



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

WILNER VALBRUN

**ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO SOB DIFERENTES USOS DA TERRA
EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA**

FORTALEZA – CEARÁ

2018

WILNER VALBRUN

**ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO SOB DIFERENTES USOS DA TERRA
EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo de solo e da água.

Orientadora: Prof^a. Ph.D. Eunice Maia de Andrade.

FORTALEZA – CEARÁ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- V235e Valbrun, Wilner.
ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO SOB DIFERENTES USOS DA TERRA EM
FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA / Wilner Valbrun. – 2018.
83 f. : il.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade .
1. Classe de solos. 2. Semiárido. 3. Bioma Caatinga. I. Título.

CDD 631.4

WILNER VALBRUN

**ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO SOB DIFERENTES USOS DA TERRA
EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo de solo e da água.

Aprovada em: 28/02/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Ph.D. Eunice Maia de Andrade (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Lindbergue Araújo Crisostomo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

A Deus;

A meus pais, Antoine Valbrun e Rose-Marie

Jean Baptiste.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar comigo, pela força, coragem e por não me deixar fraquejar nas horas difíceis;

A minha família, pais, irmãos, irmãs, primos e primas pelos ensinamentos, educação, força e compreensão. Sempre acreditaram que esse sonho seria possível e me ensinaram a perseguir meus ideais com dedicação;

À Universidade Federal do Ceará, especialmente ao Centro de Ciências Agrárias e Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade oferecida à realização deste Curso;

Ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro;

Ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) pelo apoio financeiro;

À minha orientadora, Prof^a. Ph.D. Eunice Maia, de Andrade, pelos ensinamentos prestados, pela paciência, simpatia, disponibilidade, apoio e dedicação prestados durante a realização deste trabalho. Muito obrigado!

Aos professores participantes da banca examinadora Ph.D. Professora Eunice Maia de Andrade, Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa e Dr. Lindbergue Araújo Crisostomo, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões;

À minha namorada Yvrose Brutus, pelo companheirismo, coragem e positividade para a concretização deste desafio;

A coordenadora do Departamento de Ciência do Solo, Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, pelo encorajamento, por tirar minhas dúvidas e conselhos desde os tempos do primeiro semestre do Curso de Mestrado;

A Dra. Aldênia Mendes Mascena de Almeida, pelo apoio, pelas colaborações e atenção dispendida durante a condução deste trabalho;

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo por todos os ensinamentos prestados, orientações e pela fundamental contribuição na minha vida profissional;

Aos colegas pós-graduandos em especial, Lucas Sousa de Oliveira, José Israel Pinheiro, Acrisio, Luan Alves Lima, Frédson Bezerra Lopes, Eldir Bandeira, José Bandeira Brasil, Gilberto Quevedo Rosa, Diego Antunes, Úrsula Barroso Prado, Janaína, Fernanda Helena e Givanilson Rodrigues, pela amizade, pelo apoio, pelas reflexões, sugestões recebidas, conhecimentos transmitidos e ensinamentos compartilhados durante a realização deste trabalho;

A todos que fazem parte do grupo de Pesquisa de Manejo de Solo e Água no Semiárido – MASSA;

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial a Edilson, Marilena, Camile e Deyse pela disponibilidade, simpatia e gentileza.

A Mônica da Silva Santana, Rolff Vladimir Mitton, Eurileny Lucas de Almeida e Dr. Ramon Costa, pelos conhecimentos transmitidos e por tirarem minhas dúvidas, por menor que fossem, nos momentos que mais precisei;

A todos que de alguma forma me apoiaram, torceram por mim, e deram palavras de força (vai dar certo) e contribuíram para concretização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

“Paciência e perseverança tem o efeito mágico de fazer as dificuldades desaparecerem e os obstáculos sumirem” (John Quincy Adams)

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica a nossa ignorância” (John Fitzgerald Kennedy).

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não o que deveria ser, mas graças a Deus não sou o que eu era antes (Martin Luther king).

RESUMO

O bioma Caatinga pode ser um depósito significativo de carbono que ainda é pouco conhecido e explorado, considerando suas características peculiares de vegetação e de clima. Com base nisso, aventou-se a hipótese de que os solos de Floresta Tropical Sazonalmente Seca (caatinga) apresentam estoque de carbono e nitrogênio distintos em função do uso da terra. Sendo assim, o objetivo geral do presente estudo foi analisar o efeito das mudanças no uso da terra sob os Estoques de Carbono Orgânico Total (EST.COT) e Nitrogênio Total (EST.NT) em solos de Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) no semiárido brasileiro. O estudo foi conduzido em três sítios localizados nos municípios de Pentecoste, Piquet Carneiro e Quixadá, Ceará, Brasil, nas duas classes de solo mais representativas da região estudada: NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico. As amostras dos solos foram coletadas em trincheiras com dimensões de 70 x 70 cm, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-80 cm ou até a camada de impedimento se a mesma estivesse a menos de 80 cm de profundidade, em quatro usos de solos: caatinga densa (CD), caatinga aberta (CA), agricultura (AG) e pastagem (PA). Foram avaliados os seguintes atributos do solo: densidade aparente do solo, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação C:N, EST.COT e EST.NT. Os dados foram submetidos à análise de teste de média e comparados pelo teste Mann-Whitney ($p \leq 0,05$). Para entender o comportamento dos atributos avaliados entre os usos da terra, empregou-se a técnica de análise multivariada, Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH). O emprego da AAH resultou na formação de 3 grupos distintos em ambas classes de solos investigadas. Os maiores valores médios de EST.COT e EST.NT na classe de LUVISSOLO e NEOSSOLO foram registrados no grupo 3, oriundo da combinação de uso da terra e profundidade (CD 0-10 e CA 0-10cm) e (CD 0-10, CA 0-10 e PA 0-10cm), respectivamente. Os valores de EST.COT e EST.NT foram 11,29 Mg ha⁻¹ e 3,36 Mg ha⁻¹ para o LUVISSOLO CRÔMICO e 8,68 Mg ha⁻¹ e 0,68 Mg ha⁻¹) para o NEOSSOLO LITÓLICOS. Os maiores estoques de COT e NT estão associados aos solos profundos e bem drenados, sendo os maiores EST.COT e EST.NT foram encontrados na classe de LUVISSOLO CRÔMICO quando comparado com a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS. As mudanças nos usos da terra na FTSS mostraram efeitos sob EST.COT e EST.NT. Portanto, é necessário adotar estratégias e fortalecer práticas conservacionistas nas áreas mantidas sob usos de agricultura e pastagem, e reduzir o processo de degradação e promover o processo de recuperação dessas áreas. Tais ações reduzirão as perdas de C e N e incrementam as teores e estoques de COT e NT.

Palavras-chave: Classe de solos. Semiárido. Bioma Caatinga.

ABSTRACT

The Caatinga biome is a significant carbon deposit that is still poorly known and exploited, considering its peculiar characteristics of vegetation and climate. Based on this, the hypothesis has suggested that the soils of Seasonally Dry Tropical Forest (caatinga) present different carbon and nitrogen stocks due to land use. The general objective of the present study was to analyze the effect of changes in land use under Total Organic Carbon Stocks (EST.COT) and Total Nitrogen (EST.NT) in Seasonally Dry Tropical Forest Soils (FTSS) in the Brazilian semi-arid. The study was conducted in three sites located in the municipalities of Pentecoste, Piquet Carneiro and Quixadá, in the two most representative soil classes of the studied region: Entisols and Alfisols in the backwoods of Ceará, Brazil. Soil samples were collected in trenches measuring 70 x 70 cm at the following horizons: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 and 60-80 cm or until the bedrock was reached (in the event that it was less than 80 cm deep), in four uses of soils: dense caatinga (DC), open caatinga (OC), agriculture (AG) and pasture (PA). The following soil attributes were evaluated: soil bulk density, total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), C:N ratio, EST.TOC and EST.TN. The data were submitted to the mean test analysis and compared by the Mann-Whitney test ($p < 0.05$). To understand the behavior of the evaluated attributes among land uses, the technique of multivariate analysis, Hierarchical Cluster Analysis (HCA) was used. The use of (HCA) resulted in the formation of 3 distinct groups in both classes of soils investigated. The highest values of EST.TOC and EST.TN in the class of Alfisols and Entisols lithic were recorded in group 3, from the combination of land use and horizon (CD 0-10 and CA 0-10cm) and (CD 0-10, CA 0-10 and PA 0-10cm), respectively. The values of EST. TOC and EST. TN were 11.29 Mg ha⁻¹ and 3.36 Mg ha⁻¹ for the Alfisols and 8.68 Mg ha⁻¹ and 0.68 Mg ha⁻¹) for Entisols. The largest stocks of TOC and NT are associated with deep and well drained soils, being the largest values of EST.TOC and EST.TN were found in the Alfisols class when compared to the Entisols class. The changes in land use in the FTSS showed effects under EST.TOC and EST.TN. Therefore, it is necessary to adopt strategies and strengthen conservation practices in the areas under agriculture and pasture uses, and reduce the degradation process and promote the recovery process of these areas. Such actions will reduce C and N losses and increase the TOC and TN contents and stocks.

Keywords: Soil class. Semi-arid. Caatinga biome.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delimitação da Caatinga do semiárido brasileiro.....	20
Figura 2 - Localização dos sítios de estudo.....	29
Figura 3 - Altura pluviométrica total anual no município de Pentecoste, Ceará nos anos de 1974 a 2016	30
Figura 4 - Aspecto da vegetação predominante no sítio FEVC durante a estação chuvosa (4A) e seca.....	31
Figura 5 - Distribuição anual da precipitação pluvial no município de Piquet Carneiro, Ceará nos anos de 1974 a 2016.....	34
Figura 6 - Distribuição anual da precipitação pluviométrica no município de Quixadá, Ceará nos anos de 1974	38
Figura 7 - Coleta de amostra indeformadas (7A) e deformadas de solo efetuadas nos sítios estudados (7B).....	41
Figura 8 - Densidade do solo em camadas sob diferentes sistemas de usos da terra nas classes de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B) na região semiárida de Ceará	47
Figura 9 - Cascalho do solo em camadas de solos sob diferentes sistemas de uso da terra nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B) na região semiárida de Ceará	50
Figura 10 - Teores de COT em diferentes usos do solo em FTSS nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B)	51
Figura 11 - Nitrogênio total (NT) em camadas de solos sob diferentes usos da terra na região semiárida de Ceará nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B).....	54
Figura 12 - Relação C/N em camadas de solos sob diferentes usos na região semiárida de Ceará nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B).....	57
Figura 13 - Dendrograma das variáveis de estoque de COT e NT para os quatro usos da terra	60
Figura 14 - Dendrograma das variáveis de estoque de COT e NT para os quatro usos da terra	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos usos terra investigados	32
Tabela 2 – Características dos usos da terra investigados	35
Tabela 3 – Características dos usos da terra investigados	39
Tabela 4 - Coeficiente de aglomeração para a análise de agrupamento na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico	59
Tabela 5 - Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para os atributos de Estoque de COT e NT na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico.....	61
Tabela 6 - Coeficiente de aglomeração para a análise de agrupamento na classe de LUVISSOLO	63
Tabela 7 - Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para os atributos de estoque de COT e NT na classe de LUVISSOLO	64

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	17
2 - HIPÓTESES	19
3 - OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo Geral	19
3.1.1 Objetivos Específicos	19
4 - REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1. Bioma Caatinga	20
4.2. Características dos solos estudados (NEOSSOLOS Litólicos e LUVISSOLOS Crômicos)	23
4.3. Carbono Orgânico Total (COT)	25
4.4. Relação C/N do solo	27
5 - MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1. Localização e descrição das áreas experimentais	29
5.1.1. Sítio 1 – Fazenda Experimental Vale do Curu – FEVC	30
5.1.1.1. Usos da terra investigados	31
5.1.2. Sítio 2 – Piquet Carneiro (PC)	34
5.1.3. Sítio 3 – Quixadá (QD)	37
5.2. Amostragem dos solos	41
5.3. Determinações analíticas	42
5.3.1. Atributo físico do solo	42
<i>Densidade aparente do solo</i>	42
5.3.2. Atributos químicos dos solos	43
<i>Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total</i>	43
<i>Estoque Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT)</i>	44
6- ANÁLISE ESTATÍSTICAS	46
7- RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

7.1 Atributos físicos de solos.....	47
7.1.1. <i>Densidade aparente do solo</i>	47
7.1.2. <i>Cascalho do solo</i>	49
7.2. Atributos químicos	50
7.2.1. <i>Teores de COT</i>	50
7.2.3. <i>Teores de NT</i>	54
7.2.4. <i>Relação C/N do solo</i>	56
7.3. <i>Estoques de COT e NT</i>	59
7.3.1. <i>NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico</i>	59
7.3.2. <i>LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico</i>	62
8- CONCLUSÕES	68
9- REFERÊNCIAS	69

1 – INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera tem contribuído de forma expressiva com as mudanças climáticas (MORAIS, 2014). As alterações ocorridas no bioma Caatinga, historicamente decorrentes da ausência de técnicas conservacionistas do solo, têm contribuído para modificar a ciclagem biogeoquímica do carbono e nitrogênio (ARMORIM, 2009), dois elementos de grande importância que estão associados diretamente ao efeito estufa e às mudanças climáticas (GIONGO *et al.*, 2011).

Os ciclos globais do C e N estão relacionados às discussões sobre o efeito estufa, que é o termo comum que define o aquecimento da atmosfera devido à interação de certos gases como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e vapor d'água, com a radiação solar refletida na superfície terrestre. As atividades antrópicas têm causado a elevação da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, incluindo o CO₂. Dentre as principais causas antrópicas do aumento da concentração de CO₂ estão o uso de combustíveis fósseis, desmatamento e mudança no uso da terra (GHOMMEM *et al.*, 2012; LI; YANG, 2014). Entre os fatores responsáveis por essas mudanças, o desmatamento contribui com cerca de 25% das emissões anuais dos gases no globo (PALVA; FARIA, 2007).

No Brasil, as emissões de CO₂ oriundas de uso da terra e agropecuária, em 2012, representam cerca de 52% do total das emissões (MTC, 2014). Em Minas Gerais o desmatamento e mudanças do uso do solo respondem por 54% das emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2010). Por esse motivo, o estudo do ciclo do carbono torna-se cada vez mais necessário, principalmente em biomas pouco conhecidos como o é o caso de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) - Caatinga.

A Caatinga está entre os biomas brasileiros mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas, pois o aumento da temperatura, os tipos de solos e as irregularidades climáticas têm afetado fortemente os processos biogeoquímicos (NOBRE, 2011). Segundo esse mesmo autor, além destes fatores, a intensificação das ações antrópicas como a remoção da vegetação nativa, aumenta a pressão sobre os solos e a biota do semiárido nordestino, aumentando os riscos de desertificação de algumas áreas.

As mudanças de uso e ocupação do solo no semiárido brasileiro, onde se localiza a FTSS – Caatinga, têm levado a degradação dos recursos naturais, com declínio principalmente na fertilidade do solo. Segundo Souza (2012) a Caatinga pode ser um sumidouro significativo de carbono que ainda é pouco conhecido e explorado, haja visto as características peculiares da vegetação e do clima. O manejo convencional dos sistemas

agrícolas, aliado com a baixa produção de fitomassa na Caatinga, tem contribuído para reduzir os estoques de carbono e nitrogênio do solo no semiárido (SACRAMENTO, 2013). A entrada de carbono no ambiente semiárido por meio da fotossíntese depende primordialmente do tipo de cobertura e uso da terra, pois ambos influenciam diretamente na quantidade de resíduos orgânicos e na atividade microbiana no solo.

De acordo com Souza (2012), mesmo sob a condição de uso intenso, a Caatinga possui elevado poder de estoque de carbono no solo e detritos da parte aérea das árvores (serapilheira), apresentando variações no incremento do estoque dependendo diretamente da sazonalidade pluviométrica. A precipitação é o fator climático que interfere diretamente na produção de resíduos; no entanto, a distribuição temporal da precipitação, especialmente os dias secos consecutivos (SALGADO *et al.*, 2015) (DSC), acelera a senescência das folhas. O carbono estocado nos diversos manejos da caatinga é um indicativo de que a vegetação preservada ou em processo de restauração tem potencialidade de assimilar e reter carbono.

Segundo Gama Rodrigues *et al.* (2008) e Gentile (2011) a manutenção do carbono no solo está relacionada principalmente com a qualidade dos resíduos (relação C/N) e a proteção física dos agregados. A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um dreno natural do carbono (ALMEIDA *et al.*, 2010), o manejo da matéria orgânica em regiões semiáridas melhora a qualidade do solo e a produção dos sistemas. Segundo Lal (2011) o solo tem potencial de sequestrar carbono orgânico total, invertendo a tendência de emissão para atmosfera. Os solos com maior quantidade de C orgânico são, de forma geral, fisicamente mais estáveis do que os solos mais pobres em C (CONYERS *et al.*, 2015). A camada 0-10cm do solo armazena aproximadamente 2,2 trilhões de toneladas de carbono, três vezes mais que o nível atualmente contido na atmosfera (BUSTAMANTE *et al.*, 2012).

Pesquisas relacionadas à determinação do estoque de C e N no solo no semiárido brasileiro são ainda incipientes (GIONGO *et al.*, 2011; AQUINO *et al.*, 2017; PERREIRA JÚNIOR, 2016 e Sampaio; Costa, 2011). A região semiárida possui a maior variabilidade de solos do país (SAMPAIO, 2010) e lacunas de informações precisam ainda ser preenchidas. Para desenvolver práticas de manejo sustentáveis é necessário um conjunto de informações quanto aos efeitos no estoque de carbono e nitrogênio causados pela modificação no uso da terra nos diferentes tipos de solos. É importante analisar os solos do semiárido brasileiro e verificar a capacidade dos mesmos em estocar carbono e nitrogênio (GIONGO *et al.*, 2011).

2 - HIPÓTESES

Os solos de Floresta Tropical Sazonalmente Seca (caatinga) apresentam estoque de carbonos distintos em função do uso da terra.

A classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico favorece um maior aporte de estoque de carbono e nitrogênio em comparação com a classe de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico

3 - OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar o efeito das mudanças no uso da terra (caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem) sob os estoques de C e N nos solos em diferentes sítios de uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca (caatinga).

