

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

GABRIEL CARLOS MOURA PESSOA

**AMBIENTE SEMIÁRIDO ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO E
NITROGÊNIO SOB SISTEMA SILVIPASTORIL E O MANEJO DE
SOLO TRADICIONAL**

Recife
2020

GABRIEL CARLOS MOURA PESSOA

**AMBIENTE SEMIÁRIDO ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO E
NITROGÊNIO SOB SISTEMA SILVIPASTORIL E O MANEJO DE
SOLO TRADICIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya

Co-orientadores

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Recife – PE
Agosto, 2020.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P475a

Pessôa, Gabriel Carlos Moura

Ambiente Semiárido Estoques de Carbono Orgânico e Nitrogênio Sob Sistema Silvopastoril e o Manejo de Solo Tradicional / Gabriel Carlos Moura Pessôa. - 2020.
72 f. : il.

Orientador: Victor Casimiro Piscoya.

Coorientador: Renisson Neponuceno de Araujo Filho.

Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2020.

1. Fertilidade de solo. 2. Qualidade química do solo. 3. Sistema alley cropping. 4. Fracionamento de substâncias húmicas. I. Piscoya, Victor Casimiro, orient. II. Filho, Renisson Neponuceno de Araujo, coorient. III. Título

CDD 620.8

GABRIEL CARLOS MOURA PESSOA

Ambiente Semiárido Estoques de Carbono Orgânico e Nitrogênio sob Sistema Silvipastoril e o Manejo de Solo Tradicional.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Aprovado em 27 de agosto de 2020

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora

Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho

Prof^a Dr. Aline Costa Ferreira

Recife
Agosto, 2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Severino Porfírio Pessoa Junior e Maria Cristina de Moura Pessoa, por todo amor, dedicação e investimento que possibilitaram minha formação.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por guiar sempre meus caminhos e me conceder sabedoria. Aos meus pais Severino Pessôa e Maria Cristina berço de toda minha educação, assim como meu irmão Uriel Pessôa pela ajuda na estatística desse trabalho. Aos meus tios José Mário e Sônia Pessôa, assim como meus primos Danielle Pontes e Tarliton Pontes.

Minha graditão a FACEPE pelo financiamento dessa pesquisa ao longo de 2 anos e a seu Erasmo, proprietário da fazenda.

Todos os professores da UFRPE / PPEAMB que contribuíram nessa pesquisa, em especial ao Dr. Fernando Cartaxo e ao meu orientador Dr. Victor Casimiro Piscoya. Aos técnicos e demais funcionários da UFRPE, em especial a Walkiria Brito e Eudes Oliveira.

E aos amigos e colegas que me ajudaram nessa pesquisa: Cristiane Crespo; Thais Patú; Robson Melo; Maykon Barros.

“Viva à ciência, viva à pesquisa e a Universidade Pública, abaixo retrocesso, o obscurantismo e os falsos gurus.

Viva Chico Mendes e a todos aqueles que dedicam sua vida a pesquisa, a conservação dos biomas, das espécies e dos oceanos.

Viva Charles Darwin.”

RESUMO

Uma quantidade adequada de matéria orgânica do solo é considerada essencial para uma agricultura sustentável a longo prazo. Valores muito baixos geralmente diminuem a produtividade das culturas. Solos das regiões semiáridas são marcados pelo baixo potencial de produtividade, atrelado a baixos teores de nutrientes, baixa drenagem e baixa concentração de matéria orgânica. O carbono no solo desempenha um papel essencial na qualidade do solo, disponibilidade de nutrientes para as plantas e funções ambientais. Os estoques de nitrogênio aumentam a produtividade da lavoura e melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para a sustentabilidade do agro ecossistema, minimizando os impactos sobre o meio ambiente, suprimindo a adubação mineral e mitigando o aquecimento global, disponibilizando nutrientes para as plantas. O presente estudo quantificou os estoques de carbono e nitrogênio em duas áreas situadas em região semiárida, num Sistema Silvistoril e num Sistema de Pastagem, na região da Bacia Hidrográfica do rio Pajeú, Sertão do estado de Pernambuco – Brasil, tendo como testemunha uma área de Caatinga preservada. Foram realizadas análises das qualidades física, química e biológica dos sistemas. Foram abertas 8 trincheiras por tratamento, sendo coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas das profundidades 0 – 10, 20 – 30 e 50 – 60 cm, para análises física, químicas e atividade microbiana, seguindo o protocolo da EMBRAPA (2017). Os solos dos Sistemas Silvistoril e Pastagem foram classificados como Neossolo Flúvico, e o da Caatinga como Cambissolo Háplico, ambos com textura franco argilo arenosa. Os valores obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias testadas a 5% pelo teste de Tukey. De maneira geral o Sistema Silvistoril apresentou melhores resultados nos estoques de carbono e nitrogênio, nas camadas iniciais de solo, influenciado possivelmente pela dinâmica da serapilheira proveniente das árvores.

Palavras-chave: fertilidade de solo, qualidade química do solo, sistema alley cropping, fracionamento de substâncias húmicas.

ABSTRACT

An adequate amount of soil organic matter is considered essential for long-term sustainable agriculture. Very low values generally decrease crop productivity. Soils in semi-arid regions are marked by low productivity potential, coupled with low levels of nutrients, low drainage and low concentration of organic matter. Carbon in the soil plays an essential role in soil quality, availability of nutrients for plants and environmental functions. Nitrogen stocks increase crop productivity and improve soil physical, chemical and biological properties, contributing to the sustainability of the agro-ecosystem, minimizing impacts on the environment, supplying mineral fertilizer and mitigating global warming, making nutrients available for the plants. The present study quantified the stocks of carbon and nitrogen in two areas located in a semi-arid region, in a Silviculture + Pasture (Silvipastoril) System and in a Pasture System, in the region of the Hydrographic Basin of the Pajeú River, Sertão of the state of Pernambuco - Brazil, with a comparison area of preserved Caatinga. Analyzes of the physical, chemical and biological qualities of the systems were carried out. Were opened 8 trenches per treatment, and deformed and undisturbed soil samples were collected from depths 0 - 10, 20 - 30 and 50 - 60 cm, for physical, chemical and microbial analysis, following the EMBRAPA protocol (2017). The soils of the Silvipastoril and Pasture Systems were classified as Neossolo Flúvico, and that of the Caatinga as Cambisoló Háplico, both with a sandy loam texture. The values obtained were submitted to varianic analysis, with the averages being tested at 5% by the Tukey test. In general, the Silvipastoril System presented better results in carbon and nitrogen stocks, in the initial layers of soil, possibly influenced by the dynamics of the litter from the trees.

Key words: soil fertility, soil chemical quality, alley cropping system, humic substance fractionation.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, fazenda Cedro no município de Serra Talhada – PE	30
Figura 2. Trincheiras das áreas sob sistema silvipastoril (A); sob sistema de pastagem (B) e caatinga preservada (C)	34
Figura 3. Desdobramento das interações significativas pelo teste de Tukey para acidez ativa (A); potencial (B) e soma de bases (C), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidades de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de usos do solo e minúsculas às profundidades de coleta.	38
Figura 4. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para CTC Total (A); CTC Efetiva (B) e Saturação por Alumínio (C), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.	40
Figura 5. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Macronutrientes Primários e Secundários, nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.	43
Figura 6. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Micronutrientes, nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.	46
Figura 7. Desdobramento das interações significativas pelo teste de Tukey para Carbono da Biomassa Microbiana (A); Respirometria (B) e Quociente Microbiano (C), nos diferentes tipos de uso do solo. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo.	48
Figura 8. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Estoques de Carbono Total (A) e Estoques de Nitrogênio Total (B), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.	50
Figura 9. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Carbono da Matéria Orgânica Leve (A); Estoque de Carbono Ácidos Fúlvicos (B); Estoque de Carbono Ácidos Húmicos (C); Estoque de Carbono Humína (D) e Estoque de Carbono Lábil (E), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.	54

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Granulometria nas três profundidades e nos três sistemas estudados.....	35
Tabela 2. Propriedades físicas dos solos estudados Neossolo Flúvico e Cambissolo Háptico.	36
Tabela 3. Acidez Ativa, Acidez Trocável, Acidez Potencial e Soma de Bases, nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, nas profundidades 0 - 10, 20 - 30 e 50 - 60 cm.	38
Tabela 4. CTC Total, CTC Efetiva, Saturação por Alumínio e Saturação por Base, nos diferentes tipos estudados de uso do solo, nas profundidades 0 - 10, 20 - 30 e 50 - 60 cm.	40
Tabela 5. Macronutrientes Primários e Secundários, nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, nas profundidades 0 - 10, 20 - 30 e 50 - 60 cm.	42
Tabela 6. Micronutrientes, nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, nas profundidades 0 - 10, 20 - 30 e 50 - 60 cm.	45
Tabela 7. CMB (carbono da biomassa microbiana), BR (respirometria), QCO ₂ (quociente metabólico do solo) e QMIC (quociente microbiano), nos diferentes tipos de usos dos solos, na profundidade 0 - 10 cm.	48
Tabela 8. Estoques de Carbono Total, Estoque de Nitrogênio Total e relação C/N, nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, nas três profundidades..	50
Tabela 9. Carbono da Matéria Orgânica Leve, Estoques de Carbono Ácidos Fúlvicos, Estoques de Carbono Ácidos Húmicos, Estoques de Carbono Fração Humina e Estoque de Carbono Lábil nos diferentes sistemas estudados, nas profundidades 0 - 10, 20 - 30 e 50 - 60 cm.	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AF – Ácidos Fúlvicos

AH – Ácidos Húmicos

Al – Alumínio

B – Boro

BR – Respirimetria

C – Carbono

Ca – Cálcio

CBM – Carbono da Biomassa Microbiana

Cl – Cloro

CMOL – Carbono da Matéria Orgânica Leve

COS- Carbono Orgânico do Solo

CT – Carbono Total

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

Cu – Cobre

Dp – Densidade de Partícula

Ds – Densidade de Solo

EstCAF – Estoque de Carbono Ácidos F

EstCAH – Estoque de Carbono Ácidos H

EstCT – Estoque de Carbono Total

EstHum – Estoque de Carbono Humina

EstLabil – Estoque de Carbono Lábil

EstNT – Estoque de Nitrogênio Total

Fe – Ferro

GEE- Gases do Efeito Estufa

HU – Humina

K – Potássio

m% - Saturação por Base

m_a – Massa da amostra de solo seco

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

MOS – Matéria Orgânica do Solo

N – Nitrogênio

Na – Sódio

Ni – Níquel

NT – Nitrogênio Total

P – Fósforo

PE – Pernambuco

pH – Potencial Hidrogênionico

QCO₂ – quociente metabólico do solo

qMic – Quociente Microbiano

S – Enxofre

SB – Soma de Bases

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

TFSE – Terra Fina Seca em Estufa

V – Volume do Cilindro

V% - Saturação por Alumínio

V_t - Volume Total Aferido do Balão

V_u – Volume Utilizado para Completar o Balão

Zn – Zinco

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivo Específico	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Caracterização da Região Semiárida	17
3.2. Sistema Silvopastoril e sistema de pastagem em região semiárida	18
3.3. Presença da Algaroba no semiárido	20
3.3.1. Influência das leguminosas na estruturação do solo	20
3.4. Pastagem nas regiões Semiáridas	21
3.5. Carbono Orgânico do Solo	22
3.6. Matéria Orgânica do Solo	23
3.6.1. Fracionamento da Matéria Orgânica do solo	24
3.7. Manejo de Nitrogênio em Sistemas Agrícolas	25
3.8. Qualidade do Solo	26
3.8.1. Propriedades Físicas do solo	26
3.8.2. Propriedades Químicas do solo	28
4. METODOLOGIA	30
4.1. Área de Estudo	30
4.2. Amostragem dos Solos	31
4.2.1. Preparo das Amostras de Solo para Análises Físicas, Químicas e Biológicas	31
4.3. Análises Físicas	31
4.3.1. Densidade de solo (Ds)	31
4.3.2. Densidade de partícula (Dp)	32
4.3.3. Análise granulométrica	32
4.4. Análises Químicas	32

4.5. Análises Microbiológicas.....	34
4.6. Análises Estatísticas.....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1. Características físicas do solo.....	34
5.2. Características químicas do solo.....	37
5.3. Atividade microbiana.....	48
5.4. Caracterização dos Estoque de Carbono e Nitrogênio.....	50
6. CONCLUSÕES.....	58
7. REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa o 5º lugar na classificação mundial dos países emissores de Gases de Efeito Estufa (GEEs), sendo 18% tem originados da queima de combustíveis fósseis e, aproximadamente, 75% do CO₂ emitido para a atmosfera são derivados de práticas agrícolas inadequadas (MCT, 2010) devido a mudanças do uso do solo com consequentes elevações de temperatura e aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera causando com isso o aquecimento global compelindo assim o efeito estufa (Magri & Baião, 2016). Tendo em vista o crescimento da população mundial, dentro de duas décadas os solos do mundo estarão sob crescente pressão com projeção na demanda global por alimentos em 50 por cento, água entre 35-60 e energia em 45 por cento.

Mudanças de uso e manejo do solo podem resultar em importantes fontes ou drenos de carbono (C) da atmosfera (BAKER et al., 2007; CERRI et al., 2006). No entanto, os solos são vulneráveis a perdas de carbono através de degradação. Eles também liberam gases do efeito estufa para a atmosfera como resultado da acelerada decomposição devida à mudança de uso da terra ou de terra insustentável para as práticas agrícolas (Lal 2010). Os mais importantes exemplos de mudança de uso da terra no Brasil são a conversão de ecossistemas nativos para pastagens (CERRI et al., 1996; MORAES et al., 1996) e para cultivos agrícolas (BAYER et al., 2006; CARVALHO et al., 2009).

Na conferência das Nações Unidas em 2015 sobre as Mudanças Climáticas, foi lançado o programa para mitigar as mudanças climáticas, aumentando as ações do carbono orgânico do solo (COS) em 0,4% ao ano, em virtude da manutenção e aprimoramento dos estoques de carbono em solos agrícolas, atuando na preservação dos solos ricos em carbono (Rhodes, 2016). O carbono do solo desempenha um papel fundamental na regulação do clima, no abastecimento de água e na biodiversidade. Os ecossistemas atuam como sumidouros de carbono (C) capturando e armazenando quantidades significativas de dióxido de carbono (CO₂) na biomassa do solo. A matéria orgânica do solo é constituída principalmente de C e N, com os estoques desses nutrientes variando em função das taxas de sua adição (Bongiorno et al., 2019). Muitos fatores afetam o ciclo biogeoquímico do COS alterando os estoques e sua distribuição.

O manejo do solo pode afetar o equilíbrio relativo e seus impactos ambientais tanto na MOS, onde parte do carbono é mineralizada muito rapidamente em CO₂, quanto a perdas da MOS através da erosão física. O Nitrogênio orgânico contido na biodegradação da MOS é transformado de N₂O em outro óxido de nitrogênio (NO_x) composto. No entanto, algumas

frações da MOS não são facilmente degradados. O conteúdo do COS, por conseguinte, tende a aumentar à medida que se desenvolve no solo não perturbado ao longo do tempo. Ações decisivas devem ser tomadas no sentido de limitar a perda de carbono do solo devida à erosão e às emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa para atmosfera. (Nair et al., 2010; Toensmeier, 2016).

No Semiárido de Pernambuco, estima-se que apenas 54% da vegetação nativa conhecida como “Caatinga” seja preservada (Althoff et al., 2018), sendo aproximadamente 33,3 milhões de hectares (34% de toda a região) usados para fins agrícolas. De acordo com Sampaio & Costa. (2012), o sistema agrícola que prevalece nessa região é a agricultura de sequeiro, formada por agricultores familiares, geralmente em pequenas propriedades, que cultivam culturas de subsistência com a queima da vegetação e preparo convencional do solo, paralelamente à pecuária extensiva.

O sequestro de carbono no solo é considerado uma maneira promissora de mitigar as mudanças climáticas, absorvendo o dióxido de carbono atmosférico (CO₂) em resíduos de plantas, biomassa viva e matéria orgânica recalcitrante (Paustian et al., 2016). A adoção das melhores práticas de gerenciamento agrônômico pode levar ao sequestro de COS, com um potencial estimado de 0,90 a 1,85 bilhão de toneladas de carbono por ano (t C.ano¹), ao longo de 20 anos em todo o mundo (Zomer et al., 2017).

Um dos fatores mais importantes são as alterações do uso do solo, embora a mudança de áreas conservadas de pastagem e floresta em uso agrícola afete os estoques de COS de diferentes maneiras em diferentes ecossistemas e regiões (Solomon et al., 2000). Portanto, entender o potencial de armazenamento de carbono no solo e desenvolver métodos eficazes para diminuir a concentração de CO₂ na atmosfera é de vital importância (Fu et al., 2010).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Quantificar os estoques de carbono e nitrogênio no solo nas condições de Sistema Silvopastoril, em solo com plantio agrícola de pastagem e em bioma caatinga preservada.

2.2. Objetivo Específico

- Quantificar os estoques de carbono e nitrogênio no solo nas condições de Sistema Silvopastoril (árvore + animais), em solo com plantio agrícola de pastagem e em bioma Caatinga.
- Avaliar os estoques de carbono no fracionamento da matéria orgânica: ácido húmico, ácido fúlvico e huminas em condições de sistema silvipastoril, em solo com plantio agrícola com pastagem e em uma área de Caatinga.
- Estimar a contribuição do sistema silvipastoril e sistema agrícola com pastagem nos estoques de carbono e na qualidade física dos solos no Semiárido.
- Determinar a qualidade química e biológica dos solos nos três sistemas estudados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização da Região Semiárida

A região semiárida brasileira é um ambiente diversificado em matéria de formação geológica, relevo e vegetação, apresentando peculiaridades e paisagens locais. Isso afeta diretamente a pedologia e a morfologia do solo dessa região, gerando classes de solos caracterizadas por variabilidade espacial e temporal de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos (Carvalho, 2017). A maior parte desses solos é pedogeneticamente caracterizada como pouco desenvolvida, apresentando limitações físicas para o desenvolvimento das plantas, no entanto, esses solos apresentam em geral boa fertilidade devido à sua litologia e ao padrão climático da região, combinados com outros fatores e processos de formação do solo. (Lopes et al., 2019).

O clima do Semiárido é caracterizado por baixa precipitação, baixa umidade relativa e alto potencial de evaporação. O Brasil possui um território climático semiárido que ocupa 1.128.697 Km², o que corresponde a aproximadamente 12% de sua área total, abrangendo 1.262 municípios distribuídos nos nove estados da região Nordeste e Minas Gerais (Oliveira et al., 2020).

