássio (K) e magnésio (Mg). Fernández-Escobar et al. (1996) também mostraram a influência positiva da aplicação de ácidos húmicos na absorção de K, Mg, Ca, B e Fe. No sudeste do Brasil, Pinheiro et al. (2010) constataram que altura, diâmetro de caule e matéria seca de raiz, caule, folhas e total de mudas de eucalipto diminuíram com a aplicação de concentrações de C-ácido húmico puro para análise, todavia a utilização do material húmico, em baixas concentrações de C-ácido húmico (0,07-3,8 mg L⁻¹), propiciou incrementos, em relação ao tratamento sem adição de ácido húmico, nas produções de matéria seca de raiz, caule, folha e total. Por relatos como esses são importantes observar o efeito do manejo sobre essa fração da MOS.

Adicionalmente, as SHs melhoram a estrutura do solo, aumentam a produtividade e a qualidade dos cultivos, disponibilizam fósforo adsorvido na fração argila, aumentam a superfície específica, a CTC e o efeito tampão, dando maior estabilidade ao solo e atuam como reservatório de N, P, S e micronutrientes (Primo et al., 2011).

No Semiárido os estudos sobre SHs são escassos, tendo como referências alguns trabalhos publicados em outras regiões do país e no exterior. Em florestas subtropicais na Austrália, Chen et al. (2004) observaram que a substituição de mata nativa por cultivo de pinheiro (*Araucaria cunninghamii*) com 51 anos de idade resultou na diminuição do estoque de C da fração AF, enquanto o estoque de C da fração AH ficou inalterado. Isso mostrou que a fração AF é mais sensível à mudança de uso do solo que a AH. No Cerrado brasileiro, Silva et al. (2011) observaram que das frações da SHs houve predominância da fração humina (HUM), em comparação às frações ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF), independentemente dos sistemas de manejo do solo, com contribuição de 45 a 74% do COT do solo. Além disso, os autores constatam que a adição de C às substâncias húmicas e suas frações, principalmente no sistema integração lavoura pecuária, foi atribuído à maior produção de resíduos vegetais com maior relação C:N e lignina:N, as quais possuem decomposição mais lenta do resíduo e favorecem o aumento de frações recalcitrantes no solo.

3.5 Atributos químicos e físicos do solo no semiárido

Além da análise da matéria orgânica do solo (MOS), outros fatores devem ser considerados para a estimativa de degradação do solo, como a integração de fatores químicos e físicos a fim de caracterizar o estado atual do solo, e assim monitorar de forma eficaz os impactos antropogênicos. Em geral, observa-se que a remoção da vegetação original afeta principalmente o conteúdo de COT do solo e, com o passar do tempo, esse processo pode inclusive acarretar declínio da disponibilidade de nutrientes comprometendo a fertilidade e capacidade produtiva do solo. Dentre os atributos químicos mais estudados no monitoramento do solo, destacam-se: pH, bases trocáveis, teor de P, MOS e suas frações, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases e por Al. Porém tais variações dependem de outros fatores como classe de solo, fertilidade inicial, padrão climático, cultura implantada, bem como, o manejo adotado do solo e das culturas agrícolas.

Em uma ampla revisão bibliográfica sobre os solos da Caatinga, Menezes et al. (2012) relataram que, em geral, os solos são deficientes em nutrientes, principalmente N

e P. A concentração média na camada superficial (0-20 cm) de P total é 196 mg kg^{-1} , e a de C é $9,3 \text{ g kg}^{-1}$, correspondendo a estoques médios em torno de 23 Mg ha^{-1} de carbono. A biomassa aérea da vegetação varia entre 30 a 50 Mg ha^{-1} , e a biomassa radicular entre 3 a 12 Mg ha^{-1} sendo que os principais processos de perda de nutrientes e água são devido a queimadas, erosão do solo, escoamento superficial e colheita de cultivos e produtos animais. Os autores ainda relatam que sistemas de uso do solo que priorizem as espécies perenes, em contraposição a anuais, são mais estáveis e resilientes, portanto mais adequados para enfrentar os potenciais aumentos na variabilidade climática.

Em outro bioma, como no cerrado nordestino, Silva et al. (2007), avaliando as mudanças nas características químicas de um Chernossolo sob diferentes coberturas vegetais na Bahia, verificaram diminuição nos teores de K, Ca, Mg, MOS, P, soma de bases, saturação por bases e CTC no sentido floresta-capoeira-pasto. Já na região semiárida, Fialho et al. (2006), avaliando áreas sob vegetação natural (caatinga) e cultivo de bananeira na Chapada do Apodi (CE), observaram que o cultivo não ocasionou alterações na maioria dos indicadores químicos do solo, apenas um decréscimo significativos nos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) na área sob cultivo.

Objetivando analisar a variabilidade de atributos químicos e microbianos do solo, para uso como indicadores no processo de desertificação, em áreas sob níveis crescentes de degradação, na região semiárida de Pernambuco, Martins et al. (2010) constataram por meio das análises de componentes principais que o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), a acidez potencial e saturação de bases (V), tanto no período seco como no chuvoso foram os atributos mais sensíveis ao avanço da degradação do solo, e atributos como C-BMS, quociente metabólico microbiano (qMIC), carbono orgânico total, teor de Ca, H+Al e o valor V podem ser utilizados como indicadores do nível de degradação do solo.

Buscando entender os efeitos dos sistemas de cultivo convencional (milho/feijão com revolvimento) e manejo agroecológico da caatinga com 5 e 7 anos (raleamento e manutenção de árvores grandes, introdução de leguminosas e uso como pastagem para manejo de caprinos) na produção agrícola em Apodi (RN), Lira et al. (2012) observaram perda de fertilidade do solo na área de cultivo agrícola convencional. Os solo das áreas de manejo da caatinga, com cinco anos, apresenta maiores valores para pH (7,1), capacidade de troca de cátions efetiva ($20,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), soma e saturação de

bases ($18,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 92%, respectivamente), e teor de cálcio ($16,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (dados médios da camada de 0-10 cm).

Avaliando alguns atributos químicos do solo sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco, Corrêa et al. (2009) observaram que as práticas agrícolas (culturas de ciclo curto, fruticultura e pastagem) modificaram os atributos químicos do solo, apresentando maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P, maiores valores de pH, maior condutividade elétrica, maior soma de bases e saturação por bases, quando comparados ao uso do solo com vegetação natural (caatinga). Buscando um diagnóstico de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em 21 unidades de produção agroecológica (UPAs) na Mesorregião do Agreste Paraibano, Jesus (2005) concluiu que o aporte contínuo de resíduos orgânicos têm promovido elevações consideráveis nos valores de pH e nos teores de MO, P, K, Ca, Mg, SB e V na maioria das UPAs.

O uso de atributos físicos para o monitoramento do manejo empregado ao solo apresenta vantagens relacionadas ao baixo custo, metodologias simples e rápidas e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo e produtividade das plantas, pois influencia a aeração, a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água. Os indicadores mais utilizados na análise física do solo são: densidade do solo, porosidade, distribuição e tamanho dos poros, resistência do solo à penetração, profundidade efetiva de enraizamento, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão, diâmetro médio de agregados (Schoenholtz et al., 2000; Singer & Ewing, 2000). Todavia, os solos no semiárido são submetidos à grandes períodos de estiagens, sendo que a mensuração de alguns atributos físicos ficam comprometidos, por isso, sugere-se nesse pesquisa a análise da argila dispersa em água, granulometria, densidade de partículas e a resistência a penetração de raízes.

A penetrometria é um método promissor na análise da resistência à penetração de raízes no solo, apesar das diferenças entre uma raiz e um cone metálico (Tormena & Roloff, 1996). Diversos estudos relatam que 2 MPa de resistência à penetração é restritivo para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas, sendo alto valores de resistência à penetração a faixa de 2,0 a 4,0 MPa (Azooz, et al., 1996). Na região Nordeste os dados são escassos, portanto as referências constarão também de outras regiões. No sudeste e Sul do Brasil, em Latossolo Vermelho distroférico de textura média de Botucatu (SP), Foloni et al. (2003) mediram a resistência à penetração usando camada compactada em anéis de 5 cm e densidades de 1,28, 1,42, 1,56 e 1,69 g cm^{-3} , e concluíram que uma camada compactada com densidade 1,69 g cm^{-3} apresenta resistência à penetração de 1,4 MPa impeditiva à penetração de raízes de milho. No

Sul, no estado do Paraná, em Latossolo Vermelho distroférico textura média cultivado com mandioca, Tormena et al. (2002) obtiveram valores de resistência à penetração na camada de 0-5 cm de 4,0 MPa em plantio direto, 2,5 MPa em preparo mínimo e 2,0 MPa em plantio convencional, com solo relativamente seco em uma umidade em torno de $0,15 \text{ kg kg}^{-1}$. Entretanto com o solo próximo da capacidade de campo encontrou-se 2,7 MPa em plantio direto, 1,8 MPa no preparo mínimo e 1,4 MPa em plantio convencional mostrando que na ocorrência de condições mais úmidas, os valores de resistência à penetração podem ser considerados não impeditivos para os sistemas plantio convencional (PC) e preparo mínimo (PM) e pouco impeditivos para o sistema plantio direto (PD).

No Centro Oeste, Souza & Alves (2003) em Latossolo Vermelho distrófico de cerrado em Selvíria (MS), compararam quatro sistemas de manejo implantados no mínimo há oito anos, com um de 16 anos em seringueira e outro de 20 anos em pastagem, os autores constaram que o preparo mínimo apresentou resistência à penetração muito parecida com a condição de cerrado natural, o plantio direto, seringueira e pastagem apresentaram RP próximas de 2,0 MPa nas camadas de 0-10 cm e em torno de 3,0 Mpa entre 10-20 cm.

No nordeste, em Limoeiro do Norte-CE na Chapada do Apodi, em um Cambissolo háplico em diferentes camadas do solo associadas ao microrrelevo (raso e profundo), Miotti et al. (2013) verificaram densidades do solo e de partículas maiores nos solos rasos ($1,41$ e $2,82 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente). Em relação à resistência à penetração (RP), esta foi mais adensada nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-15 cm em solo raso ($1,35$; $1,84$ e $1,77 \text{ MPa}$, respectivamente), do que comparado às mesmas camadas do solo profundo ($0,96$; $1,44$ e $1,48 \text{ MPa}$), sendo que, a partir dos 30 cm de profundidade, a resistência do solo à penetração aumentou ainda mais no solo raso, ocorrendo RP máxima ($5,1 \text{ MPa}$) aos 50 cm de profundidade. Em um Neossolo Litólico, sob vegetação de caatinga, em Pernambuco, Melo et al. (2008) também observaram que a RP aumentou significativamente com a profundidade até 15 cm, variando de $2,47$ a $5,81 \text{ kgf cm}^{-2}$, e a densidade do solo variou $1,57$ a $1,77 \text{ g cm}^{-3}$. Os autores também encontram correlações significativas entre as atributos do solo sendo que o silte e a matéria orgânica, ao contrário da argila, apresentaram correlação negativa com a RP.

Em Botucatu- SP, Marasca et al. (2013) ao avaliar as modificações dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico constataram que, quanto ao teor de argila dispersa em água verificaram-se, para o sistema de preparo convencional do solo,

maiores valores (308, 322 348, 347, 420 g kg) para todas as camadas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm, respectivamente), enquanto que para o sistema de plantio direto houve diferença somente entre camadas de 0-10 e 10-20 cm (301 e 290 g kg). Esses resultados foram atribuídos à quebra de agregados e à liberação de partículas individualizadas no sistema de preparo convencional, associadas à utilização de corretivos e fertilizantes que contribuíram com o processo de dispersão. Desta forma, as partículas poderão ser translocadas para as camadas mais profundas.

Em um Neossolo Litólico Eutrófico em Jardim do Seridó/RN, Medeiros et al. (2013) verificaram a presença de elementos grosseiros na forma de cascalhos, calhaus e matações. A textura constatada foi areia franca, franco arenoso, e franco argilo arenoso, sendo que a densidade do solo variou de 1,45 a 1,99 g cm⁻³ e a porosidade do solo variou de 21,99 a 42,23 %. Com relação a fertilidade do solo constataram-se altos teores de P, Ca e Mg e baixo teores de Al, (H+Al), m, na camada 0-20 cm do solo.

Em um Latossolo Vermelho Amarelo sob Mata Atlântica, cacau (*Theobroma cacao*) e pastagem (*Brachiaria decumbens*) no Sul da Bahia, Barreto et al (2006) observaram que ocorreram mudanças na granulometria do solo de acordo com o cultivo. Segundo o autor, o solo sob sistema Mata Atlântica apresentou maior quantidade de argila, seguido do solo no sistema cacau, e em menor quantidade no pastejo (486, 420, 378 g kg⁻¹, respectivamente), segundo os autores provavelmente no sistema de uso com pastagem tenha ocorrido uma diminuição devido ao processo de migração de argila no perfil do solo, todavia, não foi detectada diferença na densidade do solo e partículas (1,09 e 2,65 g cm⁻³, respectivamente). Quanto a química, o sistema de uso cacau apresentou maiores teores de Ca⁺² e Mg⁺² (3,44 e 1,63 cmol_c dm⁻³) e P (0,51 mg dm⁻³) de 0-10 cm, enquanto a pastagem apresentou maior pH (5,65) e teores de K⁺ (0,20 cmol_c dm⁻³).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição das áreas de estudo

O município de Governador Dix-Sept Rosado está localizado na microrregião da Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte, entre as coordenadas 05° 27' 32,46" de latitude Sul e 37° 31' 15,60" de longitude Oeste, com área total municipal de 1.263 km². Apresenta classificação climática segundo Köpper, de semiárido quente com precipitação pluvial média anual de 712 mm no período de fevereiro a maio, (Beltrão et al., 2005). A temperatura média anual é de 27 °C e umidade relativa média do ar é de 68,9 % e a vegetação natural é a Caatinga hiperxerófila. O solo da área foi classificado como um Cambissolo Háplico eutrófico, conforme (Souza, 2014).