3.1.1 Objetivos Específicos

Quantificar a densidade do solo em NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico e LUVISSOLO crômicos sob diferentes usos do solo (caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem);

Quantificar os teores de carbono orgânico total (COT); matéria orgânica do solo (MOS) e, nitrogênio total (NT) em duas classes de solo (NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico) sob diferentes usos (caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem);

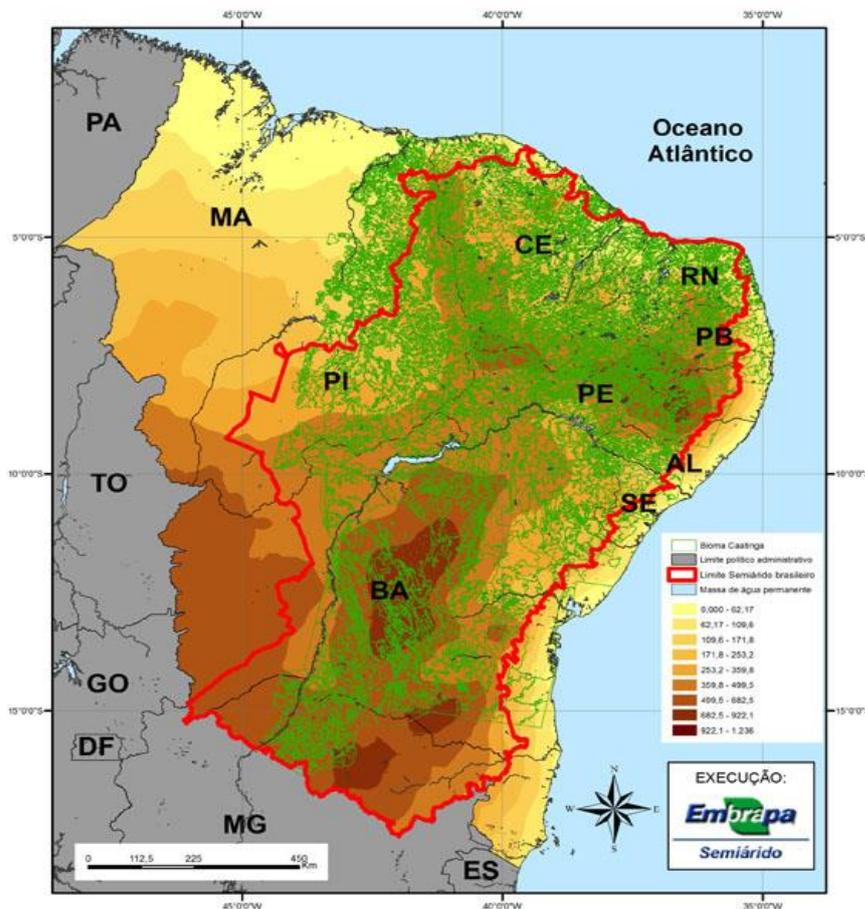
Determinar os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total presentes em solos submetidos a diferentes usos no bioma Caatinga.

4 - REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Bioma Caatinga

O Bioma Caatinga abrange uma área de aproximada de 844.453 km², que corresponde a 70% da região Nordeste do Brasil e 10% do território nacional (MMA/IBAMA, 2014). Esse é o principal bioma existente na região do Nordeste do Brasil, estendendo-se pelo domínio de climas semiáridos, fazendo-se presente nos estados da Bahia, Ceará, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe, Alagoas, Maranhão e norte de Minas Gerais (Figura 1) (RODRIGUES, 2012). Diversas denominações são encontradas na literatura para esse Bioma, dentre elas temos o Bioma Caatinga, o Domínio das Caatingas e Província das Caatingas (CASTRO; CAVALCANTE, 2010).

Figura 1- Delimitação da Caatinga do semiárido brasileiro



Fonte:(EMBRAPA, 2017).

A fauna e a flora da Caatinga apresentam propriedades diversas que lhes permitem viver em condições peculiares de clima, solo e vegetação (MAIA, 2012). A Caatinga é um tipo de formação vegetal com características bem definidas, como estratos vegetativos compostos por plantas caducifólias (folhas que caem durante a estação seca), gramíneas, herbáceas anuais, suculentas com acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de porte baixo, médio (3 a 7 metros de altura) e de porte alto mais de 10 m de altura e 50 cm de diâmetro (MAIA, 2004; SOUTO, 2006; RODAL *et al.*, 2008).

As plantas anuais, bromélias e as de um componente herbáceo (composta por gramíneas e dicotiledôneas) são outros complementos da composição botânica do bioma (SANTOS *et al.*, 2010). As diferentes formações de caatinga podem ser caracterizadas, em geral, como florestas de porte baixo, compreendendo principalmente árvores e arbustos que geralmente apresentam comportamento caducifólio e com presença de espinhos e microfilia, com presença de plantas suculentas e um estrato herbáceo efêmero, presente somente durante a curta estação chuvosa (CARDOSO, 2007).

A vegetação da caatinga constitui um rico ecossistema, com grande diversidade de espécies e elevada incidência de endemismo. Em recente levantamento florístico de todo o território brasileiro, o bioma Caatinga apresentou o total de 4322 espécies de plantas com sementes, sendo 744 endêmicas, o que corresponde a 17,2% do total de táxons registrados (FORZZA *et al.*, 2012). Essa vegetação é constantemente submetida a estresses ambientais e desenvolvem diferentes estratégias de sobrevivência para competir pelos recursos hídricos limitados presentes na região (DOMBROSKI *et al.*, 2011).

O bioma tem sido desmatado de forma acelerada, devido principalmente ao consumo de lenha, explorada de forma ilegal e insustentável para fins domésticos e industriais, além do superpastoreio e da conversão para o uso alternativo agrícola (MMA, 2014). Através do desmatamento e das queimadas das florestas que, contribuem para o aumento do efeito estufa, visto que liberam CO₂ na atmosfera, porém quando acontecem ações de preservação, conservação e plantio das florestas, ocorre o efeito inverso devido ao aparecimento de um sumidouro de carbono, uma vez que as florestas removem parte do CO₂ da atmosfera promovendo o chamando “sequestro de carbono” (SILVA *et al.*, 2008).

Dentre as alternativas de manejo sugeridas para a região nordeste, tem-se o raleamento. Esta técnica consiste no controle seletivo de espécies lenhosas, por meio da qual se elimina da vegetação alguns indivíduos arbustivo-arbóreos, reduzindo a densidade de plantas e a cobertura do solo pelo estrato lenhoso (PIMENTEL, 2010; PALÁCIO *et al.*, 2013).

No tocante à remoção seletiva de árvores e arbustos por meio do raleamento, esse

manejo é pensado com o intuito de melhorar o processo de colonização, reduzindo a competição por água, luz e nutrientes, abrindo mais espaço para o crescimento de espécies herbáceas de pequeno porte) (SAVADOGO *et al.*, 2008; ARAÚJO FILHO, 2002). Segundo Aquino *et al.* (2017) a prática de raleamento favoreceu o incremento de carbono ao longo do perfil de profundidade do solo oriundo de resíduos orgânicos de espécies vegetais.

A região caracteriza-se por uma forte irregularidade da precipitação pluviométrica, com uma alta variabilidade espacial e temporal, intra e interanual (ANDRADE *et al.*, 2016). Se distingue pela frequente ocorrência de anos secos e de dias secos consecutivos durante a estação chuvosa, caracterizando a vulnerabilidade da agricultura de sequeiro (ANDRADE *et al.*, 2016). Segundo os mesmos autores, a ocorrência do evento dia consecutivo seco independe da precipitação total anual, pois vários postos no estado do Ceará com precipitações pluviométricas anuais superiores à média do estado apresentaram potencial à ocorrência de dia seco consecutivo.

A estação chuvosa apresenta uma duração de dois a três meses, sendo raramente superior a quatro meses (ANDRADE, 2016). A escassez hídrica do semiárido não está ligada somente ao regime pluviométrico da região, mas também a outros fatores determinantes tais como: alta demanda evaporizada pelo excesso de energia solar disponível, solos rasos, retirada da cobertura vegetal natural e organização social. O manejo intenso dos fatores solos e cobertura vegetal desorganiza o arranjo da estrutura dos recursos naturais, comprometendo a produção de alimentos para as comunidades rurais principalmente as de menor poder econômico (ANDRADE, 2016).

O uso da terra para pastagem e agricultura tem intensificado a erosão e o aumento no déficit hídrico do solo, pois a exposição do solo favorece a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, aumentando o escoamento e reduzindo a infiltração da água (GALINDO *et al.*, 2007).

De acordo com ANDRADE *et al.*, 2010, em áreas do semiárido com topografia íngreme, há predomínio de alguns centímetros de solo depositado sobre a rocha mãe, caracterizando solos rasos, tipos dos Neossolos. Os solos da caatinga, geralmente, são pouco profundos, de baixa permeabilidade, baixo teor de matéria orgânica, mas relativamente férteis. A fertilidade baseia-se na sua alcalinidade e riqueza em bases, portanto, os métodos empíricos de exploração destes solos deveriam estar fundamentos no menor distúrbio possível de meio biológico e reforçando-se o aporte de matéria orgânica, pela manutenção de uma cobertura viva, formada por plantas fixadoras de nitrogênio e uma cobertura morta oriunda de restolhos culturais, esterco e fontes diversas de adubação verde (DUQUE, 2004 a; 2004 b).

A distribuição de classes de solos no semiárido é bastante diversificada devido ao seu processo de formação. Há dois principais tipos de formações geológicas nessa área: uma formação sedimentar e outra cristalina. Os solos sedimentares são antigos, intemperados, profundos e bem drenados, enquanto que os solos do cristalino são derivados do antigo escudo cristalino pré-cambriano que foram expostos à erosão geológica e possuem diferentes graus de intemperização e profundidades (SILVA *et al.*, 1993 *apud* SAMPAIO, 2010). Pela ocorrência de eventos tão distintos na formação dos solos, a região semiárida é recoberta por quinze classes de solos diferentes, sendo que as principais classes, que recobrem 86% do Semiárido, são: os PLANOSSOLOS HÁPLICOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, LUVISSOLOS CRÔMICOS, ARGISSOLOS, LATOSSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS (ARAÚJO FILHO, 2013; PEREIRA FILHO e BAKKE, 2010).

No Estado do Ceará, a exemplo do que ocorre em grande parte do território brasileiro, existe uma grande diversidade de classes de solos, os quais se destacam como um reflexo direto das condições geoclimáticas. Cabe ressaltar, entretanto, que 75% da superfície total do estado está inserida dentro da zona “semiárido”. Neste ambiente, as condições climáticas são marcadas pelos baixos índice de pluviosidade, elevadas temperaturas, altas taxas de evaporação e forte insolação, o que condiciona a ocorrência de determinadas classes de solos, tidas as mais características do semiárido Cearense (ROMERO; FERREIRA, 2016).

As classes de solos mais comuns são os sedimentares, arenosos ou origem arqueana, pertencentes às associação Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênico, Luvisolos Crômicos, Argissolos e Planossolos Hápticos (ARAÚJO FILHO, 2013; PEREIRA FILHO; BAKKE, 2010 e ANDRADE *et. al* 2016). Os NEOSSOLOS e LUVISSOS são pouco profundos e muito suscetíveis à erosão, no semiárido representam 19,2% e 13,3% da cobertura edáfica respectivamente (ARAÚJO FILHO, 2013; Embrapa, 2013).

4.2. Características dos solos estudados (NEOSSOLOS Litólicos e LUVISSOLOS Crômicos)

A classe dos NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, compreendem solos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando horizonte B diagnóstico. Os NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico apresentam horizonte A ou hístico, posicionado diretamente sobre a rocha, horizonte C ou Cr, ou sobre material constituído por fragmentos de rocha (horizonte AC), de textura areia ou areia franca em todos os horizontes até 150 cm de profundidade a partir da superfície ou até

um contato lítico e praticamente não apresentam minerais primários alteráveis. São rasos apresentando geralmente menos de 50 cm. Possuem fertilidade natural média, com pH variando de 5,0 a 6,5 (ARAUJO FILHO; SANTOS *et al.*, 2013; EMBRAPA, 2013).

Esses solos apresentam elevadas limitações ao uso agrícola e não agrícola, tais como: pequena profundidade efetiva e pequena capacidade de armazenamento de água, pedregosidade generalizada e alta suscetibilidade à erosão. Utilizado como substrato para pastagem natural e cultivos de subsistência em áreas planas, porém, em razão de suas limitações, sua indicação principal é para preservação ambiental. Estão presentes em terrenos acidentados, ocorrendo também em terrenos suave ondulados. Em geral ocorre em rampas muito inclinadas, áreas de relevo montanhoso, existindo também nas regiões semiáridas em relevos planos. No semiárido representam 19,2% da cobertura edáfica (ARAUJO FILHO, 2013; EMBRAPA, 2013; Oliveira, 2011; SANTOS *et al.*, 2013).

Enquanto a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, são solos rasos a pouco profundo, porém esta classe de solo tem solos mais profundos que a anterior, típico do ambiente semiárido, rico em bases e com argila de atividade alta, apresentando um acúmulo de argila em subsuperfície, caracterizado pelo horizonte Bt. Possui nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt em função da cor, textura e estrutura. Apresenta sequência de horizontes do tipo: A – E – Bt – C – R ou A – Bt – C – R. São solos muito ricos quimicamente, apresentando elevado potencial nutricional (ARAUJO FILHO, 2013; EMBRAPA, 2013; MARQUES *et al.*, 2014). Solo rico em nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), com reação variando de moderadamente ácida a neutra. Aqueles mais profundos podem ser irrigados com restrições. Apresenta expressiva presença de argilominerais do tipo 2:1, o que propicia o aparecimento de fendilhamento de alguns perfis nos períodos mais secos (ARAUJO FILHO, 2013; EMBRAPA, 2013; Oliveira, 2011; SANTOS *et al.*, 2013).

Presentes nas topografias planas e suavemente onduladas, representam 13,3 % da área do Semiárido, porém são amplamente utilizados na agricultura, entretanto, por uso indevido, 65% da área desse solo encontram-se erodidas. Como limitações ao uso apresentam alta suscetibilidade à erosão, pedregosidade superficial comum, pequena profundidade efetiva, consistência muita dura quando seco, e muito pegajosa quando molhada, e risco de salinização e de colonização. Utilizado para agricultura de sequeiro, pastagem, pecuária extensiva e preservação ambiental (ARAUJO FILHO, 2013; EMBRAPA, 2013; MARQUES *et al.*, 2014).

Segundo Seis; Paustian (2014), a argila é geralmente considerada um estabilizador importante que reduz a taxa de decomposição de matéria orgânica nos solos, enquanto Weil *et*

al. (2014), sugerem que o alto teor de argila acelera a decomposição de matéria orgânica fresca nos solos artificiais. No entanto, Wang *et al.* (2016), realizaram um trabalho sobre estoque de carbono orgânico e nitrogênio total sob diferentes usos da terra em uma área de restauração ecológica montanhosa do norte da China e encontram que o teor de argila era significativamente diferente nos usos da terra, mas não teve efeito significativo sobre concentrações de carbono orgânico e nitrogênio total no solo.

4.3. Carbono Orgânico Total (COT)

O carbono é o elemento químico fundamental dos compostos orgânicos que circulam através dos oceanos, da atmosfera e do solo. O carbono do solo pode estar na forma inorgânica (carbonato, bicarbonato e dióxido de carbono) e orgânico (polissacárido, ácidos graxos, aminoácidos, polifenóis, etc) (TITO *et al.*, 2009).

O carbono orgânico total (COT) é considerado como um importante componente do ciclo global do carbono (SELIM *et al.*, 2016) e pode estar presente no solo na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados ou materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral, ou como a porção viva, que é composta por raízes e pelos micros, meso e macrofauna. De acordo com Loum *et al.* (2014), o COT desempenha papel importante na qualidade do solo, influenciando a produção de plantas, bem como as propriedades físicas e biológicas dos solos.

Os maiores responsáveis pela entrada de carbono no solo são as plantas e animais mortos em decomposição (BRUCE *et al.*, 2010), e por isso a matéria orgânica tende a se concentrar nas primeiras camadas com cerca de metade do carbono orgânico presente nos primeiros 30 cm (IPCC, 2006). Segundo Aquino *et al.* (2017), os teores de COT e N total em área da caatinga conservada diminuíram significativamente com a profundidade.

O carbono passa de um compartimento a outro através de processos químicos, físicos e biológicos, pois o solo é um componente fundamental no processo de emissão e estoque de carbono. O estoque de carbono orgânico no solo, consiste na remoção do CO₂ da atmosfera e acumulação em polos de reserva de longo prazo (NAIR *et al.*, 2009). Em escala global, há mais carbono nos solos (1720 Pg C), em relação ao presente na atmosfera (740 Pg C) (ROSA *et al.*, 2014).

Segundo Montero (2008) os principais fatores que determinam os teores de carbono do solo são: o clima (temperatura e precipitação), a textura e material parental do solo (que determinam o teor e tipo de minerais de argila) e os fatores bióticos (tipo de

vegetação e atividade da comunidade decompositora).

Em sistemas agrícolas, o estoque COT no solo é muitas vezes influenciado pelo manejo adotado, pois mudanças no uso da terra, principalmente na substituição florestas nativas para áreas agrícolas ou de pastagens, e vice-versa, causam alterações nos estoques de carbono e de nitrogênio no solo. Essa modificação depende do tipo de uso e das práticas de manejo utilizadas (MCT, 2010). Nas áreas agrícolas, a liberação do CO₂ ocorre com as queimadas de restos vegetais e durante o revolvimento do solo, pois com a maior entrada de oxigênio, aumenta a mineralização e a oxidação da matéria orgânica (ROSENDO; ROSA, 2012).

De acordo com Martin *et al.* (2016), a permanência do C no solo é mais duradoura que na biomassa vegetal, podendo ficar acumulado por décadas, fazendo com que o solo seja um excelente reservatório desse elemento. Além disso, o quantitativo de C acumulado no primeiro metro de solo, na maioria dos ecossistemas terrestres, é de cerca de 2 a 4 vezes maior que o C acumulado na vegetação (HOUGHTON *et al.*, 2007). Logo, o solo é o ecossistema terrestre que apresenta a maior capacidade de estocar uma quantidade significativa de C orgânico (KORKANÇ, 2014).

Geralmente os solos das regiões semiáridas apresentam, baixos estoques de carbono em decorrência, especialmente da limitada disponibilidade de água e reduzida produtividade primária. Condições extremas tornam as regiões semiáridas um ecossistema frágil e com solos suscetíveis à degradação pelo manejo intensivo das terras, superpastoreio e uso do fogo, reduzindo assim o potencial do solo em estocar carbono e matéria orgânica ao solo (LEITE *et al.*, 2010).

De acordo com Zils (2015), a MOS é considerada o maior reservatório de carbono da superfície terrestre, sendo composta por 48 a 58% deste elemento na qual é considerada um componente complexo e heterogêneo do solo. Para reduzir essa heterogeneidade, diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido utilizadas para separar e isolar frações da matéria orgânica e quantificar o C e N orgânico presente nos diferentes compartimentos (ZILS, 2015). Sousa *et al.* (2012) mostraram que os sistemas produtivos de pastagem intensa causam modificações nos solos, destacando a redução da matéria orgânica.

O termo matéria orgânica do solo (MOS) refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo organismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânico micro biologicamente e/ou quimicamente alteradas (MIELNICZUK, 2008). A MOS representa o principal reservatório de nutrientes para as plantas e os micro-organismos.

Portanto, os teores de MOS resultam de um equilíbrio dinâmico entre as taxas de adição e decomposição e podem ser indicadores do estado de preservação dos ecossistemas naturais e de agro ecossistemas (GAMA RODRIGUES *et al.*, 2008).

A MOS faz parte de um equilíbrio dos ciclos do carbono (C) e do nitrogênio (N) na qual seus conteúdos encontram-se estável em solos sob vegetação natural (BORTOLON *et al.*, 2009). A matéria orgânica é um componente importante em qualquer ecossistema terrestre, sendo responsável pela estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e atividades de biomassa microbiana (RIOS *et al.*, 2006).

4.4. Relação C/N do solo

A biomassa microbiana do solo exerce importante papel, pois atua principalmente na decomposição, mineralização e ciclagem de nutrientes e por isso, é considerado um excelente indicador biológico de qualidade (RAVINDRAN; YANG, 2015). Em decorrência da atividade biológica no material orgânico, o solo passa a conter, dois importantes elementos não existentes no material de origem do solo, carbono e nitrogênio. No entanto, de acordo com Castilhos (2006), os micro-organismos que atuam na degradação e mineralização da matéria orgânica competem pelos nutrientes, em suas funções enzimáticas, imobilizando em sua biomassa parte dos nutrientes essenciais. Logo parte do carbono encontrado no solo é utilizado no crescimento celular das bactérias como fonte de energia, enquanto parte de nitrogênio é aproveitado na síntese de proteína para estrutura celular dos micro-organismos.