A região semiárida do Nordeste do Brasil é a mais densamente povoada do mundo, com mais de 53 milhões de habitantes que dependem direta ou indiretamente desse ambiente. Secas recorrentes e duradouras na região criam situações de déficit hídrico que comprometem as atividades agrícolas, colocando em risco a segurança alimentar dos moradores. Um outro problema que a região presencia é a desertificação combinada ao uso intensivo do solo, que

favorece a exaustão dos recursos ambientais, conferindo a esta região uma alta vulnerabilidade (Marengo et al., 2017; Oliveira et al., 2020).

A produção na região semiárida é geralmente caracterizada pela pecuária extensiva e agricultura de subsistência com baixo investimento tecnológico e baixa produtividade, que em virtude da ausência de estratégias alternativas, força os produtores a usarem os recursos naturais de maneira intensiva e abusiva. Isso contribui para a piora da degradação das áreas utilizadas para pastagem e para baixa produtividade da lavoura, afetada pelas altas chuvas intrasazonais e interanuais, variabilidade que caracteriza a região semiárida brasileira. Como as culturas são usadas para a subsistência das famílias de pequenos agricultores e para a alimentação animal, há uma forte relação entre a produtividade agrícola e a segurança alimentar nas regiões rurais, fazendo com que a região Nordeste apresente a situação mais crítica na relação da segurança alimentar (Alvala et al., 2019).

3.2. Sistema Silvistoril e sistema de pastagem em região semiárida

Os Sistemas Agrofloretais podem ser classificados em Sistemas Agrossilviculturais, Sistemas Agrossilvistoris e Sistemas Silvistoris (Macedo et al., 2000). O sistema Silvistoril é muito encontrado nas regiões temperadas, dividindo-se em sistemas de pastoreio e de forragem de árvores. Trata-se de um sistema que combina intencionalmente árvores, pastagens e gado numa mesma área e ao mesmo tempo. Neste caso, os animais se alimentam com a forragem de árvores e demais arbustos cultivados, envolvendo práticas de manejo desejáveis para uma mitigação tanto nos problemas ambientais quanto nas mudanças climáticas, com o sequestro de carbono e adição de adubos ao solo (Nair et al., 2014).

Os sistemas de aleias (Alley Cropping) consistem em um sistema de produção que utiliza linhas densas de adubos arbóreos verdes de leguminosas com alta capacidade de regeneração e culturas de interesse agrônomo plantadas entre as fileiras arbóreas. Antes da implantação de culturas anuais, as árvores são podadas e as folhas e demais ramos são adicionados ao solo de maneira semelhante a estrume verde, servindo também de alimento para o rebanho. Esse sistema é vantajoso para aumentar a produção de biomassa, cobrir o solo e melhorar o controle da erosão (Moura et al., 2016; Oliveira et al., 2016). A utilização desse sistema é considerada uma forma viável de amenizar os impactos da agricultura, proporcionando uma maior sustentabilidade ao manejo de solos agrícolas (Wolschick et al., 2016).

Os sistemas silvistoris integram árvores, pastagens e a criação de animais ao mesmo tempo e manejo adequado, gerando diversos benefícios ambientais e comerciais. As

propriedades passam a produzir madeira, junto com a atividade pecuária, causando um aumento na receita das propriedades rurais, além de gerar um sombreamento e com isso mudar o microclima daquela dada região, proporcionando um melhor conforto térmico para os ruminantes, o que não acontece no sistema só de pastagem (Bonato & Henkes, 2013).

O cultivo de pastagens é uma necessidade da realidade do semiárido, principalmente nos períodos de seca, visto que a escassez hídrica se torna um fator limitante para produção animal. Essas regiões apresentam dificuldades no cultivo de pastagens, relacionadas a uma falta de planejamento na produção, bem como mau uso de espécies com maior capacidade de adaptação em regiões áridas e semiáridas. O maior obstáculo nessa região se dá ao fato da escassez dos recursos hídricos (Lima et al., 2018).

A região semiárida do Nordeste do Brasil é caracterizada por solos áridos e baixa pluviosidade, com a criação de animais com base em pastagens nativas e suplementos. As pastagens nativas semiáridas do bioma Caatinga, compreende várias espécies de plantas com alto potencial forrageiro e constitui fonte significativa de alimento para ovinos e caprinos da região (Sant'Ana et al., 2019).

Um benefício com a restauração de pastagens é a recuperação da matéria orgânica do solo, associando então a melhoria da qualidade do solo e sua capacidade para sustentar funções essenciais, além de melhorar o acúmulo de carbono orgânico no solo (Li et al., 2017). Áreas de pastagens cercadas reduzem os impactos negativos dos rebanhos, preservando os recursos do solo, levando a um maior acúmulo de carbono orgânico do solo, que poderia ser perdido (Oduor et al., 2018). Outros benefícios da integração de gramíneas perenes a sistemas agropecuários incluem a proteção da superfície do solo contra erosão e aumento na disponibilidade de nutrientes via decomposição de resíduos vegetais (Bhandari et al., 2020).

O reflorestamento de terras agrícolas não contribuirá apenas para o aumento do sequestro de carbono em uma escala global, também aumentará a oferta de madeira, reduzindo a necessidade de extração de forragens antigas que, as quais poderiam liberar grandes quantidades de carbono armazenado (Nair et al., 2008).

Os estoques de carbono florestal são afetados pelo uso anterior da terra, espécies arbóreas, pela densidade das árvores e pela interação de todas essas variáveis com o clima (Reynolds et al., 2007). A capacidade de aumentar o sequestro de carbono no solo dependerá em grande parte das espécies de árvores utilizadas no reflorestamento e na densidade. O armazenamento de carbono em um sistema sivilpastoril é equilibrado pelas emissões de gases do efeito estufa (CH₄

e N₂O) produzidos pelos ruminantes que se alimentam dele. A quantidade de gases do efeito estufa, aqui denominada GEE, emitida pelo gado, depende da taxa de lotação, que depende do processo de pastagem que é afetado pelo desenvolvimento das árvores após o reflorestamento. Assim, estes também devem ser avaliados (FERNÁNDEZ-NÚÑEZ et al., 2010).

Comparando com sistemas exclusivamente florestais, o carbono em sistemas silvipastoris deve ser avaliado. Algumas estimativas afirmam que a produção animal é responsável por 18% das mudanças climáticas, produzindo 9% das emissões de CO₂, 37% das emissões de CH₄ e 65% do N₂O (Steinfeld et al., 2006). Além disso, estudos de longo prazo devem ser realizados para quantificar o sequestro global de carbono, à medida que o dossel das árvores na região atlântica é rapidamente desenvolvido, o que afeta o sistema global de produção de biomassa (árvores, pastagens e, portanto, animais), a entrada de matéria orgânica no solo e o sequestro global de carbono nas diferentes reservas dos sistemas agroflorestais (Fernández-Núñez et al., 2010).

3.3. Presença da Algaroba no Semiárido

Em virtude dos longos períodos de seca enfrentados na região semiárida, junto com a crescente necessidade de alimentar os rebanhos de gado, foi introduzida no bioma Caatinga a Algaroba (*Prosopis juliflora*). É uma árvore da família das leguminosas, oriunda do Peru, estando bem adaptada às condições do Nordeste brasileiro, em virtude de sua capacidade de adaptação a solos degradados e com baixa fertilidade (Sousa et al., 2016).

O uso da Algaroba como planta xerófila nas regiões de baixa pluviosidade foi considerado uma ação de sucesso. Segundo Silva (1989), ela foi introduzida na região semiárida nordestina em 1946, no município de Serra Talhada no Sertão pernambucano, objetivando aumentar a disponibilidade de alimentos para o gado, além de apresentar-se como uma alternativa ao desmatamento no bioma Caatinga. Entretanto, ela não é apenas utilizada como alimento para bovinos, é aproveitada na exploração de madeira para fins de cercas e mourões, na forma de lenha e carvão e como suporte na alimentação de rebanhos, além de servir como sombreamento (Rodrigues et al., 2013).

3.3.1. Influência das leguminosas na estruturação do solo

A Algaroba tem contribuído para melhoria da qualidade dos solos em virtude da fixação de nitrogênio biológico, deposição e decomposição de suas folhas secas, alterações nas propriedades físicas e químicas do solo além da fauna. A simbiose das raízes junto com a

decomposição das folhas gera uma maior fertilidade debaixo da copa das árvores, com isso um maior conteúdo de matéria orgânica (Franco et al., 2015).

Embora a espécie desperte interesse pelo fato de apresentar uma boa capacidade forrageira e uma boa adaptação à região semiárida brasileira, alguns problemas já são relatados quanto à sua introdução como espécie exótica. Neste contexto, de acordo com Pegado (2006), um dos principais problemas é a invasão biológica sobre a vegetação típica da Caatinga, além de doenças para os próprios caprinos e bovinos, como surtos de intoxicação que podem causar perda progressiva de peso, atrofia da musculatura da face, torção na cabeça para mastigar, podendo assim levar a morte de ruminantes (Câmara et al., 2008).

3.4. Pastagem nas regiões semiáridas

As pastagens desempenham um papel fundamental na subsistência dos rebanhos, mas, para que essa prática seja sustentável, um equilíbrio adequado deve ser mantido entre o gado em pastoreio e a produtividade da pastagem (Feng et al., 2010). Entretanto, isso não vem ocorrendo, visto que desde 1980, as pastagens vêm sendo seriamente degradadas, causando perdas na biodiversidade, bem como queda na sua capacidade de retenção de água e nutrientes do solo (Chen et al., 2017).

Na região semiárida a principal fonte de alimentação para os rebanhos são as pastagens, em sua grande maioria áreas de pastagens naturais (Giulietti et al., 2004). Nas pastagens cultivadas há um predomínio de gramíneas oriundas da África, como os capins Gramão, Urocloa, Búffel e Andropogon, sendo estes mais adaptados ao Semiárido (Cândido et al., 2005).

Segundo Wang et al. (2014), a degradação das pastagens acarreta uma diminuição na fertilidade do solo devido a perdas no C total, N total e N disponível, P total e P disponível, bem como no K disponível, desencadeando um declínio na produção e diversidade de plantas nas pastagens.

Na busca pela melhoria e recuperação da qualidade das pastagens, a exclusão de pastoreio não apenas restaura o estado de saúde da vegetação, mas também aumenta as concentrações de C, N e P do solo, sendo esses nutrientes essenciais para a produtividade das plantas (Hu et al., 2016).

O pastoreio excessivo é considerado um dos principais propulsores da desertificação em muitas regiões áridas e semiáridas. O gado doméstico que pasta em pastagens seminaturais e manejadas, afeta a cobertura vegetal, os processos do solo, a biodiversidade e a hidrologia,

sendo a intensidade de pastejo excessivo provocada da degradação das pastagens e da desertificação (Soderstrom et al., 2001; Cooper et al., 2005; Ibanez et al., 2007). A eliminação das pastagens é uma das opções mais amplamente sugeridas para sequestrar e restaurar o carbono no solo em terras áridas e semiáridas. Sabe-se que as áreas que apresentam vegetação nativa de Caatinga arbustiva e arbórea apresentam um maior estoque de carbono (biomassa), quando comparadas com áreas de vegetação herbácea, como as pastagens e áreas plantadas com cultivos de ciclo curto (Sampaio & Costa, 2012).

3.5. Carbono Orgânico do Solo

O Carbono Orgânico do Solo (COS) é um dos indicadores de qualidade do solo mais utilizados em conjunto com o pH, P e K disponíveis (Bunemann et al., 2018), desempenhando um papel importante nos ecossistemas terrestres a partir do ciclo do carbono, na manutenção da qualidade do solo nos agroecossistemas (Balesdent et al., 2018). O COS consiste em vários compostos, desde moléculas simples até mais complexas, podendo assim apresentar uma estabilidade diferente (Deb et al., 2015).

A matéria orgânica lábil do solo se origina principalmente da decomposição da biomassa vegetal e da fauna, exsudatos radiculares e biomassa microbiana morta (Bolan et al., 2011). O carbono lábil do solo é considerado um bioindicador das funções do solo, estando atrelado diretamente à ciclagem de nutrientes, formação de agregados do solo, sequestro de carbono e provisão de habitat para a biodiversidade (Bongiorno et al., 2019). Segundo Cooper et al. (2016), as práticas de adição de matéria orgânica no solo, junto com fertilizantes, aumentarão o carbono orgânico lábil, além de melhorar a ciclagem de nutrientes e influenciar os mecanismos pelos quais o carbono orgânico é sequestrado no solo.

Após a conversão da vegetação nativa em terras de cultivo, é relatado que os solos perdem o COS, atingindo um equilíbrio mais baixo, cerca de 25 a 75% menos carbono do que na vegetação nativa não perturbada (Lal 2004). A perda de COS nas terras de cultivo deve-se principalmente a perturbações dos agregados do solo através do cultivo, o que acelera a atividade microbiana do solo, a oxidação e a mineralização da matéria orgânica (Swanepoel et al., 2016). A erosão do solo, o escoamento superficial e a lixiviação levam a uma perda adicional de COS das terras cultiváveis (Roose & Barthes 2001).

O ciclo do carbono é afetado também pelas propriedades químicas do solo, como acidez do solo (pH), C orgânico e conteúdo de nutrientes, sendo estes reguladores essenciais da disponibilidade de nutrientes e do crescimento das plantas (Milne et al., 2015).

Os estoques de carbono no solo são calculados considerando-se a densidade do solo e a espessura da camada estudada (Santos et al., 2019). Para isso os estoques representam o balanço dinâmico da adição de material vegetal morto, bem como a perda pela decomposição ou mineralização (Chaves & Faria, 2008). As variações dos estoques de carbono do solo estão associadas às práticas de uso e manejo, visto que implicam na manutenção da qualidade do solo e nos efeitos negativos das mudanças climáticas (Primieri et al., 2017). Além de ser crucial um manejo adequado do solo por refletir nas alterações do clima, o esgotamento do carbono do solo é uma das principais ameaças aos solos agrícolas (Bongiorno et al., 2019).

Além de ser importante na produção agrícola, o carbono do solo é utilizado como bioindicador na prestação de serviços ambientais, isso em virtude de boas práticas agrícolas adotadas pelo agricultor (Simone et al., 2017). A partir disso, a quantidade de carbono armazenado e fatores que podem impactar esse armazenamento no solo estão se tornando economicamente importantes para os países (Santos, 2019).

Segundo Bernardino & Gracia (2009), na comparação dos diferentes tipos de sistemas, cultivados e florestais, os sistemas silvipastoris se mostraram mais eficientes no processo de fixação do carbono atmosférico.

3.6. Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (MOS) contém uma grande quantidade de carbono terrestre do mundo, estimado a uma profundidade de 1 m (Baisden & Manning, 2011). Sendo seu equilíbrio afetado em virtude de processos físicos, químicos e biológicos, ocasionando a liberação de CO₂.

A MOS está relacionada com a qualidade do solo. Nas regiões tropicais e subtropicais, a matéria orgânica propicia alterações nas qualidades químicas, físicas e biológicas do solo, como uma importante fonte de nutrientes para as culturas. Atua na retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura do solo e porosidade do solo além de servir como fonte de Carbono (C) e energia aos microrganismos heterotróficos, apresentando-se desta forma como um componente primordial do potencial produtivo do solo (Kato et al., 2011).

Um solo bem estruturado, rico em MOS pode apoiar o suprimento constante de nutrientes assim como o crescimento das plantas em relação a um solo mal estruturado com baixo teor de MOS (Bronick & Lal 2005; Bimuller et al., 2016). A composição da MOS e sua rotatividade são determinantes críticos da ciclagem de nutrientes, formação do solo e balanço de carbono líquido do ecossistema (Lehmann & Kleber, 2015; Schmidt et al., 2011).

A composição organoquímica da MOS é altamente sensível às espécies de plantas que crescem no solo e suas características, porque são as principais fontes de MOS (Segura et al., 2019). Com isso a presença de diferentes espécies de árvores pode afetar profundamente a composição da MOS (Erhagen et al., 2013).

A composição elementar da MOS varia com valores na ordem dos 50% de C, 40% de O e 3% de N, bem como menores quantidades de P, K, Ca, Mg e outros micronutrientes. A biota do solo, que é a parte de minhocas e demais seres, contribui com a biomassa viva na mistura da MOS, quebrando a matéria orgânica por meios físicos e de reações bioquímicas. Para tanto, a MOS é fundamental para a manutenção e equilíbrio do solo, refletindo na fertilidade dos solos a partir da oferta de nutrientes, em sua capacidade de troca de cátions, na agregação, nas taxas de infiltração, retenção de água, porosidade, atividade microbiana e decomposição de substâncias químicas (Bayer et al., 2009).

O nitrogênio orgânico contido na biodegradação da MOS é transformado de N_2O para um outro óxido de nitrogênio (NO_x) composto. No entanto, algumas frações da MOS não são facilmente degradadas. O conteúdo do COS, por conseguinte, tende a aumentar à medida que se desenvolve num solo antes perturbado e que ficou em pousio ao longo do tempo.

Desta maneira a MOS é tida como uma componente chave na qualidade do solo, sofrendo alterações de acordo com práticas de manejo adotadas, destacando-se pela estimulação da microbiota, retenção de água no solo, efeito tampão biológico e químico (Conceição et al., 2005; Boulal et al., 2011)

Sistemas de produção que incorporam matéria orgânica, principalmente a partir de diferentes fontes de resíduos vegetais, podem aumentar o teor de Carbono Orgânico do Solo (COS), favorecendo a manutenção da sustentabilidade agrícola do solo e diminuição da emissão de gases do efeito estufa (Pereira et al., 2019).

3.6.1. Fracionamento da Matéria Orgânica do solo

As substâncias húmicas estão entre os componentes principais da MOS, desempenhando um papel central na estabilização dos reservatórios de COS e podem ser classificadas, de acordo com a sua solubilidade, em frações de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HU). Sendo a distribuição da composição da MOS um depósito de informações sobre os principais processos que ocorrem no solo. O ácido húmico é insolúvel em condições ácidas (geralmente $pH < 2$), enquanto os ácidos fúlvicos são solúveis em todas as condições de pH. A

humina é a fração insolúvel das substâncias húmicas (Doupoux et al., 2017; Xu et al., 2018; Tadini et al., 2019).

As substâncias húmicas no solo são os restos marrons escuros e totalmente decompostos (humificados) da matéria orgânica de plantas e animais, sendo os compostos mais quimicamente ativos em solos com capacidade de troca catiônica e aniônica que excedendo em muito as argilas. São componentes críticos de longa duração dos sistemas naturais do solo, persistindo por centenas a milhares de anos, que podem ser destruídos em menos de cinquenta anos por algumas práticas agrícolas (Khalafalla, 2019).

As substâncias húmicas representam uma parcela significativa do COS, total (> 90%), desempenhando um papel agrônômico importante, influenciando a qualidade e a produtividade dos solos agrícolas. As substâncias húmicas melhoram a capacidade de produção do solo, aumentam a retenção de água e fornecem às plantas os macros e micronutrientes disponíveis (Ukalska-Jaruga et al., 2019).