O presente trabalho foi desenvolvido no Projeto de Assentamento Terra de Esperança, situado no município de Governador Dix-Sept Rosado no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

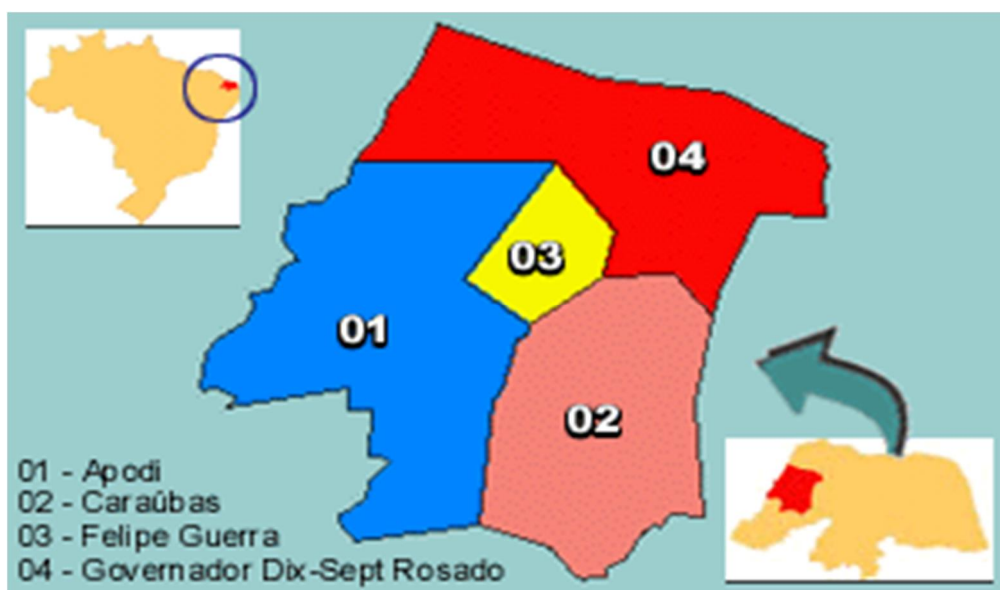


Figura 1. Localização da Microrregião da Chapada do Apodi e o Município de Governador Dix-Sept Rosado, no Rio Grande do Norte.

Fonte <https://www.google.com.br/search?q=microrregi%C3%83O+da+chapada+do+apodi2014.->

O Projeto de Assentamento Terra de Esperança é constituído de 113 famílias, com uma área total de 6.297 hectares distribuídos em diferentes sistemas de cultivos conforme sequência a seguir: duas (02) áreas coletivas de cultivos, duas (02) áreas de pomar de cajaraneiras, uma (01) área de manejo agroecológico e uma (01) área (de reserva legal), correspondendo a 20 % do total de terras do assentamento.

A pesquisa foi realizada em quatro áreas com características peculiares quanto aos usos agrícolas e manejo do solo. As áreas de estudo foram: 01 a Área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC), 02 a Área de Colúvio (ACOL), 03 a Área de Pomar de Cajaraneiras (AP), 04 Área Agroecológica (AA), e 05 Área de Mata Nativa (AMN), sendo esta considerada como referência (Figura 2).

As coletas de solos com estrutura deformada e indeformada nas respectivas áreas de estudo foram realizadas no período chuvoso, nos meses de maio e junho de 2013, tendo como base um (01) ha para cada área.

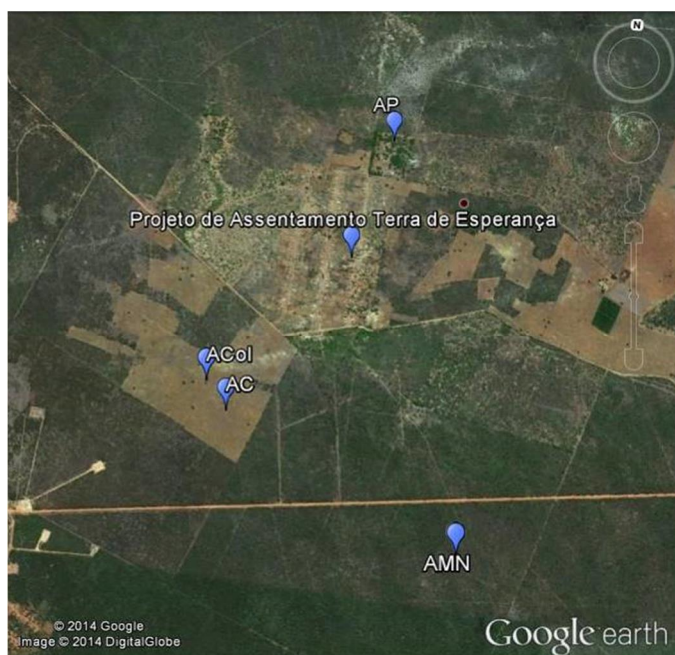


Figura 2 - <https://www.google.com.br/maps/@-5.5067702,-37.4589616,2206m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>

Áreas georeferenciadas dos usos agrícolas do solo e da caatinga

4.1.1 Área de Mata Nativa (AMN)

A Área de Mata Nativa (AMN) encontra-se nas coordenadas 5° 31' 10" latitude Sul e 37° 27' 12 " de longitude Oeste. O local apresenta uma área de 30 ha, com predominância espécies vegetais da Caatinga hiperxerófila, com exemplares das espécies: mofumbo (*Combretum leprosum* L.), aroreira (*Schinusterebinthifolius*), marmeleiro (*Cydonia oblonga* Mill) e jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth).

Durante os períodos de estiagem, a vegetação apresentava bom estado de conservação, com presença de abundante liteira, proporcionado pela manutenção da umidade do solo mesmo em contraste com a seca prolongada (Figura 3A1 e 3A2).

Diferentemente, no período chuvoso, a caatinga mostra toda a sua exuberância adquirida por meio da utilização de mecanismos de adaptação aos quais caracterizam a vegetação da caatinga que é a perda das folhas para regulação e ajuste na transpiração, promovendo assim, o restabelecimento das copas das árvores,conseqüentemente, um bom aporte de resíduos vegetais (Oliveira, 2007), (Figura 3B).

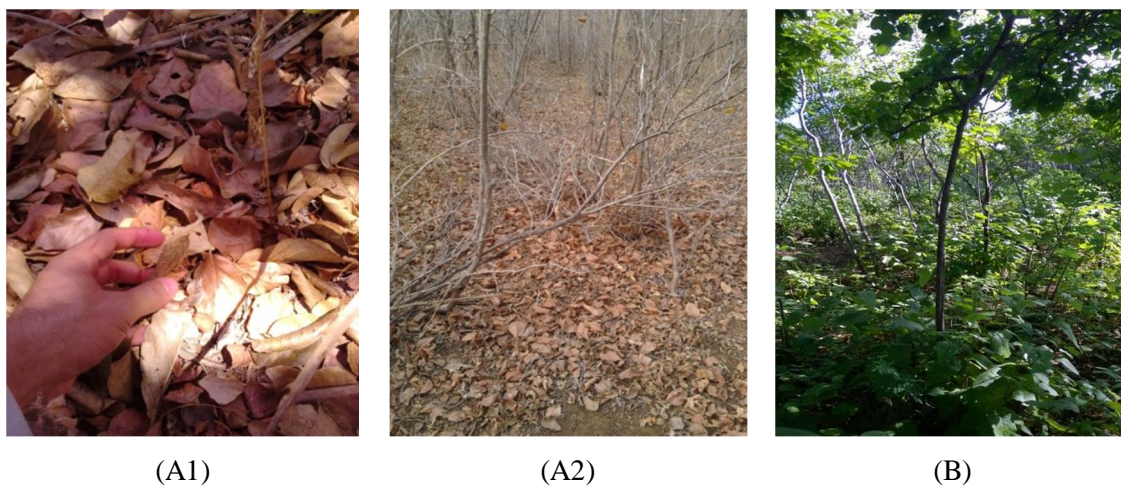


Figura 3 - (A1)Área de Mata Nativa (AMN) no período de estiagem (2013) detalhe da cobertura superficial, Área de Mata Nativa (AMN) (A2); Área de Mata Nativa (AMN) período chuvoso (B) (2014)

4.1.2 Área de Pomar de Cajaraneiras (AP)

A área de Pomar de Cajaraneiras (AP) encontra-se nas coordenadas 5° 29' 51,1" de latitude Sul e 37° 27' 14,4" de longitude Oeste. No período de estiagem, a área apresenta como características naturais plantas decíduas, com pouca ou nenhuma folhagem e inflorescência; com uma grande concentração no local de folhas secas e caroços dos frutos em baixo das copas das árvores, denotando grande aporte de matéria orgânica no solo (Figura 4A). Essa característica, porém é alterada com o início do período chuvoso, quando as plantas começam a rebrotar e o extrato herbáceo abundante (Figura 4B).

Na Área de Pomar de Cajaraneiras (AP) ocorreu a coleta de amostras deformadas e indeformadasde solo (maio e junho de 2013), tendo com base um (01) ha. Os animais com acesso livre para o pastejo de caprinos e ovinos, onde estes partejam durante todo o ano no sistema extensivo de criação animal (Figura 4).



(A)



(B)

Figura 4 - (A) Área de Pomar de Cajaraneiras *Spondia* sp. (AP) período de estiagem; (B) Área de Pomar de Cajaraneiras *Spondia* sp (AP) período chuvoso

4.1.3 Área de Colúvio (ACOL)

A Área de Colúvio (ACOL) encontra-se nas coordenadas: $5^{\circ} 30'39,10''$ de latitude Sul e $37^{\circ} 27'48,60''$ de longitude Oeste. Durante o período chuvoso, esta área fica saturada impossibilitando o cultivo nessa época do ano. Ao final da estação chuvosa essa saturação é diminuída possibilitando aos agricultores plantação de algumas culturas como: milho, feijão-de-corda, sorgo e gergelim.

O preparo de solo realizado na área segue os mesmos manejos de preparo do solo realizado na área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC). No período em que ocorreu a coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo (maio e junho de 2013), o local estava em pousio por dois anos, devido as longo período de estiagem, aos quais são comumente caracterizados como anos de seca. Assim nos períodos de seca prolongada, devido à exposição do solo à radiação solar, praticamente não há nessa área plantas espontâneas (somente alguns exemplares de *Sida rhombifolia* L.) (Figura 5A). Na estação chuvosa a área de colúvio (ACOL) permanece totalmente vegetada por plantas espontâneas, mas impossibilitada do preparo do solo para o cultivo devido o excesso de umidade (Figura 5B).



(A)

(B)

Figura 5 - (A) Área de colúvio no período de estiagem; (B) Área de colúvio no período chuvoso

4.1.4 Área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC)

A Área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC) compreende uma área de aproximadamente de 80 hectares sendo que desse total, tendo como referencia para coleta de amostras de solo uma área de um (01) ha, conforme acima citado, cultivados de forma consorciada com milho (*Zea mays*) e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.).

A vegetação existente na periférica na área é a Caatinga hiperxerófila decídua, com exemplares predominantes das espécies: mofumbo (*Combretum leprosum* L.), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) e jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth), (Figura 6A). A área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) constituiu do preparo do solo de forma convencional, ou seja, uma aração (01) e duas gradagens (02), manejo do solo realizado anualmente desde janeiro de 2005. Embora seja uma área de preparo do solo de forma intensivo, a mesma não é fertilizada com adubos industriais (somente o uso de adubos orgânicos). A queimada dos restos culturais era uma prática corriqueira realizada para limpar o terreno por ocasião da colheita nos anos de invernos regulares e com o passar dos anos vem sendo abolidas nas áreas em estudo, por entender que essa prática causa mais prejuízos que benefícios, conforme relatos dos agricultores. A semeadura foi realizada a lanço, os cultivos foram desenvolvidos apenas no período chuvoso, uma vez que os assentados não dispõem de um sistema de irrigação para uso nos períodos de entressafra ou para realizar a irrigação de salvação, como é chamado pelos mesmos. Por se tratar de um ano cujas previsões eram que a estação chuvosa seria demasiadamente curta, os agricultores optaram em realizar o cultivo de apenas em um (01) ha considerando o longo período de estiagem

que vem assolando a região Nordeste como um todo. O período da amostragem foi maio e junho de 2013, (Figura 6B).



(A)

(B)

Figura 6. (A) Área de Caatinga hiperxerófila decídua, vegetação na periférica; (B) Área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC), com bordadura de milho.