Os processos de mineralização e imobilização de N são simultâneos e opostos no solo, onde, a dinâmica e intensidade relativa destes, depende da quantidade de N mineral no solo. O balanço líquido entre mineralização e imobilização é controlado por fatores ambientais como temperatura, umidade do solo, textura, pH e disponibilidade de N inorgânico. Outro fato a ser ressaltado é a qualidade dos resíduos que está sendo decomposto tal como predominância de frações facilmente decomponível e/ou recalcitrantes e a relação C/N do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O nitrogênio regula os processos de mineralização e imobilização do solo, o segundo processo ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso, a imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico. Os micro-organismos são os responsáveis por estes processos que resultam na formação da MOS (URQUIAGA *et al.*, 2010). Para Cantarella *et al.* (2007), a relação C/N ideal para formar a matéria orgânica estável do solo se encontra na faixa de 10 a 15.

A relação C/N é importante parâmetro, pois revela informações relacionadas com a taxa de decomposição, estoque de carbono e nitrogênio no solo e estabilidade estrutural do solo (FUENTES *et al.*, 2009). De acordo com Camargo *et al.* (2008) apesar do nitrogênio ocupar uma posição de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, este se apresenta com baixa disponibilidade em ecossistema naturais, decorrente de que cerca de 95% ou mais do nitrogênio do solo encontra-se complexado na forma orgânica, sendo somente uma pequena parcela mineralizada pela microbiota do solo em amônia e nitrato.

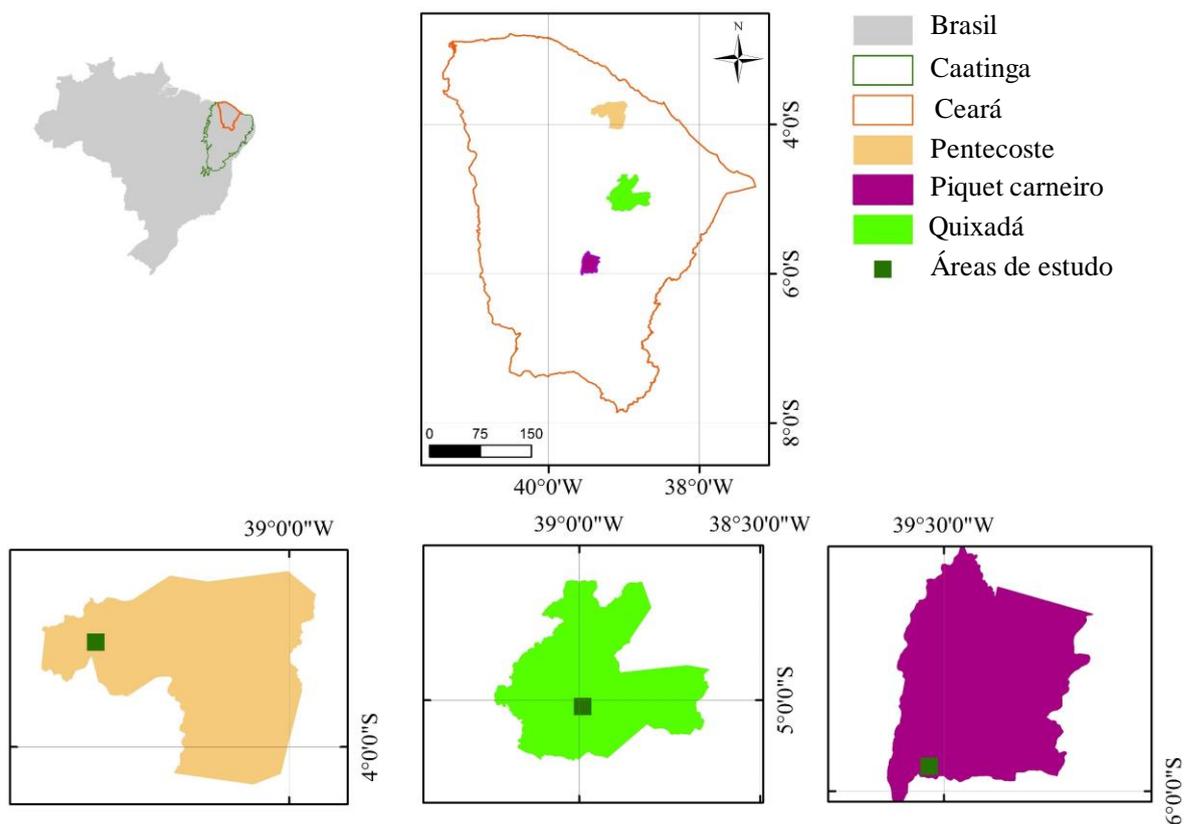
5 - MATERIAL E MÉTODOS

Neste item são descritas as áreas de estudo e as técnicas utilizadas para coleta, processamento e análise dos dados.

5.1. Localização e descrição das áreas experimentais

A pesquisa foi conduzida em três sítios localizados nos municípios de Pentecoste, Quixadá e Piquet Carneiro, os quais estão inseridos no semiárido cearense (Figura 2). A escolha desses sítios teve como requisito a presença do bioma Caatinga e as classes de solos de maior representatividade da região NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico. Em cada sítio foram selecionadas as áreas com caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem.

Figura 2- Localização dos sítios de estudo

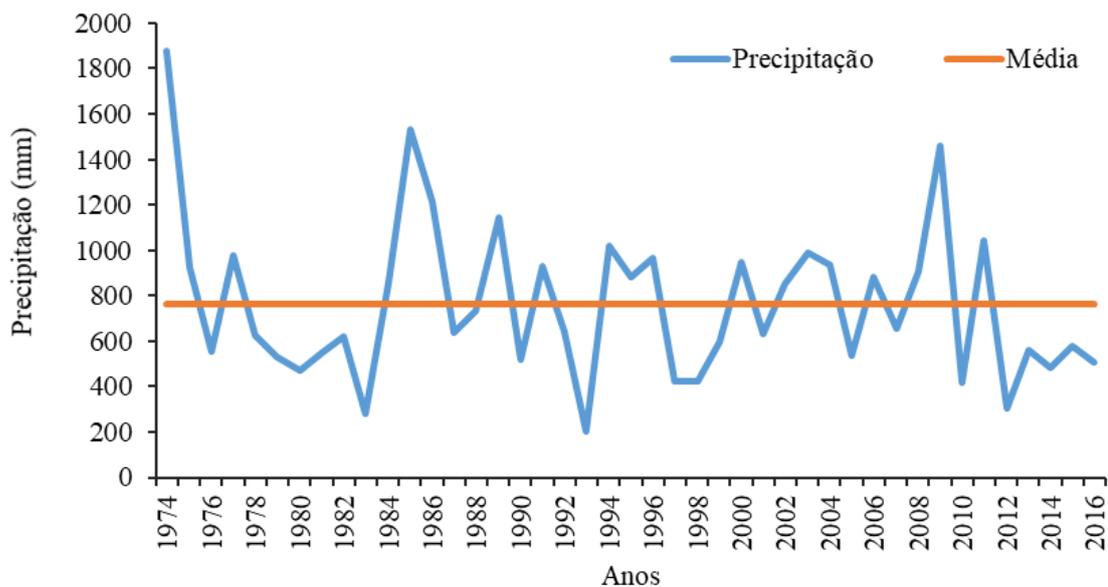


Fonte: elaborado pelo autor

5.1.1. Sítio 1 – Fazenda Experimental Vale do Curu – FEVC

A FEVC localiza-se no município de Pentecoste, (03° 47' 34" S e 39° 16' 13" W), sendo constituída por terras de domínio da União e estando sob responsabilidade da Universidade Federal do Ceará - UFC. O clima da região, segundo a classificação de Koppen é do tipo BSw'h', semiárido, seco, com chuvas de outono e temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C. A pluviosidade média anual da região, considerando o período de 42 anos (1974 a 2016), é de 763 mm. A região apresenta uma alta variabilidade da precipitação total anual (Figura 3), com registros superiores a 1800 mm/ano a 200 mm/ano.

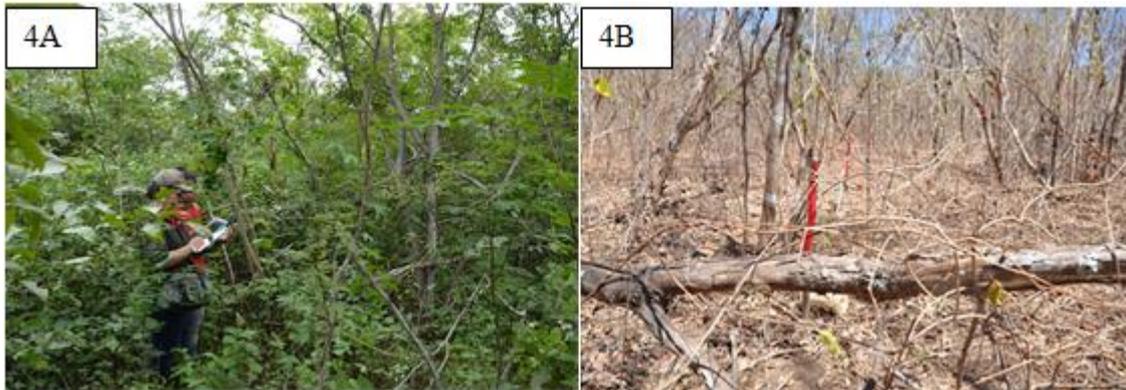
Figura 3- Altura pluviométrica total anual no município de Pentecoste, Ceará nos anos de 1974 a 2016



Fonte: elaborado pelo autor a partir do Banco de dados da FUNCEME

Os solos predominantes no sítio FEVC são os ARGISSOLOS, LUVISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS, tomando-se por base a classificação de solos proposta pela (EMBRAPA, 2013). A vegetação é representativa da floresta Caducifólia Espinhosa, da caatinga Arbustiva densa, da caatinga Arbustiva Aberta, e da floresta Mista Dicotilopalmácea (IPECE, 2016) (Figura 4).

Figura 4 - Aspecto da vegetação predominante no sítio FEVC durante a estação chuvosa (4A) e seca (4B)



Fonte: Andrade e Valbrun (2016)

5.1.1.1. Usos da terra investigados

Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão contidas as características dos usos da terra nos três sítios investigados.

Tabela 1- Características dos usos terra investigados

Município	Uso da terra	Classe de solos	Coordenadas	Espécies	Histórico do uso	Fotos do uso
Pentecoste	Caatinga densa	Neossolo Litólicos	3° 50' 3''S e 39° 21' 6''W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i>), sipaúba (<i>Thiloa glaucocapra</i>), pau branco (<i>Auxemma oncocalyx</i>) e maniçoba (<i>Manihot pseudoglaziovii</i>).	As áreas foram cercadas com fios de arrame para evitar a entrada de animais.	
		Luvissolo Crômicos	3° 48' 19"S e 39° 21' 03"W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i>), sipaúba (<i>Thiloa glaucocapra</i>), pau branco (<i>Auxemma oncocalyx</i>), mufumbo (<i>Combretum leprosum</i>), marmeleiro (<i>Cydonia oblonga</i>), jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i>), sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>) e tiririca (<i>Cyperus rotundus</i>).	Sempre foi área de caatinga, caprinos transitam pela área e há indícios de retirada de madeira.	
	Caatinga aberta	Neossolo Litólicos	3° 12' 6''S e 39° 21' 3''W	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i>), marmeleiro (<i>Cydonia oblonga</i>) e sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>).	A área apresentava-se em regeneração há 35 anos, sendo a mesma cercada para evitar a entrada de animais (Caprinos, ovinos e bovinos).	
		Luvissolo Crômicos	3° 48' 56"S e 39° 20' 50"W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i>), mufumbo (<i>Combretum leprosum</i>), marmeleiro (<i>Cydonia oblonga</i>), sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>) e tiririca (<i>Cyperus rotundus</i>).	Caatinga aberta com sinais de antropização (retirada madeira).	

Agricultura	Neossolo Litólicos	3° 47' 3'' S e 39° 19' 36'' W	-	A cultura geralmente trabalhada é o milho (<i>Zea mays</i>) de sequeiro. O manejo do solo empregado nessas áreas é o convencional, com realização de gradagem. Observou-se uma cobertura de bagana de coco na superfície do solo.	
	Luvissolo Crômicos	3° 48' 56'' S e 39° 20' 50'' W	-	A cultura geralmente trabalhada nessa área é Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) de sequeiro. A área vem sendo utilizada para agricultura há 15 anos.	
Pastagem	Neossolo Litólicos	3° 49' 48'' S e 39° 19' 36'' W	-	A área vinha sendo utilizada como pastagem há 20 anos.	
	Luvissolo Crômicos	3° 48' 56'' S e 39° 20' 50'' W	-	A vegetação nativa nestas áreas era de caatinga arbórea, porém foi realizado o corte raso e substituída por pastagem com gramíneas como capim-buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) e capimcorrente (<i>Urochloa trichopus</i> Stapf.) para alimentação dos animais domésticos.	

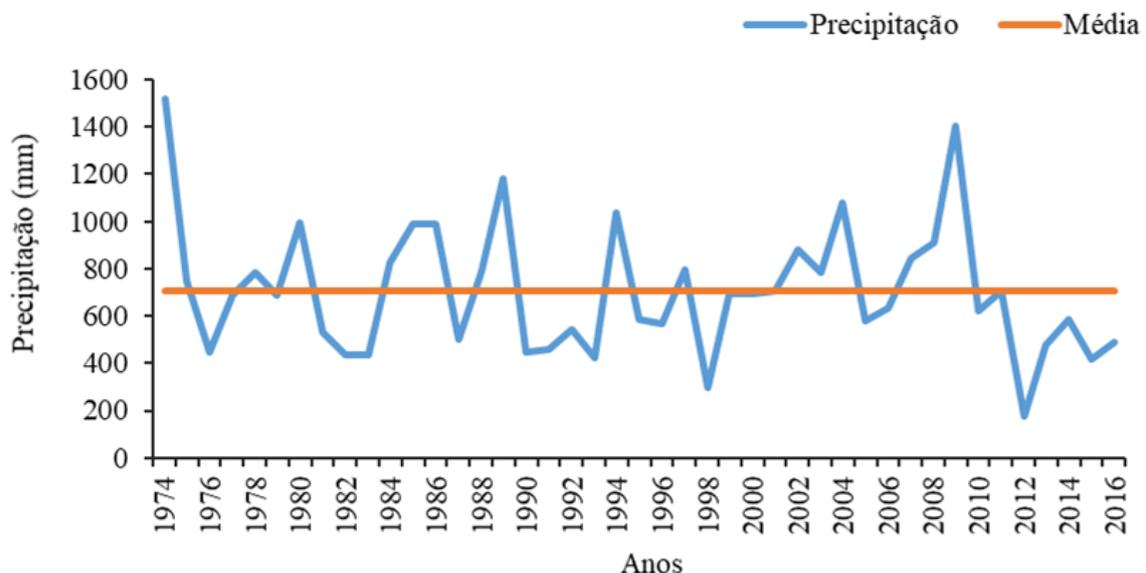
5.1.2. Sítio 2 – Piquet Carneiro (PC)

O sítio 2 está inserido na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe no município de Piquet Carneiro (CE), na meso região do Sertão Central, limitando-se ao norte com Senador Pompeu, ao leste com Deputado Irapuan Pinheiro, ao sul com Acopiara e oeste com Mombaça, tendo como coordenadas $04^{\circ} 14' 48''\text{S}$ e $40^{\circ} 38' 43''\text{W}$.

A vegetação predominante é caatinga arbustiva densa e floresta caducifolia espinhosa. No período seco a vegetação fica com aspecto cinzento e no chuvoso ela mostra toda a sua exuberância florística. O clima da região é semiárido, quente e seco. A temperatura média anual oscila entre 26 a 28 °C (IPECE, 2014). A pluviosidade média anual da região considerando o período de 42 anos (1974 a 2016) é de 706 mm, a distribuição anual das chuvas da média normal do período de 42 anos (Figura 5), expressando de forma bem definida os anos chuvoso e secos (FUNCEME, 2017).

Os solos predominantes neste sítio são os ARGISSOLOS, NEOSSOLOS, LUVISSOLO, NITOSSOLOS e LATOSSOLOS. No entanto, há outros tipos de solos ocupando menores dimensões. Os NEOSSOLOS LITÓLICOS eutróficos e distróficos são os mais comuns nas vertentes das serras mais secas em virtude da declividade e da pouca atuação do intemperismo químico, que dificultam a pedogênese (EMBRAPA, 2013).

Figura 5- Distribuição anual da precipitação pluvial no município de Piquet Carneiro, Ceará nos anos de 1974 a 2016



Fonte: elaborado pelo autor a partir do Banco de dados da FUNCEME

Tabela 2 – Características dos usos da terra investigados

Município	Uso da terra	Classe de solos	Coordenadas	Espécies	Histórico do uso	Fotos do uso
Piquet Carneiro	Caatinga densa	Neossolo Litólicos	5° 58' 45''S e 39° 30' 52''W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i>), maniçoba (<i>Manihot pseudoglaziovii</i>), jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i>), sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>) e Marmeleiro (<i>Croton blanchetianus</i> Bail.).	Foram compostos por áreas com vegetação natural em regeneração há mais de 30 anos e apresenta características de pedregosidade com rochas na superfície.	
		Luvissolo Crômicos	3° 48' 19"S e 39° 21' 03"W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tui), Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.), marmeleiro (<i>Cydonia oblonga</i>), Jurema preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> Willd.) e Mufumbo (<i>Combretum leprosum</i> Mart).	Caatinga totalmente fechada, sendo a mesma cercada para evitar a entrada de animais (Caprinos, ovinos e bovinos).	
	Caatinga aberta	Neossolo Litólicos	4° 59' 1''S e 5° 32' 48''W	Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>), marmeleiro (<i>Cydonia oblonga</i>) e jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i>).	Caatinga naturalmente aberta.	
		Luvissolo Crômicos	3° 48' 39"S e 39° 20' 57"W	Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>), marmeleiro (<i>Cydonia oblonga</i>), jurema branca (<i>Piptadenia stipulacea</i>) e jucá (<i>Caesalpinia férrea</i>).	Área com sinais de antropização (retirada de madeiras).	

Agricultura	Neossolo Litólicos	5° 58' 11''S e 39° 31' 3''	-	Não foi utilizado nenhum tipo fertilizante nessa área.	
	Luvissolo Crômicos	3° 48' 54"S e 39° 20' 45"W		A cultura geralmente trabalhada é o milho (<i>Zea mays</i>) de sequeiro. Não foi utilizado nenhum tipo fertilizante.	
Pastagem	Neossolo Litólicos	5° 58' 39''S e 39° 31' 4''W	-	A vegetação é gramínea como capim-buffel (<i>Cenchrus ciliaris L.</i>) e capimcorrente (<i>Urochloa trichopus Stapf.</i>) para alimentação dos animais domésticos.	
	Luvissolo Crômicos	5° 58' 40"S e 39° 31' 10"W	-	No momento da amostragem a vegetação estava seca.	