As substâncias húmicas produzidas pela humificação da matéria orgânica, regulam vários processos biogeoquímicos e ambientais (Tan, 2014), sendo sensíveis a mudanças nas práticas de manejo do solo (Assunção et al., 2019). As frações C húmicas do solo, que constituem o componente principal do COS, desempenham um papel central na estabilização dos reservatórios de COS (Xu et al., 2018).

Vários índices podem ser usados para descrever a intensidade da transformação das substâncias húmicas no solo. A razão entre as concentrações de ácidos húmicos e fúlvicos (AH / AF) indica a potencial mobilidade de C no sistema do solo. As proporções em frações de substâncias húmicas (SH) relativamente ativas e resistentes, expressas como a razão (AH + AF) / HU, mostram o grau de transformação de SH na forma do carbono estável e nos processos de elevação do COS. Assim, C – AF mais alto que C – AH indica maior mobilidade da matéria orgânica, predominando a fração lábil da SH, enquanto C – AF + C – AH maior que o C – HU indica menor intensidade de humificação da matéria orgânica associada à menor transformação da forma estável da MOS (You et al., 2014; Ukalska-Jaruga et al., 2019).

3.7. Manejo de Nitrogênio em Sistemas Agrícolas

O nitrogênio (N) é tido como um dos fatores críticos para a restauração de pastagens degradadas, pois apresenta-se como um fator predominante para a produtividade primária das plantas, bem como na função microbiana em ecossistemas terrestres. Em ecossistemas naturais, a dinâmica do N é impulsionada principalmente pela ciclagem de nutrientes, microrganismos

diazotróficos, nitrificadores e desnitrificadores (Zhou et al., 2017). Desta forma, mudanças na estrutura das comunidades microbianas de ciclagem do N estão intimamente relacionadas aos processos do ciclo do N e à função do ecossistema do solo. (Bender et al., 2016; Song et al., 2019).

No solo, o N biodisponível é geralmente fixado da atmosfera por microrganismos diazotróficos, estando a decomposição da matéria orgânica intimamente relacionada ao gene *ch*. Uma outra forma do N estar disponível no solo é através das bactérias do gênero *Rhizobium*. Após o processo de mineralização ocorrerá a aminação, a amonificação onde convertido a nitrito e nitrato pela nitrificação é absorvido pelas plantas imobilizado pelos microrganismos e adsorvido ou fixado por argilominerais. A decomposição da matéria orgânica e a fixação de N para a aquisição de N biodisponível são baseadas na disponibilidade de matéria orgânica do solo e energia (Pajares & Bohannan, 2016; Tang et al., 2018).

O nitrogênio do solo não apenas tem um impacto importante nos sumidouros de carbono do solo através da interação entre nitrogênio e carbono do solo, mas também tem um impacto importante na manutenção da função ecológica das terras arbustivas (Li et al., 2017). Desta forma, a avaliação quantitativa dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) e estoques de nitrogênio total (NT) e sua dinâmica, é crucial para a compreensão da capacidade de sumidouro de carbono dos ecossistemas terrestres (Li et al., 2019).

3.8. Qualidade do Solo

A avaliação da qualidade do solo refere-se ao monitoramento e avaliação dos atributos, funções e condições do solo (Legaz et al., 2017). A qualidade do solo é definida como a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites do ecossistema, sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais (Karlen et al., 2003; Zhang et al., 2019). O solo é um reservatório de nutrientes e desempenha um papel fundamental no apoio ao crescimento de culturas e outras vegetações, mantendo o ambiente da terra limpo, atuando também como fonte e sumidouro de gases atmosféricos (Sharma e Dogra 2011).

3.8.1. Propriedades Físicas do solo

As propriedades físicas das diferentes estruturas do solo representam um papel importante no movimento da água no solo e no transporte de solução, que por sua vez afeta as propriedades hidráulicas do solo. A estrutura do solo afeta significativamente o fluxo de água e o transporte de poluentes. Atividades como compactação e aração intensiva podem afetar a

qualidade do solo, resultando na destruição da estrutura do solo, levando a efeitos indesejáveis na fertilidade do solo (Ramezani et al., 2019).

As práticas agrícolas não conservacionistas, bem como o revolvimento excessivo do solo podem ocasionar o aumento na densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total dentre outras alterações nas propriedades físicas do solo (Soares et al., 2016).

A densidade do solo é uma importante propriedade física do solo, necessária para estimar as características da água no solo, também usada como parâmetro de entrada para modelos de transporte de água e nutrientes (Boucneau et al., 1998). É necessária uma avaliação precisa da densidade do solo para obter estimativas dos estoques de Carbono Orgânico do Solo (COS) por meio de conversões de peso e volume (Howard et al., 1995). Diferentes fatores como profundidade, teor de matéria orgânica ou compactação influenciam nos valores da densidade do solo (Martín et al., 2017).

A distribuição por tamanho de partícula é considerada um teste simples e uma característica física estática de solos minerais que afeta muitas propriedades físicas e químicas importante do solo, como limites à resistência de tração, crescimento de plantas e diversidade bacteriana (Huang et al., 2013). Desta forma, nessa análise o solo é expresso como porcentagem em massa de frações de areia, silte e argila. Essas três frações são amplamente aplicadas como preditoras de outras propriedades do solo, como limites de resistência a tração, curva de retenção de água no solo, condutividade hidráulica saturada e insaturada e água disponível (Botula et al., 2013).

A análise granulométrica é normalmente aplicada a sistemas de classificação de solos para fins de engenharia e agricultura, como também diversos parâmetros importantes do solo são determinados a partir dos dados de granulometria, tais como: área da superfície específica, coeficiente de uniformidade, coeficiente de classificação e tamanho efetivo das partículas (Vipulanandan & Ozgurel, 2009). De forma prática, a distribuição do tamanho de partículas do solo pode ser usada como um índice prático para quantificar variações nas propriedades do solo e as implicações da desertificação (Gao et al., 2014).

Na maioria das regiões áridas e semiáridas, grandes áreas de solos cultivados e não cultivados são caracterizadas por alto teor de areia e baixo teor de matéria orgânica, o que pode afetar adversamente as propriedades físico-químicas do solo. Especificamente, esses solos são caracterizados por alta taxa de infiltração, baixa capacidade de retenção de água, alta

evaporação, baixa fertilidade, baixa quantidade de matéria orgânica e percolação profunda, resultando em baixa disponibilidade de água e eficiência de uso (Ibrahim et al., 2017).

A porosidade do solo é outro atributo físico que pode influenciar o desenvolvimento radicular e limitar a produtividade das culturas. Em solos compactados por uso agrícola intensivo ou naturalmente desertificados, os espaços arejados são reduzidos e o volume de microporos é maior, dificultando a difusão de água e oxigênio no solo (Schossler et al., 2019).

A densidade de partícula não é comumente medida em testes de rotina durante a caracterização do solo, mas é uma importante propriedade do solo que afeta muitas outras propriedades e processos do solo como: porosidade, sedimentação de partículas, área superficial específica, propriedades térmicas e outros. Mais importante ainda, a densidade de partícula afeta a porosidade do solo, seu valor varia entre 2,4 a 2,8 g.cm³ dependendo da classe textural (Blanco-Canqui 2017). Mudanças na concentração de COS podem reduzir significativamente essa propriedade do solo (Blanco-Canqui et al., 2006).

3.8.2. Propriedades Químicas do solo

Nos solos os nutrientes são distribuídos em diferentes formas químicas, que geralmente existindo em estado de equilíbrio dinâmico, e se constituem no reservatório da qual as plantas extraem os nutrientes. Os nutrientes necessários às plantas para concluir seu ciclo de vida são chamados de “nutrientes essenciais” e dependendo da quantidade necessária à planta, os nutrientes são classificados como macronutrientes e micronutrientes (Mahale et al., 2019).

Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são chamados de “nutrientes secundários” e geralmente não estão disponíveis em quantidades suficientes e, portanto, são adicionados por fertilização para o melhor crescimento da planta. Os elementos essenciais utilizados pelas plantas em quantidades relativamente significativas são chamados de macronutrientes, sendo eles: nitrogênio (N), fósforo (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (P) e enxofre (S). Já os nutrientes necessários em quantidades relativamente menores, mas essenciais para a planta, são denominados micronutrientes, incluindo assim: cloro (Cl), ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), sódio (Na), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e molibdênio (Mo) (Shirgave & Ramteke, 2015).

Os solos em sua maioria apresentam quantidades de nutrientes suficientes para as necessidades anuais das culturas, entretanto, a maior parte desses nutrientes está retida no interior da estrutura dos minerais primários e secundários e da matéria orgânica. Só umas pequenas quantidades de nutrientes se encontram em formas prontamente disponíveis (Brady & Weil, 2009).

A acidificação do solo, a toxicidade associada ao alumínio (Al^{3+}) e as deficiências em cálcio trocável do solo (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+), são um sério problema mundial que pode levar à baixa fertilidade do solo e limitar a produtividade da agricultura (Cremer e Prietzel, 2017). Altas concentrações de alumínio (Al^{3+}) exercem efeitos inibitórios na absorção de bases, seja pela competição direta com a absorção pelas plantas ou pela inibição do crescimento das plantas em condições ácidas do solo (Mariano et al., 2015).

A acidificação do solo é causada por processos naturais e antropogênicos, incluindo a deposição de gases acidificantes, chuvas elevadas, lixiviação de bases, mineralização da matéria orgânica, insumos externos de fertilizantes químicos que formam ácidos e práticas agrícolas inadequadas (Kumar et al., 2019; Goulding 2016).

A acidez do solo pode ser determinada a partir de três indicadores, sendo eles: o pH, o alumínio (Al^{3+}) e o $\text{H} + \text{Al}$, correspondente à acidez ativa, trocável e potencial. Neste contexto o pH calcula a acidez ativa do solo que é a atividade de H^+ presente na solução do solo. Além de demonstrar o nível de acidez do solo, o pH serve também como um indicativo da fertilidade atual do solo. Já a acidez trocável, mais conhecida como forma tóxica para as plantas, traduz o teor de alumínio na forma iônica Al^{3+} . Nesse contexto, o aumento da acidez do solo acelera a solubilidade dos compostos de alumínio (Al), que é uma fonte primária de toxicidade, pois o equilíbrio dinâmico é estabelecido entre o alumínio trocável e o alumínio da solução do solo (Balik et al., 2019). A acidez do solo e a toxicidade do Al afetam a absorção de nutrientes pelas plantas, sendo este o principal motivo da acidez do solo inibir o crescimento das plantas (Mariano et al., 2015). Já a acidez potencial é determinada em função do ($\text{H} + \text{Al}$), sendo estimada a partir da correlação com o pH SMP. A determinação do $\text{H} + \text{Al}$ tem por objetivo principal o cálculo da CTC Total do solo (Prezorti & Guarsoni, 2013).

A alcalinidade em solos gira em função do material de origem, assim como a salinização em solos ocorre em função das condições climáticas, onde os índices de evapotranspiração superam os de precipitação, drenagem deficiente, bem como material de origem. Grande parte dos solos que estão sob condições de clima semiárido, apresentam quantidades apreciáveis de minerais intemperizáveis (feldspato, hornblendas, plagioclásios, calcita e gipsita), podendo manter altas atividades de íons de cálcio, magnésio e sódio em solução (Corrêa et al., 2003). Em condições de elevada acidez ocorre redução na disponibilidade de macronutrientes (Ca, Mg, K, P, S e N), Mo e B, enquanto que para Fe, Mn, Zn, Cu e Co a disponibilidade é aumentada. Entretanto em solos alcalinos esse comportamento é o inverso, sendo a

disponibilidade de Mo e macronutrientes (exceto o P) aumentada, com o crescimento vegetal afetado pelos baixos níveis de micronutrientes (Souza & Santos., 2020).

4. METODOLOGIA

4.1. Área de Estudo

O experimento de campo foi conduzido na fazenda Cedro, com 200 ha de área e acesso pela PE – 414, na estrada que liga o município de Serra Talhada - PE ao distrito de Bernardo Vieira, pertencente a bacia do Pajeú, próximo ao riacho Exu, com epicentro possuindo coordenadas - 7.982533° de latitude sul e -38.431272° de longitude oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é Bwh, denominado semiárido quente e seco, com chuvas de verão-outono com pluviosidade média anual para o período de 1911 a 2013 de 647 mm ano⁻¹, com uma temperatura média anual superior a 30° C (Oliveira et al., 2020).

Foram estudadas três áreas correspondentes a um Sistema Silvipastoril, um Sistema de Pastagem e como testemunha uma área de Caatinga Preservada, buscando-se considerar os usos do solo e a heterogeneidade espacial e temporal que caracterizam as regiões semiáridas.

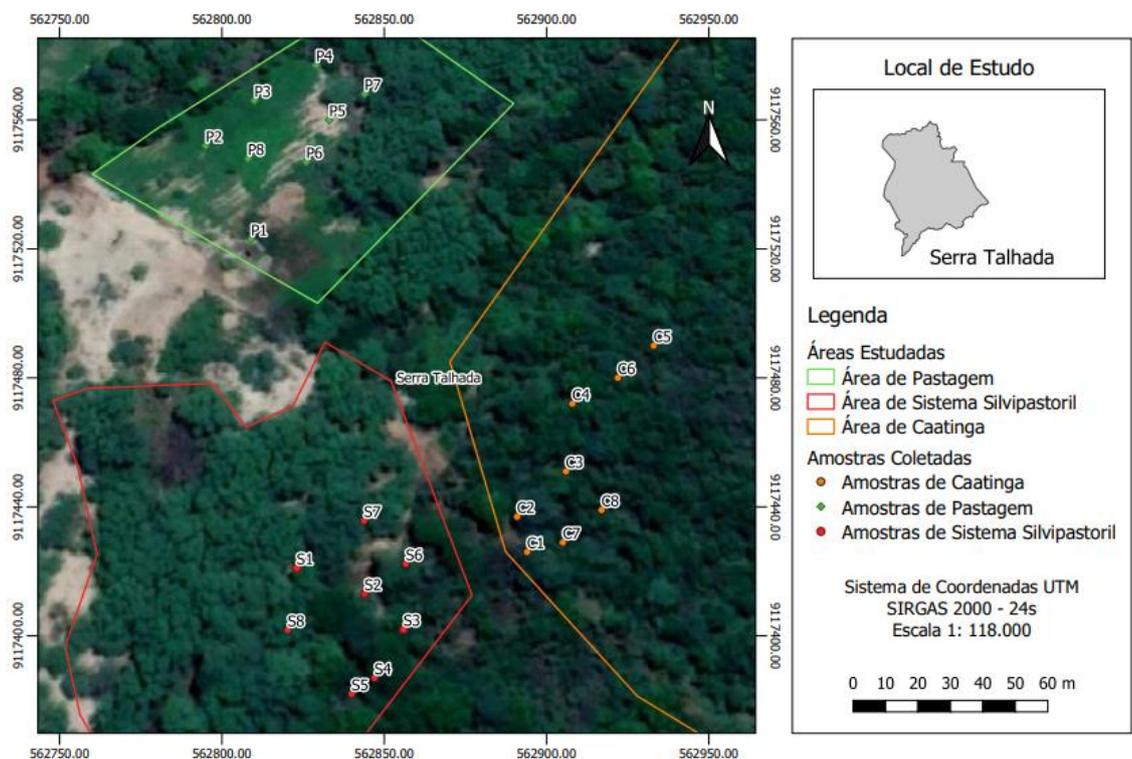


Fig.1 Mapa de localização da área de estudo, fazenda Cedro, no município de Serra Talhada – PE.

Na área coberta por Caatinga semi-arbustiva, foi verificada a presença de espécies nativas como Jurema Preta, (*Mimosa tenuiflora* (Wild) Poir), Canafístula *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub; Anjico, *Anadenanthera colubina* (Vell) Brenan; Juazeiro, *Ziziphus joazeiro* Mart.; Marmeleiro, *Croton blanchetianus* Baill.; Mandacaru, *Cereus Jamacaru* DC.; Quipá, *Tacinga quipa* (F. A. C. Weber) N. P. Taylor & Stuppy.; Catingueira, *Poincianella pyramidalis* (Tul) L. P. Queiroz.; Pata-de-vaca *Bauhinia cheilantha* (Bong) Steud.

4.2. Amostragem dos Solos

Foram coletadas amostras de solo nas três áreas de estudo: área sob sistema silvipastoril, área sob sistema de pastagem e área sob Caatinga preservada. Selecionando-se em cada área 8 pontos, com suas posições obtidas por equipamentos GNSS no Sistema GPS, nos quais foram abertas trincheiras de 0,5 x 1,0 m. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 – 10; 20 – 30 e 50 – 60 cm. O tipo de solo ocorrente no Sistema Silvipastoril e Sistema de Pastagem foi classificado como Neossolo Flúvico, já o da área de Caatinga Preservada foi classificado como um Cambissolo Háplico (Santos et al., 2018).

Foram coletadas em cada trincheira, amostras deformadas e indeformadas de solo. As amostras indeformadas foram obtidas utilizando-se um trado amostrador contendo um anel metálico.

4.2.1. Preparo das Amostras de Solo para Análises Físicas, Químicas e Biológicas

As amostras de solo deformadas foram colocadas para secar ao ar, sendo em seguida destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Já as amostras indeformadas seguiram para secagem na estufa a 105°C para obtenção da terra fina seca em estufa (TFSE).

4.3. Análises Físicas

4.3.1. Densidade de solo (Ds)

Foi obtida através do método do anel volumétrico (Embrapa, 2017), utilizando-se um anel cilíndrico de 50 cm³ e colocando-se as amostras indeformadas em estufa a 105°C por 48 horas, utilizando-se a seguinte equação:

$$Ds = \frac{m_a}{V} \quad (1)$$

Em que: Ds - densidade do solo em g cm⁻³; m_a - massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante, em g e V - volume do cilindro, em cm³.

4.3.2. Densidade de partícula (Dp)

A densidade de partícula (Dp) foi calculada pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 2017), sendo dividida em duas etapas: a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume. A massa foi obtida por pesagem após secagem em estufa a 105 °C. Já a determinação do volume foi obtida por meio da diferença entre o volume de um líquido, necessário para preencher um recipiente calibrado vazio, e o volume do líquido necessário para completar o volume do recipiente, sendo este líquido o álcool etílico hidratado 99°. Desta forma, utilizou-se a seguinte equação:

$$Dp = \frac{m_a}{(V_t - V_u)} \quad (2)$$

Em que: Dp - densidade de partícula, em g cm³; m_a - massa da amostra seca a 105°C, em g; V_t - volume total aferido do balão, em ml; V_u - volume utilizado para completar o balão com a amostra em mL.

4.3.3. Análise granulométrica

A análise granulométrica das partículas sólidas do solo foi realizada por meio do método do densímetro, por meio de dispersão mecânica e estabilização da amostra por meio de agitação em uma solução (NaOH a 1 mol L⁻¹). Obteve-se então a areia total através do peneiramento úmido com peneira de malha 0,053 mm e após 24h em repouso para sedimentação do silte, realizou-se a leitura da densidade da suspensão de argila + dispersante, por meio do densímetro de Bouyoucos, sendo o silte obtido por diferença (Embrapa, 2017).