4.1.5 Área Agroecológica (AAG)

A área Agroecológica (AAG) encontra-se nas coordenadas 5°30'23,302" latitude Sul e 37°27'05,877" longitude Oeste (Figura 7). Foi construída a partir da iniciativa dos associados, no qual essas famílias passaram por um processo de formação em Agroecologia e convivência com o semiárido. As famílias definiram que o sistema agroecológico teria como objetivo principal a produção de alimentos (frutíferas) e (forrageiras) para atender as necessidades das famílias e dos animais. Como também, estabeleceram metas essenciais a conservação dos recursos naturais, como por exemplo: extinção do uso de queimadas e veneno e a preservação da sucessão natural das plantas. A Área Agroecológica (AA) foi definida e implantada no ano de 2005. As coletas de solos com estrutura deformada e indeformada nas respectivas áreas de estudo foram realizadas no período chuvoso, nos meses de maio e junho de 2013, tendo como base um (01) ha. essa unidade está inserida em uma área coletiva de 1,0 ha, as atividades realizadas para implantação foram: raleamento das espécies predominantes com critérios estabelecidos pela vivência das famílias, proporcionando assim, suporte forrageiro à criação de animais e aumento da diversidade de espécies vegetais, para tanto, a área foi cercada com arame, de modo a impedir a invasão e passagem de animais. Os resíduos das plantas raleadas foram picotados às partes finas, com auxílio de facão e espalhadas na superfície do solo, tendo como finalidade o controle do processo erosivo. A construção dos camalhões com resíduos vegetais mais grosseiros e lenhosos, como contenção do escoamento superficial e favorecimento da infiltração de água no solo, e foi realizado o plantio de mudas frutíferas e exóticas adaptadas ao

semiárido. Foi realizado o enriquecimento da Área Agroecológica (AAG) no início da estação chuvosa.



(A1)



(A2)



(A3)

Figura 7- (A1, A2) Área Agroecológica (AA) no período chuvoso, (A3) Área Agroecológica (AA), no período seco.

4.2 Amostragem das áreas em estudo e o beneficiamento das amostras para realização das análises com estrutura deformada

Para a realização das análises laboratoriais foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada, sendo cinco amostras compostas, oriundas de 15 subamostras em cada área supracitada, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, retiradas com o auxílio trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-árido -UFERSA. Posteriormente, foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Estas foram submetidas às análises químicas e físicas do solo. Para análises das frações de C, subamostras de TFSA foram trituradas, passadas em peneira de 0,210 mm (60 mesh). As análises físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios de Física do Solo e Fertilidade e Nutrição de Plantas, respectivamente, ambos no complexo do Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP/DCAT/UFERSA).

4.3 Análise do Carbono orgânico

A determinação do C orgânico foi realizada pelo método de oxidação por via úmida, com aquecimento externo, proposto por Yeomans & Bremner (1988). Para a

determinação do teor de C lábil (CL), subamostras de 1,0 g de solo (camada de 0-5 e 5-10 cm) foram trituradas, passadas em peneira de 0,210 mm e acondicionadas em tubo de centrífuga de 50 mL, juntamente com 25 mL de solução de KMnO_4 ($0,033 \text{ mol L}^{-1}$) (Shang & Tiessen, 1997). Os tubos foram colocados em agitador horizontal a 170 rpm, por 1 hora, e centrifugados a 960 g, por 10 min, sempre protegidos da luz. Após centrifugação, colocaram-se 100 μL do sobrenadante em tubos de ensaio e o volume foi completado com 10 mL com água deionizada. As dosagens do CL foram realizadas em espectrofotômetro, com comprimento de onda de 565 nm. O carbono não lábil (CNL) foi determinado pela diferença entre o COT e o CL.

Com base nas mudanças no COT, entre um sistema de referência (Mata nativa) e um com cultivo agrícola, foi calculado o índice de compartimento de carbono (ICC), calculado como: $\text{ICC} = \text{COT cultivado} / \text{COT referência}$. Com base nas mudanças na proporção de CL (labilidade = CL / CNL) no solo, foi calculado o índice de labilidade (IL) por $\text{IL} = \text{L cultivado} / \text{L referência}$. Estes dois índices foram utilizados para calcular o índice de manejo de carbono (IMC), obtido pela expressão $\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$ (Blair et al., 1995).

Para a determinação de C das frações recalcitrantes, as amostras de terra fina seca ao ar foram trituradas, passadas em peneira de 60 mesh (0,210 mm) e submetidas ao fracionamento de substâncias húmicas, segundo o método da International Humic Substances Society (IHSS) (Swift, 2001). Desse fracionamento, foram obtidas as frações correspondentes aos ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, pela solubilidade diferencial em soluções ácidas e alcalinas. Do somatório de todas essas frações húmicas, foram obtidas as substâncias húmicas e determinados os teores de C, conforme descrito anteriormente.

4.4 Análises químicas do solo

Para os atributos químicos do solo foram realizadas análises de : potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica (CE) em água, teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) com extrator cloreto de potássio, acidez potencial (H+Al) com utilização de acetato de cálcio, análise do fósforo (P), sódio (Na^+) e potássio (K^+) com extrator Mehlich 1, todas de acordo com EMBRAPA, (2009). Consequentemente foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), sendo analisados conforme (Donagema et al., 2011). Os resultados desses atributos químicos foram interpretados conforme tabelas de

recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, (Ribeiro et al., 1999).

4.5 Análises físicas do solo

Para os atributos físicos do solo, as amostras foram submetidas às análises: granulométrica, obtida pelo método da pipeta utilizando dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) e água destilada em 20 g da terra fina seca ao ar (TFSA), com agitação mecânica lenta em agitador (Wagner 50 rpm) por 16 horas (Donagema et al., 2011); areia (2 a 0,05 mm), quantificada por tamisagem; argila (< 0,002 mm) por sedimentação e o silte (0,05 a 0,002 mm) por diferença entre as frações de areia e argila.

A análise de densidade de partículas (D_p) foi realizada pelo método do balão volumétrico, utilizando-se terra fina seca em estufa (TFSE) a 105°C e álcool etílico, (Donagema et al., 2011). Obtido pela expressão: $D_p = \frac{ms}{vs}$

Onde:

D_p = Densidade de partículas ou densidade dos sólidos (kg. m⁻³)

ms = Massa seca a 105° (kg)

vs = volume do sólidos (m³)

A resistência mecânica do solo à penetração de raízes (RP) foi determinada nas condições de campo, utilizando um penetrômetro de impacto da VDO® (modelo SS316), com ponteira de 1,386 cm de diâmetro, área de secção transversal de 1,509 cm² e ponta cônica com ângulo de penetração de 30°. Foram realizadas trinta (30) leituras em cada camada (0 - 10 e 10 - 20 cm), de forma aleatória, para obtenção dos valores médios. Os resultados foram expressos em MPa, conforme descrito por Forsythe (1975). Na mesma ocasião, realizou-se coleta de amostras deformadas nas respectivas camadas para realização da umidade gravimétrica, pesando-se as amostras de solo (constituídas antes e após secagem em estufa a 105°C, por 48 horas, conforme descrito por Forsythe (1975), e os resultados foram expressos em kg kg.

A Densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme descrito por Forsythe (1975) e expressa em kg.dc⁻³. Foram coletadas dez (10) amostras indeformadas de solo, dentro de cada área de estudo, nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm, utilizando-se anéis volumétricos com dimensões de 5,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro, e tomando-se a média dos valores obtidos, sendo representada pelo quociente da massa das partículas sólidas do solo pelo volume total do solo. Obtido pela expressão:

$D_s = \frac{m_p}{v_s}$

Onde:

D_s = Densidade do solo ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

m_s = Massa seca das partículas a 105° (kg)

v_s = volume total do solo (dm^3)

4.6 Análise estatística e interpretação dos resultados

Os métodos estatísticos para analisar distinção entre variáveis foram dispostos em dois grupos: um que obtém informações das variáveis de maneira isolada ó a estatística univariada (ex. Anova e Teste t) e o outro foram empregadas técnicas de análise multivariada como ferramenta principal, especificamente, a análise de componentes principais (STATISTICA, 2004), para distinção das áreas pesquisadas em função das potencialidades ou restrições do ambiente.

Como ferramenta para a distinção dos sistemas de uso e manejo do solo, foram geradas duas componentes principais (Fator 1 e Fator 2) para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em duas profundidades. A partir da relação entre essas componentes, foram formados diagramas de ordenação bidimensionais, para visualização da distinção dos cinco ambientes, e diagramas de projeção de vetores, para os atributos do solo que mais distinguiram nas áreas pesquisadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos químicos do solo

No Quadro 1 são apresentados os valores médios dos atributos químicos de um Cambissolo háplico em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança na Chapada do Apodi-RN. Observou-se que em relação ao pH, independente da camada, tanto os diferentes usos agrícolas e manejo do solo, quanto a mata nativa (AMN), caracterizaram-se por apresentar uma alcalinidade de baixa à média, com pH variando entre 7,1 a 7,9, isto tendo como referência as recomendações de adubação e calagem para o estado de Minas Gerais (Quadro 1). Nota-se que não foi detectado pela análise Al^{+3} e H+Al (Quadro 1), fato que contribui para o aumento do pH, além disso, à presença de carbonatos provenientes do material de origem (calcário) auxiliam a alcalinidade desses.

Provavelmente, o aumento do teor no solo de cátions divalentes de caráter alcalino, especialmente o Ca^{+2} quando comparado a Mata Nativa (AMN), influenciou os valores mais elevados de pH no solo sob o Pomar de Cajaraneiras (AP) (7,9) (Quadro 1). Dados semelhantes foram encontrados por, Artur et al. (2014) na Chapada do Apodi-Ceará, que verificando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo associada ao microrelevo, encontraram valores de pH em torno de 7,3 a 7,9 (0-20 cm). Também na Chapada, Fialho et al. (2006) encontraram valores próximos de pH em solos cultivados com bananeira em torno de 7,8 e 7,4 e menor em áreas sob caatinga 6,7 e 6,5 de 0-5 e 5-15 cm, respectivamente.

De modo geral observou-se um aumento da condutividade elétrica (CE) em solos onde foram cultivados, sendo os valores de CE de 0,29; 0,26 e 0,22 $dS\ m^{-1}$ (0-5 cm) e 0,24; 0,23 e 0,19 (5-10) cm em solos de colúvio (APCOL), sob pomar (AP) e área Coletiva com Preparo do Solo Convencional em Cultivos Consorciados (APC), respectivamente. Todavia, a área agroecológica (AAG) somente com raleamento da caatinga (0,16 e 0,11 $dS\ m^{-1}$) manteve condições de CE semelhante ao sistema de referência (0,17 e 0,13 $dS\ m^{-1}$), nas camadas de 0-5 a 5-10 cm. Esses valores são menores que o encontrado por Fialho et al. (2006), cuja a condutividade elétrica foi em média de 0,32 $dS.m^{-1}$ e não diferiu entre as áreas cultivadas e naturais.

Segundo Richards (1954), os solos são considerados salinos, quando a condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação é maior ou igual a 4 dS m^{-1} e a porcentagem de sódio trocável (PST) é menor que 15%, sendo que, normalmente, o pH desse solos é menor que 8,5, sendo assim, os valores observados indicam baixa concentração de sais solúveis, caracterizando-as como isentas de riscos potenciais de salinidade. Por expressar a concentração de sais solúveis no solo, Klar (1988) relata que as culturas têm diferentes comportamentos em relação às concentrações salinas, sendo os efeitos da salinidade para as plantas negligenciáveis entre 0 e 2 dS m^{-1} e 2 a 4 dS m^{-1} , o que pode causar algum tipo restrição do desenvolvimento de algumas culturas. Sabe que CE em torno de 4 a 8 dS m^{-1} , muitas culturas diminuem a produção. Apesar de não haver riscos iminentes a salinidade o aumento da CE serve de alerta e que deve haver um monitoramento dessas áreas por parte dos agricultores.

Os maiores teores de fósforo no solo ocorreram na camada de $0-5 \text{ cm}$, sendo que $5-10 \text{ cm}$ não foram detectadas diferenças significativas com média de $5,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de P (Quadro 1), provavelmente pela maior variação dos dados ($CV > 70 \%$). De $0-5 \text{ cm}$, observou-se um aumento de P de $76,2 \%$ no solo sob pomar (AP) ($19,6 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação a Mata Nativa (AMN) ($4,6 \text{ mg kg}^{-1}$), e de $37,1 \%$ em relação área de colúvio (ACOL) ($12,3 \text{ mg kg}^{-1}$). Apesar do baixo teor de P no solo da área agroecológica (AAG) ($1,19 \text{ mg kg}^{-1}$) não houve diferença significativa da mata nativa (AMN). Todavia, após os 9 anos de cultivo em consorcio com a caatinga, o P pode se tornar um fator limitante a produtividade das frutíferas pelo baixo teor encontrado nesses solos.

Provavelmente, os maiores teores de fósforo disponíveis nas áreas do pomar (AP) seja devido ao aporte de material orgânico, tanto pela serapilheira nesta área (detectado visualmente no local uma grande quantidade de folhas secas e caroços dos frutos em baixo das copas das árvores), quanto pelo esterco de animais que possuem livre acesso ao pomar no sistema extensivo de criação animal. Em solos sob Caatinga, Menezes et al. (2012) relataram que, em geral, os solos são deficientes em nutrientes, principalmente N e P, sendo a concentração média na camada superficial ($0-20 \text{ cm}$) de P total é de $19,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Fialho et al. (2006) encontraram teores bem maiores de P que nesse experimento em área sob caatinga ($20,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de P), e em solos cultivados com bananeira utilizando 20 t de matéria orgânica na forma de esterco bovino e caprino, houve um aumento no teor para 143 mg kg^{-1} de P. No sul do Brasil, Andreola et al. (2000) observaram que houve acúmulo de fósforo no solo com o uso de adubo orgânico.