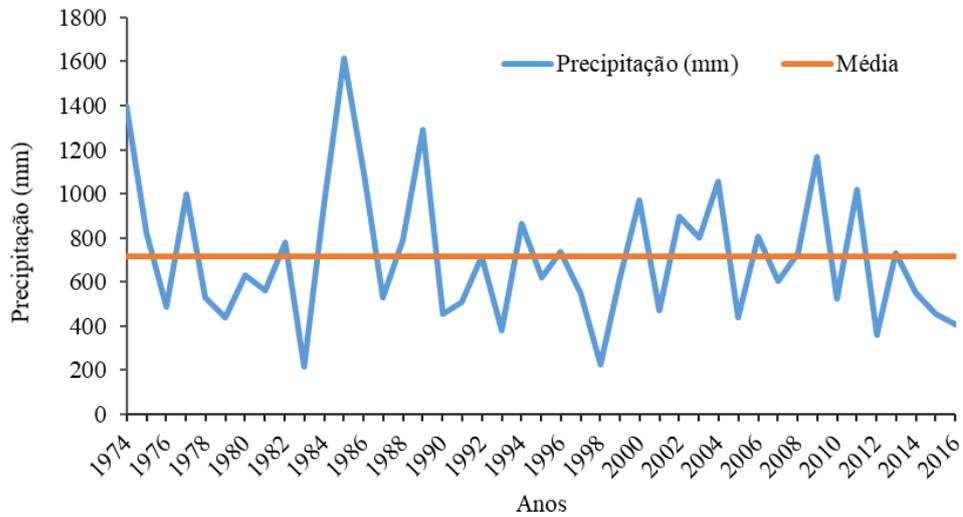
5.1.3. Sítio 3 – Quixadá (QD)

O Município de Quixadá, localizado na mesorregião do sertão central Cearense, corresponde a uma área de 2.019,82 km². Está inserido no domínio morfoclimático do semiárido caracterizado pela distribuição irregular das chuvas. O clima da região é do tipo BSw'h' quente e semiárido de acordo com a classificação climática de Köppen, com predomínio de duas estações climáticas ao longo do ano (SOUSA, 2010).

A pluviosidade média anual da região é de 717 mm, a distribuição anual das chuvas da média normal do período de 42 anos (Figura 6) expressado de forma bem definida o período mais chuvoso e menos chuvoso (FUNCEME, 2017). A temperatura média anual varia entre 26°C a 28°C. Como parte integrante das Depressões Sertanejas e Maciços Residuais, são encontrados na área monólitos que podem atingir altura de até 150 m (IPECE, 2015). A vegetação predominante é a caatinga arbustiva densa, caatinga arbustiva fechada e floresta caducifólia espinhosa, caracterizada pela presença de cactos e vegetação rasteira com árvores baixas e cheias de espinho (IPECE, 2015). Nas áreas mais elevadas da serra do estevão ocorre a floresta caducifólia espinhosa ou caatinga arbórea (SILVA e ALMEIDA, 2009).

Os solos predominantes neste sítio são NITOSSOLOS, PLANOSSOLOS, NEOSSOLOS, ARGISSOLOS e LUVISSOLOS (IPECE, 2015). Os solos são pouco profundos em sua maior parte e têm como principal característica a expansão das argilas durante a estação úmida e a contração durante o período seco a estação seca (SILVA; ALMEIDA, 2009). Os lençóis de água são geralmente salinizados devido às características geológicas da região.

Figura 6 - Distribuição anual da precipitação pluviométrica no município de Quixadá, Ceará nos anos de 1974



Fonte: elaborado pelo autor a partir do banco de dados da FUNCEME.

Tabela 3 – Características dos usos da terra investigados

Município	Uso da terra	Classe de solos	Coordenadas	Espécies	Histórico do uso	Fotos do uso
Quixadá	Caatinga densa	Neossolo Litólicos	5° 00' 35"S e 38° 59' 30"W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tui.), Jurema preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.)), Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth), Marmeleiro (<i>Croton blanchetianus</i> Bail.) e cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>).	Sempre foi área de caatinga, porém com livre acesso à pastagem de animais.	
		Luvissolo Crômicos	5° 01' 24"S e 38° 59' 32"W	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tui.), Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth), Marmeleiro (<i>Croton blanchetianus</i> Bail.), mororó (<i>Bauhinia forficata</i>), pau branco (<i>Auxemma oncocalyx</i>) e mufumbo (<i>Combretum leprosum</i>)	Área com alguns troncos de árvores queimadas, mostrando evidências de antropização.	
	Caatinga aberta	Neossolo Litólicos	5° 00' 47"S e 38° 59' 39"W	Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth), Marmeleiro (<i>Croton blanchetianus</i> Bail.), Jurema preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.)) e Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tui.)	Caatinga praticamente raleada, com sinais de antropização.	
		Luvissolo Crômicos	5° 00' 58"S e 38° 59' 23"W	Marmeleiro (<i>Croton blanchetianus</i> Bail.), Jurema preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.)) e mufumbo (<i>Combretum leprosum</i>).	Caatinga com sinais de antropização (retirada de madeiras).	

Agricultura	Neossolo Litólicos	5° 02' 03"S e 38° 59' 28"W	-	A cultura geralmente trabalhada é milho (<i>Zea mays</i>) de sequeiro. O manejo do solo empregado nessa área é o convencional, com realização de gradagem.	
	Luvissole Crônicos	5° 00' 23"S e 38° 59' 49"W		O manejo do solo empregado nessas áreas é o convencional, com realização de gradagem. A cultura praticada é (<i>Sorghum spp.</i>) de sequeiro.	
Pastagem	Neossolo Litólicos	5° 00' 18"S e 38° 59' 36"W		Pastagem nativa composta por estrato herbáceo.	
	Luvissole Crônicos	5° 00' 15"S e 38° 59' 55"W		A vegetação predominante nas áreas foi a pastagem nativa composta por estrato herbáceo com predominância das leguminosas empregadas unicamente para alimentação dos animais.	

5.2. Amostragem dos solos

As amostragens do solo nos três (3) sítios (FEVC, PC e QD) em cada uso da terra (caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem) foram realizadas em vinte e quatro (24) trincheiras, (3 sítios x 4 usos de solos e 2 classes de solo). As áreas de estudo foram localizadas sobre um NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (APÊNDICE A e B). Identificação realizada pela Mestra Eurileny Lucas de Almeida de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). Para a classe de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico as coletadas foram realizadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, exceto os usos de agricultura que não tiveram suas densidades retiradas na camada 20-30 cm em função da consistência dura à extremamente dura apresentada pelo solo.

No LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, as amostras foram coletadas nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-80 cm. Em ambas classes de solos as trincheiras apresentaram dimensões de 70 × 70 cm nos quatro usos da terra (caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem) e nos três sítios investigados.

Nas trincheiras foram coletadas amostras indeformadas e deformadas, para as análises de densidade e análises químicas respectivamente. Foram coletadas três replicadas para densidade e uma amostra composta por trincheira para as determinações químicas (nitrogênio total-NT e carbono orgânico total do solo - COT) (Figura 7A e 7B).

Figura 7 - Coleta de amostra indeformadas (7A) e deformadas de solo efetuadas nos sítios estudados (7B)



Fonte: elaborado pelo autor

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados, que foram fechados e encaminhadas ao laboratório de Manejo do Solo pertencente ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará.

5.3. Determinações analíticas

A descrição detalhada dos métodos utilizados para a determinação física do solo está contida no Manual de Métodos de Análises de Solo (DONAGENA *et al.*, 2011). Na determinação química do solo empregou-se a metodologia descrita por Yeomans e Bremner (1988) e (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001).

5.3.1. Atributo físico do solo

Densidade aparente do solo

Para estimar o carbono estocado no solo determinou-se a densidade do solo de cada camada, nos quatro sistemas de manejo, empregando-se o método de anel volumétrico. Em cada camada foram coletadas três (03) amostras indeformadas por sistema de manejo. As amostras foram retiradas com o auxílio de anéis metálicos utilizando cilindros de dimensões 5,7 cm de diâmetro e 5,3 cm de altura cm. As amostras foram colocadas para secar em estufa a 105 °C por 72 horas. A densidade aparente de solo foi determinada a partir da seguinte

$$\text{equação (eq1). } D_s = \frac{A}{B} \quad (1)$$

Onde:

D_s = densidade do solo ($g\ cm^{-3}$)

A = massa da amostra seca a 105°C determinado no laboratório (g)

B = volume do anel ou cilindro (cm^3)

Volume do cilindro foi calculado através da seguinte equação (eq 2):

$$B = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H \quad (2)$$

Onde:

B = volume do cilindro (cm^3)

$D = \text{diâmetro interno (em cm}^2\text{)}$

$H = \text{altura (cm)}$

5.3.2. Atributos químicos dos solos

Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram determinados por via úmida com a oxidação do dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,167 mol L^{-1} em meio ácido (H_2SO_4), com fonte externa de calor, utilizando bloco digestor a 170 °C por 30 min. O excesso de dicromato, após a oxidação, foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal ($\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ de 0,2 mol L^{-1} , de acordo com o método descrito por Yeomans e Bremner (1988).

O teor de carbono orgânico foi calculado com base no volume da solução de Sal de Mohr gasto na titulação da amostra (V), do branco aquecido (Vba) e do branco não aquecido (Vbn), conforme as equações 3 e 4:

$$A = \left[\frac{(Vba - Vam)(Vbn - Vba) + (Vba - Vam)}{Vbn} \right] \quad (3)$$

Em que:

$Vba = \text{Volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento};$

$Vbn = \text{Volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento};$

$Vam = \text{Volume gasto na titulação da amostra.}$

$$COT(\text{dag} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{(A)(\text{molaridadedul.ferroso})(3)(100)}{\text{peso.da.amostrad(mg)}} \quad (4)$$

Em que:

$3 = \text{resultado da relação entre o número de mols de } \text{Cr}_2\text{O}_7^- \text{ que reagem com } \text{Fe}^{2+} (1/6), \text{ multiplicado pelo número de mols de } \text{Cr}_2\text{O}_7^- \text{ que reagem com o } \text{C}^0 (3/2), \text{ multiplicado pela massa atômica do C (12);}$

$100 = \text{fator de conversão de unidade (mg } \text{mg}^{-1} \text{ para dag } \text{kg}^{-1}).$

O nitrogênio total (NT) foi quantificado por meio de digestão sulfúrica, seguida de destilação de Kjeldahl, e titulação com HCL 0,02 mol L^{-1} , conforme (CANTARELLA e TRIVELIN 2001). Utilizando a seguinte equação (5);

$$N(\text{dagkg}^{-1}) = \frac{(V_{am} - V_{br}) \times [H^+]}{\text{peso.do.solo}(g)} \quad (5)$$

Em que:

V_{am} = volume de HCL gastos na titulação da amostra;

V_{br} = volume de HCL gastos na titulação do branco;

$[H^+]$ = concentração real do ácido clorídrico (mol L^{-1});

1,4 = peso equivalente do N (14) dividido por 10 (conversão de unidade gk^{-1} para dag kg^{-1}).

Estoque Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT)

Os estoques de COT e NT foram obtidos pela correção de massa do solo, utilizando-se a espessura da camada e a massa equivalente do solo por meio da massa de solo de referência (ELLERT *et al.*, 2001 apud DEMESSIE *et al.*, 2013). Tomou-se como referência as áreas de caatinga densa.

Para calcular a massa equivalente, considerou-se a massa relativa do solo nos diferentes usos da terra:

$$M_{\text{solo}} = D_s \times E \times A$$

Onde:

M_{solo} = massa do solo por unidade de área (Mg ha^{-1});

D_s = densidade do solo na camada (Mg m^{-3});

E = espessura da camada de solo (m);

A = unidade de área, neste caso, 1 ha (10.000 m^2).

Após definida a massa do solo, considerou-se a caatinga densa como área de referência e em seguida foi realizado o cálculo de espessura adicional, que calcula a espessura a ser adicionada ou subtraída dos diferentes usos em relação à referência (ELLERT *et al.*, 2001). A fórmula para se calcular a espessura adicionada ou subtraída é:

$$\frac{E_{ad}}{sub} = (M_{ref.} - M_{area}) \times \frac{f_{ha}}{ds_{area}}$$

onde:

E_{ad}/sub = espessura de solo da camada a ser adicionada (+) ou subtraída (-) (m);

$M_{ref.}$ = massa equivalente de solo do tratamento referência (Mg ha^{-1});

M_{area} = massa equivalente de solo da área (Mg ha^{-1});

fha = fator de conversão de ha para m^2 (0,0001 ha m^{-2});

$dsarea$ = densidade do solo na camada da área ($Mg m^{-3}$);

Com os valores de massa de solo e a espessura a ser adicionada ou subtraída foram calculados os estoques de COT e NT pelo uso das equações (6 e 7):

$$Estoque(COT) = COT \times Ds \left(E \pm \frac{Ead}{sub} \right) \times A \times Fkg \times FCp \quad (6)$$

$$Estoque(NT) = NT \times Ds \left(E \pm \frac{Ead}{sub} \right) \times A \times Fkg \times FCp \quad (7)$$

$Estoque(COT)$ = estoque de C orgânico total em determinada profundidade ($Mg ha^{-1}$);

$Estoque(NT)$ = estoque de N total no solo em determinada profundidade ($Mg ha^{-1}$);

COT = teor de Carbono Orgânico Total ($g kg^{-1}$ de solo);

NT = teor de Nitrogênio Total ($g kg^{-1}$ de solo);

Ds = densidade do solo na camada ($g cm^{-3}$);

E = espessura da camada de solo (m);

Ead/sub = espessura da camada de solo a ser adicionada (+) ou subtraída (-) (m);

A = unidade de área, neste caso, 1 ha (10000 m^2);

Fkg = fator de conversão de kg para Mg (0,001 $Mg ha^{-1}$);

FCp = fator de pedregosidade (1- (% cascalho/100))

A porcentagem (%) de cascalho (equação 8) foi calculado a partir da divisão da massa cascalho pela massa total em cada camada do solo considerado, adaptando-se a metodologia proposta por DONAGENA *et al.*, (2011):

$$Cascalho(\%) = \frac{M_{cascalho}}{M_{total}} \times 100 \quad (8)$$

$M_{cascalho}$ = Massa de cascalho da camada ($Mg ha^{-1}$);

M_{total} = Massa de solo + massa de cascalho da camada ($Mg ha^{-1}$).

Após o agrupamento efetuou-se a média ponderada do Est.COT e Est.NT pelas seguintes equações (9 e 10):

$$EstoqueCOT = \frac{\sum_{n=1}^n (COT \times Ds \times \left(E \pm \frac{Eab}{sub} \right) \times A \times Fkg \times FCp)}{n} \quad (9)$$

$$EstoqueNT = \frac{\sum_{n=1}^n (NT \times Ds \times \left(E \pm \frac{Eab}{sub} \right) \times A \times Fkg \times FCp)}{n} \quad (10)$$

Onde:

n : representa o número de casos em cada grupo avaliado

6- ANÁLISE ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental foi realizado em sistema de parcelas subdivididas. Sendo os tratamentos principais, nas parcelas, constituídos por quatro manejos (caatinga densa, caatinga aberta, área de agricultura e pastagem), os tratamentos secundários, nas profundidades 0-10 cm; 10-20 cm e 20-30 para a classe de NEOSSOLO litólicos e 0-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm; 30-40 cm; 40-60 cm e 60-80cm para o LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico nas subparcelas.

Após a coleta dos dados sobre densidade aparente do solo, teor de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total e relação C:N, averiguou-se a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Por se tratar de um diagnóstico ambiental dos teores de COT e NT da região semiárida do Ceará e tendo como repetições diferentes locais (Pentecoste, Piquet Carneiro e Quixadá), os dados não apresentaram distribuição normal. Portanto, empregou-se o teste de média não paramétrico de Mann Whitney a 5% de significância, tendo como referência a caatinga densa com o NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico. Investigou-se a existência ou não de diferença significativa entre os usos e as classes de solos.

Para verificar a similaridade presente nas classes de solos em cada uso de manejo, as variáveis do solo (estoque COT e NT) foram agrupadas empregando-se a técnica de Análise Multivariada/Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH). Para a análise de agrupamento, os dados foram transformados e padronizados para evitar a interferência das diferentes escalas e unidades de medida nos cálculos.

As variáveis foram agrupadas com base no seu grau de semelhança definida pela variação entre os coeficientes de agrupamento. O algoritmo de agrupamento empregado na definição dos usos foi o método de Ward. Para reduzir os erros devido a escalas de variáveis, os dados foram padronizados pelo método z-score. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 16.0 e as figuras as figuras foram elaboradas por meio do programa sigma plot.

7- RESULTADOS E DISCUSSÃO

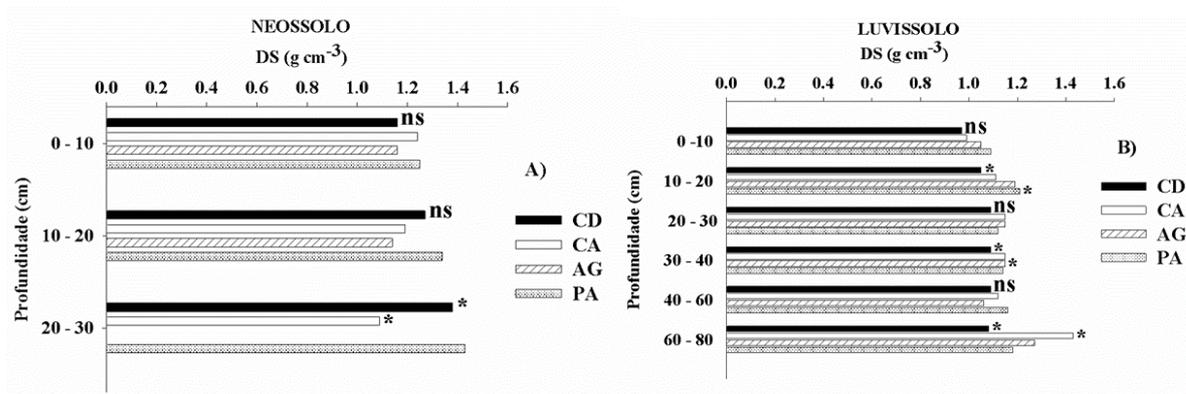
Neste item são apresentados os principais resultados alcançados, os quais também são discutidos com base na literatura disponível sobre o tema em questão.

7.1 Atributos físicos de solos

7.1.1. Densidade aparente do solo

Para as duas classes de solos estudadas, abaixo de 10 cm de profundidade os valores médios da densidade (g cm^{-3}) tendem a aumentar gradualmente (Figura 8-A e 8-B).

Figura 8 - Densidade do solo em camadas sob diferentes sistemas de usos da terra nas classes de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B) na região semiárida de Ceará



Valores médios de três replicadas. Asterisco (*) mostra diferença entre os usos da terra quando comparado ao CD na mesma camada. NS não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Mann-Whitney ao nível de 5% de significância. Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG)

Estes dados são corroborados por Luciano *et al.* (2010); Castro *et al.* (2012), os quais verificaram aumento da densidade do solo com a profundidade em avaliações de áreas de floresta nativa. Isto pode ser explicado pelo menor aporte de material orgânico em profundidade e adensamento.

Este comportamento se deve às condições de adensamento natural do solo, por definição, ocorrendo devido às pressões promovidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes pela redução no teor de carbono orgânico no solo, e provavelmente outros fatores a exemplo do menor macro porosidade, menor penetração de raízes (PIMENTEL,

2012; PEQUENO, 2013).

Na camada de 20-30 cm houve diferença significativa nos valores de densidade aparente de solo entre os usos de caatinga densa (CD) e caatinga aberta (CA) para a classe de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico ($P < 0,05$). Porém, não houve diferença significativa entre as camadas de 0-10 e 10-20 cm, embora a densidade aparente do solo sob uso de pastagem (PA) tenha apresentado valores superiores ao da CD para as três camadas, estas diferenças não foram significativas ao nível de 5% (Figura 8-A).

Na classe LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre a caatinga densa (CD), caatinga aberta (CA) e agricultura nas camadas de 10-20, 30-40 e 60-80cm (Figura 8-B). Para o uso de PA observou-se que as densidades aparentes do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm foram mais elevadas quando comparadas com o uso da terra CD, sendo que a densidade aparente do solo na pastagem apresentou valores médios de 1,09 a 1,21g cm⁻³ na primeira e segunda camada, respectivamente. Já na caatinga densa os valores da densidade do solo foram de 0,97 a 1,05 g cm⁻³ para as duas primeiras camadas (Figura 8-B). Também na camada de 40-60cm, os valores de densidade aparente da PA foram maiores do que os CD (Figura 8- B).