4.4. Análises Químicas

A avaliação do nível de pH do solo se deu por medição do potencial hidrogeniônico por meio de eletrodo combinando imerso em suspensão combinada na proporção 1:2,5 de solo, água e KCl. Agitou-se a solução por 60 s e deixando-se em repouso por 1 h. Já os cátions trocáveis (Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) foram determinados a partir de uma solução extratora de KCl na concentração de 1 mol L⁻¹. O Al³⁺ trocável (acidez trocável) foi extraído da solução e determinado com uma solução diluída de NaOH com concentração de 0,025 mol. L⁻¹. O potássio (K⁺) e o sódio (Na⁺) foram extraídos por meio de uma solução Mehlich-1 e posteriormente determinados por espectrofotometria de chama. A espectrometria de absorção atômica foi usada para determinação dos micronutrientes: manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) e molibdênio (Mo) de acordo com Embrapa (2017).

Segundo Embrapa (2017), a acidez potencial foi extraída com uma solução de acetato de cálcio com concentração de $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ tamponado a pH 7,0 e determinada volumetricamente com solução de NaOH em concentração de $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ tendo e fenolftaleína como indicador. A soma de bases foi calculada a partir do somatório de bases de cálcio, magnésio, potássio e sódio em $\text{cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$. A CTC efetiva foi calculada somando-se as quantidades trocáveis dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+} , sendo a CTC determinada ao pH natural do solo. Já a CTC total foi determinada pela soma entre a soma de bases trocáveis e acidez potencial (H + Al), correspondendo ao total das cargas negativas que o solo pode adsorver.

O fósforo disponível foi extraído por espectrofotometria, com solução extratora de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ junta com uma solução ácida de molibdato de amônio diluída. O método de análise do nitrogênio (N) foi uma adaptação do método de referência descrito por Bremner e Mulvaney (1982), onde o N da matéria orgânica foi mineralizado até amônio (NH_4^+), processo conhecido como digestão Kjeldahl, que após a conversão do NH_4^+ em NH_3 a mesma é protonada e formada uma solução de ácido bórico. Através da titulação da mesma determinou-se a quantidade de N existente na solução (Embrapa, 2017).

O carbono total (CT) e o nitrogênio total (NT) foram determinados através de analisador elementar. Sendo a amostra submetida ao processo de combustão e com isso o C foi convertido em CO_2 e o N em N_2 gasoso. Após a etapa de combustão, os gases gerados na câmara de combustão foram separados em uma coluna de cromatografia gasosa, seguido da detecção por condutividade térmica (Embrapa, 2017). O carbono lábil foi determinado por oxidação com uma solução de KMnO_4 a $0,033 \text{ mol. L}^{-1}$ (Blair et al., 1995).

A matéria orgânica leve foi determinada por flotação, de acordo com (Fraga, 2002), sendo a amostra de solo lavada em peneira de 0,053 mm, retirando-se as frações de argila e silte. No material retido na peneira separou-se a fração leve através da flotação.

O fracionamento químico das substâncias húmicas se deu através da técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996), utilizando-se TFSA com solução de NaOH em concentração de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ que após se fazer a mistura e centrifugação obteve-se um precipitado que incluía a fração humina, o qual foi colocado em estufa a 45°C . Após seco, utilizou-se uma solução de H_2SO_4 concentrado para precipitar a fração de ácido húmico (AH). Após centrifugação, separou-se a fração de ácidos fúlvicos (AF) e após nova precipitação obteve-se a fração humina (HUM).

4.5. Análises Microbiológicas

A taxa de respiração basal (C – CO₂) foi determinada a partir do CO₂ liberado, utilizando-se 20 g de solo, incubando-se o mesmo por 72 horas. O CO₂ foi capturado por solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e titulado com HCl a 0,05 mol L⁻¹ (Isermeyer, 1952). Já a quantificação do Carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido por meio da oxidação do C com uso do permanganato de potássio através do método da colorimetria (Bartlett & Ross, 1988).

Pela razão dos dados de C – CO₂ e do CBM, calculou-se o quociente metabólico (qCO_2), que representa a quantidade de C – CO₂ liberada em determinado tempo, por unidade de C microbiano. O quociente microbiano ($qMic$) foi calculado pela razão entre CBM e COT (Anderson e Domsch, 1985).

4.6. Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a cálculo de médias, desvio padrão e teste de normalidade Shapiro-Wilk, seguindo a equação da distribuição normal:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}}, x \in R \quad (3)$$

A partir daí aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância, usando-se o programa estatístico SISVAR, a partir da seguinte equação:

$$TSD = q_{\alpha}(K, N - K) \sqrt{\frac{QME}{n}} \quad (4)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características físicas do solo

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico para o Sistema de Sastagem e Sistema Silvipastoril; na área de Caatinga foi classificado como Cambiossolo Háplico.

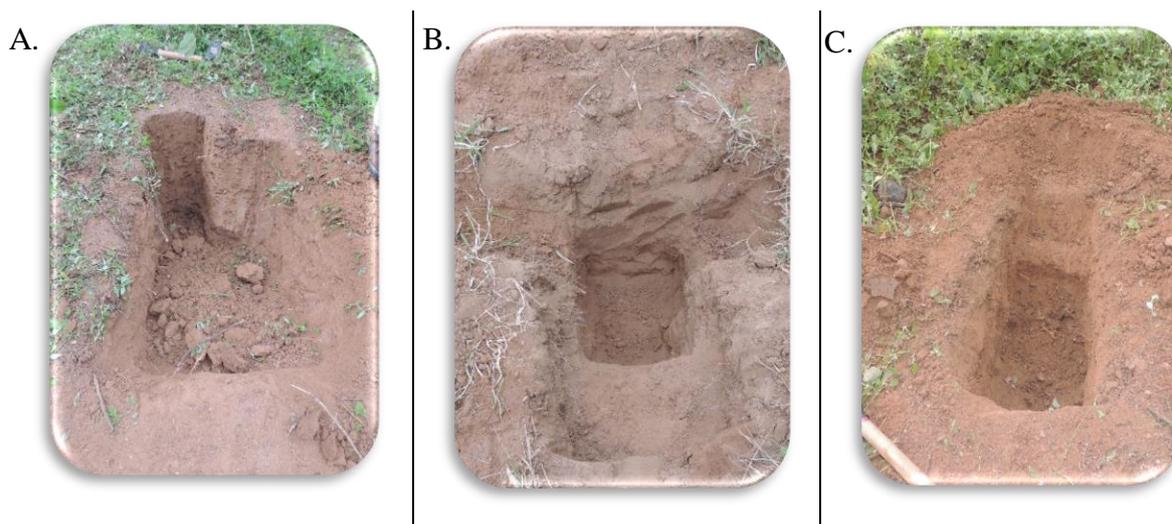


Figura 2. Coleta de amostras em área sob Sistema Silvopastoril (A); sob Sistema de Pastagem (B) e sob Caatinga Preservada (C).

Com relação a textura nos três sistemas estudados (Tabela 1), existe uma predominância de areia (60%) seguido de argila (27%) e em proporções menores o silte (12%). Utilizando-se o triângulo textural com estes valores, a textura corresponde a um Franco Argilo Arenosa, constituindo-se então numa textura moderadamente fina (Souza & Santos, 2020). A predominância de altos teores de areia, são derivados de sedimentos aluviais em função da sua localização nas partes mais baixas da bacia.

Tabela 1. Granulometria nas três profundidades e nos três Sistemas estudados.

Sistemas	Areia		Silte (%)		Argila		Textura
Profundidade 0 - 10 cm							
Pastagem	60,26	± 0,25	12,59	± 0,11	27,14	± 0,32	FrAgr.Ar
Caatinga Preservada	60,29	± 0,31	12,48	± 0,09	27,24	± 0,29	FrAgr.Ar
Ssilvipastoril	60,31	± 0,20	12,56	± 0,04	27,12	± 0,18	FrAgr.Ar
Profundidade 20 - 30 cm							
Pastagem	60,51	± 0,26	12,67	± 0,11	26,81	± 0,27	FrAgr.Ar
Caatinga Preservada	61,27	± 2,93	11,99	± 1,60	26,72	± 1,35	FrAgr.Ar
Silvipastoril	60,07	± 0,07	12,53	± 0,07	27,39	± 0,09	FrAgr.Ar
Profundidade 50 - 60 cm							
Pastagem	60,31	± 0,20	12,56	± 0,04	27,12	± 0,18	FrAgr.Ar
Caatinga Preservada	60,17	± 0,26	12,5	± 0,03	27,29	± 0,28	FrAgr.Ar
Silvipastoril	60,12	± 0,16	12,53	± 0,08	27,33	± 0,12	FrAgr.Ar

FrArg.Ar: Franco Argilo Arenoso.

As densidades do solo nos tratamentos estudados, evidenciaram valores característicos para solos arenosos, variando entre 1,2 a 1,9 g.cm⁻³, sendo os maiores valores médios encontrados nas profundidades 20 – 30 e 50 – 60 cm, com uma densidade variando de 1,49 a 1,39 g.cm³ (Tabela 2). Uma razão dos valores não diferenciarem entre si, é função do pouco pisoteio animal na área de pastagem, visto que a mesma é cultivada apenas para servir de estoque de alimentos para os caprinos no verão, estando toda cercada. Esse comportamento também é encontrado quando os solos apresentam boa quantidade de matéria orgânica, visto que a mesma exerce influência na manutenção da estrutura do solo (Silva et al., 2019).

Aumento de valores na densidade do solo geralmente implicam em diminuição na qualidade do solo para crescimento radicular, redução da aeração e mudanças indesejáveis no comportamento da água no solo, como redução da infiltração.

Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas quando apresenta boa retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular. Boa estabilidade de agregados e boa infiltração de água no solo, são condições físicas importantes para qualidade ambiental dos ecossistemas.

Nas condições climáticas da bacia hidrográfica semiárida do Exu ocorre padrão hidrológico caracterizado por uma alta variabilidade, com chuvas concentradas em breves intervalos de tempo (1, 2 cm min⁻¹) e eventos de longa variação temporal, com consequente ocorrência de picos de escoamento superficial seguidos por uma recessão de forma exponencial (Cantalice et al., 2013).

Tabela 2. Propriedades físicas dos solos estudados Neossolo Flúvico e Cambissolo háplico.

Sistemas	D _s	D _p	P _T
	g.cm ³		
Profundidade 0 - 10 cm			
Pastagem	1,37 Ab	2,70 Aa	0,47 Aa
Caatinga	1,40 Ab	2,66 Ba	0,47 Aa
Preservada			
Silvipastoril	1,37 Ab	2,65 Ba	0,48 Aa
Profundidade 20 - 30 cm			
Pastagem	1,45 Aab	2,71 Aa	0,46 Aa
Caatinga	1,39 Aab	2,67 Ba	0,47 Aa
Preservada			
Silvipastoril	1,48 Aab	2,67 Ba	0,44 Aa
Profundidade 50 - 60 cm			
Pastagem	1,44 Aa	2,71 Aa	0,46 Aa
Caatinga	1,48 Aa	2,67 Ba	0,44 Aa
Preservada			
Silvipastoril	1,47 Aa	2,69 Ba	0,45 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. D_s – Densidade do solo; D_p – Densidade de Partícula; P_T – Porosidade Total

Os valores médios de densidade de partícula (D_p) diferenciaram entre si significativamente para os ambientes, com a pastagem tendo uma densidade de 2,71 g.cm³, não variando de acordo com a profundidade. Já para o ambiente Caatinga houve redução permanecendo os valores médios na ordem de 2,65 g.cm³, estando relacionados à composição mineralógica do solo, por conta de quartzo, feldspatos e silicatos de alumínio coloidais (Brady & Well, 2009). Quanto à porosidade total dos solos, os três sistemas estudados encontram-se dentro dos limites para um solo arenoso situado entre 35 – 50%. Estes valores obtidos nos três sistemas estudados garantem que os sistemas radiculares tenham um desenvolvimento eficiente e o solo tenha uma boa capacidade de aeração, uma vez que segundo Lima et al. (2015), o excesso de animais em uma área pode alterar a estrutura física e contribuir na degradação do solo, podendo gerar no futuro problemas de erosão. Uma vez que haja alteração da estrutura física do solo, implica muitas vezes na elevação da densidade dos solos, tornando-os mais compactos, favorecendo um maior escoamento superficial, por conta de baixa capacidade de infiltração (Mancuso et al., 2014).

5.2. Características químicas do solo

Ao se analisar a qualidade química dos solos estudados (Tabela 3), se pode observar que os valores da acidez ativa variam entre 5,23 a 7,10 indicando que o alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizado e não causa mais danos às raízes. Influenciada diretamente

pelos valores do pH, a acidez trocável permaneceu no valor 0,0 para todos os sistemas e profundidades, garantindo um bom nível de acidez não havendo alumínio na forma tóxica para as plantas. O monitoramento dos valores de acidez do solo se dá em virtude de que a elevada acidez acarreta em uma menor disponibilidade de nutrientes minerais, tornando com isso o meio desfavorável para atividade microbiana do solo, alterando a ciclagem de nutrientes bem como a fixação de nitrogênio (Oliveira et al., 2016).

Os valores de pH obtidos têm alguma relação com Silveira et al. (2006), quando estudando 10 classes de solos representativos do Estado da Paraíba e de Pernambuco, observaram que o pH do solo variou de 5,1 (Neossolo Quartzarênico) a 6,2 (Neossolo Flúvico). Os valores de pH obtidos neste trabalho estão de acordo com Camargos (2005), o qual afirma que para a maioria dos solos do Brasil o pH varia de 4,0 a 7,5. A acidez ativa em função da profundidade tanto no Sistema Silvopastoril quanto no Sistema de Pastagem o pH aumenta com a profundidade, diferentemente do Sistema de Caatinga Preservada onde o pH diminui com a profundidade em valores não muito significativos. A acidez potencial ($H + Al$) também apresentou baixos valores, não excedendo $1,65 \text{ cmol}_c\text{Kg}^{-1}$. De acordo com Daher (2019), esse comportamento se dá em virtude do alto pH e uma possível baixa no teor de matéria orgânica e crescimento da vegetação.

Os resultados da Soma de Bases (SB) dos sistemas estudados apresentaram uma tendência de diminuição de acordo com a profundidade, diferenciando significativamente para os sistemas, como também para a profundidade, sendo considerados altos para todos os sistemas e profundidades, exceto para a Pastagem na profundidade 50 - 60 em que o valor foi de 2,63, considerado um valor médio (Lopes, 1995). Os valores da SB refletem os altos níveis de Ca^{2+} do solo, tendo apenas aplicações genéricas, auxiliando nos cálculos da CTC total, efetiva e saturação por base. Em Sistema Silvopastoril e Sistema de Pastagem a presença de Neossolos implica em valores moderadamente baixos de pH, pois originalmente já possuem uma natureza mineralógica pobre em cátions básicos, já que predominantemente são constituídos de quartzo (CARVALHO, 2015). A acidez evidenciada, também pode ser explicada pela intensas precipitações ao longo dos anos 2019-2020, que acabam por promover a lixiviação dos cátions trocáveis do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) permanecendo no solo apenas os cátions que elevam a acidez do solo (H^{+} e Al^{3+}) (THEODORO et al., 2003).

Tabela 3. Acidez Ativa, Acidez Trocável, Acidez Potencial e Soma de Bases, nos diferentes tipos de uso dos solo estudados, nas profundidades 0 – 10; 20 – 30 e 50 – 60 cm.

Sistemas	0-10 cm				20 - 30 cm				50 - 60 cm			
	Acidez				Acidez				Acidez			
	Ativa pH	Trocável Al ³⁺	Potencial H ⁺ + Al ³⁺	SB Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + K ⁺	Ativa pH	Trocável Al ³⁺	Potencial H ⁺ + Al ³⁺	SB Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + K ⁺	Ativa pH	Trocável Al ³⁺	Potencial H ⁺ + Al ³⁺	SB Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + K ⁺
-----cmol _c kg ⁻¹ -----												
P	5,53 Bc	0,0 Aa	1,06 Bc	6,95 Ca	5,76 Bb	0,0 Aa	1,14 Bb	6,00 Cb	5,96 Ba	0,0 Aa	1,21 Ba	2,63 Cc
C	5,53 Ba	0,0 Aa	1,65 Aa	10,83 Ba	5,39 Cb	0,0 Aa	1,56 Ab	8,84 Bb	5,23 Cc	0,0 Aa	1,54 Cb	6,89 Bc
S	6,80 Ab	0,0 Aa	0,83 Ca	15,18 Aa	6,90 Ab	0,0 Aa	0,79 Cb	13,39 Ab	7,1 Aa	0,0 Aa	0,73 Cc	12,31 Ac

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvopastoril.

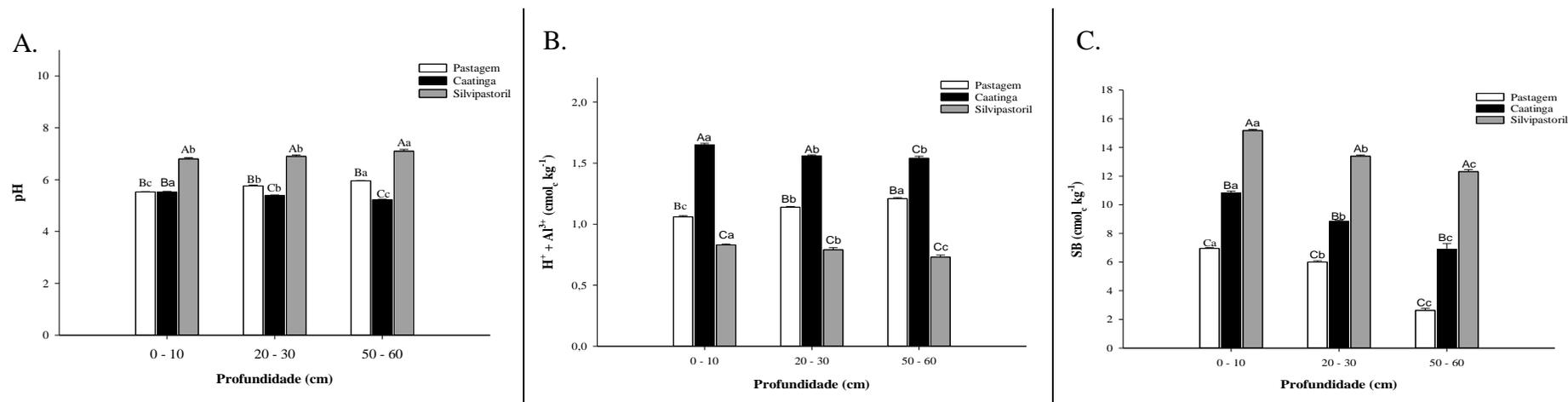


Figura 3. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para acidez ativa (A); potencial (B) e soma de bases (C), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.