Quadro1. Médias dos atributos químicos de um Cambissolo háplico coletado em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança na Chapada do Apodi-RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	pH (água)	CE	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC
		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³				
0-5 cm										
AMN	7,4b	0,17b	4,65c	0,69c	0,25a	12,41b	4,42a	0	0	17,79a
AP	7,9a	0,26a	19,60 ^a	1,76a	0,04a	18,36a	1,88c	0	0	22,06a
APC	7,6b	0,22ab	6,39c	1,47b	0,06a	13,57b	3,80ab	0	0	18,90a
ACOL	7,1bc	0,29a	12,32b	1,23b	0,04a	13,06b	3,46bc	0	0	17,80a
AAG	7,4b	0,16b	1,19cd	1,29b	0,05a	14,26b	2,28bc	0	0	17,88a
C.V	1,79	26,91	39,28	27,17	231,4	17,1	25,32	-	-	12,46
Média Geral	7,6	0,22	8,97	1,31	0,09	14,13	3,17	-	-	18,88
5-10 cm										
AMN	7,3bc	0,13b	2,10 ^a	0,69b	0,33a	11,14b	5,70a	0	0	17,86a
AP	7,9a	0,23a	7,20 ^a	1,44a	0,04a	16,26a	1,36c	0	0	18,87a
APC	7,5bc	0,19a	5,10 ^a	1,20a	0,05a	13,05ab	3,08bc	0	0	17,62a
ACOL	7,2c	0,24a	9,56 ^a	1,07ab	0,03a	11,03b	3,40b	0	0	15,54a
AAG	7,3bc	0,11b	3,03 ^a	0,99ab	0,03a	11,53b	2,62bc	0	0	15,19a
C.V	1,96	25,06	70,42	37,17	282,94	11,67	28,68	-	-	10,95
Média Geral	7,5	0,18	5,4	1,08	0,09	12,6	3,23	-	-	17,02

AMN - área de Mata Nativa, AP - área de Pomar de Cajareneiras, APC - área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados, ACOL - área de Colúvio e AAG - área Agroecológica.

O teor de matéria orgânica é um importante controlador da síntese de fósforo orgânico (Po) no solo, e o seu aumento eleva também a proporção de Po em relação às quantidades totais de P (Harrison, 1987). Isto se torna mais importante à medida que, estudos realizados por Guerra et al. (1996) em diferentes classes de solo constataram que para Argissolos, o Po correlaciona-se positivamente com o C total e P total. Assim, quando o sistema de manejo aumenta a matéria orgânica ao solo, este também contribui para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e consequente aumento da disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003). Em 21 unidades de produção agroecológica (UPAs) na Mesorregião do Agreste Paraibano, Jesus (2005) concluiu que o aporte contínuo de resíduos orgânicos têm promovido elevações consideráveis nos valores de pH e nos teores de MO, P, K, Ca, Mg, SB e V na maioria das UPAs.

A maior parte do P encontra-se na planta associada a componentes orgânicos do tecido vegetal (Marschner, 1995), sua liberação está intimamente ligada ao processo de decomposição pelos microrganismos do solo; como na caatinga devido às condições edafoclimáticas há uma decomposição intensa da matéria orgânica, este elemento fica

disponível na solução do solo. Corrêa (2004) relata que a presença de palha e o aumento no teor de matéria orgânica no solo, proporciona um ambiente menos oxidativo, fazendo com que as reações de fixação de fósforo sejam minimizadas. Uma das principais características que influem na adsorção de P é a matéria orgânica (Gonçalves et al., 1985), pois interage com os óxidos de Al e Fe resultando em redução dos sítios de fixação, por causa do recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, acético e málico (Corrêa e al., 2004). Esses ácidos orgânicos de baixo peso molecular também formam compostos com o fósforo na solução do solo, impedindo que o P seja complexado por cátions (Silva e Mendonça, 2007) (principalmente o cálcio) no solo.

Para os teores de sódio no solo não houve diferença significativa entre os tratamentos e camadas. O teor médio de Na^+ em torno de $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, atribuindo isto em grande parte ao elevado coeficiente de variação $>$ que 200 %, com isto infere-se que os que os diferentes usos e manejos agrícolas atuais nesses solos, não oferecem riscos potenciais de salinização e de saturação por sódio. Esses teores refletem a maior capacidade de lixiviação desse elemento (série liotópica) em relação aos demais elementos catiônicos. Para a capacidade de troca de cátions (CTC), apesar da superioridade numérica dos solos sob pomar (AP) ($22,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), grande parte atribuída ao maior teor de carbono orgânico total, este não foi suficiente para detectar diferenças significativas com relação aos demais tratamentos (Quadro 2) sendo os valores médios encontrados foram de 18,88 e $17,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (0-5 e 5-10 cm) (Quadro 1). A capacidade de troca de cátions guarda uma estreita relação com o estágio de intemperismo dos solos (Mota, 2004), como esse solo é um Cambissolo háplico (mais jovens) foram constatados valores mais elevados de CTC, uma vez que, valores mais baixos refletem uma evolução mais acentuada do solo. Praticamente toda a CTC do solo está ocupada por cátions essenciais (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) proveniente principalmente do material de origem conferindo boa fertilidade natural desses solos. As áreas estudadas estão sobre calcário da Formação Jandaíra, que, em determinados locais, é recoberto por sedimentos arenosos mais recentes do Grupo Barreiras (DNOCS, 1978). Por se encontrar numa região semiárida, o ambiente apresenta um baixo intemperismo, regime pluvial irregular e temperaturas elevadas, sendo fatores condicionantes para a manutenção das bases trocáveis.

Com relação aos teores de potássio, cálcio e magnésio no solo, observou-se, independente das camadas, que o cultivo do solo aumentou os teores de K^+ e Ca^{+2} e

reduziram os teores de Mg^{+2} , que provavelmente ocorreu pela dissociação do carbonato de cálcio do material de origem e mineralização da matéria orgânica. Isto serve de alerta ao cultivo nesses solos e da necessidade de monitoramento, uma vez que, solos com teores de magnésio muito baixos, podem restringir efeitos benéficos esperados da alta fertilidade natural. Esta preocupação se torna pertinente, pois há uma inter-relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal relacionada às suas propriedades químicas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, que faz com que exista competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Assim, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} (Orlando Filho et al., 1996; Medeiros et al., 2008).

Nos solos sob pomar (AP) houve um incremento no teor K^+ de 60 e 52 % e Ca^{+2} de 32 e 31,5 % de 0-5 e 5-10 cm respectivamente e, uma redução de Mg^{+2} em 135 e 319 % (0-5 e 5-10 cm) em relação a Mata Nativa (AMN). Comparando duas formas de manejo bem distintas, observou-se que tanto a área agroecológica (AAG) quanto o área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciado (APC) submetida a araões e gradagens, foram semelhantes estatisticamente quanto ao teor de K^+ (1,47 e 1,29 $cmol_c dm^{-3}$, respectivamente) e Ca^{+2} (14,26 e 13,57 $cmol_c dm^{-3}$, respectivamente) e Mg^{+2} (3,8 e 2,28 $cmol_c dm^{-3}$, respectivamente) no solo de 0-5 cm, sendo observado a mesma tendência de 5-10 cm. Analisando os efeitos dos sistemas de cultivo convencional (milho/feijão com revolvimento) e manejo agroecológico da caatinga com 5 e 7 anos (raleamento e manutenção de árvores grandes, introdução de leguminosas e uso como pastagem para manejo de caprinos) na produção agrícola em Apodi (RN), Lira et al. (2012) observaram, diferentemente desse resultados, perda de fertilidade do solo na área de cultivo agrícola convencional. Os solo das áreas de manejo da caatinga, com cinco anos, apresenta maiores valores para pH (7,1), capacidade de troca de cátions efetiva (20,35 $cmol_c dm^{-3}$), soma e saturação de bases (18,37 $cmol_c dm^{-3}$ e 92%, respectivamente), e teor de cálcio (16,36 $cmol_c dm^{-3}$) (dados médios de 0-10 cm).

5.2 Frações de carbono da matéria orgânica do solo

No Quadro 2 são apresentados os valores médios das Frações de carbono da matéria orgânica do solo de um Cambissolo háplico em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança na Chapada do Apodi-RN. Com exceção do solo sob pomar (AP), todos os sistemas de manejo causaram redução nos teores de carbono orgânico total do solo (COT) (Quadro 2). Os solos sob pomar (AP) tiveram teores de COT (4,01 e 2,69 g ka⁻¹) semelhantes ao da Mata Nativa (AMN) (4,07 e 2,18 g kg⁻¹) nas duas camadas estudadas (Quadro 2.). Segundo Sampaio & Costa (2011) no geral, as concentrações de C no solo da caatinga foram estimadas em 9,25 e 5 g C kg solo⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-100 cm, totalizando 8,9 Pg de carbono. Martins (2009) em estudos na caatinga hiperxerófila conservada encontrou estoques de COT (Carbono orgânico total) de 13,8; 7,8 e 7,7 g kg⁻¹ no fim do período seco e de 14,0; 9,5 e 7,2 g kg⁻¹ no fim do período chuvoso, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente, valores maiores que o encontrado neste trabalho. Conforme informação supracitada, isto deve ao aporte de serrapilheira encontrada no local associada ao excremento de animais (caprinos, bovinos, equinos, muas e suínos) no pastejo na área. As culturas do sapoti e da graviola contribuíram para o aumento dos estoques de C e N após a retirada da vegetação natural. Em plantio convencional de mamoneira e policultivo, em duas localidades distintas do semiárido, Almeida (2010) verificou que, no sistema de uso policultivo, quando comparado ao sistema convencional, houve incremento no COT de 46% e 61,65 % e na MOS de 45,08% e 61,3% em Cafarnaum e Umburanas, respectivamente. Esse resultado provavelmente está relacionado ao maior aporte de material vegetal no sistema de uso policultivo, devido ao plantio adensado e as podas feitas anualmente com restos vegetais deixados sobre o solo.

Os solos sob a vegetação caatinga possui formação vegetal com árvores baixas, arbustos, cactáceas e bromeliáceas, entre outras espécies (Alves et al., 2009). Em estudo desenvolvido na caatinga do Rio Grande do Norte na Estação Ecológica do Seridó (EsEc-Seridó), Santana e Souto (2011) constataram-se que, após doze meses foram depositados 2.068,55 kg ha⁻¹ de serrapilheira, com as folhas constituindo a fração predominante responsável por 79,90% do material decíduo. A fitomassa de galhos e cascas atingiu 9,27% do total depositado, enquanto a participação de material reprodutivo foi de 2,92% e a de miscelânea 7,91% (fragmentos de folhas, galhos, ramos, flores, frutos, sementes e outros materiais vegetais de difícil identificação, além

de insetos ou partes destes e fezes), sendo que o pico de deposição da fração material reprodutivo ocorreu em março, período das secas. Todo esse material vegetal depositado no solo faz com que o teor de matéria orgânica seja superior aos sistemas (Quadro 2). A entrada de carbono no solo esta relacionada, principalmente com o aporte de resíduos vegetais, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonados pelos macro e microrganismos do solo (Silva; Mendonça, 2007).

Quadro 2. Frações de carbono da matéria orgânica do solo de Cambissolo háplico coletado em diferentes sistemas de manejo e sob caatinga, em duas profundidades, na Chapada do Apodi-RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	COT	CHUM	CAH	CAF	SH	CL	CNL	IMC
0-5 cm								
AMN	4,07a	2,47ab	0,27a	0,34a	3,09a	3,84a	36,94a	100ab
AP	4,01a	2,60a	0,21a	0,19b	3,00a	3,27ab	36,84a	97ab
APC	1,41b	1,16c	0,16a	0,11c	1,43c	1,78b	12,40b	39b
ACOL	1,94b	1,42c	0,22a	0,13c	1,77bc	1,66b	17,74b	42b
AAG	2,39b	1,98ab	0,32a	0,24ab	2,54ab	3,51a	19,44b	111a
C.V	21,04	19,67	61,38	33,27	15,86	23,47	22,98	26,43
Média Geral	27,74	1,92	0,23	0,2	2,36	2,81	24,67	78
5-10 cm								
AMN	2,18ab	1,76ab	0,25a	0,26a	2,28a	2,45a	19,35ab	100,0a
AP	2,69a	2,16a	0,15a	0,13b	2,44a	2,36a	24,63a	122,80a
APC	1,23b	1,15bc	0,17a	0,09b	1,42b	2,96a	9,33b	112,14a
ACOL	1,60b	1,47abc	0,19a	0,12b	1,59b	1,86a	14,20ab	75,64a
AAG	1,34b	0,96c	0,12a	0,06b	1,15b	2,08a	13,31ab	104,26a
C.V	23,34	20,19	78,91	27,19	16,31	27,56	27,53	36,52
Média Geral	1,77	1,5	0,18	0,13	1,82	2,34	15,36	106,97

AMN - área de Mata Nativa, AP - área de Pomar de Cajaraneiras, APC - área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados, ACOL - área de Colúvio e AAG - área Agroecológica.