A maior densidade aparente do solo na área da PA se deve ao constante pisoteio dos animais, causando a compactação do solo. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Costa *et al.* (2009), sobre Argissolos no Sul da Bahia onde as pastagens, de diferentes idades, tiveram maiores valores de densidade que a mata nativa. Os autores, atribuíram esse resultado à pressão que os animais exercem sobre a camada superficial do solo, gerando compactação. O pastejo da pecuária pode aumentar a compactação do solo, devido à pressão exercida sobre o solo através do pisoteio de animais nas áreas das pastagens (HAMZA; ANDERSON, 2005; DON *et al.*, 2011).

Menores valores médios da densidade aparente do solo foram encontrados na agricultura (AG) quando comparado com a caatinga densa (CD) para a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico na camada de 10-20 cm. Nessa área de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico durante a amostragem do solo foi observado a presença de bagana de coco na superfície do solo, a adição de resíduos nesse manejo tem proporcionado ao solo uma melhor proteção contra os processos erosivos, além de fornecer um aporte de matéria orgânica a qual possibilita melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológica do solo.

Na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, foi verificado uma tendência contrária, onde a CD apresentou menores valores

médios de densidade do solo (Figura 8-B). Essa menor densidade pode favorecer uma melhor distribuição de carbono e nitrogênio no solo. Ao mesmo tempo, pode ser explicada pela maior contribuição de resíduos orgânicos que favorecem um aporte maior de matéria orgânica no solo, já que na área de caatinga densa foi observada um maior teor de COT e NT quando comparada aos outros usos analisados. Na CD os efeitos da MOS e vegetação resultando uma menor densidade.

Os solos com maior aporte de matéria orgânica apresentam baixa densidade devido ao incremento de matéria orgânica aportada pela senescência do sistema radicular da vegetação no subsolo (SHARMA, 2011; SCHIFFER; AERTS, 2000). De acordo com Anh *et al.* (2014) uma baixa densidade do solo armazena mais carbono orgânico e nitrogênio total no solo, pois esses elementos são mobilizados em espaços porosos dentro da matriz do solo.

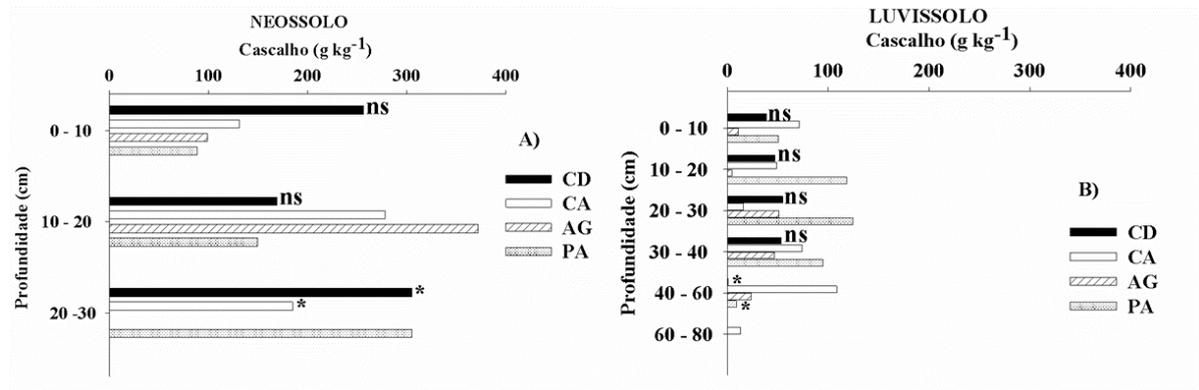
Para LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, a maior densidade aparente do solo foi registrada no uso da terra – agricultura, quando comparada com a caatinga densa nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 60-80 cm exceto na de (40-60 cm) (Figura 8-B). A maior densidade aparente no manejo agrícola deve ser atribuída às perturbações físicas do solo, a compactação devido ao preparo convencional dos solos com uso intensivo de máquina. Em 2006, Almeida *et al.*, estudaram o impacto da agricultura intensiva sob um Cambissolo eutrófico da região de Irecê e concluíram que o uso indiscriminado de insumos e máquinas agrícolas provocou aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade e da agregação do solo (BARROS, 2013).

O aumento da densidade aparente do solo no uso da terra – agricultura - está relacionado tanto a quantidade, quanto a qualidade das formas orgânicas estáveis, que se modificam com as práticas de cultivo (gradagem, semeadura e tráfego de máquinas) devido ao aumento da aeração do solo, provocando a queima da matéria orgânica.

7.1.2. Cascalho do solo

O cascalho dos solos varia de 88,48 g kg⁻¹ a 305,59 g kg⁻¹ para os NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutrófico típico nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30cm e de 0 a 124,41 g kg⁻¹ para os LUVISSOLOS Crômicos nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 80-60cm (Figura 9-A e 9-B). Os NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutrófico típico, apresentaram cascalhos em todas as camadas estudadas 0-10, 10-20 e 20-30cm por serem solos pouco desenvolvidos e de formação recente na idade geológica (OLIVEIRA, 2009).

Figura 9 - Cascalho do solo em camadas de solos sob diferentes sistemas de uso da terra nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B) na região semiárida de Ceará



Valores médios de três replicadas. Asterisco (*) mostra diferença entre os usos da terra quando comparado ao CD na mesma camada. NS não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Mann-Whitney ao nível de 5% de significância. Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG)

Na camada de 20-30 cm para a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico houve efeito significativo ($p < 0,05$) sob os usos da CD e CA, sendo as maiores quantidades de cascalhos registradas na CD (Figura 9-A). Na camada de 10-20 cm, não houve diferença significativa nos usos de CD e PA, apesar de maior quantidade de cascalho no uso da PA comparando com CD.

Os LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 80-60 cm não apresentaram diferença significativa nos valores de densidade aparente do solo entre os usos, apesar dos valores altos no uso da PA comparado à CD. Já para a camada 40-60 cm houve diferença significativa entre os usos de CD e CA, de modo que CA registrou maior porcentagem de Cascalho na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico.

7.2. Atributos químicos

7.2.1. Teores de COT

Os moires teores de COT foram identificados nas camadas superficiais, diminuindo com a profundidade em todas as áreas estudadas nas duas classes de solos (Figuras 10-A e 10-B). Comportamento semelhante foi encontrado por Aquino *et al.* (2017) ao estudar os teores de COT na caatinga aberta (raleada) e densa (conservada). Esses resultados, foram influenciados possivelmente pelo acúmulo e decomposição dos resíduos

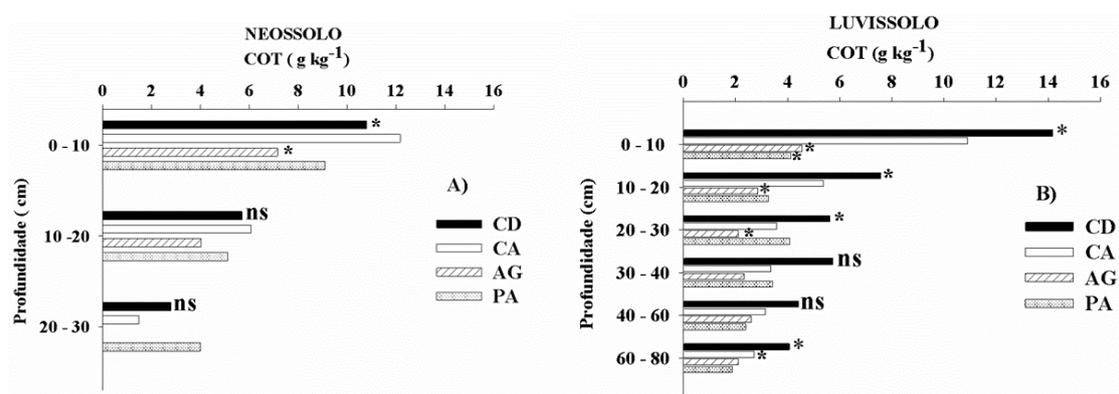
vegetais e poda das árvores na superfície do solo. Outro fato relevante é o aporte de resíduos orgânicos (raízes finas) provenientes das áreas cultivadas, principalmente na área sob pastagem.

O aumento da cobertura herbácea influi na dinâmica da umidade do solo, permitindo maior aprofundamento das raízes finas. Isso favorece o aporte do carbono nas camadas superficiais (<30 cm) do solo, proveniente do resíduo orgânico de espécies vegetais com ciclo metabólico C4 (AQUINO *et al.*, 2017).

Neumann-Cosel *et al.* (2011) e Morais (2012), relatam que o maior aporte de COT na superfície do solo é proveniente do acúmulo de serapilheira devido à baixa solubilidade dos resíduos orgânicos. Essa serapilheira acumulada, além de nutrir os solos da Caatinga, tem a importante função de protegê-los da ação direta das gotas de chuvas, principalmente nas primeiras precipitações da quadra chuvosa, quando quase a totalidade das plantas encontra-se sem folhas devido ao longo período seco (LOPES *et al.*, 2009).

Independente do uso do solo, os teores de COT variaram de 1,49 g kg⁻¹ a 12,17 g kg⁻¹ nas três camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico. Para a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, os teores de COT variam de 1,87g kg⁻¹ a 14,17 g kg⁻¹ nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 80-60 cm (Figura 10-A e 10-B).

Figura 10 - Teores de COT em diferentes usos do solo em FTSS nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B)



Valores médios de três replicadas. Asterisco (*) mostra diferença significativa ($p < 0,05$) entre os usos da terra quando comparado ao CD na mesma camada. NS não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Mann-Whitney ao nível de 5% de significância. Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG)

Os valores de COT encontrados neste trabalho foram inferiores aos apresentados

por Wu *et al.* (2013), os quais obtiveram valores de 17,6 e 13,2 g kg⁻¹ de C orgânico total, na camada de 0-25cm, em estepes típicas e áridas, respectivamente, no semiárido da Mongólia, na China. No semiárido argentino, em solos do tipo Sandy Loam Haplustoll, sob vegetação nativa dos Pampas, foram encontrados teores de C orgânico de 27,9 e 11,1 g kg⁻¹, nas camadas de 0-10 e 10-20 respectivamente (URIOSTE *et al.*, 2006). Esses valores foram superiores aos resultados encontrados neste estudo.

No entanto, os valores de COT encontrados nas duas classes de solos entre os usos da terra (Figuras 10-A e 10-B) foram superiores aos encontrados por Traoré *et al.* (2015) em Burkina Faso, ao comparar dois tipos de solos (Cambissolos e Luvisolos) com dois tipos de cobertura do solo (vegetação nativa e degradada). Os autores relataram teores de C sob vegetação nativa de 10,7 e 8,1 g kg⁻¹ e em área degradada de 5,5 e 3,7 g kg⁻¹, em Cambissolos e Luvisolos, respectivamente.

O uso da CD superou a AG no que se refere aos teores de COT ($p < 0,05$), não diferindo dos demais usos (Figura 10-A). O uso da terra – CD – apresentou maiores teores de COT, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) nas camadas de solos 0-10, 10-20, 20-30 e 60-80cm entre os usos AG, PA e CA, respectivamente (Figura 10-B). No entanto, nas camadas 30-40 e 40-60 cm não houve diferença significativa entre os usos de solos.

Nos NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico, os maiores teores COT foram encontrados na caatinga densa (CD) e caatinga aberta (CA) e o menor teor no uso da terra - agricultura (AG), nas camadas 0-10 e 10-20cm para a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (Figura 10-A). Porém, na camada 20-30 cm a PA apresentou um maior teor de COT (Figura 10-A).

Na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico observou-se a mesma tendência, ou seja, os maiores teores de COT foram verificados na caatinga densa (CD) e caatinga aberta (CA). Tal fato pode ser decorrente dos maiores teores de carbono orgânico existentes nas áreas de floresta, proveniente da entrada dos resíduos na superfície do solo do que a terra cultivada como já argumentado por BÁRCENA *et al.* (2014). Quando ocorrem alterações nos sistemas naturais, por causa da ação antrópica (queima ou preparo convencional), pode ocorrer uma alteração no sistema. Segundo Cerri *et al.* (2008), essa mudança afeta diretamente o equilíbrio do ambiente, fazendo com que a quantidade de COT aportada ao sistema seja, comumente, menor que a de saída. Assis *et al.* (2006) sustentam que as concentrações de C tendem a diminuir com o cultivo do solo quando comparado à vegetação nativa.

A presença dos maiores teores de COT no solo na área da CD e CA, pode ser

influenciada pela acumulação da serapilheira (raízes, galhos, folhas, flores e frutos) e estrato herbáceo presentes nessas áreas. Deng *et al.* (2016) relatam incremento de carbono orgânico total nos subsolos (20-60 cm) de áreas sob vegetação em comparação com áreas agricultáveis. No entanto, a maior COT no uso da PA na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico na camada 20-30cm, possivelmente, indica um maior aporte de biomassa radicular, pois as raízes finas são mais eficientes na incorporação de matéria orgânica ao solo. Tal fato, contribua para o aumento do carbono no solo no meio da decomposição dessa biomassa radicular (ORGILL *et al.*, 2015).

O sistema radicular denso propiciado pelas gramíneas contribui para o aumento das taxas de infiltração de água e redução da erosão e da densidade do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007), o que reduz as perdas de COT e NT armazenados na camada superior do solo. Normalmente, a ciclagem de raízes nas pastagens é maior do que em áreas de culturas anuais e o volume de raízes e a rizodeposição são os principais contribuintes para o acúmulo de COT no solo (RASSE *et al.*, 2005).

Na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico nas camadas de 0-10 e 10-20 cm foram encontrados valores maiores de COT na CA em comparação com a CD. Na CA os valores médios de COT foram de 12,17 g kg⁻¹ (0-10 cm) e 6,08 g kg⁻¹ (10-20 cm), enquanto a CD apresentou valores médios de COT de 10,79 g kg⁻¹ (0-10 cm) e 5,7 g kg⁻¹ (10-20 cm). Portanto, observou-se incremento de 11,34% e 6,25% da CA em relação a CD na primeira e segunda camada, respectivamente. Tal fato se explica pela maior penetração de luz solar devido ao raleamento das espécies arbóreas com consequente aumento da cobertura rasteira pela vegetação herbácea (AQUINO *et al.*, 2017).

Outro fato deve explicar o maior COT em CA no NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico é que a Caatinga densa (CD) apresenta um predomínio de uma vegetação arbóreo-arbustiva, mais desenvolvida, quando comparada a uma área de uma vegetação mais aberta (CA). Isto está diretamente associado a qualidade do material orgânico, ou seja, a presença, por exemplo, de compostos que retardam a decomposição da matéria orgânica como substância não húmica e matérias mais grosseiras. Tal fato pode limitar a liberação de Carbono Orgânico para o solo. Aquino *et al.* (2017), encontraram resultados semelhantes em duas microbacias hidrográficas adjacentes no município de Iguatu, Ceará, Brasil sob uma área de caatinga aberta ou raleada quando comparado com a caatinga densa ou mais conservada.

De acordo com Veira; Scariot (2006), em áreas abertas, os tapetes formados por espécies herbáceas parecem amenizar o efeito da dessecação de sementes e plântulas de

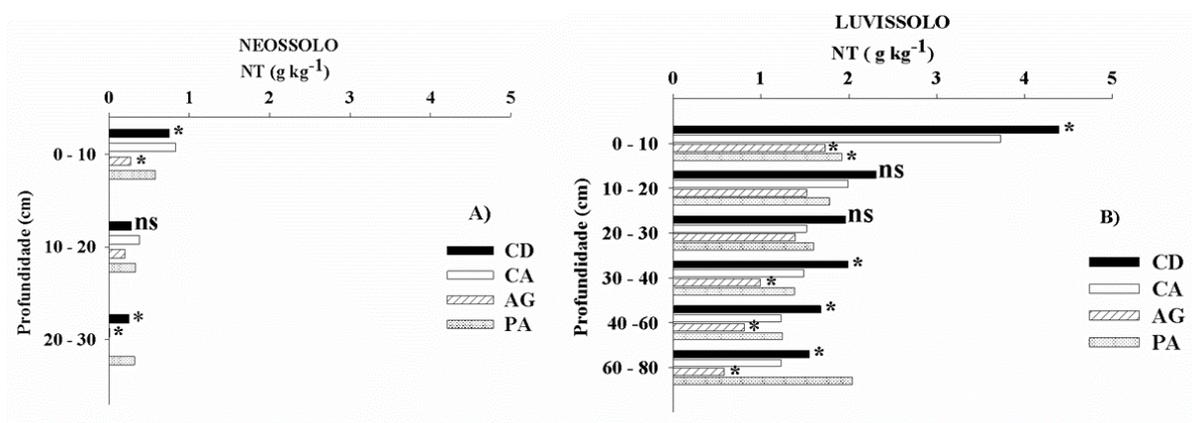
espécies lenhosas podem ser favorecidos pelo componente herbáceo. O raleamento transfere a produção de biomassa dos arbustos e árvores para o estrato herbáceo, havendo aumento da matéria seca aérea e radicular oriunda de gramíneas e dicotiledôneas herbáceas (PEREIRA FILHO *et al.*, 2013; PALÁCIO *et al.*, 2013).

Rodrigues *et al.* (2013) concluíram que na área aberta ou raleada, o crescimento da vegetação herbácea influenciou na retenção de água pelo solo aumentando a oportunidade de infiltração. O raleamento transfere a produção de biomassa dos arbustos e árvores para o estrato herbáceo, havendo aumento da matéria seca aérea e radicular oriunda de gramíneas e dicotiledôneas herbáceas (PEREIRA FILHO *et al.*, 2013; PALÁCIO *et al.*, 2011). O manejo de raleamento, além de apresentar a maior produção de biomassa, demonstrou maior eficiência no controle do processo erosivo, podendo ser recomendado como manejo sustentável para áreas de caatinga (PALÁCIO *et al.*, 2011).

7.2.3. Teores de NT

O padrão dos teores de NT foi semelhante ao dos teores de COT, em todos os usos da terra nas duas classes de solos, houve diminuição com o aumento da profundidade (Figuras 11-A e 11-B).

Figura 11- Nitrogênio total (NT) em camadas de solos sob diferentes usos da terra na região semiárida de Ceará nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B)



Valores médios de três replicadas. Asterisco (*) mostra diferença entre os usos da terra quando comparado ao CD na mesma camada. NS não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Mann-Whitney ao nível de 5% de significância. Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG)

Isso, se deve ao fato do N e C serem componentes da matéria orgânica, estando, dessa forma, estreitamente associados. Visto que a camada superficial do solo é a zona onde a deposição de materiais orgânicos ocorre com maior intensidade, os maiores são concentrados na superfície. Nas duas classes de solos os teores de NT foram baixos em relação aos outros estudos, isso possivelmente porque foram influenciados pelas condições climáticas da região semiárida, onde o déficit hídrico, a baixa umidade e as altas temperaturas que podem afetar os solos do semiárido e muito provavelmente estão interferindo na atividade microbiana.

O baixo acúmulo de matéria orgânica nos solos do semiárido é causado pela limitada produção de biomassa vegetal e a rápida mineralização no período chuvoso, o que faz com que a maioria dos solos da região apresente pouco nitrogênio (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). A reposição de nitrogênio no semiárido é realizada principalmente pela associação de leguminosas com rizóbios, que são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico (FREITAS; SAMPAIO, 2008).