Com relação à Soma de Bases não houve diferença significativa nas profundidades dos sistemas estudados e sim houve diferença significativa entre as profundidades estudadas. Os maiores valores foram encontrados no Sistema Silvistoril, seguindo da Caatinga Preservada e por último da Pastagem. Para os sistemas Silvistoril e Caatinga Preservada, os valores se mantiveram altos, com exceção da profundidade 50 – 60 da caatinga preservada que decaiu para um valor médio de $6,89 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. As práticas de manejo mais intensas como no Sistema Silvistoril provavelmente acarretaram a elevação da SB, tanto pela adição de fertilizantes quanto pela contribuição dos sais solúveis na solução do solo.

Nessa mesma profundidade, a Pastagem apresentou um valor baixo de CTC Total. Os menores valores no ambiente de Pastagem podem estar relacionados à lixiviação de nutrientes, onde a CTC do solo está em função da quantidade de biomassa, teores de nutrientes e matéria orgânica (Costa et al., 2019).

O mesmo comportamento foi identificado na CTC Efetiva, visto que se trata do mesmo cálculo com exceção do H^+ . Os ambientes diferenciaram significativamente entre si, apresentando os maiores valores o ambiente Silvistoril, sendo de $15,18 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. Nas profundidades, os maiores valores foram encontrados na profundidade 0 – 10 cm para ambas áreas. Seguindo a classificação de Prezotti. (2013), os ambientes Silvistoril e Caatinga apresentaram uma CTC efetiva alta $> 6,0$. Diferentemente, a Pastagem teve CTC Efetiva alta apenas para a profundidade 0 -10 cm.

Quanto à saturação por base, o ambiente que apresentou os maiores valores foi o Silvistoril, diferenciando significativamente dos demais. Na profundidade 50 – 60 cm ambos os ambientes diferenciaram entre si. Neste caso o maior valor foi para o ambiente Silvistoril com v (%) de 94,35, com diminuição de 13 % para o ambiente de Caatinga e de 29,85 % para o ambiente de Pastagem. Como os valores de saturação por base estiveram sempre acima de 50 %, de acordo com Luna (2019), os solos dos três ambientes podem ser classificados como eutróficos. Esses valores refletem então a baixa acidez presente nos ambientes.

Tabela 4. CTC Total, CTC Efetiva, Saturação por Alumínio e Saturação por Base, nos diferentes tipos estudados de uso do solo, nas profundidades 0 – 10; 20 – 30 e 50 – 60 cm.

Sistemas	0-10 cm				20 - 30 cm				50 - 60 cm			
	CTC		v(%)	m(%)	CTC		v(%)	m(%)	CTC		v(%)	m(%)
	Total	Efetiva			Total	Efetiva			Total	Efetiva		
cmol _c kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹						
Pastagem	8,02 Ca	6,95 Ca	86,69 Ba	0,0 Aa	7,15 Cb	6,00 Cb	83,94 Ba	0,0 Aa	3,84 Cc	2,63 Cc	66,18 Cb	0,0 Aa
Caatinga	12,48 Ba	10,83 Ba	86,76 Ba	0,0 Aa	10,40 Bb	8,84 Bb	84,98 Bab	0,0 Aa	8,43 Bc	6,89 Bc	81,69 Bb	0,0 Aa
Silvipastoril	16,01 Aa	15,18 Aa	94,78 Aa	0,0 Aa	14,18 Ab	13,39 Ab	94,42 Aa	0,0 Aa	13,05 Ac	12,31 Ac	94,35 Aa	0,0 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvipastoril.

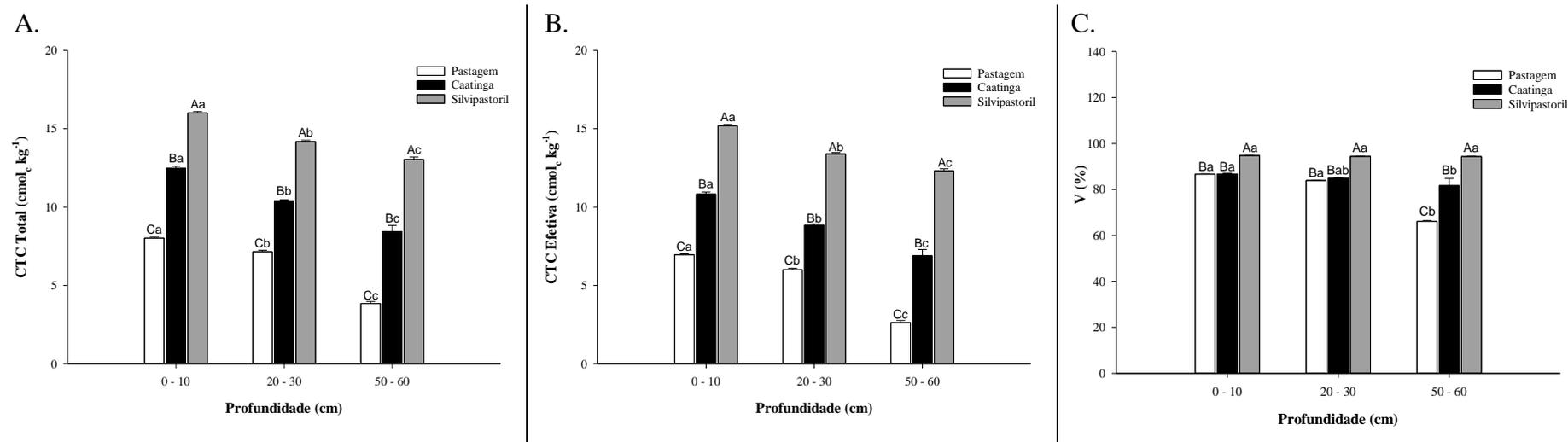


Figura 4. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para CTC Total (A); CTC Efetiva (B) e Saturação por Alumínio (C), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.

Analisando-se o comportamento dos macronutrientes primários e secundários (Tabela 5.) observa-se que o Nitrogênio (N) diferenciou significativamente entre as áreas na profundidade 0 – 10 cm, com o maior valor de $1,54 \text{ g.kg}^{-1}$ para o sistema de Caatinga, com uma redução de 48 % para o ambiente Silvistoril e de 59 % para a Pastagem. Nas profundidades de 20 -30 e 50 – 60 o sistema de Caatinga manteve seus níveis superiores aos demais sistemas, entretanto nessas profundidades os sistemas Silvistoril e de Pastagem não diferenciaram significativamente entre si. Pegoraro (2018), encontrou relações diferentes no comportamento dos valores de N, onde em sistemas de pastagem e vegetação caatinga os valores não diferenciaram entre si.

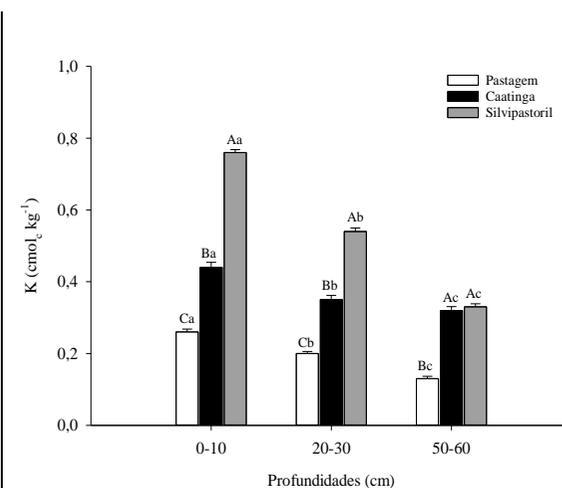
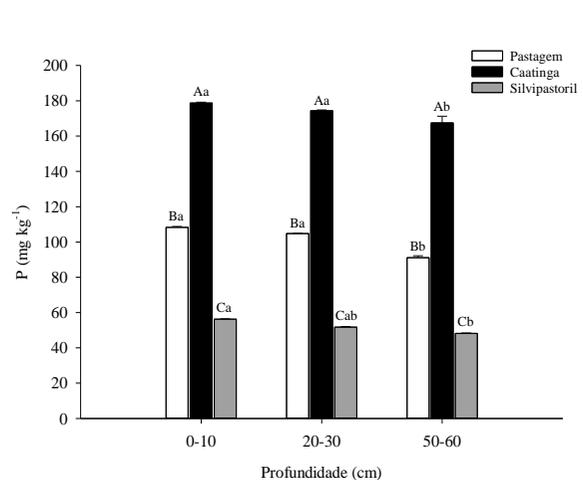
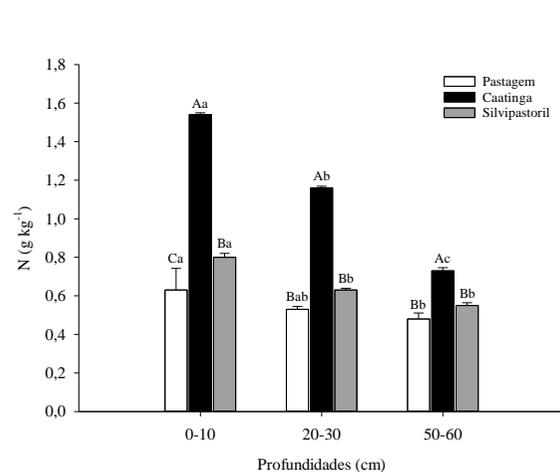
Para os níveis de Fósforo (P), o ambiente de Caatinga manteve-se com as melhores médias, apresentando na profundidade de 0 -10 cm média de $108,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ e se diferenciou estatisticamente dos demais sistemas em todas as profundidades, apresentando uma redução de 39 % para a Pastagem e de 88 % para o Sistema Silvistoril. Todos os sistemas apresentaram bons níveis de fósforo disponível. Os altos níveis de fósforo encontrados no ambiente de Caatinga podem estar relacionados com uma maior densidade de plantas e uma maior produção de serapilheira, com isso maior quantidade de matéria orgânica, comportamento também encontrado por Luna (2019).

Uma dinâmica diferente foi encontrada para o Potássio (K), onde as melhores médias foram encontradas no ambiente Silvistoril, diferenciando-se dos demais, com exceção da profundidade 50 – 60 cm, onde as médias foram consideradas iguais para o sistema Silvistoril e de Caatinga, com $0,33 \text{ g.kg}^{-1}$ para o Sistema Silvistoril e $0,32 \text{ g.kg}^{-1}$ para a Caatinga, reduzindo em 60 % para o Sistema de Pastagem. Ao longo das profundidades os valores se mantiveram em queda. De acordo com Assis (2019), a adição de resíduos animais proporciona uma maior concentração de K na camada superficial do solo. Logo encontra-se a justificativa para o Sistema Silvistoril ter apresentado os maiores valores de potássio.

Tabela 5. Macronutrientes Primários e Secundários, nos diferentes tipos de uso dos solos do semiárido, nas profundidades 0 – 10; 20 – 30 e 50 – 60 cm.

Sistemas	Macronutrientes Primários									Macronutrientes Secundários					
	0-10			20-30			50-60			0-10		20-30		50-60	
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				
Pastagem	0,63 Ca	108,3 Ba	0,26 Ca	0,53 Bab	104,78 Ba	0,20 Cb	0,48 Bb	91,14 Bb	0,13 Bc	4,60 Ca	1,93 Ba	3,61 Cb	2,04 Ba	2,26 Cc	1,57 Cb
Caatinga Preservada	1,54 Aa	178,77 Aa	0,44 Ba	1,16 Ab	174,33 Aa	0,35 Bb	0,73 Ac	167,43 Ab	0,32 Ac	8,53 Ba	1,69 Cb	6,53 Bb	1,81 Cb	4,48 Bc	1,95 Ba
Silvipastoril	0,80 Ba	56,26 Ca	0,76 Aa	0,63 Bb	51,75 Cab	0,54 Ab	0,55 Bb	48,19 Cb	0,33 Ac	9,22 Aa	5,04 Ac	7,48 Ab	5,25 Ab	6,30 Ac	5,59 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvipastoril.



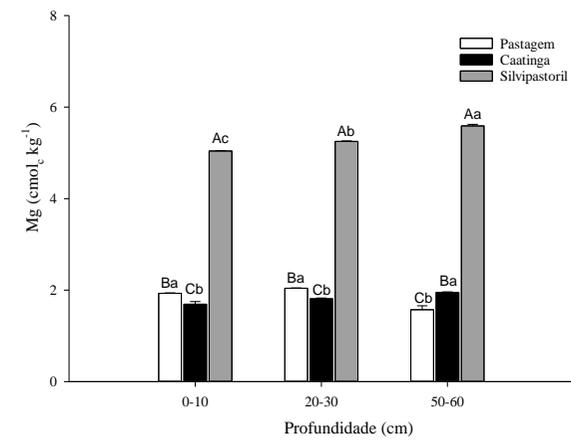
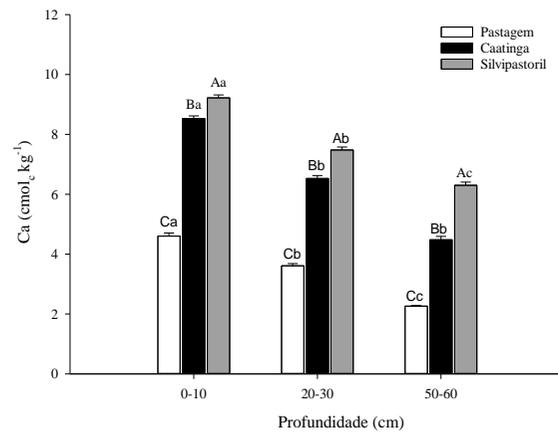


Figura 5. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Macronutrientes Primários e Secundários, nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.

Os macronutrientes secundários, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram os maiores valores no Sistema Silvipastoril, diferenciando significativamente dos demais sistemas em todas as profundidades. Nos ambientes Silvipastoril e Caatinga os valores de Ca foram classificados como altos $> 4,0 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, já no ambiente de Pastagem os valores puderam ser considerados altos e médios variando de 4,60 a $2,26 \text{ cmolc.kg}^{-1}$ (Prezotti & Guarçoni 2013). Lana (2018), estudando a fertilidade de sistemas de regeneração natural em clima semiárido e sistema silvipastoril também encontrou os maiores valores de Ca no sistema silvipastoril, sendo atribuído a uma maior presença de árvores e maior acúmulo de serapilheira, garantindo uma maior liberação de nutrientes, sendo também justificada para os teores de Mg.

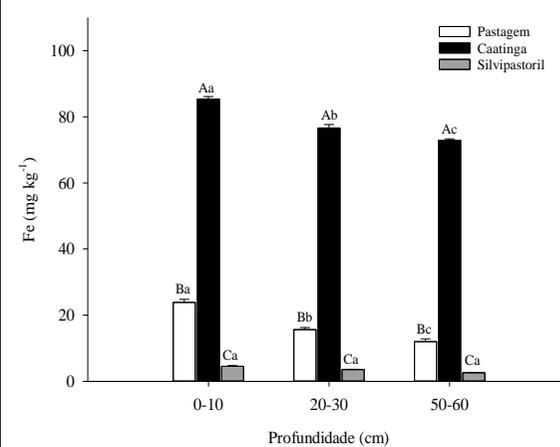
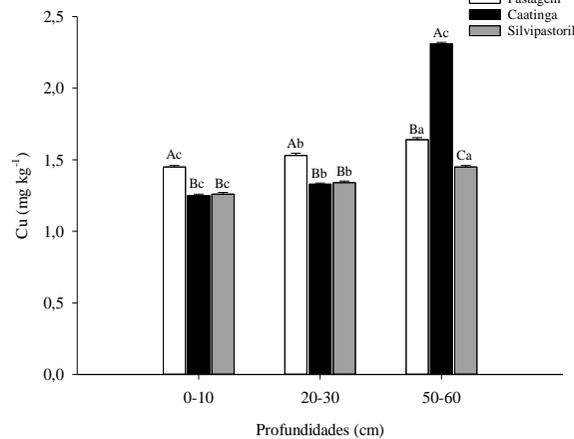
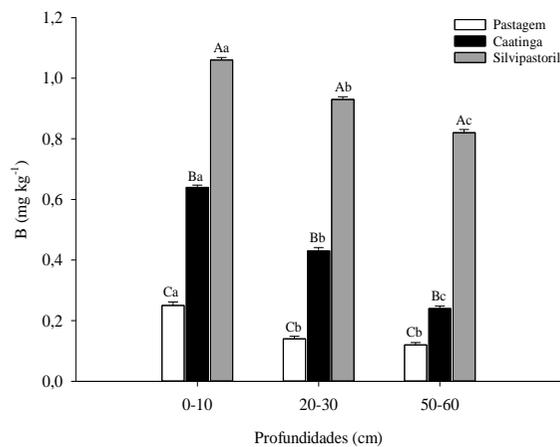
Os teores de micronutrientes se comportaram de forma bastante peculiar para os sistemas estudados, conforme disposto na Tabela 6. Sabe-se que, quanto maior o pH do solo, menor é a disponibilidade de micronutrientes no solo (Lopes, 1998). Para os valores médios de boro (B), o Sistema Silvipastoril apresentou as maiores médias, variando de 1,06 a $0,82 \text{ mg.kg}^{-1}$, diferenciando significativamente dos demais sistemas. Na profundidade 0 – 10 cm, houve uma redução de 39 % no valor de B, já na Pastagem essa redução foi de 76 %. Segundo Prezotti, (2013) os valores do Sistema Silvipastoril são considerados altos nas profundidades 0 – 10 e 20 – 30 cm, sendo $> 0,90$; já na profundidade 50 – 60 cm foi considerado médio com valores entre 0,35 – 0,9. Deficiência de boro foi encontrada no Sistema de Pastagem, o que pode resultar em uma diminuição do tamanho das gramíneas, redução da espessura, assim como uma coloração verde mais intensa. Outros autores encontraram deficiência de Boro em pastagens, onde sua não reposição acarreta em prejuízos para plantas. (Gonçalvez et al., 2018).

Acompanhando a tendência dos valores de pH, o cobre (Cu) apresentou valores próximos entre os sistemas, principalmente na profundidade 0 – 10 e 20 – 30 cm. Nas respectivas profundidades o Sistema de Pastagem diferenciou significativamente dos demais, entretanto na profundidade 50 – 60 a maior média foi do Sistema de Caatinga. De acordo com Prezotti, (2013), na profundidade 0 – 10 e 20 – 30 cm os valores de cobre são classificados como médios, estando entre 0,8 – $1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$. As maiores médias foram encontradas na profundidade de 50 – 60 cm, diferenciando das demais profundidades. Esse comportamento também foi encontrado por Oliveira (2018), onde estudou a disponibilidade e variabilidade de micronutrientes em solos do Semiárido, com tais comportamentos correndo em função da litologia dos solos, com presença de basaltos, granitos, metagabros e sienitos, que desenvolvem uma alta afinidade geoquímica para o Cu.

Tabela 6. Micronutrientes, nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, nas profundidades 0 – 10; 20 – 30 e 50 – 60 cm.