Todavia, por ter como padrão climático características específicas como temperaturas altas, acima dos 20 °C de médias anuais, precipitações pluviais irregulares de curta duração e de alta intensidade, entre 280 a 800 mm (Coelho et al., 2009), este ambiente exibe sua fragilidade quando o sistema que está em equilíbrio é rompido. A área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) com revolvimento do solo e plantio de culturas anuais ocasionou as maiores perdas de COT, cerca de 188,6 e 77,2%, seguido pelo solo da área de colúvio (ACOL), onde o solo estava completamente descoberto e em pousio por 2 anos, as perdas foram de 109,7 e 36 % nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Todavia, quando em área

agroecológica (AAG) somente com raleamento da caatinga essas perdas de COT reduziram, especialmente na camada de 0-5 cm, para 70,2 %.

Pode-se observar que quando retirou a vegetação natural para instalação de um sistema agrícola, ocorre um desequilíbrio no teor de carbono orgânico do solo, intensificando a mineralização da matéria orgânica. Assim, percebe-se que quando o processo de adição de aporte de material orgânico no solo é inferior ao de decomposição, este sistema não atinge um novo equilíbrio, tornando-se a reduzir o teor de COT, e caso isso não seja monitorando pode provocar degradação do solo. Esta preocupação é pertinente, pois a matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um importante indicador da qualidade do solo, pois atua como fonte de energia para a massa microbiana e nutrientes para as plantas, além de influenciar nos atributos do solo como CTC, retenção de água, quelação, agregação entre outros (Silva e Mendonça, 2007).

No semiárido nordestino, a degradação dos recursos naturais tem sido provocada pelo aumento da intensidade de uso do solo e redução da cobertura vegetal nativa (Menezes & Sampaio, 2002). Quando se retira a vegetação nativa, no caso a caatinga, e associa-se isso a longos períodos de estiagem, observa-se uma acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, reduzindo, conseqüentemente, seu potencial produtivo, degradando o solo (Trevisan et al., 2002), sendo observado isto também nesta pesquisa.

Maia et al. (2006) no semiárido cearense, em sistemas convencionais e agrofloretais observaram que no cultivo intensivo (milho), no sistema Agrossilvipastoril (milho/leucena/pastejada por ovinos como banco de proteína) e, no Agrossilvipastoril tradicional (milho/pastejo ovinos) promoveram redução de 40, 38 e 35% nos teores de COT, respectivamente, em relação à caatinga nativa na camada de 0-6 cm.

Analisando as SH observou-se que, de maneira geral, houve maior teor de C nas frações huminas (C-HUM), seguida do ácido húmico (C-AH) e ácido fúlvico (C-AF) o mesmo foi observado por Silva et al. (2011) em solos sob cerrado. O predomínio da humina é devido a sua forte interação com matriz mineral pela formação de complexos organo-minerais de elevada estabilidade na superfície do solo, deixando insolúvel a maior parte da matéria orgânica ligada a essa fração (Majzik; Tombácz, 2007ab).

A quantificação do carbono nas substâncias húmicas (SH) é importante, pois o potencial de captura e armazenamento do C se dá basicamente nesta fração. Assim

como o COT, o pomar (AP) obteve maior teor de C nas SH (3,0 e 2,44 g kg⁻¹ que os demais tratamentos, sendo semelhante à Mata Nativa (AMN) (3,09 e 2,28 g kg⁻¹, respectivamente) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente) (Quadro 2). Das substâncias húmicas, a fração que mais contribuiu para esse efeito foi o carbono presente na humina (C-HUM) (2,6 e 2,16 g kg⁻¹ 0-5, 5-10 cm) (Quadro 2). Provavelmente, esta estabilização foi favorecida pelo maior aporte de material orgânico, e também, pelo maior teor de cálcio nesses solos (Quadro 1). Em artigo clássico desenvolvido por Oades (1988) o autor demonstra que estabilização química da matéria orgânica, especialmente os da frações húmicas pode ser explicada pela disponibilidade do Ca em fazer pontes metálicas com grupamentos ácidos responsáveis pela estabilização da MOS, formando os humatos de Ca. Correa et al. (2003), encontraram correlação significativa com os teores de Ca e as substâncias húmicas, formando humatos de Ca. Isto demonstra que não só o aporte de material orgânico como também os nutrientes são essenciais para manter a matéria orgânica do solo. Outros autores também observaram aumento de matéria orgânica na presença de cátions (Virto et al, 2011, Majzik; Tombácz, 2007ab; Brieds *et al.*, 2012; Fontana et al., 2014).

Analisando os demais sistemas de manejo, observou-se que o solo sob a área agroecológica (AAG) foi menos prejudicial à fração recalcitrante da matéria orgânica do solo, sendo semelhante estatisticamente à mata nativa (AMN) na totalidade das SH (2,54 dag kg⁻¹). Comparado aos demais tratamentos, com exceção do pomar (AP), o agroecológico (AAG) com plantio de frutíferas e raleamento da caatinga, mesmo após 9 anos de condução obteve maiores teores de C-HUM e C-AF (1,93 e 0,24 dag kg⁻¹), ficando esse efeito mais restrito à camada superficial do solo de 0-5 cm. As maiores perdas de C nas frações recalcitrantes em relação à caatinga ocorreram no solo da área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), sendo de 112,9 % para C-HUM e 209% em relação ao C-AF. Não houve diferença estatística entre os tratamentos em nenhuma camada de solos para o C-AH com média de geral de 0,23 e 0,18 dag kg⁻¹ nas camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente. No centro-norte baiano, em Irecê, Fracetto et al. (2012) constataram que a conversão da caatinga para o cultivo da mamona ocasionou uma diminuição de cerca de 50 % no estoque de C e N no solo e a meia-vida da MOS calculada para a região do semiárido estudada foi de 4,7 anos. Neste caso as perdas de frações recalcitrantes que deveriam ser responsáveis pelo dreno de CO₂, superaram esses valores.

Esse decréscimo pode ser atribuído ao manejo adotado pelo agricultor, baseado em áreas coletivas] com preparo do solo convencional em cultivos consorciados, envolvendo aração e gradagem, que maximizam a oxidação do C, também nas frações recalcitrantes devido à quebra dos agregados do solo, e aos sistemas de culturas, com reduzido aporte de resíduos, que diminuem o aporte de C no solo, funcionando como fonte de CO₂. Assis et al. (2010) avaliando o impacto dos agroecossistemas irrigados, anuais e perenes na MOS e frações de fósforo na Chapada do Apodi/RN em um Cambissolo Háplico, concluíram que os estoques de COT e NT, e C em substâncias húmicas foram reduzidos pelo cultivo do solo, independentemente do sistema de manejo. Além disso, o cultivo afetou a dinâmica de P no solo, aumentando a fração de P inorgânico no agroecossistema perene e, a fração de P orgânico no agroecossistema anual.

No Semiárido os relatos sobre SHs são escassos, tendo como referências alguns trabalhos publicados em outras regiões do país e no exterior. Em florestas subtropicais na Austrália, Chen et al. (2004) observaram que a substituição de mata nativa por cultivo de pinheiro (*Araucaria cunninghamii*) com 51 anos de idade resultou na diminuição do estoque de C da fração AF, enquanto o estoque de C da fração AH ficou inalterado. Isso mostrou que a fração AF é mais sensível à mudança de uso do solo que a AH. No Cerrado brasileiro, Silva et al. (2011) observaram que das frações da SHs houve predominância da fração humina (HUM), em comparação às frações ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF), independentemente dos sistemas de manejo, com contribuição de 45 a 74% do COT do solo. Além disso, os autores constatam que a adição de C às substâncias húmicas e suas frações, principalmente no sistema integração lavoura pecuária, foi atribuído à maior produção de resíduos vegetais com maior relação C:N e lignina:N, as quais possuem decomposição mais lenta do resíduo e favorecem o aumento de frações recalcitrantes no solo.

Nas análises das frações lábeis da matéria orgânica do solo, representado pelo carbono lábil, ter-se-á uma noção da taxa de decomposição num curto período de permanência no solo, pois essa fração é responsável para o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007). Assim, na análise do teor de carbono lábil, observou-se que tanto o solo sob área agroecológica (AAG) (3,51 g kg⁻¹) quanto o solo sob pomar (AP) (3,27 g kg⁻¹) não tiveram diferenças estatísticas significativas ao da Mata Nativa (AMN) (3,84 g kg⁻¹) (Quadro 2) (0-5 cm). Todavia, para o C não lábil (CNL) a área agroecológica

(AAG) teve uma redução de 47 % no seu teor ($19,44 \text{ g kg}^{-1}$) (Quadro 2). Novamente, em relação ao sistema em equilíbrio (mata nativa), a área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) as perdas foram de 53 % no CL e 74% no CNL. Dieckow et al. (2005) e Souza et al. (2009) observaram que os estoques de CL diminuíram rapidamente, porém sua recuperação também foi mais rápida, o que sugere o uso do CL como um indicador sensível da dinâmica do C no sistema.

Proposto por Blair et al. (1995) o índice de manejo de C (IMC) é uma medida relativa referentes às alterações provocadas pelo manejo, quando comparadas ao sistema em equilíbrio, neste caso a Mata Nativa (AMN). Sendo que, valores de IMC inferiores a 100 indicam práticas prejudiciais a manutenção da matéria orgânica e conseqüentemente da qualidade do solo. Observou-se que o sistema conduzido de forma agroecológica (AAG) (111) e o pomar (AP) (97) apresentaram-se semelhantes estatisticamente à Mata Nativa (AMN) (100) (0-5 cm), e de 5-10 cm não houve diferenças significativas (Quadro 2). Como esse índice leva em consideração a labilidade do C no solo buscando unir as características quantitativas e qualitativas, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo, pode-se inferir esses sistemas apesar das perdas no estoque de COT, estão se readaptando buscando um novo estado equilíbrio, sem serem muito prejudiciais em termos de matéria orgânica do solo, minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas. Todavia, sistema de manejo como convencional (39) e áreas de colúvio (ACOL) sem nenhuma cobertura vegetal (42) são prejudiciais a manutenção da MOS (Quadro 2). Assim, percebe-se que os sistemas que tem como base, o revolvimento excessivo do solo e/ou ausência de qualquer tipo de cobertura vegetal favorece a degradação química e das frações da matéria orgânica do solo criando um ambiente totalmente desequilibrado.

5.3 Atributos físicos do solo

No Quadro 3 são apresentados os valores médios dos Atributos físicos de um Cambissolo háplico em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança na Chapada do Apodi-RN. A análise granulométrica reflete as proporções das frações areia, silte e argila do solo. Seu conhecimento é de muito relevante, pois implica no manejo do solo, uso da água, estudos de gênese e classificação de solos, práticas de fertilização e correção do solo, desenvolvimento e rendimento das culturas agrícolas e avaliação da dinâmica de nutrientes e poluentes no solo (Mauri et al., 2011), além de ser diretamente responsável

pelo desenvolvimento das características físicas. Com relação à classificação textural os solos da Mata Nativa (AMN) e pomar (AP), foram classificados como Franco argilo arenoso, nas duas profundidades estudadas. Já o Agroecológico (AAG) foi classificado como Franco argilo arenoso na camada de 0-5 e na 5-10 cm como Argiloso. Em ambas as profundidades os solos sob área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) e colúvio (ACOL) foram classificados como Argilosos (Quadro 3).

Texturalmente, os solos em áreas de colúvio (ACOL) tiveram maior teor de argila (560,65 e 552,71 g kg⁻¹) e silte (294,78 e 213,61 g kg⁻¹), nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Colúvio refere-se aos depósitos de materiais soltos, geralmente encontrados no sopé de encostas e, que foram transportados, principalmente, pela ação da gravidade ou, simplesmente, material decomposto, transportado por gravidade (Suguio, 2003). O maior teor de argila e silte já advém da sua gênese, uma que, segundo Suguio (2003) o fluxo de detritos, caracterizado como um fluxo rápido de massa de detritos deslizando encosta abaixo; e a corrida da lama, apresenta uma variedade de detritos, composta primordialmente por partículas finas (silte e argila) com até 30% de água. Assim, mesmo com maior teor de argila, a falta de aporte orgânico, não contribuiu para o aumento do COT.

No que se refere à densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp) e resistência mecânica a penetração (RP), os dados foram obtidos da profundidade de 0-10 e 10-20 cm. Em relação ao solo da Mata Nativa (AMN), houve uma tendência de incremento na densidade do solo na superfície (0-10 cm), para área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), seguido do pomar (AP) e colúvio (ACOL) (Quadro 3). Isso demonstra que o uso do solo para fins agrícolas, independentemente do sistema de manejo utilizado, promove alterações nas suas propriedades físicas. Todavia, o maior valor obtido na área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) (1,58 kg dm⁻³).

Quadro 3. Atributos físicos de Cambissolo háplico coletado em diferentes sistemas de manejo e sob caatinga, em quatro profundidades, na Chapada do Apodi-RN.