Considerando as duas primeiras camadas (0-10 e 10-20cm) de solos (Figura 11-A), os teores de NT encontrados na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico foram inferiores aos apresentados por Wu *et al.* (2013), os quais observaram valores de 2,0 e 1,5 g kg⁻¹ de N total, na camada de 0-25cm em estepes típicas e áridas, respectivamente, no semiárido da Mongólia, na China. No entanto, na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (Figura 11-B) os teores de NT foram superiores aos encontrados pelos autores citados.

Os valores encontrados na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico são inferiores aos em semiárido argentino, em solos do tipo Sandy Loam Haplustoll, sob vegetação nativa dos Pampas (URIOSTE *et al.*, 2006). Os referidos autores encontraram teores de 2,1 e 0,9 g kg⁻¹, N total nas camadas de 0-10 e 10-20, respectivamente. Porém, considerando esses mesmos resultados desses mesmos autores em relações aos encontrados no LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, os valores deste estudo foram superiores.

Os resultados encontrados por Traoré *et al.* (2015), em Burkina Faso, comparando dois tipos de solos (Cambissolos e Luvisolos) com dois tipos de cobertura (vegetação nativa e degradada), foram semelhantes ao encontrado nesse estudo na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico e superiores na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico nos usos da CD e CA (Figuras 11-A e 11-B). Os autores supracitados relataram teores de N total de 0,89 e 0,8 g kg⁻¹ sob vegetação nativa, e 0,48 e 0,31 g kg⁻¹ nas áreas degradadas, nos Cambissolos e Luvisolos, respectivamente.

Diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os usos da terra foram observadas nos

NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico, nas camadas de (0-10 e 20-30cm), tendo a CD apresentado maiores concentrações de NT que a CA e AG (Figura 11-A). Não houve diferença significativas na camada de 10-20 cm entre os usos da terra. A classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os usos da terra nas camadas de 0-10, 30-40, 40-60 e 60-80 cm onde a CD apresentou os maiores valores de NT (Figura 11-B).

Na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm foram encontrados valores médios de NT maiores na CA em comparação com a CD. Na CA os valores médios de NT foram de $0,83 \text{ g kg}^{-1}$ (0-10 cm) e $0,38 \text{ g kg}^{-1}$ (10-20 cm). A CD apresentou valores médios de NT de $0,75 \text{ g kg}^{-1}$ (0-10 cm) e $0,28 \text{ g kg}^{-1}$ (10-20 cm). Portanto, identificou-se que a CA apresentou incrementos de 9,64% e 26,32% quando comparada com a CD na primeira e segunda camada, respectivamente.

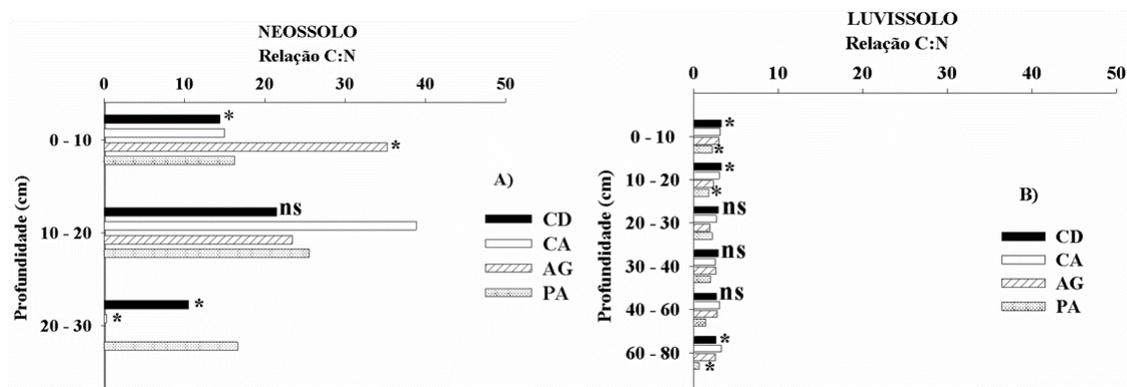
Os maiores teores de NT foram encontrados na caatinga densa (CD) e caatinga aberta (CA) nas camadas 0-10 e 10-20 cm para a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico. Porém, na camada 20-30 cm a PA apresentou um maior teor NT (Figura 11-A). Os menores valores de NT nos usos de AG e PA nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, podem estar relacionados ao revolvimento superficial do solo com uso de cultivador e enxadas para capinas e queimadas, pouco aporte de material orgânico, além da maior exposição da superfície do solo, que pode favorecer o rápido processo de mineralização da MOS.

Os maiores teores de NT no solo na área da CD e CA, podem ser explicadas pela acumulação da serapilheira (raízes, galhos, folhas, flores e frutos) e estrato herbáceo presentes nessas áreas de CD e CA como foi discutido no atributo de COT. No entanto, o maior teor de NT foi registrado no uso da PA na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico na camada 20-30cm, possivelmente pela lixiviação ocorreu nessa camada.

7.2.4. Relação C/N do solo

A relação C/N não apresentou padrão de aumento ou diminuição com profundidade entre classes de solo e/ou uso da terra (Figura 12), como as concentrações de COT e NT. Os maiores valores ocorram na superfície dos solos, embora a menor relação C/N tenha ocorrido nas camadas mais profundas preferivelmente para a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (Figura 12-B).

Figura 12 - Relação C/N em camadas de solos sob diferentes usos na região semiárida de Ceará nas classes de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico (A) e LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (B)



Valores médios de três replicadas. Asterisco (*) mostra diferença entre os usos da terra quando comparado ao CD na mesma camada. NS não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Mann-Whitney ao nível de 5% de significância. Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG)

Como observa-se na Figura 12, que nas camadas de 0-10 e 20-30cm, ocorre diferença significativa ($p < 0,05$) entre os usos da terra na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico. Em quando a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico houve um efeito significativo ($p < 0,05$) entre os usos da terra nas camadas 0 -10, 10-20 e 60-80cm (Figura12-B).

Os maiores valores da relação C/N para os NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico, foram registradas nas camadas de 0-10 e 20-30 cm, na AG e PA e o menor valor na CD. Em quanto a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico as maiores relações C/N foram observados nas camadas de (0-10, 10-20, 20-30, 40-60 e 80-60cm), na CD e CA e as menores na AG e PA exceto a camada 30-40cm (Figura 12-B).

As maiores relações C/N nos usos da AG e PA comparando com CD, devem ser decorrentes do maior consumo de N e exportação. Na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico durante o processo de amostragem do solo foi observado a cobertura de bagana de coco e palhas de culturas de milho na superfície do solo, esses resíduos vegetais podem contribuir para aumentar a relação de C/N nessas áreas. Segundo Sacramento (2013), as variações da relação C/N do solo podem estar ligadas à composição da matéria orgânica do solo. Locais que predominam o cultivo de gramíneas tendem a apresentar maiores relações, enquanto que o cultivo de leguminosas reduz as relações, o que pode ser observados nas duas classes de solos nos usos de AG e PA na primeira camada de solo (0-10cm).

As maiores relações de C/N nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 40-60 e 80-60 cm (Figura 12-B) sob usos da terra de CD e CA quando comparado com usos de AG e PA, devem ser explicadas pela acumulação dos resíduos vegetais (raízes, galhos, folhas flores e frutos). Segundo Machado *et al.* (2014), nas áreas do ecossistema nativo existe uma maior intensidade na ciclagem da matéria orgânica no solo, o que, favorece a mineralização e liberação de nitrogênio no solo. Comportamento semelhante foi encontrado por Fracetto *et al.* (2011) ao estudar as alterações nos estoques de C e N devido à mudança de uso do solo de vegetação natural para o cultivo de mamona no município de Irecê, no centro-norte baiano.

De acordo com Cantarella *et al.* (2007), a relação C:N ideal para formação de teores de matéria orgânica estável do solo se encontra na faixa de 10 a 15. Neste estudo, os únicos usos que apresentaram valores semelhantes foram a CD e CA na camada 0-10 e 20-30cm para a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico.

Analisando as Figuras 10 e 11 observa-se, que os teores de COT e NT do solo variaram conforme a mudança dos usos da terra. Os usos de solos na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico apresentaram maiores perdas dos teores de COT e NT do que a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico. Os teores de COT e NT estão associados aos solos profundos e bem drenados e os menores na classe de solos rasos e poucos profundos. A classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico está relacionado aos solos rasos formados por rochas e poucos profundos, que são muito sucessíveis aos processos erosivos (SANTOS, 2013).

O conteúdo do C no solo depende, dentre outros fatores, do clima, do conteúdo e natureza das argilas, do uso da terra e do sistema de manejo e drenagem (EBELING *et al.*, 2013). De acordo com MARTINS *et al.* (2010), deficiência hídrica é o principal fator limitante em ambientes semiáridos. Com a baixa pluviosidade típica dessa região, o desenvolvimento da vegetação, seja a caatinga, pastos ou áreas agrícolas, é limitado. Sem a umidade necessária, na maior parte do ano no semiárido, a atividade microbiana é reduzida e, conseqüentemente ocorre a diminuição da taxa de decomposição dos resíduos orgânicos depositados na superfície do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2007), não havendo perdas consideráveis de carbono e nitrogênio.

Zhou *et al.* (2013), reforçam a ideia de que os baixos valores de C e N do estudo devem-se ao déficit hídrico. Os mesmos autores afirmaram que, em regiões semiáridas, o aumento da precipitação pode resultar em acúmulo de MOS, influenciando diretamente os estoques de C, principalmente na camada superficial. Chen *et al.* (2012), avaliando a

influência de temperatura e precipitação no armazenamento de C observaram que os estoques do elemento diminuem com as altas temperaturas.

7.3. Estoques de COT e NT

7.3.1. NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico

Por meio da estatística multivariada, Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH), foi possível identificar a similaridade dos atributos investigados entre os usos da terra. Para minimizar a influência humana na definição do número de grupos similares adotou-se a metodologia apresentada por Corrar *et al.* (2009); ou seja, o número de grupos similares é determinado pela primeira maior variação (Tabela 4) entre os coeficientes de aglomeração. Para os 11 casos ocorridos na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico, o primeiro “grande salto” da distância reescalada foi registrado entre 2,47 e 4,63, quando ocorre a passagem de 2 para 3 grupos.

Tabela 4 - Coeficiente de aglomeração para a análise de agrupamento na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico

Nº de agrupamentos	Coeficientes	Diferença entre coeficientes	Distância reescalada
10	0,04	0,09	1,00
9	0,13	0,09	1,11
8	0,22	0,11	1,22
7	0,33	0,14	1,35
6	0,47	0,20	1,52
5	0,66	0,82	1,75
4	1,48	0,99	2,74
3	2,47	2,16	3,92
2	4,63	15,37	6,52
1	20,00	*	25,00

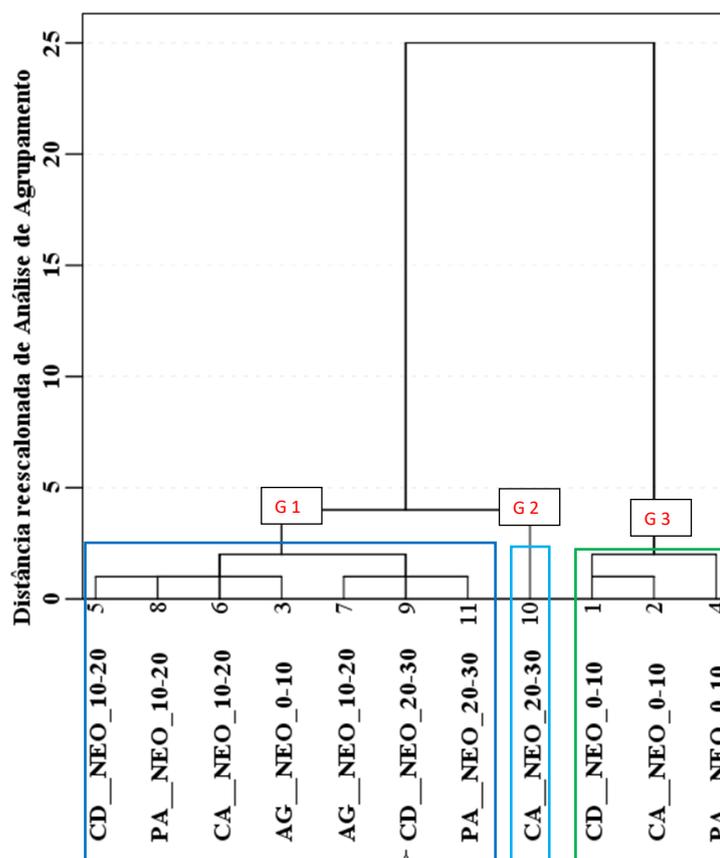
Fonte: elaborado pelo autor

Em uma análise visual do dendrograma (Figura 13), confirma-se o ponto de corte definido pela distância reescalada (Tabela 4), com a formação de 3 grupos. O primeiro grupo foi formado por 7 casos oriundos da combinação de uso da terra e

profundidade (CD 10-20, PA 20-30, CA 10-20, AG 0-10, CD 20-30 e PA 20-30 cm); o segundo foi composto por 1 caso (CA 20-30cm) e o terceiro por 3 (CD 0-10, CA 0-10 e PA 0-10 cm) (Figura 13).

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios ponderados dos atributos de Estoque de Carbono Orgânico Total (EST.COT) e Nitrogênio Total (EST.NT) estudados nos grupos. Os valores de cada atributo foram calculados de acordo com os valores médios das concentrações de COT e NT de cada grupo entre os usos da terra. Os EST.COT foram formados por 3 grupos, o grupo 1 composto por: CD 10-20, PA 20-30, CA 10-20, AG 0-10, CD 20-30 e PA 20-30 cm, com valor médio de $5,50 \text{ Mg ha}^{-1}$. O grupo 2 foi formado pelo CA 20-30 cm com menor valor médio de $2,06 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo o grupo 3 foi formado pelas CD 0-10, CA 0-10 e PA 0-10 cm apresentando maior valor médio de $8,86 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 5 e Figura 13).

Figura 13 - Dendrograma das variáveis de estoque de COT e NT para os quatro usos da terra



Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG); Neossolo (NEO); Grupo (G)

Os EST.NT seguiram tendências semelhantes dos EST.COT (Tabela 5). Os maiores valores médios de EST.NT ($0,29 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram encontrados no grupo 3 e menores nos grupos 1 e 2, com valor médio de $0,00 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $0,68 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 5 e Figura 13).

Tabela 5 - Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para os atributos de Estoque de COT e NT na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico

Atributos	Parâmetros descritivos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
EST.COT (Mg ha^{-1})	Nº de casos	7	1	3
	Média ± DP	5,50 ± 2,19	2,06 ± 0,00	8,86 ± 2,65
	Máximo	9,42	2,06	13,99
	Mínimo	2,45	0	5,52
	CV	0,4	0	0,3
EST.NT (Mg ha^{-1})	Nº de casos	7	1	3
	Média ± DP	0,29 ± 0,07	0,00 ± 0,00	0,68 ± 0,10
	Máximo	0,39	0	0,82
	Mínimo	0,18	0	0,6
	CV	0,24	0	0,15

EST.COT: Estoque de carbono orgânico total; EST.NT: Estoque de nitrogênio total; DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação

Analisando o comportamento de cada grupo, pode-se observar que os maiores EST.COT e EST.NT foram encontrados no grupo 3 formado pelas CD, CA e PA. Esses resultados devem ser relacionados principalmente pela deposição de material vegetal por meio serapilheira na caatinga, as gramíneas na pastagem e até mesmo pela intensidade de uso. Em relação aos demais usos, esses são os menos intensivos.

Assim, como as espécies florestais, as gramíneas podem contribuir de forma significativa para a acumulação de carbono no solo, principalmente quando são manejadas de forma correta. Sendo capazes de apresentar taxas de acumulação de C superiores a espécies anuais de cultivo, principalmente nas camadas mais superficiais do solo, pois é o local onde há alta densidade de raízes que favorecem a aproximação das partículas, devido a constante absorção de água do solo. Além disso, as espécies perenes que não representam de manejo intensivo do solo e apresentam distribuição uniforme de exsudatos radiculares que funcionam como agentes cimentantes e promovem a atividade da microbiota do solo que contribui para a formação e estabilização dos agregados (ADKINS *et al.*, 2015).

Outro fato relevante a ser notado no grupo 3 é que, os valores médios dos usos da terra nesse grupo foram encontrados em uma profundidade de 0-10 cm, isso devido à maior teor de matéria orgânica pelo aporte de resíduos vegetais e orgânicos nas camadas superficiais do solo, como já foi observado nos valores de COT e NT. De acordo Chaves e Farias (2008), os maiores valores de estoques de carbono e nitrogênio se encontram na camada superficial do solo, diminuindo com a profundidade. Aquino *et al.* (2017) encontraram maiores estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total nas camadas superficiais dos solos na mesma região semiárida do Brasil.

Os menores valores médios de EST.COT e EST.NT nos grupos 1 e 2 nos usos de CD, CA, AG e PA podem ter sido causados pelo menor aporte de carbono nas camadas profundas de solos nas CD, CA e PA e a intervenção do manejo intensivo na área de AG. Já que esses grupos apresentaram menores valores de EST.COT e EST.NT nas camadas subsuperficial (10-20 e 20-30cm), onde praticamente não observou uma contribuição de carbono e nitrogênio nesses usos da terra. O manejo inadequado da terra, a remoção de resíduos de culturas e o pastejo após a colheita tem contribuído para o baixo estoque de carbono do solo nas terras cultivadas (DON *et al.*, 2011).

7.3.2. LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico

Empregando a Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH), foi possível identificar a similaridade dos atributos investigados entre os usos da terra. Para minimizar a inferência humana na definição do número de grupos similares adotou-se a metodologia apresentada por Corrar *et al.* (2009); ou seja, o número de grupos similares é determinado pela primeira maior variação (Tabela 6), entre os coeficientes de aglomeração. Para os 24 casos ocorridos na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, o primeiro “grande salto” da distância reescalada ocorreu entre 4,02 e 6,43, quando ocorre a passagem de 2 para 3 grupos.

Em uma análise visual do dendrograma (Figura 14), confirma-se o ponto de corte definido pela distância reescalada (Tabela 6), com a formação de 3 grupos. O primeiro grupo, foi formado por 4 casos oriundos da combinação de uso da terra e profundidade (CD 20-30, CD 30-40, CA 10-20 e CD 10-20 cm); o segundo foi composto por 18 casos (AG 30-40, AG 40-60, AG 60-80, CA 20-30, CA 30-40, PA 40-60, AG 10-20, PA 40-60, CA 60-60, CA 40-60, AG 20-30, PA 20-30, CD 60-80, AG 0-10, CD 40-60, PA 0-10, PA 10-20, e PA 60-80 cm) e o terceiro por 2 casos (CD 0-10 e CA 0-10cm) (Figura 14).