Sistemas	Micronutrientes														
	0-10 cm					20-30 cm					50-60 cm				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Pastagem	0,25 Ca	1,45 Ac	23,87 Ba	4,23 Ac	0,55 Ba	0,14 Cb	1,53 Ab	15,62 Bb	5,35 Ab	0,45 Bb	0,12 Cb	1,64 Ba	12,00 Bc	6,57 Aa	0,33 Bc
Caatinga	0,64 Ba	1,25 Bc	85,37 Aa	2,82 Cc	1,63 Aa	0,43 Bb	1,33 Bb	76,62 Ab	3,34 Cb	1,06 Ab	0,24 Bc	2,31 Aa	72,87 Ac	3,95 Ba	0,49 Ac
Silvipastoril	1,06 Aa	1,26 Bc	4,55 Ca	3,25 Bc	0,46 Ca	0,93 Ab	1,34 Bb	3,54 Ca	3,42 Bb	0,35 Cb	0,82 Ac	1,45 Ca	2,59 Ca	3,63 Ca	0,26 Cc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvipastoril.



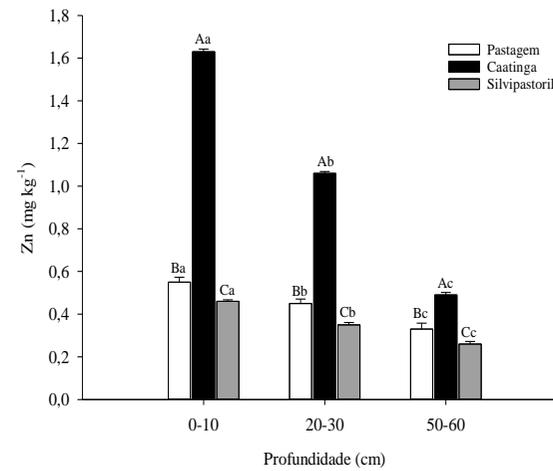
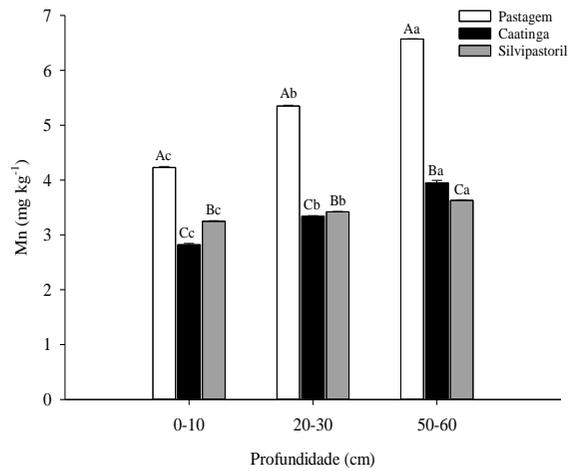


Figura 6. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Micronutrientes, nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.

Os valores médios de Ferro (Fe), dispostos na Figura 6. diferenciaram entre os tratamentos, sendo o ambiente de Caatinga o que apresentou as maiores médias, com seus valores considerados altos $> 45 \text{ mg.kg}^{-1}$, segundo Prezotti & Guarçoni (2013). Nas profundidades houve diferença significativa para os ambientes da Caatinga e de Pastagem. O maior valor médio foi encontrado na profundidade 0 – 10 cm de $85,37 \text{ mg.kg}^{-1}$, com uma redução de 72 % para o ambiente de Pastagem e de 94 % para o ambiente Silvipastoril. Vale destacar que no ambiente de Caatinga o solo foi classificado como Cambissolo Háptico, enquanto nos ambientes de Pastagem e Silvipastoril o solo foi classificado como um Neossolo Flúvico. Os diferentes tipos de uso do solos podem ser uma das possíveis explicações na discrepância dos valores de ferro entre os ambientes (Santos et al., 2018).

O manganês (Mn) apresentou comportamento diferente ao longo da profundidade, como demonstra o Figura 6. Os valores médios foram aumentando à medida que a profundidade também aumentava. O Sistema de Pastagem por sua vez apresentou as maiores médias e diferenciou significativamente dos demais. Na profundidade 50 – 60 cm teve um valor médio de $6,57 \text{ mg.kg}^{-1}$; para as profundidades 20 – 30 e 50 – 60 seus valores são classificados como médios e na profundidade 0 – 10 seu valor foi baixo, segundo Prezotti & Guarçoni. (2013). Valores baixos de Mn foram encontrados para os demais tratamentos em todas três profundidades estudadas.

Segundo a classificação de Prezotti & Guarçoni (2013), deficiência de Zinco (Zn) foi encontrada nos ambientes de Pastagem e Silvipastoril, com valores médios inferiores a $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em todas profundidades. A Caatinga por sua vez apresentou teores médios nas profundidades 0 – 10 e 20 – 30 cm de $1,63$ e $1,06 \text{ mg.kg}^{-1}$, diferenciando significativamente dos demais. Segundo (Lama 2018) essa deficiência é comum em solos de regiões áridas e semiáridas.

5.3. Atividade microbiana

Seguindo os índices de qualidade microbiológica dos sistemas (Tabela 7), o carbono da biomassa microbiana (CBM) diferenciou significativamente para os sistemas, sendo a maior média foi encontrada no Sistema de Caatinga com valor de $425,54$, com uma diminuição de 55% para o Sistema Silvipastoril e de 68% para a Pastagem. Comportamento semelhante foi encontrado por Santos (2019), estudando diversos usos de solo em ambiente semiárido, onde o maior valor encontrado de CBM foi na floresta tropical seca, entretanto a diferença entre as médias foi menor quando as áreas de Caatinga foram convertidas para árvores e sistemas

consoiciados. Assis et al. (2019), afirmam que, o não revolvimento do solo contribui para maiores níveis de CBM no solo, preservando hifas fúngicas e sistemas radiculares.

Tabela 7. CBM (carbono da biomassa microbiana), BR (respirometria), QCO₂ (quociente metabólico do solo) e QMIC (quociente microbiano), nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, na profundidade de 0 – 10 cm.

Sistemas	CBM	BR	QCO ₂	QMIC
	Profundidade 0 - 10 cm			
Pastagem	133,10 C	0,23 C	1,68 A	1,76 C
Caatinga	425,54 A	0,68 A	1,72 A	2,20 A
Silvipastoril	189,33 B	0,35 B	1,86 A	2,00 B

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvipastoril.

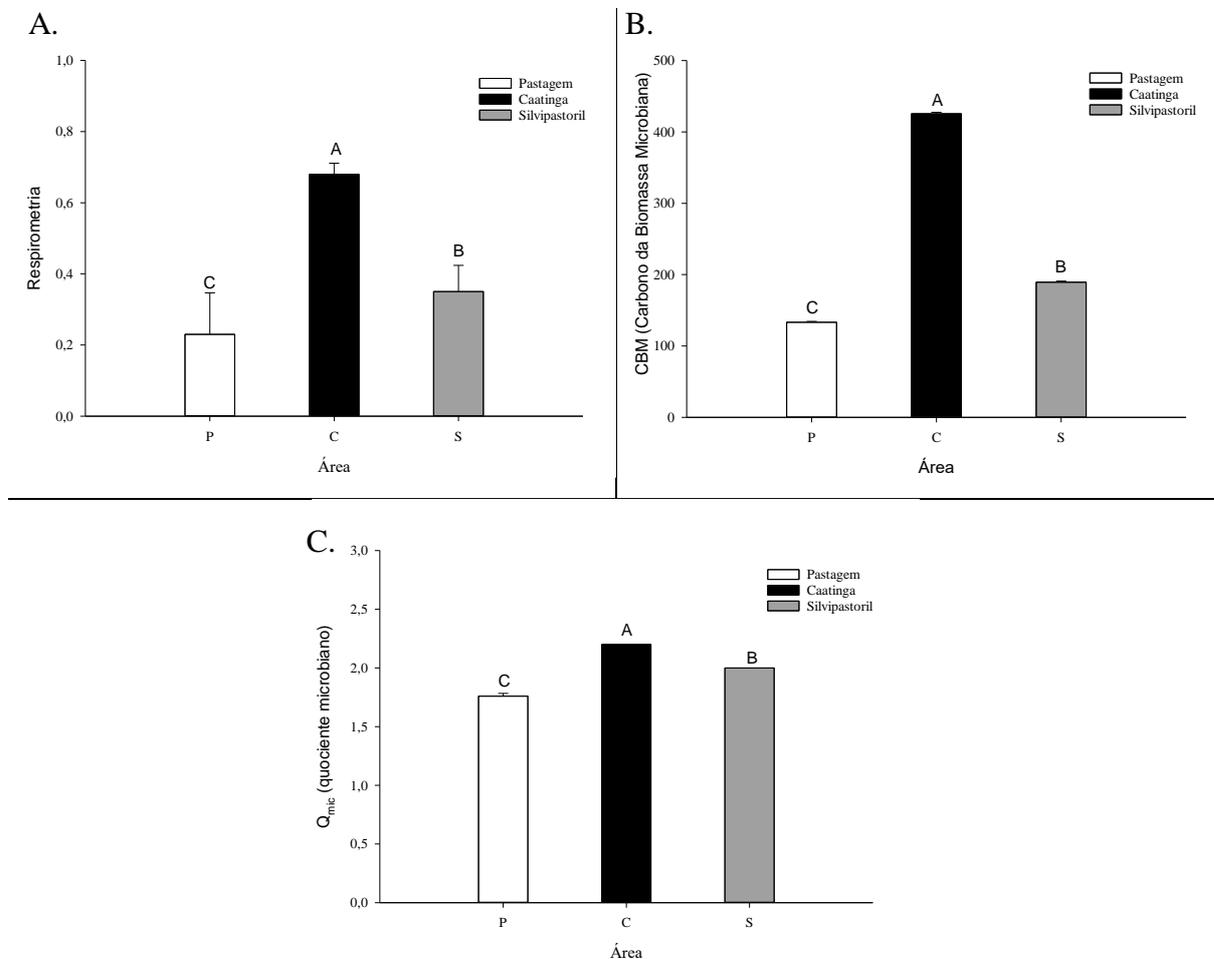


Figura 7. Desdobramento das interações significativas pelo teste de Tukey para Carbono da Biomassa Microbiana (A); Respirometria (B) e Quociente Microbiano (C), nos diferentes tipos de uso do solo. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo.

O mesmo comportamento de médias foi mantido para os valores de Respirometria (BR) e quociente microbiano (Q_{mic}), havendo diferença significativa entre as médias, com maior valor para o Sistema de Caatinga, seguido do Sistema Silvipastoril e as menores médias no Sistema de Pastagem. Na BR houve um decréscimo de 48% para o Sistema Silvipastoril e de 64% para a Pastagem. Já os valores do Quociente metabólico (Q_{CO_2}) não diferenciaram entre si diante dos três sistemas.

Pedrotti et al. (2018), estudando diversos usos de solo em ambiente semiárido, apontaram que os sistemas mais conservacionistas de uso do solo proporcionaram melhores resultados nos indicadores microbiológicos. Neste caso, os maiores valores médios de BR foram encontrados em tratamentos com vegetação nativa de caatinga e no tratamento com capim Tanzânia consorciado com algaroba. Esse indicador reflete a atividade biológica do solo, relacionando a produção de CO_2 ou o consumo de O_2 . Com isso, as áreas que apresentaram as maiores médias apresentam uma maior quantidade de resíduos orgânicos no solo e uma melhor estruturação.

Os níveis do quociente microbiano foram bons em todos os ambientes, visto que estavam acima de 1%, não apresentando com isso um fator limitante à atividade microbiológica e em geral o carbono da biomassa microbiana representa de 1 a 4% do carbono orgânico total (Araújo Neto et al., 2014). Logo o Sistema de Caatinga reflete um maior equilíbrio proveniente de um maior aporte de matéria orgânica e conseqüentemente de carbono.

Resultados semelhantes de Q_{CO_2} também foram encontrados por Cherubim et al. (2015), avaliando as alterações na qualidade do solo por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, não encontrando diferenças significativas nos tratamentos com qCO_2 . Desta forma, esses valores refletem solos com baixo nível de perturbação, visto que os microrganismos são sensíveis aos graus de perturbação.

5.4. Caracterização dos Estoque de Carbono e Nitrogênio

Os Estoques de Carbono Total (EstCT) apresentaram as maiores médias para o Sistema de Caatinga, diferenciando significativamente dos demais sistemas conforme disposto na Tabela 8. A profundidade com maior estocagem de carbono foi a 0 – 10 cm, que para o Sistema de Caatinga também diferenciou das demais profundidades. A segunda melhor média foi encontrada para o Sistema Silvipastoril, neste caso com uma redução de 48 % quando comparada à Caatinga. Ao longo das profundidades seus valores se comportaram em decréscimo, todavia na profundidade 50 – 60 cm sua média não diferenciou significativamente do Sistema de Pastagem. Sistema esse que apresentou os menores índices de estocagem de

carbono no solo, na profundidade 0 – 10 cm e sua redução foi de 57 % quando comparada ao sistema com vegetação preservada.

Tabela 8. Estoques de Carbono Total, Estoque de Nitrogênio Total e Relação C/N, nos diferentes tipos de uso dos solos estudados, nas três profundidades.

Sistemas	EstCT	EstNT	C/N
	Mg ha ⁻¹		
Profundidade 0 - 10 cm			
Pastagem	10,73 Ca	0,90 Ba	11,85 Aab
Caatinga Preservada	25,3 Aa	2,16 Aa	11,72 Aa
Silvipastoril	12,98 Ba	1,10 Ba	11,78 Aa
Profundidade 20 - 30 cm			
Pastagem	9,42 Cab	0,77 Bab	12,21 Aa
Caatinga Preservada	18,71 Ab	1,62 Ab	11,51 Aa
Silvipastoril	11,04 Bab	0,93 Bab	11,78 Aa
Profundidade 50 - 60 cm			
Pastagem	7,88 Bb	0,70 Bb	11,32 Ab
Caatinga Preservada	12,69 Ac	1,08 Ac	11,75 Aa
Silvipastoril	9,5 Bb	0,81 Bb	11,68 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvistoril.

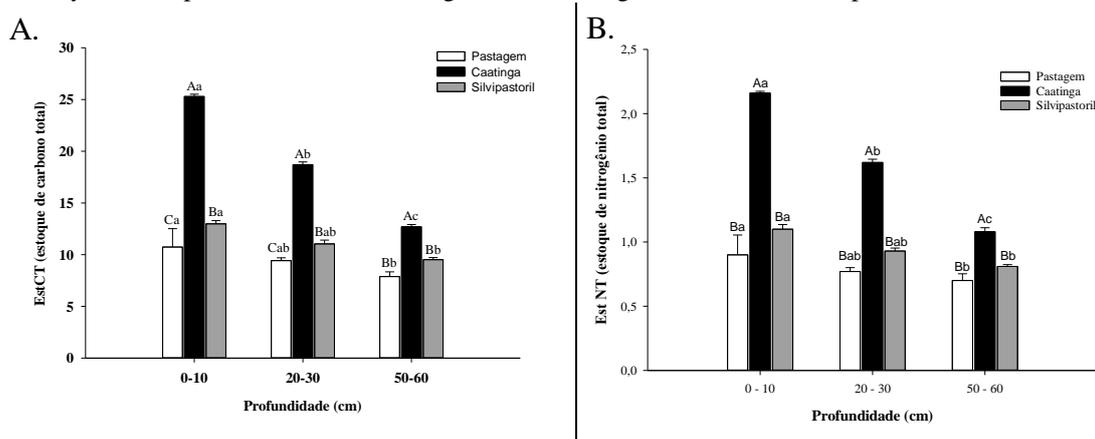


Figura 8. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Estoques de Carbono Total (A) e Estoques de Nitrogênio Total (B), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.

Santos et al, (2019) estudando os teores de estoques de carbono orgânico em diferentes usos da terra em Santa Catarina, também encontraram as maiores médias nas camadas superficiais do solo, diminuindo ao longo da profundidade, sendo a vegetação nativa a com maior média diferenciando estatisticamente dos demais tipos de uso do solo.

Pegoraro et al. (2018), comparando os níveis de estoque de carbono e nitrogênio do solo em diferentes tipos de uso no semiárido, também encontraram as maiores médias para o ambiente de floresta nativa, atribuindo esses valores a um maior acúmulo de matéria seca de resíduos vegetais na superfície do solo. O sistema de pastagem teve as menores médias de EstCT e EstNT, acompanhado do plantio de banana renova, plantio de banana velho e cana de açúcar. Também houve uma diminuição nos níveis de EstCOT e EstNt com aumento da profundidade.

Os baixos valores no Sistema de Pastagem justificam-se pela baixa produtividade da mesma, bem como ausência da correção do solo e de adubação de manutenção, na relação das maiores médias serem oriundas de um Sistema de Caatinga Preservada. Estes valores se dão em função da deposição contínua de serapilheira bem como, ausência de ação antrópica neste ambiente, garantindo a manutenção dos teores de MO (Melo et al., 2016).

Mascarenhas et al (2017) estudando os estoques de carbono em diferentes usos do solo, encontraram a maior concentração de EstCT em vegetação nativa na profundidade 0 – 40. Já diante dos sistemas de uso de solo, a pastagem apresentou maior estocagem de carbono na profundidade 0 – 20 quando comparada a floresta natural e sistema agroflorestal. Essa discrepância de valores pode estar relacionada a qualidade do manejo das mesmas. As pastagens podem atingir níveis próximos a sistemas naturais e agroflorestais, dependendo do desenvolvimento do seu sistema radicular, visto que é um sistema constantemente renovado e disponibiliza grandes quantidade de MO. A maior contribuição das pastagens e de culturas anuais para o acúmulo de C no solo advém do seu sistema radicular (Santa-Ana et al., 2017).

O Sistema Silvipastoril estudado por Silva et al. (2020), também apresentou melhores estocagem de carbono quando comparado à pastagem na profundidade de 10 – 20 cm. Nas demais profundidades os valores foram estatisticamente iguais para o Sistema de Pastagem, diferenciando apenas da vegetação nativa que apresentou as maiores médias. Isso demonstra que, mesmo na adoção de curto prazo, sistemas silvipastoris podem contribuir para aumentar os estoques de carbono orgânico total. Esse desempenho está relacionado ao fato desses sistemas serem formados por diferentes componentes (árvores, gramíneas e animais), se beneficiando dessa interação.