Usos agrícolas e manejo do solo	Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Ds	Dp	RP	Classificação Textural
		0-5 cm			0-10 cm			

AMN	315,43c	408,29a	149,75a	126,50b	1,25c	2,38a	1,03b	Franco argilo arenoso	
AP	270,50c	337,51ab	148,50a	243,47a	1,41b	2,29a	1,37a	Franco argilo arenoso	
APC	431,95b	262,53b	163,57a	141,94b	1,58a	2,14a	1,24a	Argiloso	
APCOL	560,65a	85,96c	58,59b	294,78a	1,32bc	2,29a	0,93b	Argiloso	
AAG	253,75c	447,00a	213,50a	84,25b	1,24c	2,46a	0,61c	Franco argilo arenoso	
C.V	11,05	16,32	12,32	22,34	1,91	2,37	12,37	-	
Média Geral	366,45	308,26	146,78	178,19	1,35	2,37	0,99	-	
			5-10 cm				10-20cm		
AMN	330,30c	406,94a	146,61b	116,13c	1,25b	2,45a	1,35bc	Franco argilo arenoso	
AP	305,35c	342,62ab	145,54b	206,46ab	1,45a	2,37a	1,19c	Franco argilo arenoso	
APC	441,76b	259,34bc	174,72ab	124,17bc	1,49a	2,39a	1,83a	Argiloso	
APCOL	552,71a	146,50c	87,15c	213,61a	1,42a	2,31a	1,88a	Argiloso	
AAG	353,25bc	353,50ab	218,50a	74,75c	1,48a	2,55a	0,83d	Argiloso	
C.V	12,66	17,73	16,32	28,09	1,95	0,85	10,49	-	
Média Geral	396,68	301,78	154,5	147,02	1,42	2,41	1,41	-	

AMN - área de Mata Nativa, AP - área de Pomar de Cajaraneiras, APC - área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados, ACOL - área de Colúvio e AAG - área Agroecológica.

Segundo Costa et al. (2003) isso ocorre em PC, provavelmente em decorrência da transmissão da pressão realizada na superfície do solo pelas máquinas e implementos, pela compressão exercida pela lâmina dos discos do arado, ou até mesmo pelo pneu do trator rodando no sulco de aração naquele sistema. A presença de camadas compactadas em superfície nesses sistemas de manejo reflete uma degradação estrutural, com aumento da densidade, quebra dos agregados, redução da porosidade e dos microporos e redução do tamanho dos agregados, quantidade reduzida de macroporos, menor infiltração de água e maior resistência do solo à penetração das raízes das plantas (Vezzani; Mielniczuk, 2011). Bertol et al (2000) e Costa et al. (2003) também constataram que o PC aumentou a densidade do solo em Latossolo e Cambissolo, respectivamente.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para análise de densidade de partículas (Dp) com valores médios de 2,37 e 2,41 kg dm⁻³, nas profundidades de 0-10 e

10 20 cm. A D_p refere-se a uma característica da fração sólida do solo determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades (Mendes et al., 2006). Esse fator tem como referência as médias ponderadas das massas específicas dos diversos componentes da fração sólida do solo, sendo que encontrados em solos minerais são encontrados valores entre 2,6 a 2,7 kg dm^{-3} , com predominância de quartzo, feldspatos, micas e colóides silicatados. Óxidos de ferro e metais pesados tendem a aumentar esse valor, todavia em solos enriquecidos com matéria orgânica, a D_p diminui, pois seu valor é em torno de 1,0 kg dm^{-3} . Admite-se que o manejo do solo poderá modificar o seu valor ao longo do tempo, se, houver alteração significativa da matéria orgânica do solo (Ferreira, 2010).

Com relação à resistência do solo à penetração, observou-se que a mesma foi modificada pelos sistemas de manejo do solo. Solos sob pomar (AP) e da área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), tiveram os maiores valores de RP (1,37 e 1,24 Mpa), na camada de 0-10 cm. Todavia na camada de 10-20 cm, além do APC (1,88 Mpa) sobressaiu o solo de colúvio (ACOL) (1,83 Mpa). Na camada superficial a maior RP no pomar (AP) provavelmente tenha ocorrido pelo pisoteio animal ocasionados por caprinos, bovinos, equinos, muares e suínos que pastam livremente durante o todo ano, no sistema extensivo de criação animal. Isto é muito comum ocorrer em solos sob pastagem, onde o pisoteio animal provoca aumento da RP (Conte et al. 2011, Schiavo& Colodro, 2012, Huber& Souza, 2013, Ortigara et al., 2014). Assim como na D_s , o PC também proporcionou maior RP, provavelmente pelo efeito do acúmulo das cargas dos implementos de preparo de solo utilizados.

Diversos estudos relatam que 2 MPa de resistência à penetração é restritivo para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas, sendo alto valores de resistência à penetração a faixa de 2,0 a 4,0 MPa (Azooz, et al., 1996), e nesses solos o PC de 10-20 cm, está quase atintindo essa faixa de restrição o que serve de alerta aos produtores. Na região Nordeste os dados são escassos, portanto as referências constarão também de outras regiões. No sudeste e Sul do Brasil, em Latossolo Vermelho distroférico de textura média de Botucatu (SP), Foloni et al. (2003) mediram a resistência à penetração usando camada compactada em anéis de 5 cm e densidades de 1,28, 1,42, 1,56 e 1,69 g cm^{-3} , e concluíram que uma camada compactada com densidade 1,69 g cm^{-3} apresenta resistência à penetração de 1,4 MPa impeditiva à penetração de raízes de milho. No Sul, no estado do Paraná, em Latossolo Vermelho distroférico textura média cultivado com mandioca, Tormena et al. (2002) obtiveram valores de resistência à penetração na

camada de 0-5 cm de 4,0 MPa em plantio direto, 2,5 MPa em preparo mínimo e 2,0 MPa em plantio convencional, com solo relativamente seco em uma umidade em torno de 0,15 kg kg⁻¹. Entretanto com o solo próximo da capacidade de campo encontrou-se 2,7 MPa em plantio direto, 1,8 MPa no preparo mínimo e 1,4 MPa em plantio convencional mostrando que na ocorrência de condições mais úmidas, os valores de resistência à penetração podem ser considerados não impeditivos para os sistemas plantio convencional (PC) e preparo mínimo (PM) e pouco impeditivos para o sistema plantio direto (PD).

No Centro Oeste, Souza & Alves (2003) em Latossolo Vermelho distrófico de cerrado em Selvíria (MS), compararam quatro sistemas de manejo implantados no mínimo há oito anos, com um de 16 anos em seringueira e outro de 20 anos em pastagem, os autores constaram que o preparo mínimo apresentou resistência à penetração muito parecida com a condição de cerrado natural, o plantio direto, seringueira e pastagem apresentaram RP próximas de 2,0 MPa nas camadas de 0-10 cm e em torno de 3,0 Mpa entre 10-20 cm.No nordeste, em Limoeiro do Norte-CE na Chapada do Apodi, em um Cambissolo háplico em diferentes camadas do solo associadas ao microrrelevo (raso e profundo), Miotti et al. (2013) verificaram densidades do solo e de partículas maiores nos solos rasos (1,41 e 2,82 g cm⁻³, respectivamente). Em relação a resistência à penetração (RP), esta foi mais adensada nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-15 cm em solo raso (1,35; 1,84 e 1,77 MPa, respectivamente), do que comparado às mesmas camadas do solo profundo (0,96; 1,44 e 1,48 MPa), sendo que, a partir dos 30 cm de profundidade, a resistência do solo à penetração aumentou ainda mais no solo raso, ocorrendo RP máxima (5,1 MPa) aos 50 cm de profundidade.

5.4 Análise Multivariada dos atributos do solo

No Quadro 4 está representado os Coeficiente de correlação dos componentes principais (Fator 1 e 2) para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solode um Cambissolo háplico em diferentes usos agrícolas e manejo do solo, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, no Projeto de Assentamento Terra de Esperança na Chapada do Apodi-RN.Os métodos estatísticos para analisar distinção entre variáveis estão dispostos em dois grupos: um que obtém informações das variáveis de maneira isolada ó a estatística univariada (ex. Anova e Teste t) conforme supracitado, e outro

que obtém essas informações de forma conjunta ó a estatística multivariada, que busca conhecer a totalidade dessas informações fornecidas pelo conjunto das variáveis e suas relações, por isso optou-se também pela análise multivariada (VICINI, 2005). Dentro da análise multivariada optou-se pela análise dos componentes principais (ACP), que permite a redução do número de variáveis avaliadas sendo possível julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, e que são mais importantes do ponto de vista estatístico (Moita neto & Moita, 1998).

Como ferramenta para a distinção dos sistemas de uso e manejo do solo, foram geradas duas componentes principais (Fator 1 e Fator 2) para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em duas profundidades (0-5 e 5-10 cm) (Quadro 4). A partir da relação entre essas componentes, foram formados diagramas de ordenação bidimensionais, para visualização da distinção dos cinco ambientes, e diagramas de projeção de vetores, para os atributos do solo que mais influenciaram nessa distinção, mostrando, assim, maior sensibilidade (Figura 9 e 10). A visualização dos diagramas permitiu analisar quais dos sistemas de manejo utilizados formaram cinco grupos, que mesmo com pontos de sobreposição, tendem a se distinguir no diagrama de ordenação (Figura 8 e 9).

Quadro 4. Coeficiente de correlação dos componentes principais (Fator 1 e 2) para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em função de cinco sistema de uso e manejo do solo, na camada de 0-5 e 5-10 cm. Coeficientes de correlação $> |0,70|$ são significativos (Manly, 1994). COT: carbono orgânico total, C-Hum: carbono da humina, C-AH: carbono - ácido húmico, C-AF: carbono - ácido fúlvico, SH: substância húmicas, CL: carbono lábil, CNL: carbono não lábil, IMC: índice de manejo do carbono, AG: areia grossa, AF: areia fina, Dp: densidade de partícula, Ds: densidade do solo e RP: resistência à penetração.

Atributos	0-5 cm		5-10 cm	
	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2
pH	0,56	-0,12	0,19	0,23
CE	-0,54	-0,44	0,80	-0,24
P	-0,36	-0,80	0,70	-0,55
K ⁺	-0,24	-0,28	0,35	-0,40
Na ⁺	0,16	0,19	-0,03	0,48
Ca ⁺²	-0,03	-0,88	0,64	0,16
Mg ⁺²	-0,23	0,44	-0,29	0,45
CTC	-0,16	-0,82	0,54	0,49
COT	0,56	-0,74	0,77	0,50
C-Hum	0,65	-0,67	0,83	0,49
C-AH	0,39	0,52	-0,17	0,26
C-AF	0,73	0,04	0,26	0,70
SH	0,76	-0,49	0,74	0,60
CL	0,86	-0,22	0,08	-0,03
CNL	0,51	-0,76	0,76	0,50
IMC	0,89	-0,12	0,24	-0,03
Argila	-0,90	0,13	0,14	-0,83
AG	0,92	0,12	-0,31	0,87
AF	0,70	0,30	-0,70	0,26
Silte	-0,61	-0,55	0,79	-0,29
Dp	0,41	0,78	-0,84	0,40
Ds	-0,55	-0,06	-0,10	-0,66
RP	-0,19	-0,77	0,43	-0,51
Variância (%)	33,47	27,80	29,47	23,38

Análise de Componentes Principais (Camada 0 ó 5 cm)

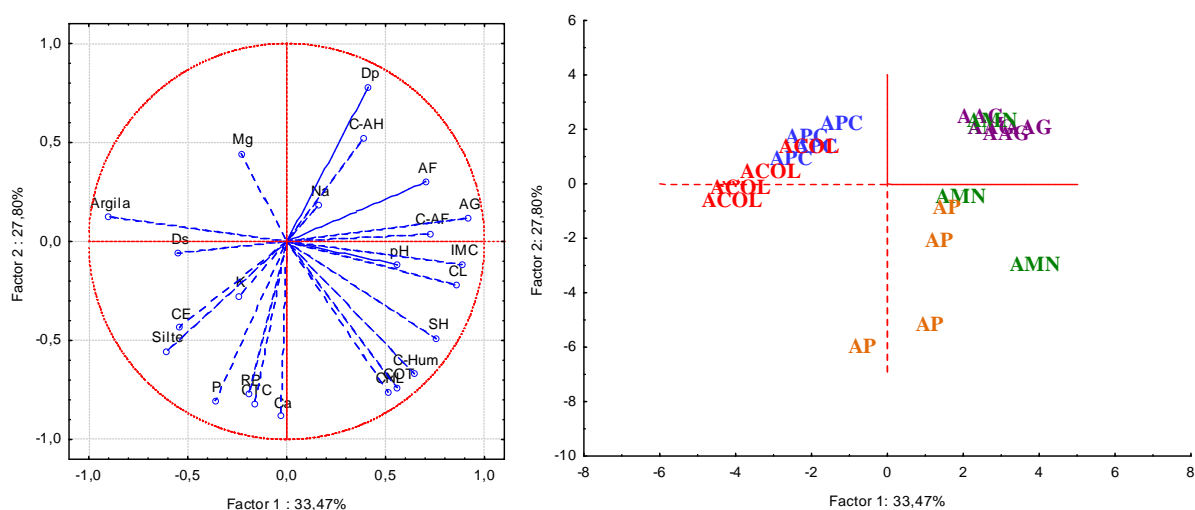


Figura 8. Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em função de cinco sistemas de uso e manejo do solo, na camada de 0-5 cm e diagrama de ordenação dos componentes principais para a área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), área de Colúvio (ACOL), área de Pomar de Cajaneiras (AP), área de Mata Nativa (AMN), sendo esta considerada como área de referência e área Agroecológica (AAG).