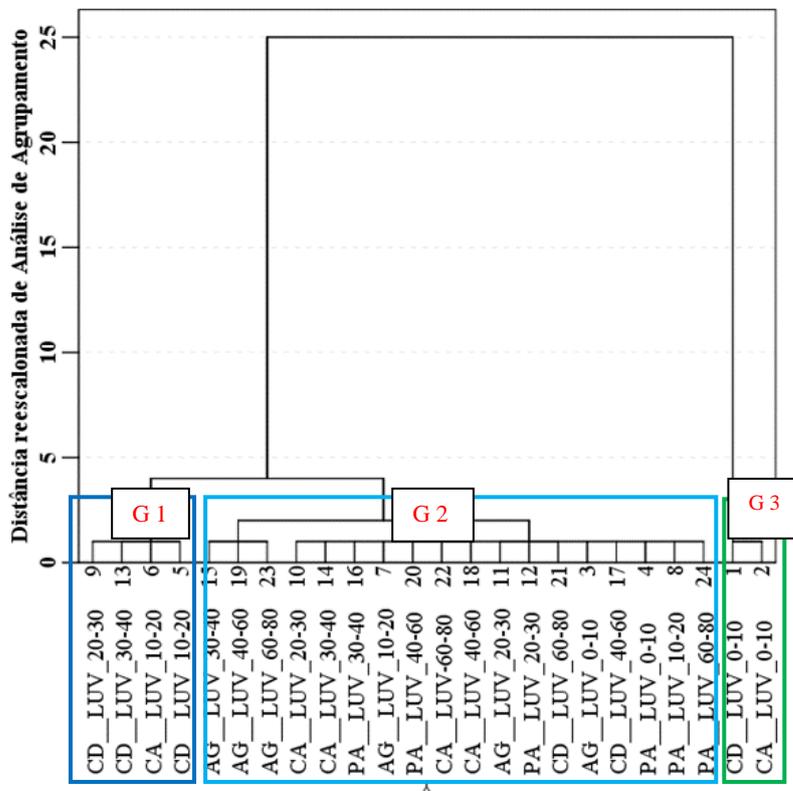
Tabela 6 - Coeficiente de aglomeração para a análise de agrupamento na classe de LUVISSOLO

Nº de agrupamentos	Coeficientes	Diferença entre coeficientes	Distância reescalada
20,00	0,01	0,01	1,00
19,00	0,02	0,01	1,00
18,00	0,02	0,02	1,01
17,0	0,04	0,03	1,02
16,00	0,07	0,03	1,03
15,00	0,10	0,04	1,05
14,00	0,14	0,05	1,07
13,00	0,18	0,06	1,09
12,00	0,24	0,06	1,12
11,00	0,31	0,11	1,15
10,00	0,42	0,14	1,21
9,00	0,56	0,25	1,29
8,00	0,81	0,48	1,42
7,00	1,29	0,64	1,67
6,00	1,93	0,97	2,00
5,00	2,91	1,11	2,51
4,00	4,02	2,41	3,09
3,00	6,43	5,27	4,35
2,00	11,70	34,30	7,10
1,00	46,00	*	25,00

Fonte: elaborado pelo autor

Na tabela 7, encontram-se os valores médios ponderados dos atributos de EST.COT e EST.NT estudados nos grupos. Os valores de cada atributo foram calculados de acordo com os valores médios dos de COT e NT de cada grupo entre os usos da terra. Os EST.COT foram formados por 3 grupos, o grupo 1, apresentando valor médio de 6,16 Mg ha⁻¹, seguido o grupo 2, apresentando menor valor médio de 4,48 Mg ha⁻¹ e o maior valor médio de EST.COT foram registrados no grupo 3, com valores médios de 11,29 Mg ha⁻¹ (Tabela 7 e Figura 14).

Figura 14 - Dendrograma das variáveis de estoque de COT e NT para os quatro usos da terra



Caatinga densa (CD); Caatinga aberta (CA); Pastagem (PA); Agricultura (AG); Luvissole (LUV); Grupo (G)

Tabela 7 - Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão para os atributos de estoque de COT e NT na classe de LUVISSOLO

Atributos	Parâmetros descritivos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
EST.COT (Mg ha ⁻¹)	Nº de casos	4	18	2
	Média ± DP	6,16 ± 0,96	4,48 ± 2,03	11,29 ± 1,89
	Máximo	7,78	9,62	13,18
	Mínimo	5,28	2,24	11,39
	CV	0,16	0,45	0,17
EST.NT (Mg ha ⁻¹)	Nº de casos	4	18	2
	Média ± DP	2,08 ± 0,17	2,06 ± 0,90	3,36 ± 0,42
	Máximo	2,38	4,4	4,08
	Mínimo	1,96	1,02	3,25
	CV	0,08	0,44	0,13

EST.COT: Estoque de carbono orgânico total; EST.NT: Estoque de nitrogênio total; DP: Desvio padrão; CV: coeficiente de variação

Conforme apresentado na Figura 14 e Tabela 7, o grupo 1 e 3, apesar de serem caracterizados pelos mesmos usos da terra, o grupo 3 apresentou maiores valores médios que grupo 1, com valores superiores em 45,44% em relação ao grupo 1. Estes maiores valores encontrados no grupo 3 estão relacionados com a profundidade do solo (0-10cm), pois esta camada é a que concentra maiores quantidades de EST.COT.

Como os grupos foram formados com base na similaridade e proximidade entre os usos da terra, os grupos 1 e 2 foram caracterizados pelos dois grupos similares ou mais próximos, além disso, o grupo 1 foi composto por valores superiores aos do grupo 2. O grupo 1, foi caracterizado somente pelos usos da terra da CD e CA, enquanto que o grupo 2 foi caracterizado pelas CD, CA, AG e PA, isso devido à menor contribuição de carbono nas camadas mais profundas de solo nos usos de CD e CA e às práticas inadequadas nos usos de agricultura e pastagem. Uma vez que o carbono e nitrogênio geralmente está relacionado ao uso da terra e a profundidade tendem a diminuir com a profundidade.

Os EST.NT do solo apresentaram comportamento semelhante ao observado para EST.COT, ou seja, os usos que possuem maiores EST.COT também apresentaram os maiores EST.NT (Tabela 7). Os maiores EST.NT foram encontrados no grupo 3 e menores nos grupos 1 e 2. O grupo 1 foi composto pelos usos CD e CA, apresentando valores médios de 2,08 Mg ha⁻¹, enquanto o grupo 2 formou-se pelos usos CD, CA, AG e PA com valor médio de 2,06 Mg ha⁻¹. O grupo 3 foi composto pelos usos CD, CA e PA apresentando os maiores valores médio (Tabela 7 e Figura 14).

Os maiores valores médios de EST.COT (11,29 Mg ha⁻¹) e EST.NT (3,36 Mg ha⁻¹) foram encontrados nos usos das CD, CA e os menores EST.COT (4,48 Mg ha⁻¹) e EST.NT (2,06 Mg ha⁻¹) nos usos das terras agrícolas CD, CA, AG e PA principalmente nas camadas mais profundas, onde encontra-se um menor aporte de carbono e nitrogênio no solo.

As razões de maiores valores de EST.COT e EST.NT do grupo 3 nos usos da terra de CD e CA estão relacionadas aos maiores aportes de matéria orgânica nas camadas superficiais dos solos e manutenção da serapilheira na superfície do solo e da presença de raízes finas nessas áreas e menor intensidade de uso. Na área da caatinga a formação da serapilheira é provavelmente mais intensa e variada devido à formação da vegetação e o tempo da área. Segundo Giongo *et al.* (2011), o acúmulo de carbono na camada superficial da caatinga preservada, provavelmente seja devido ao maior aporte de resíduos orgânicos e menor taxa de decomposição.

De acordo com o Kassa (2017), a presença de estoque de carbono orgânicos e nitrogênio do solo elevado na floresta e na agrosilvicultura pode ser explicada por a

defoliação contínua de folhas de árvores e arbustos. O estoque de COT e NT no solo sob vegetação natural é determinado em grande parte pela entrada de carbono a partir dos resíduos vegetais (material senescente) ou pela incorporação proveniente da decomposição do sistema radicular da pastagem e representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (FARIA *et al.*, 2010).

Os menores EST.COT e EST.NT dos grupos 1 e 2 nos usos da terra de CD, CA, AG e PA podem ser atribuídos, principalmente, ao menor aporte de resíduos orgânicos no solo nas camadas inferiores nos usos de CD e CA, porém, nos usos de PA e AG podem ter sido relacionados pelas perturbações físicas do solo, uso mais intensivo, maior exportável, desmatamento, queimada e revolvimento do solo, já que as agriculturas nessas áreas são desenvolvidas pelo uso intenso do desmatamento, queimadas e baixo períodos de pousio (MAIA, 2006). Dessa forma, fica evidente que a interferência antrópica tende a reduzir o estoque de carbono no solo e nitrogênio no solo e que a retirada da vegetação nativa descaracteriza a função da floresta como sumidouro de carbono. O uso intensivo da terra mais exportável, a remoção de resíduos de culturas e o pastejo após a colheita podem ter contribuído para o baixo armazenamento de carbono do solo na terra e no subsolo das terras cultivadas (KASSA, 2017).

Considerando os maiores valores médios das duas classes de solos estudados, observaram-se que a classe de LUVISSOLO Crômicos apresentou maiores estoques de COT e NT do que NEOSSOLO litólicos. Portanto, confirmando a hipótese, a classe do LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico favorece um maior aporte de estoque de carbono e nitrogênio em comparação com a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico.

No geral, os resultados dos usos da terra apresentam teores e estoques de COT e NT semelhantes, o que aponta para processos de dinâmica de C e N também semelhantes. As mudanças ocorridas nos usos da terra sob EST.COT e EST.NT foram relacionadas ao manejo do solo e as profundidades que podem acarretar tanto acréscimos como decréscimos desses elementos. Os resultados obtidos nos usos da terra nesse estudo não observaram efeitos sob os teores e estoques de COT e NT nas camadas profundas do solo, não se mostraram adequados para quantificar esses elementos nas camadas mais profundas.

Na classe de NEOSSOLO, 88% dos valores dos teores e estoques de COT e NT foram encontrados para os usos CD e CA nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Enquanto, para a classe do LUVISSOLO foi observado valores acima de 75% e 65% respectivamente, para os teores e estoques de COT e NT nos usos CD e CA para as camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm.

A quantidade de resíduos orgânicos depositados sobre os solos, a intensidade de uso e a taxa de decomposição controlam os estoques de C e N nos solos (BODDEY *et al.*, 2012). No semiárido brasileiro, aproximadamente 70% das espécies lenhosas da caatinga fazem parte da dieta de bovinos, ovinos e caprinos (ARAÚJO FILHO, 2013), que transitam quase por toda a área e consomem a biomassa vegetal que encontram: herbáceas, folhas e brotos, sejam nas árvores e arbustos ou depositados sobre o solo.

Os estoques de C e N estão diretamente ligados à produção de biomassa no semiárido, que é condicionada as condições edafoclimáticas disponibilidade de água (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). No período chuvoso, a vegetação produz biomassa que vai sendo consumida pelos animais, durante a rebrota. No período de estiagem, folhas secas são depositadas no solo e começam a fazer parte da dieta desses animais (ARAÚJO FILHO, 2013). Como nessa região a entrada de material vegetal no solo é baixa, a quantidade de matéria orgânica no solo também é baixa.

Os estoques de COT e NT contidos nos solos sob a caatinga sofrem modificações quando esses sistemas são convertidos ao uso agrícola. Dependendo do sistema de manejo empregado os teores e estoques de COT e NT podem permanecer iguais, aumentar ou diminuir em relação ao sistema natural.

8- CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou que os EST.COT e EST.NT variam conforme a classe de solo existente nesse estudo. Os maiores estoques estão associados aos solos profundos e bem drenados, sendo os maiores EST.COT e EST.NT foram encontrados na classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico quando comparado com a classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico.

A classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típico foi mais vulnerável quando comparado com a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico. Porém, os usos da terra na classe de NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico foram menos intensivos do que a classe de LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico.

As mudanças nos usos da terra na FTSS mostraram efeitos sob EST.COT e EST.NT. Portanto, é necessário adotar estratégias e fortalecer práticas conservacionistas nas áreas mantidas sob usos de agricultura e pastagem, e reduzir o processo de degradação e promover o processo de recuperação dessas áreas. Tais ações reduzirão as perdas de C e N e incrementam as concentrações e estoques de COT e NT.

9– REFERÊNCIAS

- ADKINS, J.; JASTROW, J. D.; MORRIS, G. P.; SIX, J.; GRAAFF, M. A. Effects of switchgrass and intraspecific differences in root structure on soil carbon inputs and accumulation. **Geoderma**, v. 262, p.147-154, 2015.
- ALMEIDA, A.J.G.; MIZUKI, T.; PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S. Impactos da irrigação intensiva nas propriedades de um solo na região de Irecê, Bahia. In: **Reunião Brasileira de Manejo e conservação do solo e da água**, v.16, 2006.
- ANDRADE, E. M. **O Semiárido cearense e suas áreas**. In: ANDRADE, E. M.; PERREIRA, O. J.; DANTAS, F. É. (org). **Semiárido- e Manejo dos Recursos Naturais**. Fortaleza-CE, 2016. 57p.
- ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, E. R. **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. 408p.
- ANDRADE, E.M.; SENA, M. G.T.; SILVA, A. G. R.; PERREIRA, F. J. S.; LOPES, F. B. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@mbiente. On-line**, v. 10, n. 2, p. 88 - 95, 2016.
- ANDRADE, A. P.; COSTA, R.G.; SILVA, D.S.; LACERDA, A. V.; ARAÚJO, J.S.; MAGALHÃES, A. L. R.; BRUNO, R. L.A. **A caatinga como suporte forrageiro: desafios para a exploração sustentável**. In: ANDRADE, E. M.; PERREIRA, O. J.; DANTAS, F. É. (org). **Semiárido- e Manejo dos Recursos Naturais**. Fortaleza-CE, 2016. 85p.
- ANH, P. T. Q.; GOMI, T.; MACDONALD, L. H.; MIZUGAKI, S.; KHOA, P. V.; FURUICHI, T. Links between land use, macronutrient levels and soil erosion in northern Vietnam. **Geoderma**, p.12, 2014.
- ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* l. f.) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 559-568, 2010.
- ALVES, J. J. A. **Geocologia da caatinga no semiárido do nordeste brasileiro**. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.
- AQUINO, D. N.; ANDRADE, E; M.; CASTANHO, A. D. A.; JÚNIOR, L. R. P.; PALÁCIO H. A. Q. Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, v. 2083-2100, n.8, p.2158-2750, 2017.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C.; GARCIA, R.; SOUSA, R. A. Efeitos da Manipulação da Vegetação Lenhosa sobre a Produção e Compartimentalização da Fitomassa Pastável de uma Caatinga Sucessional. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.31, n.1, p.11-19, 2002.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Caracterização física do Semiárido Nordestino**. In: **Manejo**

pastoril sustentável da caatinga. Projeto Dom Helder Câmara, Recife, PE, 2013.

ARMORIM, E. L. B. **Caracterização de serapilheira em Caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após desmatamento sem queima.** 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

AUGUSTO, M.V. **Carbono no cerrado de Minas Gerais: modelagem e estoques solo, raízes e serapilheira.** 117f. 2014. Tese (Doutorado) Universidade federal de Lavras. UFLA, CDD-634.9285, 2014.

ASAYE, Z.; ZEWDIE, S. Fine Root Dynamics and Soil Carbon Accretion under Thinned and Un-Thinned Cupressus lusitanica Stands in, Southern Ethiopia. **Plant and Soil**, v, 366, p. 261-271, 2013.

ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, S.; NEVES, J.C.L. **Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.** Pesq. Agropec. Bras, v. 41, 2006. p.1541-1550.

BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; FÉRIAS, C. H. A.; PERREIRA, W. E. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga**, v. 26, n 1, p.35 - 42, 2013.

BENEDET, M. G. C. **Compartimentação do Estoque de Carbono Em Floresta Ombrófila Mista.** Sanquetta, Carlos Roberto. II. Machado, Sebastião do Amaral. III, 2015.

BÁRCENA, T.G.; KIAER, L.P.; VESTERDAL, L.; STEFÁNDÓTTIR, H.M.; GUNDERSEN, P.; SIGURDSSON, B.D. Soil carbon stock change following afforestation in northern Europe: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.20, p.2393-2405, 2014.

BRASIL. **Ministério da Ciência e Tecnologia. Segundo inventario brasileiro de emissões e remoções de gases de efeito estufa:** emissões de gases de efeito estufa no setor uso da terra, mudanças do uso da terra. Brasília, 2010.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. A. Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidade e mecanismo de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L.; URQUIAGA, S. **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira.** Embrapa Brasília, DF, p. 33-82, 2012.

BORTOLON, E.S.O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C.G.; LOPES, F.; FERNANDES, F.F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1635-1646, 2009.

BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L., ed. **Methods of soil analysis.** Part 3. Madison, America Society of Agronomy, (SSSA Book Series, 5), p.1085-1121, 1996.

BRUCE, S.; SIMS, J.; WALCOTT, J.; WHITE, S. **Soil Carbon Management and Carbon Trading.** Department of agriculture, fisheries and forestry. Australian Government. Bureau of Rural Sciences, 2010. 12p.

BUSTAMANTE, M.M.C.; NARDOTO, G.B.; PINTO, A.S.; RESENDE, J.C.F.; TAKAHASHI, F.S.C.; VIEIRA, L.C.G. Os impactos potenciais das mudanças climáticas no funcionamento biogeoquímico dos ecossistemas de cerrado. **Brazilian Journal Biology**, v.72, n.3, p. 655-671, 2012.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. de A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.20-25, 2008.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. cap, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, 2001. p. 270-276.

CARMAGO, F. A. O.; SILVA, L. S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do solo. Santos, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. ver. E atual, Metropole, porto Alegre, cap. 07, 2008. p. 87-99.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. **Flores da Caatinga**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2010.

CASTRO, M.A; CUNHA, F.F; LIMA, S. F; PAIVA, V. B; LEITE, D.A.P; MAGALHÃES, F. F. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-MatoGrossense. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, p.498-512, 2012.

CASTILHOS, A. B. J. **Tratamento de resíduos sólidos**. Edição. PROSAB/FINEP Rio de Janeiro, 2006.

CHEN, Q., HE, N.; HAN, X.; YU, G.; LI, L. Warming and increased precipitation individually influence soil carbon sequestration of Inner Mongolian grasslands, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.158, p.184-191, 2012.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 325-358, 2008.

CONYERS, M.; LIU, D.L.; KIRKEGAARD, J.; ORGILL, S.; OATES, A.; LI, G.; POILE, G.; KIRKBY, C. A review of organic carbon accumulation in soils within the agricultural context of southern New South Wales, Australia. **Field Crops Research**, v. 184, p.177-182, 2015.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2009.

541 p.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p.1137-1145, 2009.

DEMESSIE, A.; SINGH, B. R.; LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks under chronosequence of farm and traditional agroforestry land uses in Gambo District, Southern Ethiopia. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, v. 95, p. 365-375, 2013.

DENG, J.; SUN, P.; ZHAO, F.; HAN, X.; YANG, G.; FENG, Y. REN, G. Soil C, N, P and its stratification ratio affected by artificial vegetation in subsoil, Loess Plateau China, **PloS One**, p.1-18, 2016.

DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; DE FREITAS, R.M O.; PONTES, F.M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v. 77, p. 430-434, 2011.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis **Global Change Biology**, v. 17, p. 1658-1670, 2011.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise do solo**, 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DON, A; SCHUMACHER, J; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 17, p. 1658-1670,2011.

DUQUE, J. G. O.; **Nordeste e as lavouras xerófilas**, 4 eds. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 330p.

DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**, 6 eds. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 334p.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; PÉREZ, D. V. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, 2013.

ELLERT, B. H.; JANZEN, H. H.; MCCONKEY B. G. Measuring and comparing soil carbon storage. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (eds) **Assessment methods for soil carbon**. Lewis imprint of the CRC Press, 2001. p. 131–146.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3. ed. rev. amp. Brasília: Serviço de produção de informação, 2013. 353p.

FORZZA, R.C.; BAUMGRATZ, J.F.A. BICUDO, C.E.M. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **Bio Science**. doi:10.1525/bio. .62.1.8k, 2012.

FARIA, A. F. G. et al. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topos sequência na bacia do rio Araguaia, estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.517-524, 2010.