Os Estoques de Nitrogênio Total (EstNT) apresentaram as melhores médias no Sistema de Caatinga, assim como o EstCT diferenciou significativamente dos demais sistemas, apresentando os maiores valores de $2,16 \text{ g.Kg}^{-1}$ na profundidade 0 – 10 cm. Entretanto, os sistemas Silvipastoril e de Pastagem não diferenciaram entre si em nenhuma das profundidades,

assim como no ambiente de Caatinga, sendo seus maiores valores foram encontrados na profundidade 0 – 10 e 20 – 30 cm, sendo essas consideradas iguais. O decréscimo de nitrogênio da Caatinga para o sistema Silvipastoril e de Pastagem na camada 0 – 10 foi de 49% e 58,3% ou $1,06 \text{ g.Kg}^{-1}$ e $1,26 \text{ g.Kg}^{-1}$, respectivamente

Barros et al. (2015), estudando os estoques de carbono e nitrogênio em diferentes tipos de uso do solo no Sertão paraibano, também encontraram diferenças significativas entre os valores de EstNT, sendo a vegetação nativa e área de vegetação escassa as que apresentaram maiores médias, sendo os menores índices foram para os sistemas de pastagem, culturas anuais bem como áreas de cultivo permanente. Ao longo da profundidade seus valores também tiveram decréscimos, situação esperada, visto que a maior entrada de resíduos de plantas na superfície do solo permite uma decomposição lenta e gradual da MOS.

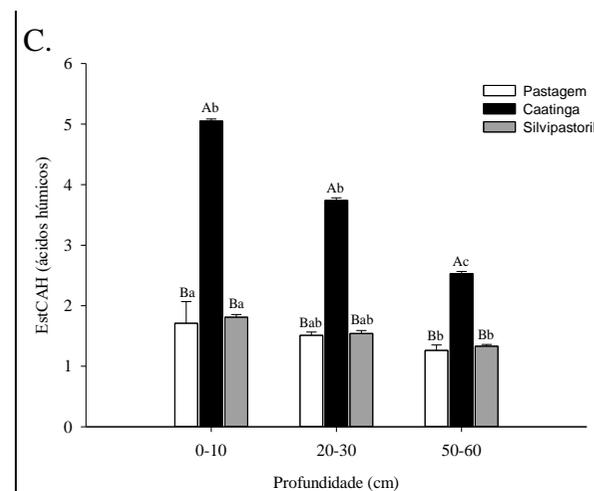
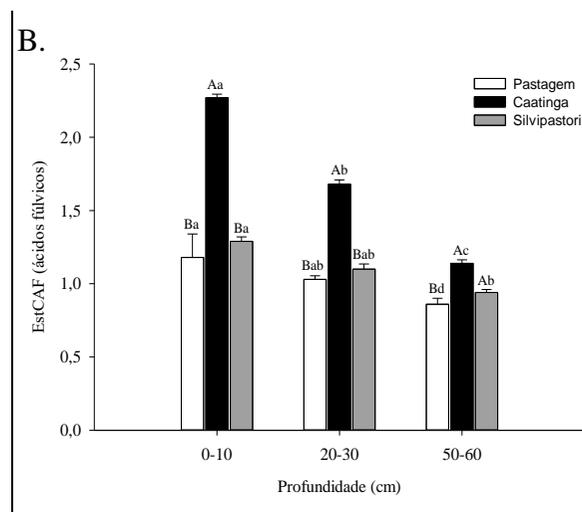
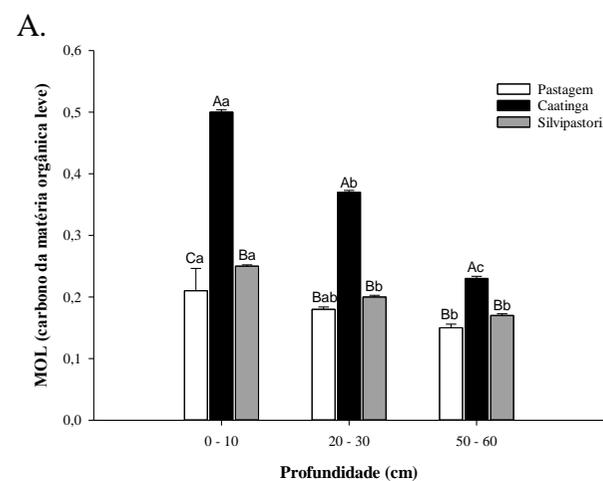
Os valores de relação C/N para os diferentes ambientes e níveis de profundidade estão apresentados na Tabela 8. Não houve diferenças significativas entre os sistemas nem entre as profundidades estudadas, encontrando-se um valor médio de 11,7. Tais valores demonstram uma maior labilidade dos resíduos desses sistemas. Sob condições semiáridas, resíduos com maior conteúdo de N e menor relação C/N mostram uma capacidade de mineralização líquida de N no solo (Alves et al., 2011).

O carbono da matéria orgânica leve (CMOL) na Tabela 9., segue o mesmo comportamento que o EstCOT. Foram encontrados os maiores valores de $2,16 \text{ g/kg}$ no Sistema de vegetação preservada Caatinga na profundidade 0 – 10 cm, com diferença estatística dos demais nas três profundidades estudadas. Na profundidade 0 -10 cm a redução foi de 49,07 % para o Sistema Silvipastoril e de 58,3 % para a área de Pastagem quando comparadas à Caatinga. Os sistemas Silvipastoril e de Pastagem tiveram resultados estatisticamente iguais, nas profundidades 20 – 30 e 50 – 60 cm, com médias para esses dois sistemas consideradas iguais. Já no Sistema de Caatinga os valores decresceram conforme o aumento da profundidade. Loss et al. (2010), também encontraram os maiores valores de CMOL na profundidade de até 10 cm, para áreas sob Sistemas Agroflorestais, indicando um material orgânico mais complexo para decomposição.

Tabela 9. Carbono da Matéria Orgânica Leve, Estoques de Carbono Ácidos Fúlvicos, Estoques de Carbono Ácidos Húmicos, Estoque de Carbono Fração Humína e Estoque de Carbono Lábil nos diferentes sistemas estudados, nas profundidades 0 – 10; 20 – 30 e 50 – 60 cm.

Sistemas	Estoques de Carbono														
	0-10 cm					20-30 cm					50-60 cm				
	CMOL Mg ha ⁻¹	EstCAF ----- Mg ha ⁻¹	EstCAH ----- Mg ha ⁻¹	EstHum ----- Mg ha ⁻¹	EstLabil ----- Mg ha ⁻¹	CMOL Mg ha ⁻¹	EstCAF ----- Mg ha ⁻¹	EstCAH ----- Mg ha ⁻¹	EstHum ----- Mg ha ⁻¹	EstLabil ----- Mg ha ⁻¹	CMOL Mg ha ⁻¹	EstCAF ----- Mg ha ⁻¹	EstCAH ----- Mg ha ⁻¹	EstHum ----- Mg ha ⁻¹	EstLabil ----- Mg ha ⁻¹
Pastagem	0,21 Ca	1,18Ba	1,71Ba	3,65Ba	1,07 Ba	0,18 Bab	1,03Bab	1,51Bab	3,20Bab	0,94Bab	0,15 Bb	0,86Bb	1,26Bb	2,68Bb	0,78Bb
Caatinga Preservada	0,5 Aa	2,27Aa	5,05Aa	11,13Aa	2,78 Aa	0,37 Ab	1,68Ab	3,74Ab	8,23Ab	2,05Ab	0,23 Ac	1,14Ac	2,53Ac	5,58Ac	1,39Ac
Silvipastoril	0,25 Ba	1,29Ba	1,81Ba	4,54 Ba	1,29 Ba	0,20 Bb	1,10Bab	1,54Bab	3,86Bab	1,10Bab	0,17 Bb	0,94Ab	1,33Bb	3,33Bb	0,95Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. P – Pastagem; C – Caatinga e S – Sistema Silvipastoril.



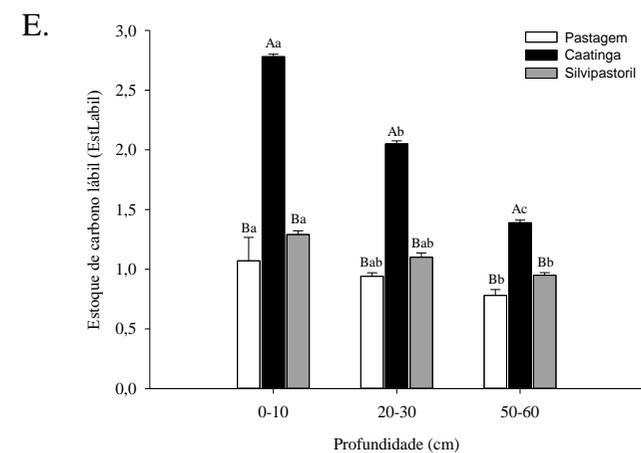
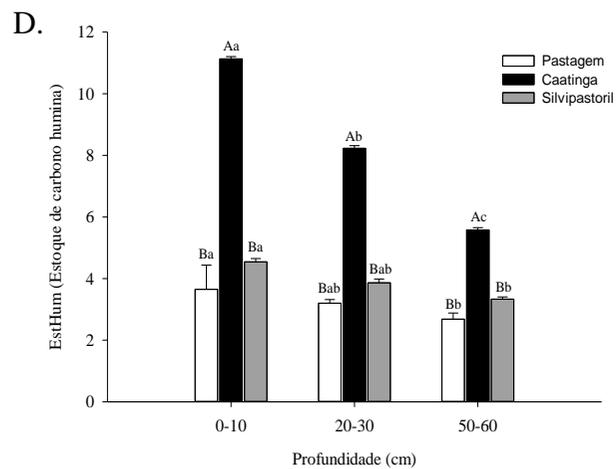


Figura 9. Desdobramento das interações significativas pelo teste Tukey para Carbono da Matéria Orgânica Leve (A); Estoque de Carbono Ácidos Fúlvicos (B); Estoque de Carbono Ácidos Húmicos (C); Estoque de Carbono Humína (D) e Estoque de Carbono Lábil (E), nos diferentes tipos de uso do solo e profundidade de coleta. Letras maiúsculas correspondem aos tipos de uso do solo e minúsculas às profundidades de coleta.

De acordo com Oliveira Filho et al (2017) a alta semelhança entre CMOL e COT pode explicar a baixa resposta do CMOL na identificação de mudanças na MO entre as áreas avaliadas, além de indicar uma alta dependência do CMOL na fração do conteúdo de COT.

Os estoques de C no fracionamento da MO seguiram uma mesma tendência como mostra a Tabela 9. A maior concentração de C estava na fração Humina como já se esperava. O Estoque de Carbono Ácido Fúlvico (EstCAF) apresentou as maiores médias no Sistema de Caatinga preservada com 2,27, que ao longo das profundidades foi diminuindo gradativamente, até atingir na profundidade 50 – 60 cm um valor médio de 1,14, com diminuição de 49,7 %. Nessa profundidade os valores foram considerados iguais para o sistema de Caatinga e Silvipastoril. Todavia nas demais profundidades o Sistema Silvipastoril teve médias iguais à Pastagem, com diminuição significativa na profundidade 20 – 30 para a 50 – 60 cm.

Os Estoques de Carbono Ácidos Húmicos (EstCAH), seguindo o comportamento do EstCOT apresentaram a maior estocagem no Sistema Caatinga preservada na profundidade 0 – 10 cm, com uma diminuição de 64 % para o Sistema Silvipastoril e de 66,1 % para a Pastagem. Esses dois sistemas por sua vez foram considerados estatisticamente iguais para as três profundidades estudadas. Ao longo das profundidades os valores foram decrescendo para a Caatinga, já na pastagem e Sistema Silvipastoril foram estatisticamente iguais nas 2 primeiras profundidades e inferior na profundidade 50 – 60 cm. A fração com maior concentração de C também estocou a maior quantidade, o Estoque de Carbono na Fração Humina (EstCHU), seguiu a linha de comportamento do EstCAH, conforme a Figura 9. As maiores médias estiveram no sistema Caatinga, diferenciando significativamente dos demais ambientes, que ao longo das profundidades tiveram médias estatisticamente iguais. A maior estocagem ocorreu na profundidade 0 – 10 cm para a Caatinga, com 11,13, redução de 59,2 % para o Sistema Silvipastoril e de 67,2 % para a Pastagem. Ao longo das profundidades a estocagem diminuiu para a Caatinga; nos outros dois sistemas teve médias iguais na profundidade 0 – 10 e 20 – 30 cm, com diminuição apenas na profundidade de 50 – 60 cm.

Pulrolnik et al. (2009), estudando os estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da MO, também encontraram os maiores teores de C na fração humina (FH), em todos os níveis de cobertura de solo estudadas, comportamento esse, associado à interação da MO com a fração mineral do solo. Cardoso et al. (2010), analisando os estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens, também encontraram a maior parte de CO

na fração húmica. Tal fato é resultado de uma maior polimerização de compostos húmicos junto com um acúmulo acentuado de MOS em ecossistemas naturais.

Pegoraro et al. (2018), analisando os estoques de carbono nas frações húmicas sob diferentes usos do solo, não encontraram as maiores estocagens na vegetação nativa preservada, na profundidade 0 – 20 cm os valores dos EstCAF foram equivalentes a sistema de pastagem, já os EstCAH da pastagem foram superiores aos encontrados na Floresta Nativa. Mostrando um comportamento totalmente diferente. Já em uma profundidade 0 – 40 para os EstCAF, EstCAH e EstCHU não houve diferenças significativas. Pulrolnik et al (2009) em um bioma de Cerrado também encontrou médias iguais entre a vegetação nativa e a pastagem para os EstCAF e EstCHU, já os EstCAH tiveram as maiores médias no solo sob Eucalipto.

O Estoque de carbono Lábil (EstCLabil) teve as maiores médias na Caatinga, diferenciando estatisticamente dos demais, ocorrendo na profundidade 0 – 10 a maior estocagem de C lábil com 2,78. Os Sistemas Silvopastoril e de Pastagem foram considerados iguais, com uma redução de 53,5 % e 61,5 % para o Sistema de Caatinga. Ao longo das profundidades houve decréscimo nos valores para a Caatinga nas três profundidades, já no Sistema Silvopastoril e de Pastagem não houve decréscimo entre as profundidades 0 – 10 e 20 – 30 cm, com uma menor estocagem na profundidade 50 – 60 cm. A fração lábil por sua vez apresentou alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, auxiliando as plantas através do fornecimento de nutrientes e energia. Silva et al. (2011), afirmam que o alto teor de C na fração lábil traduz uma fragilidade na sustentabilidade do sistema, visto que o manejo nesse solo pode potencializar a mineralização do C presente nessa fração.

6. CONCLUSÕES

- Os estoques de C nos sistemas estudados variaram de 7,88 Mg ha⁻¹ a 25,3 Mg ha⁻¹, enquanto os estoques de N variaram de 0,70 Mg ha⁻¹ a 2,16 Mg ha⁻¹.
- As maiores médias dos estoques de carbono e nitrogênio foram obtidas no sistema de Caatinga Preservada seguida do Sistema Silvipastoril e por última Pastagem, em todas as profundidades estudadas.
- Como a região semiárida apresenta diferentes condições de uso do solo, e uma grande variabilidade de solos, se faz necessária uma amostragem maior em diferentes locais e a inclusão de outras classes de solos para que se tenham dados mais concretos sobre a dinâmica do carbono e nitrogênio em solos dessa região.
- Os estoques de Carbono do Ácido Fúlvico variaram de 2,27 a 0,86 Mg ha⁻¹; os estoques de carbono das huminas variaram de 5,05 a 1,26 Mg ha⁻¹; e os estoques de carbono lábil variaram de 0,78 a 2,78 Mg ha⁻¹.
- As maiores médias dos estoques de carbono, tanto do ácido fúlvico quanto das huminas e carbono lábil, foram obtidas no Sistema de Caatinga Preservada, seguido do Sistema Silvipastoril e por última na Pastagem, em todas as profundidades estudadas.
- Através da análise dos sistemas estudados ficou demonstrado que a maioria dos atributos químicos e microbianos são mais sensíveis ao avanço do uso do solo na seguinte ordem: Sistema de Catinga Preservada – Sistema Silvipastoril e Sistema de Pastagem.

7. REFERÊNCIAS

- ALTHOFF, Tiago Diniz et al. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 254, p. 26-34, 2018.
- ALVALA, Regina et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, 2019.
- ALVES, R. N., et al. Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1107-1114, 2011.
- ARAÚJO NETO, S. E., et al. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.
- ASSIS, P. C. R., et al. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.
- ASSIS, P. C. R., et al. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.
- ASSUNÇÃO, S. A. et al. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 658, p. 901-911, 2019.
- BAISDEN, W. T; MANNING, M. R. The New Zealand carbon cycle: from regional budget to global cycle. **Biogeochemistry**, v. 104, n. 1-3, p. 1-4, 2011.
- BAKER, J. M. et al. Tillage and soil carbon sequestration — what do we really know? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.118, p.1–5, 2007.
- BALESDENT, J., et al. Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil depth. **Nature**, v. 559, n. 7715, p. 599-602, 2018.
- BALÍK, Jiří et al. Impact of organic and mineral fertilising on aluminium mobility and extractability in two temperate Cambisols. **Plant, Soil and Environment**, v. 65, n. 12, p. 581-587, 2019.
- BARROS, J. D. S., et al. Carbon and nitrogen stocks under different management systems in the Paraíba Serto. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 3, p. 130-136, 2015.
- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, p. 237–245, 2006.

BAYER, C., et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2009.

BENDER, S. F.; WAGG, C.; VAN D. H., Marcel G. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. **Trends in ecology & evolution**, v. 31, n. 6, p. 440-452, 2016.

BERNARDINO, E.S; GARCIA, R. Sistemas Silvopastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.60, dez. 2009, p.77-87. Edição Especial.

BHANDARI, K. B., et al. Assessing the role of interseeding alfalfa into grass on improving pasture soil health in semi-arid Texas High Plains. **Applied Soil Ecology**, v. 147, p. 103399, 2020.

BIMÜLLER, C., et al. Carbon and nitrogen mineralization in hierarchically structured aggregates of different size. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 23-33, 2016.

BLANCO-CANQUI, Humberto et al. Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 4, p. 1407-1414, 2006.

BLANCO-CANQUI, Humberto. Biochar and soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 4, p. 687-711, 2017.

BOLAN, Nanthi S. et al. Dissolved organic matter: biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, 2011. p. 1-75.

BONATO, J. A.; HENKES, J. A. O sequestro de carbono (CO₂) proporcionado pelo sistema silvipastoril, com ênfase no aumento da renda familiar, com integração das atividades de lavouras e pecuária e a produção da madeira, carne e leite. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 222-249, 2013.

BONGIORNO, Giulia et al. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. **Ecological indicators**, v. 99, p. 38-50, 2019.

BOTULA, Yves-Dady et al. Particle size distribution models for soils of the humid tropics. **Journal of soils and sediments**, v. 13, n. 4, p. 686-698, 2013.

BOUCNEAU, G.; VAN MEIRVENNE, M.; HOFMAN, G. Comparing pedotransfer functions to estimate soil bulk density in northern Belgium. **Pedologie Themata**, v. 5, p. 67-70, 1998.