Análise de Componentes Principais (Camada 5 ó 10 cm)

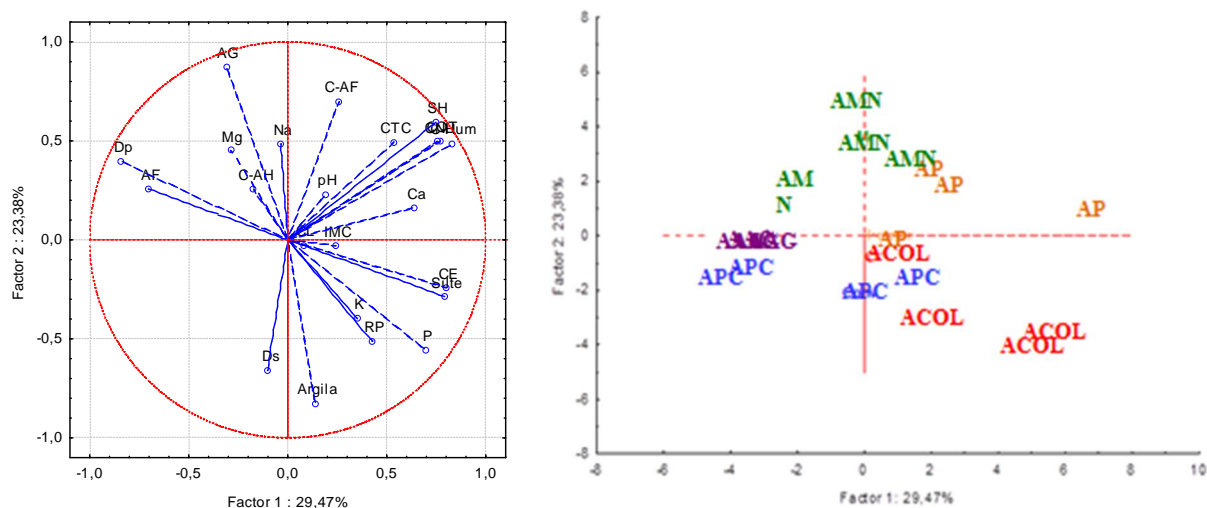


Figura 9. Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos, físicos e frações de C da matéria orgânica do solo, em função de cinco sistemas de uso e manejo do solo, na camada de 0-5e diagrama de ordenação dos componentes principais para a área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC), área de Colúvio (ACOL), área de Pomar de Cajareneiras (AP), área de Mata Nativa (AMN), sendo esta considerada como área de referência e área Agroecológica (AAG).

O Fator 1, gerado para os atributos do solo na camada de 0-5 cm (Quadro 4), explicou 33,47 % da variação total dos atributos estudados, e os maiores coeficientes de correlação ($\times |0,70|$) foram identificados para as variáveis como IMC, CL, SH e C-AF, e para a física do solo Argila e Areia (grossa e fina) (Quadro 4), ou seja, atributos associados a frações da MOS e a granulometria foram mais sensíveis na distinção dos ambientes. Isso pode ser visualizado no diagrama de projeção dos vetores, onde esses atributos apresentam-se mais distantes do eixo do Fator 1 (Figura 8). Ao analisar o Fator 2, atributos onde a variância explicada foi menor (27,80 %), além do CNL e COT, atributos químicos como P, Ca^{+2} e CTC, e físico como Dp e RP foram identificados como atributos sensíveis na distinção dos sistema de uso e manejo do solo, apresentando maior distância do seu vetor em relação ao eixo do Fator 2 (Figura 8).

Ao analisar os mesmos atributos na camada de 5-10 cm, observou-se que as duas componentes principais (Fatores 1 e 2) explicaram 52,85% da variação total dos atributos (Quadro 4). Os maiores coeficientes de correlação apresentados para atributos químicos foram para P e K^+ . A MOS, granulometria e a Dp foram novamente o que mais sofreram alteração, com maiores coeficientes para C-HUM, COT, SH, CNL e CL e (Fator 1) e C-AF (Fator 2) para MOS, e AF e silte (Fator 1) e argila e AG (Fator 2) (Figura 9).

Alteração detectada na fração granulométrica do solo (argila, silte e areia) não se atribuiu ao manejo, e sim, provavelmente a deposição de argila em áreas de colúvio.

Segundo Correa e Silva (2008) colúvio é qualquer depósito sedimentar que se acumule ao longo de uma encosta em consequência do transporte gravitacional, a despeito do conteúdo original de água nesses materiais. Analisando áreas de colúvio em Pernambuco, Correa e Silva (2008) encontraram na baixa encosta ocorre uma terceira unidade, com estrutura levemente estratificada, que intercala camadas cascalhentas e de areias grossas com camadas de areia mais fina, com maior teor de argila. Analisando colúvios do planalto do Itatiaia, Modenesi e Toledo (1993), também encontraram colúvios antigos, com teores elevados de argila (48 a 50%), e conteúdos semelhantes em silte (22 a 25 %) e areia (25 a 30 %).

O uso de atributos do solo identificadores de diferentes ambientes é uma ferramenta fundamental para direcionar práticas que reduzam o depauperamento. Independente da camada de solo, as frações da MOS foram os indicadores mais sensíveis na alteração dos sistemas de manejo, com destaque para o CL e IMC. Utilizando a análise de componentes principais para analisar sistemas de manejo na Nigéria, Wick et al. (1998), observaram que as variáveis relacionadas à dinâmica de nutrientes da matéria orgânica do solo contribuíram para explicar mais de 80 % da variância total dos dados, confirmando que variáveis como C-BMS e COT podem ser utilizadas como indicadores sensíveis na avaliação da qualidade do solo.

Dieckow et al. (2005), Souza et al. (2009) e Silva (2011) observaram que os estoques de CL diminuíram rapidamente com o manejo do solo, porém sua recuperação também foi rápida, o que afirma o uso do CL como um indicador sensível da dinâmica do C no sistema. Esta fração é importante, pois, sua manutenção é essencial à melhoria da qualidade do solo, formação e estabilização de agregados e sustentabilidade desses sistemas de produção (Blair & Crocker, 2000).

A área de colúvio (ACOL) em pousio por dois anos, e a área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) com aração e gradagem, são ambientes em degradação, e se distancia da área de Mata Nativa (AMN). Solos sob pomar (AP) devido à maior deposição aporte orgânico (via serapilheira), fezes de animais e uso do rejeito do desalinizador, propiciou um ambiente favorável a química e matéria orgânica do solo. O uso do solo com o sistema agroecológico (AAG) no manejo da caatinga mostrou-se favorável a sustentabilidade agrícola, pois mesmo após nove anos de cultivo, não houve alterações tão significativas com relação à vegetação original, se, comparado a outros sistemas, o que mostra que esta buscando estabelecer um novo estado de equilíbrio, especialmente, na camada superficial do solo.

6. CONCLUSÕES

1. Os atributos químicos (P, K⁺ e Ca⁺²) e frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica foram bons indicadores na diferenciação dos ambientes, todavia, os mais sensíveis foram carbono lábil e índice de manejo do carbono.
2. A área agroecológica (AAG) manteve condição semelhante da mata nativa quanto as frações de carbono lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica, atingindo inclusive um índice de manejo do carbono de 111.
3. Independentemente dos diferentes usos agrícolas e métodos de manejo do solo, o maior efeito nas propriedades físicas do solo foi observado na área coletiva com preparo do solo convencional em cultivos consorciados (APC) para os atributos densidade do solo e resistência a penetração.
4. As áreas estudadas apresentaram reação neutra a alcalina, sem a presença de Al⁺³ e H+Al, e sem elevada salinidade.
5. O maior aporte de material orgânico na área de pomar (AP) favoreceu aumento dos teores de P, Ca⁺² e K⁺ no solo, e da resistência à penetração e redução nos teores de Mg⁺²

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adriana, G.; Artur, A.G.; Oliveira, D.P.; Costa, M.C.G.; Romero., R.E.; Silva, M.V.C.; Ferreira, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* Campina Grande, v.18, n.2, p.1416149, 2014.

Almeida, J. R. C. Atributos de qualidade física, química e biológica do solo sob diferentes sistemas de uso em ambiente semiárido da Bahia. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas, BA, UFRB, 2010. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias).

Altieri, M. A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 3.ed. Rio Grande do Sul: UFRS, 2001. 110 p.

Altieri, M.A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. Colorado: Westview Press, Boulder, 1987

Alvarez V., V.H.; Novais, R.F. de; Barros, N.F. de; Cantarutti, R.B.; Lopes, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais ó 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.: il cap. 5, p. 25-32

Alves, J. J. A; Araújo, M. A; Nascimento, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.

Andrade, F.V.; Mendonça, E.S.; Alvarez V., V.H. & Novais, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.1003-1011, 2003.

Andreola, F.; Costa, L.M.; Mendonça, E.S.; Olszewski, N. propriedades químicas de uma terra roxa estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.609-620, 2000

Araújo Filho, J. A. Histórico de uso dos solos na caatinga. In. ARAUJO, Q. R. 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus: Editus, p. 329-338, 2002.

Araújo Filho, J.A.; Campanha, M.M.; França, F.M.C.; Silva, N.L.; Sousa Neto, J.M. Sistema de produção agrossilvipastoril no semiárido do Ceará. 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions August 16 - 20, 2010, Fortaleza - Ceará, Brazil

Araújo, S.M.S. A região Semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. *Rios Eletrônica* ó 5 n. Dezembro de 2011.

Assis, C.P.; Oliveira, T.S.; Dantas, J.A.N.; Mendonça, E.S. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 138, p.74- 82, 2010.

Azooz, R.H.; Arshad, M.A.; Franzluebbers, A.J. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in northwestern Canada. *Soil Science Society American Journal*, v. 60, p.119761201, 1996.

Barbosa, D. V. N. Os impactos da seca de 1993 no Semiárido Baiano: caso de Irecê. Salvador: SEI, 2000 (Séries estudos e pesquisas, 51).

Barreto, A.C.; Lima, F.H.S.; Freire, M.B.G.S.; Araújo, Q.R.; Freire, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. *Revista Caatinga*, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

Bayer, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul ó UFRGS, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo).

Beltrão, N. E. de M., Cartaxo, W.V., Pereira, S.R.P., Soares, J.J., Silva, O.R.R.F.O cultivo sustentável da mamona no Semi-árido Brasileiro. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2005. 23 p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 84).

Bernardi, A.C.C.; Machado, P.L.O.A.; Madari, B.E.; Tavares, S.R.L.; Campos, D.V.B.; Crisóstomo, L.A. Carbon and nitrogen stocks of an arenosol under irrigated fruit orchards in Semiarid Brazil. *Scientia Agricola*, v.64, n.2, p.169-175, 2007.

Bertol, I.; Almeida, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24. p. 657-668, 2000.

Blair, G.J.; Lefroy, R.D.B.; Lisle, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal Agriculture Research*, v.46, p.1459-1466, 1995.

Blair, N., Crocker, G.J. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 38, 71684, 2000.

Briedis, C. *et al.* Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. *Geoderma*, v. 170, n. 1, p. 80688, 2012.

Caporal, F. R. & Costabeber, J. A. Análise multidimensional da sustentabilidade: uma proposta metodológica a partir da Agroecologia. *Agroec. e Desenv. Rur. Sustentável*, 3:70-83, 2002.

Caporal, F. R. & Costabeber, J. A. Segurança alimentar e agricultura sustentável: uma perspectiva agroecológica. *Ciênc. & Amb.*,1:153-165, 2003.

Carvalho, J.L.N.; Cerri, C.E.P.; Feigl, B.J.; Píccolo, M.C.; Godinho, V.P.; Cerri, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 103, p. 342-349, 2009.

Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

Chen, B. Francia, M. Li, B. Mckinnon, and A. Seker. Shared information and program plagiarism detection. *IEEE Trans. Information Theory*, 7:154561550, 2004.

Coelho, G.F.; Gonçalves Jr., A.C.; Seidel, E.; Carvalho, E.A. ; Schwantes, D. Avaliação da granulometria dos solos de sete municípios da região Oeste do Paraná. *Synergismus scyentifica*, Pato Branco, v.4, 2009.

Conceição, P.C.; Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Spagnollo, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

Conte, O.; Flores, J.P.C.; Cassol, L.C.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C.F.; Levien, R.; Wesp, C.L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa. Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.46, n.10, p.1301-1309, 2011.

Correa, M.M.; Ker, J.C.; Mendonca, E.S.; Ruiz, H.A.; Bastos, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza-PB. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.27, p. 311-324, 2003.

Corrêa, J.C.; Mauad, M. & Rosolem, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 1231-1237, 2004.

Corrêa, A. C. de B.; Silva, D. G. da e Melo, J. S. Utilização dos depósitos de encostas dos brejos pernambucanos como marcadores paleoclimáticos do Quaternário tardio no semi-árido nordestino. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 07, número 14, 2008, p: 99-125

Corrêa, R. M.; Freire, M. B. G.; Ferreira, R. L. C.; Freire, F. J. F.; Pessoa, L. G. M.; Miranda, M. A.; Melo, D. V. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.305-314, 2009.

Costa, F. S.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C. ; Fontoura, S. M. V. & Wobeto, C. Propriedades físicas de um Latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p.527-535, 2003.

De Luca, T.H. Relationship of 0,5 M K₂SO₄ extractable anthrone-reactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.30, p.1293-1299, 1998.

De-Polli, H. & Guerra, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Gênese, p.389-412, 1999.

Diekow, J.; Mielniczuk, J.; Knicker, H.; Bayer, C.; Dick, D.P.; Kögel-Knabner, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research*, v.81, p.87-95, 2005.

DNOCS. Plano diretor para o aproveitamento dos recursos de solo e água do Vale do Apodi - Rio Grande do Norte. São Paulo, Hidroservice/Ministério do Interior/DNOCS (3ª Diretoria Regional), 1978. v. I. Tomo 1.

Donagema, G. K.; Campos, D. V. B.; Calderano, S. B.; Teixeira, W. G. & Viana, J. H. M. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

Feigl, B.J.; Sparling, G.P.; Ross, D.J. et al. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 27, n. 11, p. 1467-1472, 1998.