FRACETTO, F. J. C.; FRACETTO, G. G. M.; CERRI, C. C. FEIGL, B. J.; NETO, M. S. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1545-1552, 2011.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N, G, S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, Nº. 1, 2005.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Fixação biológica do N₂ em leguminosas arbóreas da Paraíba e de Pernambuco**. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2008.

FUENTES, J. A.; MARTÍNEZ, C. C.; LÓPEZ, M.; PAUSTIAN, K.; DENEFF, K.; STEWART, C.; ARRÚE, J. Soil aggregation and soil organic carbon stabilization: effects of management in semiarid Mediterranean agroecosystem. **Soil Science Society of America journal**, v. 73, p.1519-1529, 2009.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. 2017. Acesso em linha 15/02/2017:
<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=2017-2-15>.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. **Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre, 2008. p.159-170.

GALINDO, I. C. L. **Relações solo-vegetações em áreas sob processo de desertificação no Estado de Pernambuco**. 2007. 248f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade federal rural de Pernambuco, Recife, 2007.

GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. S.; MENDES, A. M. S.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J. Soil Organic Carbon in the Brazilian Semi- arid tropics. **Global Science Books, Dynamic soil, dynamic plant**, v. 5, Special Issue 1, p. 12-20, 2011.

GHOMMEM, M.; HAJJ, M. R.; PURI, I. K. Influence of natural and anthropogenic carbon dioxide sequestration on global warming. **Ecological Modelling**, v. 235-236, p. 1–7, 2012.

HAMZA, M.A W. K; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions J. **Soil and Tillage Research**, v.82, p.121-145,2005.

HOUGHTON, R. A. Balancing the global carbon budget. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.35, p.313-347, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICAS E ESTASTÍSTICAS - IBGE. 2004. Acesso em linha o dia 23/01/2016. Disponível em

<<http://ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Básico Municipal. Quixadá**, 2015. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2015/Quixada.pdf>. Acesso em 10 de abril 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Anuário Estatístico do Ceará**, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ- IPECE. **Perfil Básico Municipal Pentecoste**, 2016. Disponível em <<file:///C:/Users/wilner%20valbrun/Downloads/Pentecoste.pdf>>. Acesso em 06 de março 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 4, 2006.

KASSA, H.; DONDEYNE, S.; POESEN, J.; FRANKL, A.; NYSSSEN, J. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks: the MARK case of the Gacheb catchment in the White Nile Basin, Ethiopia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 247, p.20, 2017.

KORKANÇ, S.Y. Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. **Catena**, v.123, p.62-69, 2014.

KIILL, L. H. P. Bioma Caatinga. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000glz1ehqv02wx5ok0f7mv200nvg0xn.html. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

LAL, R. Sequestering carbon in soil of soils agro-ecosystems, **Food Policy**, v.36, p. S39-S39, 2011.

LEITE, L. F. C.; PETRESE, V. G.; SAGRILO, E. **Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos**. In: ICID+18 2ª Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas 16 - 20 de agosto de 2010, Fortaleza - Ceará, Brasil.

LI, H. & YANG, X. Temperate dryland vegetation changes under a warming climate and strong human intervention — With a particular reference to the district Xilin Gol, Inner Mongolia, China. **CATENA**, v. 119, p. 9-20, 2014.

LUCIANO, R.V; BERTOL, I; BARBOSA, F.T; KURTZ, C; FAYD, J.A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparado a mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, p. 9-19, 2010.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; LOBATO, F. A. O.; PALÁCIO H. A. Q.; ARRAES, F. D.D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revista**

Agro@mbiente on-line-line, v. 3, n. 2, p. 72-79, 2009.

LOUM, M.; VIAU, V.; NICOLAS, H.; WALTER, C. Retrospective and dynamics of soil carbon sequestration in Sahelian agrosystems in Senegal. **Journal of Arid Environments**, v. 100-101, p. 100-105, 2014.

MADEIRO, M. F.; SOUZA, J. F.; ARAUJO, C. A. Programa gestão e Administração territorial-GATE. **Diagnósticos Geoeconômico Acopiara-CE**, v.2, 1995. 22p.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

MMA. KORN, H. Ministério do Meio Ambiente. **Opções de mitigação e de adaptação a mudança climática: conexões com a biodiversidade e impactos sobre a biodiversidade**. In: Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas. Tradução: Ana Lúcia Lemos de Sá. Brasília: cap. 4, 2007. p. 79-137.

MAIA, G. N. Caatinga: Árvores e arbustos e suas utilidades. 2 ed. Fortaleza: **Printcolor** Gráfica e Editora, p.413, 2012.

MAIA, G. B. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: Leitura e Arte Editora, p.413, 2004.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, p.837-848, 2006.

MARQUES, F.A.; NASCIMENTO, A. F.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SILVA, A. B. **Mistério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 8, 2014.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L./ 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 do Solo**, v. 34, 2010.

MARTIN, J.A.R.; ALVARO-FUENTES, J.; GONZALO, J.; GIL, C.; RAMOS-MIRAS, J.J.; CORBI, J.M.G.; BOLUDA, R. Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. **Geoderma**, v. 264 (part A), p.117-125, 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TEC/NOLOGIA – MCT. **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal** – Parte 2, 2010.

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas**. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.1-5.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE

E DOS RECURSOS NATURAIS - MMA/IBAMA. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA: monitoramento do bioma Caatinga.** Brasília: MMA, p.46, 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, 2ª edição, 2014.

MORAIS, V. A. **Modelagem e especialização do estoque de carbono de cerrado sensu stricto em Minas-gerais.** 125f 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

MORAIS, V. A. **Carbono no Cerrado de Minas Gerais: Modelagem e estoques em solo, raízes e serrapilheira.** (2014). Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal de Lavras, 2014.

MONTERO, L. L. **Carbono em solos de Cerrado: efeitos do uso florestal (vegetação nativa de Cerrado, versus plantios de Eucalyptus e Pinus).** 2008. 130f. Tese (Doutorado) Instituto de Biociência da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUERIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 2007.

NAIR, P. K. R.; Kumar, B. M.; Nair, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.172, p.10-23, 2009.

NEUMANN-COSEL, L.; ZIMMERMANN, B.; HALL, S. J.; BREUGEL, V.; MICHIEL, E. H. Soil carbon dynamics under young tropical secondary forest on former pastures: a case study from Panama. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1625-1633, 2011.

NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. In: Lima, R. C. C.; Cavalcante, A. M. B.; Marin, A. M. P. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** Campina Grande: INSA-PB, 2011.

ORGILL, S. E.; SPOLJARIC, N.; KELLY, G. Soil carbon under perennial pastures; benchmarking the influence of pasture age and management. **Soil Change Matters**, v.25, p.1-4, 2015.

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas do semiárido do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 33, p. 1333-1345, 2009

OLIVEIRA FILHO, M. B. L.; SANTOS, A.J.B.S.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, M.F.; MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de Caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Mitologia**, v.21, n.3b, p.378-386, 2006.

OLIVEIRA, J.B. **Bacias hidrográficas: aspectos conceituais, uso manejo e planejamento.** Fortaleza (CE): Secretaria dos Recursos Hídricos, p.267, 2010.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada.** Piracicaba: FEALQ, p.592, 2011.

PALÁCIO, H, A.Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J.C.N; J.; ARAÚJO NETO, J. R.; BRASIL, P. P. Emergency evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. **Am SoC Agric Bio Eng**, v.56, p. 1357-1363, 2013.

PALÁCIO, H, A.Q. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos.** 2011. 150f. Tese (Agronomia) Universidade Federal do Ceará, (UFC), CE, 2011.

PALVA, A.O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob Cerrado Sensu Stricto no Distrito Federal, Brasil. **Revista Tropical- Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 01: p.59-65,2007.

PEQUENO, P. L. L. **Noções básicas de uso e manejo do solo.** Porto Velho: EDUFRO, 2013. 59p.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; FILHO, J. C. R.; PEREIRA, F. J. S. **Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil.** Estoque de carbono em uma floresta tropical seca no Brasil. ISSN 1806-6690. v.47, 2016. 9p.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.14, n.1, p.77-90, 2013.

PEREIRA FILHO, J. M.; BAKKE, O. A. Produção de forragem de espécies herbáceas da caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga.** Brasília-DF, Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

PIMENTEL, R. M. **Propriedades físicas, carbono e nitrogênio do solo em sistemas agropecuários.** 50f. 2012. Dissertação (Agronomia) Universidade Federal de Lavras (UFLA). MG, 2012.

PIMENTEL, J. V. F. **Caatinga e manejo agrossilvipastoril.** In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Org.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural.** Fortaleza: ed. Imprensa Universitária UFC. Cap. 5, p.106-132, 2010.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, v.269, p.341-356, 2005.

RAVINDRAN, A; YANG, S. S. Effects of vegetation type on microbial biomass carbón and nitrogen in subalpine mountain Forest soils. **Journal of Microbiology, Immunology and Infection**, n. 48, p.362-369, 2015.

RIOS, L. C.; CONCEIÇÃO, M.; PÉREZ, D, V.; ARAÚJO, W. S. **Estoque de carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos sob seringais cultivados e vegetação**

natural. In: ALVARENGA, A. P., CARMO, C. A. F. S. Sequestro em seringais de cultivo e na vegetação natural: quantificação em seringas de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG, v.352, 2006. p.159-178.

RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C.C.; SILVA, A. C. B. L. **Estrutura e vegetação caducifolia espinhosa (Caatinga) de uma área de sertão central de Pernambuco.** Hoehnea, v.35, n.2, p.209-217, 2008.

RODRIGUES, A. M. M. **Uma nova proposta para quantificar o aporte de nutrientes da serapilheira ao solo.** 2012. 85f. (Monografia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; MENDONÇA, L. A. R.; ARAÚJO, J. C.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO, E. M. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.312–318, 2013.

ROMERO, R.E., FERREIRA, T. O. **Morfologia e classificação dos solos predominantes no semiárido cearense.** In: ANDRADE, E. M., FERREIRA, O. J., DENTAS, F. É. (org). SEMIÁRIDO- e manejo dos recursos naturais. Fortaleza-CE, 2016. p.45-53.

ROSA, R.; EYII SANO, R. R.; ROSENDO, J.S. **Estoque de Carbono em Solos sob Pastagens Cultivadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2014. 19p.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p.359-376, 2012.

SACRAMENTO, J. A. A. S.; ARAÚJO, A. C. M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 784-795, 2013.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B. Desertificação no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Recife. Anais... Recife Conferência.1 CD-ROM. **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma Caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga.** Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. estoques e fluxos de carbono no semiárido nordestino: Estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p.: 1275-1291, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 353 p. 2013.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: **Ecosistemas tropicais e subtropicais**, 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO; E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G. de A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecosistemas tropicais e subtropicais, 2008. p. 7-16.

SALGADO, E.V.; ANDRADE, E.M.; HEVIA, J. N.; NUNES, E. P.; RODRIGUES, M. M. A. Rainfall patterns and the contribution of litter in the caatinga dry tropical forest. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 299-309, 2015.

SHARMA, K. L. Effect of agroforestry systems on soil quality–monitoring and assessment. **Central Research Institute for Dryland Agriculture**, p. 11, 2011.

SAVADOGO, P.; TIVEAU, D., SAWADOGO, L., TIGABU, M. Herbaceous species responses to long term effects of prescribe fire, grazing and selective cutting tree in the savanna-woodland of west Africa. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.10, p.179-195, 2008.

SCHEFFER, R. A.; AERTS, R. Root Decomposition and soil nutrient carbon cycling two temperate fen ecosystems. **Oikos**, v. 91, p. 541–549, 2000.

SELIM. H.M.; NEWMAN, A.; ZHANF, L.; ARCENEUX, A.; TUBUNA, B.; GASTON, L.A. Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. **Soil and Tillage Research**, v.155, p.401-411, 2016.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. **Análise dos Atributos Climáticos do Estado da Bahia**. Série Estudos e Pesquisas, v. 38, mapas 2 e 3, 1998.

SILVA, R. G. P. O. **Espectroscopia de Reflectância no Mapeamento e Modelagem de Solos no Semiárido**. 2018. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, L. D.; ALMEIDA, H. A. **Estimativa do potencial para captação de água de chuva em Quixadá** – CE, p.3-10, 2009.

SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T. L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, A. B.; ARAÚJO, F. J. C.; & LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrosocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA-CPTSA, v. 2, 1993.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS R. F. et al., eds. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, p.275-374, 2007.

SILVA, R. F.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em

povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.6, p.979-992, 2008

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p.353, 2013.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. A4-A9, 2014.

SOUSA, S.A.M. **Avaliação de Implementação de Uma Unidade de Conservação de Proteção Integral: O caso do Monumento Natural dos Monólitos de Quixadá-CE**. 2010. 130f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, 2006.

SOUZA, B.V. **Estoque de carbono em diferentes fisionomias de caatinga do Seridó da Paraíba**. 2012. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

TAN, Z. L.L.; TACHIE, O. E.; LIUS, S.; DIEVE, A.M. Historical and simulated ecosystem carbon dynamics in Ghana: land use, management, and climate. **Biogeosciences**, v. 6, p. 45–58, 2009.

TRAORÉ, S.; OUATTARA, K.; ILSTEDT, U.; SCHMIDT, M.; THIOMBIANO, A.; MALMER, A.; NYBERG, G. Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. **Geoderma**, p.241-242, 2015.

TERENTIN, C. B. **Estoques de carbono nas áreas de vegetação campestre da área de proteção ambiental (apa) do ibirapuitã**. 2015. 98f. Tese (Doutorado Universidade Federal do Rio grande do Sul, 2015).

TITO, M.R.; LEÓ, M.C.; PORRO, R. **Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais**. 1. ed. Belém (PA): Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) /Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), p.81, 2009.

URIOSTE, A. M.; HEVIA, G. G.; HEPPEL, E. N.; ANTON, L. E.; BONO, A. A.; BUSCHIAZZO, D. E. Cultivation effects on the distribution of organic carbon, total nitrogen and phosphorus in soils of the semiarid region of Argentinian Pampas. **Geoderma**, v. 136, 2006.

VEIRA, D. L. M.; SCARIOT, A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. **Restoration ecology**. n.14, v.1, 11-20, 2006.

WANG, T.; KANG, F.; CHENG, X.; HAN, H.; JI, W. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. **Soil and**

tillage research, v.163, p. 176-184, 2016.

WEI, H.; GUENET, B.; VICCA, S.; NUNAN, N.; ASARD, H.; ABDELGAWAD, H.; JANSSENS, AI. High clay content accelerates the decomposition of fresh organic matter in artificial soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 77, p.100-108, 2014.

WU, X.; LIU, G.; BUTTERBACH-BAHL, K.; FU, B.; ZHENG, X.; BRÜGGEMANN, N. Effects of land cover and soil properties on denitrification potential in soils of two semi-arid grasslands in Inner Mongolia, China. **Journal of Arid Environments**, v. 92, 2013.

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.

ZILS, T. **Efeito do uso da vinhaça associada à adubação nitrogenada no carbono lábil e microbiano em solo cultivado com cana-de-açúcar no cerrado**. Universidade de Brasília Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Cícero Célio de Figueiredo, Brasília, p. 45, 2015.

ZHOU, X.; CHEN, C.; WANG, Y.; XU, Z.; DUAN, J.; SMAIL, S. J.; HAO, Y. Soil extractable carbon and nitrogen, microbial biomass and microbial metabolic activity in reponse to warming and increased precipitation in a semiarid Inner Mongolian grassland. **Geoderma**, v. 206, p.24-31, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A. DESCRIÇÃO MORFOLOGICA

NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico

- A1 0 – 22 cm; preto (7,5 YR 2,5/1, úmido), bruno (7,5 YR 5/2, seco); franco-arenoso; moderada a forte grande a muito grandes blocos angulares; poucos poros pequenos; duro, friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e abrupta.
- A2 22 – 34 cm; bruno-escuro (7,5 YR 3/2, úmido), bruno (7,5 YR 4/2, seco); franco-arenoso; moderados grandes blocos angulares; poucos poros pequenos; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e abrupta.
- A3 34 – 48 cm; bruno muito escuro (7,5 YR 2,5/2, úmido), bruno (7,5 YR 4/2, seco); franco-arenoso; forte a moderada grande a média blocos angulares; poucos poros pequenos; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes – Poucas nos horizontes A1 e A3; comuns no horizonte A2.

Observações – Muitos minerais alteráveis e cascalho centimétrico no horizonte A2; presença de cascalho milimétrico no horizonte A3.

QUADRO DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico

Horizonte		Amostra seca ao ar (%)			Composição Granulométrica (%)				%Silte/ %Argila
Símbolo	Profund. (cm)	Calhaus (>20mm)	Cascalho (20- 2mm)	TF (<2mm)	Areia Grossa	Areia Fina	Argila	Silte	
A1	0-22	0	5	95	40,0	42,5	5,0	12,4	2
A2	22-34	7	11	82	43,4	36,8	7,1	12,7	2
A3	34-48	0	12	88	44,6	37,1	7,4	10,9	1
pH			Posto saturado		Sat, c/sódio 100.Na ⁺ /T	P assimil. (ppm)	C (%)	N (%)	C/N
H ₂ O (1:2,5)	CaCl ₂ (1:2,5)	KCl (1:2,5)	C.E. do extrato (mmhos/ cm 25° C)	Água (%)					
6,50	5,80	5,76	0,131	-	1	43,71	0,8	0,03	28
6,60	5,55	4,53	0,056	-	2	8,61	0,3	0,02	21
6,61	5,56	4,35	0,055	-	2	7,09	0,3	0,01	21
Complexo Sortivo (cmol _c dm ⁻³)								V (%)	$\frac{100 \cdot \text{Al}^{3+}}{\text{Al}^{3+} + \text{S}}$
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	S	T		
4,00	2,02	0,45	0,07	1,27	0,05	6,5	7,9	83	1
5,60	0,46	0,16	0,14	1,75	0,07	6,3	8,2	78	1
6,25	0,23	0,11	0,15	1,88	0,10	6,7	8,7	77	1

Fonte: (SILVA, 2018)

LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico**PÊNDICE B – DADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS: LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico**

Profundi dade	Relevo	Cor	Estrutura	Textura	Areia	Silte	Argila	Consistência	Obs.
---cm---					-----g/kg-----				
0-20		7,5 YR 2,5/2	Argilosa a muito argilosa		15.8	36.9	47.4	Muito plástico/ Ligeiramente pegajoso	Presença de mosqueados
20-50	Plano, baixada	7,5 YR 3/2	Argilosa a muito argilosa		20.3	20.3	59.4		
50-80		7,5 YR 3/3	Média		75.3	10.1	14.6	Plástico/Ligeiramente pegajoso	Mosqueados (7,5 YR 5/6)
80+		7,5 YR 5/1			74.2	8.4	17.4		

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS: LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico

Simb.	Prof.	Areia	Silte	Argila	Relação Silte/Argila
Hor	cm	-----g kg ⁻¹ -----			
A	0-10	84,5	10,6	4,9	2,2
AB	10-20	77,6	12,7	9,7	1,3
Bt1	20-50	70,7	13,7	15,6	0,9
Bt2	50-80 ⁺	49,8	24,2	26,1	0,9

Hor.	pH H ₂ O 1:2,5	Complexo Sortivo								V	M	PST
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	CTC			
		-----cmol _c kg ⁻¹ -----								-----%-----		
A	5,67	3,30	1,60	0,10	0,04	5,03	0,10	0,50	5,63	89,35	1,95	0,63
AB	5,46	1,60	1,10	0,14	0,04	2,88	0,10	2,00	4,98	57,84	3,35	0,89
Bt1	5,90	1,80	1,20	0,14	0,05	3,19	0,10	1,10	4,39	72,66	3,04	1,18
Bt2	5,90	3,50	1,60	0,10	0,19	5,39	0,10	0,70	6,19	87,07	1,82	3,04