Fernández-Escobar, R.; Benlloch, M.; Barranco, D. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*, v. 66, p. 191- 200, 1996.

Fernández, X. S. & Garcia, D. D. Desenvolvimento rural sustentável: uma perspectiva agroecológica. *Agroec.e Desenv. Rur. Sust.* 2:17-26. 2001.

Ferreira, M.M. Caracterização Física do Solo In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa: Física do Solo, 298 p.18-23. 2010.

Fialho, J.S; Gomes, V. F. F.; Oliveira, T. S.; Júnior, J. M. T. S. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, n.3, p.250-257, 2006.

Foloni, J. S. S.; Calonego, J. C.; Lima, S. L. Efeito da compactação no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.38, n.8, p.947-953, 2003

Fontana, A.; Pereira, M.G.; Anjos, L. H. C.; Santos, A. C.; Bernini, T. A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 2, p. 221-229, 2014.

Forsythe, W. Física de suelos: manual de laboratorio San José, Costa Rica: IICA, 1975. 212p

Fracetto, F.J.C.; Fracetto, G.G.M.; Cerri, C.C. Feigl, B.J.; Siqueira Neto, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v.36, n.5, p. 1545-1552, 2012.

Fraga, V.S. & Salcedo, I.H.. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society American Journal**, Madison, USA, v.68, p. 215-224, 2004.

Freitas, B. M. C. Marcas da agricultura no território do perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi: uma face da atual reestruturação socioespacial do Ceará. Fortaleza: UECE, 2010. Dissertação de mestrado

Gliessiman, S. R., Agroecologia y agroecosistemas. *Ciênc. & Amb.*, 1:107-120, 2003.

Gonçalves, J.L.M.; Firme, D.J.; Novais, R.F.; Ribeiro, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.107-111, 1985.

Guanziroli, C. E.; Buainain, A. M.; Sabbato A. Di & Biltencourt, G. Agricultura Familiar e Reforma Agrária no Século XXI. Rio de Janeiro, 2001. 284p.

Guerra, J.G.M.; Almeida, D.L.; Santos, G.A. & Fernandes, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, p.291-299, 1996.

Harrison, A.F. Soil organic phosphorus. Wallingford, CAB International, 1987. 257p.

Hickmann, C.; Costa, L.M.; Schaefer, C.E.G.R. Fernandes, R.B.A.; Andrade, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 128-136, 2012.

Huber, R.; Souza, B.S.P. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, p.269-277, 2013.

Jansen, H.H. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world? **Canadian Journal of Soil Science**, v. 85, Special Issue, p. 467-480, 2005.

Jesus, C.A.C. **Diagnóstico da agricultura agroecológica na mesorregião do agreste paraibano**. Universidade Federal da Paraíba ó UFPB, Areia, PB:, 2005. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

Klar, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

Juliano, C. C.; Munir, M, Ciro, A. R. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa agropecuária Brasileira*. Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004

Leite, L.F.C.; Mendonça, E.S.; Neves, J.C.L.; Machado, P. L. O. A.; Galvão, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p.821-832, 2003.

Lira, R.B.; Dias, N.S.; Alves, S.M.C.; Brito, R.F.; Sousa Neto, O.N. Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de

qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 18-24, jul-set., 2012.

Maggioni, A.; Varanini, Z. & Nardi, S. Action of soil humic matter on plant roots: Stimulation of ion uptake and effects on ($Mg^{2+} + K^+$) ATPase activity. *Science of the Total Environment*, v. 62, p. 355-363, 1987.

Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S. e Filho, J.A.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems*, v. 71, p. 127-138, 2007.

Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S. & Araujo Filho, J.A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, p. 837-848, 2006.

Majzik, A.; Tombácz, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions I. Interfacial and aqueous phase equilibria: Adsorption and complexation. **Organic Geochemistry**, v. 38, n. 8, p. 1319-1329, 2007.

Majzik, A.; Tombácz, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions II. Colloidal interactions: Charge state, dispersing and/or aggregation of particles in suspension. *Organic Geochemistry*, v. 38, n. 8, p. 1330-1340, 2007b.

Manly, B.F.J. *Multivariate statistical methods*. 2.ed. London, Chapman & Hall, 1994. 215p.

Marasca, I.; Gonçalves, F.C., Moraes, M.H., Ballarin, A.W.; Guerra, S.P.S.; & Lanças, K.P. Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em função dos sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.11, p.1160-1166, 2013.

Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. New York: Academic Press, 1995. 674p

Martins, C.M. Atributos de solos e sua relação com o processo de desertificação no semi-árido de Pernambuco. Universidade Federal Rural de Pernambuco ó UFRPE, Recife, PE, UFRPE, 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

Martins, C. M.; Galindo, I. C. D.; Souza, E. R.; Poroca, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa-MG, v.34, p.1883-1890, 2010.

Matias, M.C.B.S.; Salviano, A.A.C.; Leite, L.F.C.; Araújo, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do estado do Piauí. *Acta Amazônica*, v. 31, p. 517-521, 2009.

Matoso, S.C.G.; Silva, A.N.; Fiorelli-Pereira, E.C.; Colleta, Q.P.; Maia, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, v. 42, p. 231-240, 2012.

Mauri, J.; Ruiz, H.A.; Fernandes, R.B.A.; Ker, J.C.; Rezende, L.R.M. Dispersantes químicos na análise granulométrica de latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p.1277-1284, 2011.

Medeiros, J. C.; Albuquerque, J. A.; Mafra A. L.; Rosa, J. D.; Gatiboni, L. C. Calcium:magnesium ratio in amendments of soil acidity: nutrition and initial development of corn plants in a Hemic Alic Cambisol. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008

Medeiros, L.C.; Medeiros, B.V.V., Sobrinho, F.E.; Gurgel, M.T. Caracterização físico química de um Neossolo Litólico na região Seridó do RN. *Revista Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 9, n. 4, p. 1-7, 2013.

Melo, R.O.; Pacheco, E.P.; Menezes, J.C.; Cantalice, J.R.B. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de Caatinga. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 5 (Número Especial), p. 12-17, 2008.

Mendes, F. G.; Melloni, E. G. P.; Melloni, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

Mendonça, E.S. & Matos, E.S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

Menezes, RSC.; Sampaio, E.V.S.B.; Giongo, V.; Pérez-Marin, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology*, v. 12, n.3, p. 643-653, 2012.

Menezes, R.S.C. & Sampaio, E.V.S.B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semi-árido paraibano. In: SILVEIRA, L.M.; PETERSEN, P. & SABOURIN, E., orgs. *Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: Avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro, AS-PTA, p. 249-260, 2002.

Miotti, A.A.; Costa, M.C.G. Ferreira, T.O.; Romero, R.E. Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 536-545, 2013.

Moita Neto, J.M.; Moita, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, v.21, p.467-469, 1998.

Mota, J. C. A.; Júnior, R. N. de Assis.; Filho, J. A.; Libardi, P. L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na Chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32 no.1 Viçosa Jan./Fev. 2008

Nunes, R.S.; Lopes, A.A.C.; Sousa, D.M.G.; Mendes, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, p. 1407-1419, 2011.

- Oades, J.M. The retention of soil organic matter in soils. *Biogeochemistry*. v.5, p.35-70, 1998.
- Odaci, F. O. Aspectos da vegetação da caatinga. Simpósio sobre manejo de plantas espontâneas no semiárido. Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró RN. p 13-34, 2007
- Orlando Filho, J. O.; Bittencourt, V. C.; Carmello, Q. A. C.; Beauclair, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.
- Ortigara, C.; Koppe, E.; Luz, F.B.; Bertollo, A.M.; Kaiser, D.R.; Silva, V.R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38. p. 619-626, 2014.
- Paulus, G. & Schindwein. Agricultura sustentável ou (re) construção do significado de agricultura Agroec. e Desenv. Rural Sust. 2:44 - 51. 2001.
- Pinheiro, G.L.; Silva, C.A.; Furtini Neto, A.E. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentrações de C-ácido húmico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1217-1229, 2010.
- Pragana, R.B.; Nóbrega, R.S.A.; Ribeiro, M.R.; Lustosa Filho, J.F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 851-858, 2012.
- Primo, D.C.; Menezes, R.S.C.; Silva, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v. 7, n. 5, p. 2011-2023, 2011.
- Rangel, O.J.P.; Silva, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.
- Ribeiro, P. H.; Santos, J. V. V. M.; Coser, S. M.; Nogueira, N. O.; Martins, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. *Revista Verde*, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2011.
- Ribeiro Júnior, J.I.; Melo, A.L.P. Guia prático para utilização do SAEG. Viçosa-MG: UFV, 2008. 288p.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p.
- Rossi, C.Q.; Pereira, M.G.; Giácomo, S.G.; Betta, M.; Polidoro, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.
- Salcedo, I.H. & Sampaio, E.V.S.B. 2008. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: Santos, G.S.; Silva, L.S.; Canellas, L.P. & Camargo, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª Ed. Porto Alegre:Metrópole. p.419-441.

- Sampaio, E.V.S.B.; Costa, T.L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 6, p. 1275-1291, 2011.
- Santana, J.A.S.; Souto, J.S. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. *DESIA (Chile)*, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2011.
- Santos, J.O.; Santos, R.M.S.; Fernandes, A.A.; Souto, J.S.; Borges, M.G.B.; Ferreira, R.T.F., Salgado, A.B. Os sistemas alternativos de produção de base agroecológica. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 9, n. 1, p. 01-08, 2013.
- Schiavo, J.A.; Colodro, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Bragantia*, v. 71, n. 3, p.406-412, 2012.
- Schoenholtz, S.H.; Van miegroet, H.; Burger, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, v. 138, p. 335-356, 2000.
- Silva, J. E.; Lemainski, J.; Resck, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.
- Silva, M. B. *et al.* Estudo de topossequência da várzea litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 5, p. 965-976, 2001.
- Silva, I.R.; Mendonça, E.S. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1017, 2007.
- Silva, R. F.; Borges, C.D.; Garib, D.M.; Mercante, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 435-2441, 2008.
- Silva, L.S.; Camargo, A.O.; Ceretta, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). *Fundamentos de química do solo*, Porto Alegre: Evangranf, p.264, 2010.
- Silva, E.F.; Lourente, E.P.R.; Marchetti, M.E.; Mercante, F.M.; Ferreira, A.K.T.; Fujii, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.
- Singer, M.; Ewing, S. **Soil quality**. In: Sumner, M. E. (ed.). *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, p.271-298, 2000.
- Souza, Z. M.; Alves M. C. Movimento de água e resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p. 18-23, 2003.

Souza, M. J. N. Compartimentação geoambiental do Ceará. Ceará: um novo olhar geográfico/organizadores, Borzacchiolo da Silva, Tércia Correia Dantas; Maria Salete de Sousa...[et al].Fortaleza: edições Demócrito Rocha,2005.

Sousa, S. M. S. C. Relações entre vegetação, relevo, fertilidade do solo e matéria orgânica em bacia hidrográfica de região semi-árida. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia, PB. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água).

Souza, E.D. de; Costa, S.E.V.G. de A.; AnghinonI, I.; Carvalho, P.C. de F.; Andrigueti, M.; Caio, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.1829-1836, 2009.

Souza, R.O. Caracterização etnopedológica em um Cambissolo eutrófico em diferentes usos agropecuários na chapada do apodi. Universidade Federal Rural do Semi ó Árido ó UFRSA, Mossoró, RN, UFRSA, 2014. 81p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Água e Solo).

Suguio, K. Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Editora Edgar Blücher, p. 317, 1973,.

Suguio, Kenitiro. Geologia Sedimentar. Editora Edgar Blücher LTDA. São Paulo, 2003.

Swift Bertol, I.; Schick, J.; Massariol, J.M.; Reis, E.F. & Dily, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ciência Rural, v. 30, p.91-95, 2000.

Swift, R.S. Sequestration of carbon by soil. Soil Science, v. 166, p. 858-871, 2001.

Tormena, C.A.; Barbosa, M.C.; Costa, A.C.S.; Gonçalves, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo de solo. Scientia Agrícola, v. 59, n.4, p. 795-801, 2002.

Tormena, C.A.; Roloff, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 20, p. 333-339, 1996.

Trevisan, R.; Mattos, M.L.T.; Herter, F.G. Atividade microbiana em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico coberto com aveia preta (*Avena* sp.) no outono, em um pomar de pessegueiro. Ciência Rural, Santa Maria, v. 7, n. 2, p.83-89, 2002.

UFC, Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza, 1993. 247p.

Vicini, L. Análise multivariada da teoria à prática. ó Monografia de especialização. Santa Maria : UFSM, CCNE, 2005. 215 p..

Vieira, F.C.B.; Bayer, C.; Zanatta, J.A.; Dieckow, J.; Mielniczuk, J.; HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 96, p. 195-204, 2007.

Vezzani, F.M. & Mielniczuk, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 213-223, 2011.

Virto, I.; Gartzia-Bengoetxea, N.; Fernández-Ugalde, O. Role of organic matter and carbonates in soil aggregation estimated using laser diffractometry. *Pedosphere*, v. 21, n. 5, p. 566-572, 2011.

Wendling, B.; Jucksch, I.; Mendonça, E.S. & Neves, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

Wick, B.; Kühne, R.F.; Vlek, P.L.G. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria. *Plant Soil*, v. 202, p. 97-107, 1998.

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