- BOULAL, Hakim et al. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil and Tillage Research**, v. 115, p. 62-70, 2011.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.
- BRONICK, C. J.; LAL, R.. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.
- BUNEMANN, E. K., et al. Soil quality—A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.
- CÂNDIDO, M. J. D.; ARAÚJO, G. G. L.; CAVALCANTE, M. A. B. Pastagens no ecossistema semi-árido brasileiro: atualização e perspectivas futuras. **Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros: alternativas viáveis visando a sustentabilidade dos ecossistemas de produção de ruminantes nos diferentes ecossistemas**, 2005.
- CARVALHO, Antônia Elieth Muniz et al. Diagnóstico do uso e conservação do solo em região de reforma agrária no semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 3, p. 568-573, 2017.
- CERRI, C. C. et al. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. 2006.
- CHAVES, Lúcia HG; CARLOS, 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.
- CHEN, Jiaxin et al. Lipid production from fed-batch fermentation of crude glycerol directed by the kinetic study of batch fermentations. **Fuel**, v. 209, p. 1-9, 2017.
- CHERUBIM, M. R., et al. Physical, Chemical and Biological quality of a latosol with different managements and fertilizers. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.
- CONCEIÇÃO, P. C., et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.
- Cooper A, McCann T, Ballard E. The effects of livestock grazing and recreation on Irish machair grassland vegetation. **Plant Ecology**, 181: 255–267. 2005.

- COOPER, Jennifer A.; MORALES, Iván; AMADOR, José A. Nitrogen transformations in different types of soil treatment areas receiving domestic wastewater. **Ecological engineering**, v. 94, p. 22-29, 2016.
- COSTA R. D., et al. Alterações de atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho na sucessão milheto-soja. **Científica**, v. 47, n. 2, p. 221-230, 2019.
- CREMER, Maike; PRIETZEL, Jörg. Soil acidity and exchangeable base cation stocks under pure and mixed stands of European beech, Douglas fir and Norway spruce. **Plant and Soil**, v. 415, n. 1-2, p. 393-405, 2017.
- SILVA, H. M. S., et al. Soil and Root Attributes in Pastures Managed under Different Stocking Rates and Nitrogen Fertilization Levels. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2019.
- DAHER, M., et al. Semi-arid soils from a topolithosequence at James Ross Island, Weddell Sea region, Antarctica: Chemistry, mineralogy, genesis and classification. **Geomorphology**, v. 327, p. 351-364, 2019.
- OLIVEIRA, R. G. P., et al. Semi-detailed survey of soils of Ceará's semiarid region: Lavoura Seca Experimental Farm. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 2, p. 1-8, 2020.
- SANT-ANNA, S. A. C., et al. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, p. 101-120, 2017.
- SOUSA, Juliana Karine Gonçalves et al. Frequência e comportamento de visitantes florais na algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw) DC.) em Alexandria-RN. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 12, n. 2, p. 221-229, 2016.
- DEB, S., et al. Soil organic carbon: Towards better soil health, productivity and climate change mitigation. **Climate change and environmental sustainability**, v. 3, n. 1, p. 26-34, 2015.
- SANTOS, Kristiana Fiorentin et al. Teores e estoques de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 222-229, 2019.
- DOUPOUX, Cédric et al. Modelling the genesis of equatorial podzols: age and implications for carbon fluxes. 2017.
- ERHAGEN, B., et al. Temperature response of litter and soil organic matter decomposition is determined by chemical composition of organic material. **Global change biology**, v. 19, n. 12, p. 3858-3871, 2013.

FENG, Ruizhang et al. Establishment of *Elymus natans* improves soil quality of a heavily degraded alpine meadow in Qinghai-Tibetan Plateau, China. **Plant and soil**, v. 327, n. 1-2, p. 403-411, 2010.

FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Carbon allocation dynamics one decade after afforestation with *Pinus radiata* D. Don and *Betula alba* L. under two stand densities in NW Spain. **Ecological engineering**, v. 36, n. 7, p. 876-890, 2010.

FRANCO, Euler Soares et al. Influência das diferentes lâminas de irrigação no crescimento da algaroba. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 11, n. 2, p. 67-71, 2015.

FU, X., et al. Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. **Geoderma**, v. 155, n. 1-2, p. 31-35, 2010.

GAO, Guang-Lei et al. Fractal scaling of particle size distribution and relationships with topsoil properties affected by biological soil crusts. **Plos one**, v. 9, n. 2, 2014.

GIULIETTI, A.M., BOCAGE NETA, A.L., CASTRO, A.A.J.F. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma da caatinga In: **BIODIVERSIDADE DA CAATINGA: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: MMA-UFPE; Brasília, DF: 2004. p.47-90.

GONÇALVES, R. G. D. M., et al. Avaliação de diferentes fontes e doses de boro no cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2018.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil use and management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016.

HOWARD, P. J. A. et al. The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain. **Soil Use and Management**, v. 11, n. 1, p. 9-15, 1995.

HU, Zhongmin et al. A synthesis of the effect of grazing exclusion on carbon dynamics in grasslands in China. **Global Change Biology**, v. 22, n. 4, p. 1385-1393, 2016.

HUANG, Lin et al. Soil particle heterogeneity affects the growth of a rhizomatous wetland plant. **PloS one**, v. 8, n. 7, 2013.

Ibanez J, Martínez J, Schnabel S. 2007. Desertification due to overgrazing in a dynamic commercial livestock–grass–soil system. **Ecological Modelling**, 205: 277–288.

IBRAHIM, A. et al. Effects of conocarpus biochar on hydraulic properties of calcareous sandy soil: influence of particle size and application depth. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 2, p. 185-197, 2017.

KARLEN, D., et al. Soil quality: why and how?. **Geoderma**, v. 114, n. 3-4, p. 145-156, 2003.

KATO, O. R. et al. Projeto Dendê em sistemas agroflorestais na agricultura familiar. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. Anais... Belém, PA: SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011., 2011.

KHALAFALLA, M. Y. Organic Carbon in Humic Fractions in Soil Influenced by Organic, Inorganic and Bio Nitrogen Fertilizers under Different Incubation Periods. **Assiut Journal of Agricultural Sciences**, v. 50, n. 3, p. 150-163, 2019.

KUMAR, SC Ramesh et al. Surface soil and subsoil acidity in natural and managed land-use systems in the humid tropics of Peninsular India. **CURRENT SCIENCE**, v. 116, n. 7, p. 1201, 2019.

LAL, Rattan. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. **Food security**, v. 2, n. 2, p. 169-177, 2010.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LANA, A. M. Q., et al. Influence of native or exotic trees on soil fertility in decades of silvopastoral system at the Brazilian savannah biome. **Agroforestry systems**, v. 92, n. 2, p. 415-424, 2018.

LEGAZ, B. Vidal et al. Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. **Journal of cleaner production**, v. 140, p. 502-515, 2017.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 60-68, 2015.

LI, C. et al. Soil carbon sequestration potential in semi-arid grasslands in the Conservation Reserve Program. **Geoderma**, v. 294, p. 80-90, 2017.

LI, Q. et al. Changes in soil organic carbon and total nitrogen stocks along a chronosequence of Caragana intermedia plantations in alpine sandy land. **Ecological engineering**, v. 133, p. 53-59, 2019.

LIMA, E. C. S., et al. Cultivo do capim paulistão (*Brachiaria* sp.) sob diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 14, n. 3, p. 222-227, 2018.

LOPES, Alfredo Scheid. Manual internacional de fertilidade do solo. **Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1998.

LOPES, T. C. S., et al. Structural and Chemical Attributes of Soil Inorganic Fractions for Environmental Characterization in the Brazilian Semiarid Region. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, 2019.

LOSS, A., et al. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 1, p. 57-57, 2010.

LUNA, R. G. D., et al. Biomassa e atividade microbianas em áreas de caatinga sob diferentes densidades de caprinos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 12, p. 217-250, 2019.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; FILHO, A. A. T. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. *Inf. Agropecu*, v.21, p.93-98, 2000.

MAGRI, R. A. F.; BAIÃO, T. C. Restauração de APPs degradadas e a viabilização do sequestro de carbono: estudo de uma bacia hidrográfica urbana no município de Passos-MG Restoration of degraded APPs and the viability of carbon sequestration: study of an urban watershed in the city of Passos-MG. **AMBIÊNCIA**, v. 12, n. 3, p. 921-930, 2016.

MAHALE, Ashwini D. et al. Secondary and micronutrient status of soil from Kal amba command area of konkan region of Maharashtra. 2019.

MARENGO, J A.; et al. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.

MARIANO, Eduardo D. et al. Differential aluminium-impaired nutrient uptake along the root axis of two maize genotypes contrasting in resistance to aluminium. **Plant and soil**, v. 388, n. 1-2, p. 323-335, 2015.

MARIANO, Eduardo D. et al. Differential aluminium-impaired nutrient uptake along the root axis of two maize genotypes contrasting in resistance to aluminium. **Plant and soil**, v. 388, n. 1-2, p. 323-335, 2015.

MARTÍN, Miguel Ángel; REYES, Miguel; TAGUAS, F. Javier. Estimating soil bulk density with information metrics of soil texture. **Geoderma**, v. 287, p. 66-70, 2017.

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

MELO, G. B., et al. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

MILNE, Eleanor et al. Soil carbon, multiple benefits. **Environmental Development**, v. 13, p. 33-38, 2015.

MOURA, N. A., et al. Soil fauna dynamics affected by decomposition of different legume combinations in alley cropping systems in So Lus, Maranhão, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 36, p. 3404-3411, 2016.

NAIR, P. K. R. et al. Agroforestry. Encyclopedia of ecology. 2008.

NAIR, P. K., Ramachandran et al. Carbon sequestration in agroforestry systems. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, 2010. p. 237-307.

NAIR, PK Ramachandran; NAIR, Vimala D. 'Solid-fluid-gas': the state of knowledge on carbon-sequestration potential of agroforestry systems in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 22-27, 2014.

ODUOR, C. O., et al. Enhancing soil organic carbon, particulate organic carbon and microbial biomass in semi-arid rangeland using pasture enclosures. **BMC ecology**, V. 18, n.1, p. 45, 2018.

OLIVEIRA FILHO, J. D. S., et al. Organic matter labile fractions and carbon stocks in a typical quartzipsamment cultivated with sugarcane harvested without burning. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 24-31, 2017.

OLIVEIRA, B. O. S. et al. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016.

OLIVEIRA, M. L. J., et al. Availability and spatial variability of copper, iron, manganese and zinc in soils of the State of Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 371-380, 2018.

OLIVEIRA, V. R., et al. Efeitos de proximidade milho-espécies arbóreas em experimentos agroflorestais. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 648-655, 2016.

PAJARES, S.; BOHANNAN, B. J. M. Ecology of nitrogen fixing, nitrifying, and denitrifying microorganisms in tropical forest soils. **Frontiers in microbiology**, v. 7, p. 1045, 2016.

PAUSTIAN, K., et al. **Assessment of potential greenhouse gas mitigation from changes to crop root mass and architecture**. Booz Allen Hamilton Inc., McLean, VA (United States), 2016.

PEDROTTI, A., et al. Biological Activity as an Indicator of Soil Quality under Different Cultivation Systems in Northeastern Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-13, 2018.

PEGADO, Cláudia Maria Alves et al. Efeitos da invasão biológica de algaroba: *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 4, p. 887-898, 2006.

PEGORARO, R. F., et al. Carbon and nitrogen stocks in the soil and humic substances of agricultural crops in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 574-583, 2018.

PEREIRA, M. G., et al. Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de produção em solos de textura arenosa. **MAGISTRA**, v. 30, p. 342-350, 2019.

PREZOTTI, Luiz Carlos; GUARÇONI, A. M. Guia de interpretações de análise de solo e foliar. 2013.

PRIMIERY, Silmar; MUNIZ, Aleksander Westphal; LISBOA, Henrique de Melo. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, 2009.

QUINKENSTEIN, A., et al. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 12, n. 8, p. 1112-1121, 2009.

RAMEZANI, N. et al. Evaluation and Comparison of Physical and Hydraulic Properties in Different Soil Structures. **Malaysian Journal of Soil Science**, v. 23, p. 43-54, 2019.

REYNOLDS, Phillip E. et al. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. **Ecological engineering**, v. 29, n. 4, p. 362-371, 2007.

RHODES, C. J. The 2015 Paris climate change conference: COP21. **Science progress**, v. 99, n. 1, p. 97-104, 2016.

RODRIGUES, Laís Costa et al. Conhecimento e uso da carnaúba e da algaroba em comunidades do Sertão do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 451-457, 2013.

ROOSE, Eric; BARTHES, Bernard. Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research. In: **Managing**

Organic Matter in Tropical Soils: Scope and Limitations. Springer, Dordrecht, 2001. p. 159-170.

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

SAMPAIO, E. V. S. B.; DA COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares (Stocks and Fluxes of Carbon in Semiarid Northeast Brazil: Preliminary Estimates). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1275-1291, 2012.

SANT'ANA, A. M., et al. Fatty acid, volatile and sensory profiles of milk and cheese from goats raised on native semiarid pasture or in confinement. **International Dairy Journal**, v. 91, p. 147-154, 2019.

SANTOS, K. F., et al. Teores e estoques de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 222-229, 2019.

SANTOS, U. J. D., et al. Land use changes the soil carbon stocks, microbial biomass and fatty acid methyl ester (FAME) in Brazilian semiarid area. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 6, p. 755-769, 2019.

SCHOSSLER, Thiago Rodrigo et al. Geospatial variation of physical attributes and sugarcane productivity in cohesive soils. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1274-1291, 2019.

SEGURA, J. H., et al. Boreal tree species affect soil organic matter composition and saprotrophic mineralization rates. **Plant and Soil**, v. 441, n. 1-2, p. 173-190, 2019.

SHARMA, Ratan Chand; DOGRA, Shivani. Characterization of the soils of lower Himalayas of Himachal Pradesh, India. **Nature, Environment and Pollution Technology**, v. 10, n. 3, p. 439-446, 2011.

SHIRGAVE, Pandit; RAMTEKE, Avinash. Physicochemical status of fertile soil around Arjunnagar, District Kolhapur, Maharashtra, India. **International Journal of Chemical Studies**, v. 3, n. 2, p. 98-101, 2015.

SILVA, E. F., et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2012.

SILVA, J. R. M., et al. Total organic carbon and the humic fractions of the soil organic matter in silvopastoral system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 15, n. 2, 2020.

SILVA, S. A algarobeira (*Propis Juliflora* (5w) DC) no nordeste do Brasil. Ministerio da Agricultura-SNAP, 1989.

SOARES, Marcelo Dayron Rodrigues et al. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.

SODERSTROM, B.; PART, T.; LINNARSSON, E. Grazing effects on between-year variations of farmland bird communities. *Ecological Applications*, 11: 1141–1150. 2001.

SOLOMON, D., J. LEHMANN & W. ZECH. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. **Agric. Ecosyst. Environ.** 78:203-213. 2000.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 78, n. 3, p. 203-213, 2000.

SONG, Z. et al. Changes in nitrogen functional genes in soil profiles of grassland under long-term grazing prohibition in a semiarid area. **Science of the total environment**, v. 673, p. 92-101, 2019.

SOUZA, J. S. & DOS SANTOS, W. L. Aspectos Morfológicos do Parque Natural Municipal Serra dos Parecis–Município de Guajará-Mirim/RO. **UÁQUIRI**, v. 2, n. 1, 2020.

STEINFELD, Henning et al. **Livestock's long shadow: environmental issues and options.** Food & Agriculture Org., 2006.

SWANEPOEL, C. M. et al. Review and meta-analysis of organic matter in cultivated soils in southern Africa. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 104, n. 2, p. 107-123, 2016.

TADINI, A. M. et al. Evaluation of the roles of metals and humic fractions in the podzolization of soils from the Amazon region using two analytical spectroscopy techniques. **Microchemical Journal**, v. 144, p. 454-460, 2019.

TAN, Kim H. **Humic matter in soil and the environment: principles and controversies.** CRC press, 2014.

TANG, Y. et al. Changes in nitrogen-cycling microbial communities with depth in temperate and subtropical forest soils. **Applied Soil Ecology**, v. 124, p. 218-228, 2018.

- TOENSMEIER, Eric. **The carbon farming solution: a global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security.** Chelsea Green Publishing, 2016.
- TSONKOVA, P., et al. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 133-152, 2012.
- UKALSKA-JARUGA, A. et al. Characterization of organic matter fractions in the top layer of soils under different land uses in Central-Eastern Europe. **Soil Use and Management**, v. 35, n. 4, p. 595-606, 2019.
- VIPULANANDAN, Cumaraswamy; OZGUREL, H. Gurkan. Simplified relationships for particle-size distribution and permeation groutability limits for soils. **Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering**, v. 135, n. 9, p. 1190-1197, 2009.
- WANG, Xuexia et al. The effects of grassland degradation on plant diversity, primary productivity, and soil fertility in the alpine region of Asia's headwaters. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 10, p. 6903-6917, 2014.
- WOLSCHICK, N. H., et al. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.
- XU, L. et al. Latitudinal patterns and influencing factors of soil humic carbon fractions from tropical to temperate forests. **Journal of Geographical Sciences**, v. 28, n. 1, p. 15-30, 2018.
- YOU, M. et al. Changes in soil organic carbon and carbon fractions under different land use and management practices after development from parent material of mollisols. **Soil Science**, v. 179, n. 4, p. 205-210, 2014.
- ZAK, D. R., et al. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links?. **Ecology**, v. 84, n. 8, p. 2042-2050, 2003.
- ZHANG, Yaohua et al. Effects of vegetation restoration on soil quality in degraded karst landscapes of southwest China. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 2657-2665, 2019.
- ZHOU, W.; XIA, L.; YAN, X. Vertical distribution of denitrification end-products in paddy soils. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 462-471, 2017.
- ZOMER, R. J., et al. Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017.

MCT -Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2010. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2nd ed. (Brasília).

SOUZA, T. D., & SANTOS, D. Solos em Sistemas Agroecológicos. **Areia, Editora**, 2017.

CORRÊA, M. M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.

CÂMARA, A. C. L. et al. Intoxicação espontânea por vagens de *Prosopis juliflora* (Leg. Mimosoideae) em bovinos no Estado de Pernambuco. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 233-240, 2009.

CANTALICE, J. R. B. et al. Relationship between bedload and suspended sediment in the sand-bed Exu River, in the semi-arid region of Brazil. **Hydrological sciences journal**, v. 58, n. 8, p. 1789-1802, 2013.

CERRI, C. C. et al. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.61-69, 1996.

BONGIORNO, G., et al. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 38-50, 2019.

SIMONE, T. E. et al. Soil carbon sequestration, carbon markets, and conservation agriculture practices: a hypothetical examination in Mozambique. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 3, p. 167-179, 2017.

SCHMIDT, Michael WI et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

CORRÊA, M. M., et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Informação Tecnológica. **Manual de análises de químicas de solos plantas e fertilizantes**. Brasília, 2017. 627 p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (eds) (**Soil Science Society of America Book Series, 5**). Part 3. Chemical Methods, pp 1011–1020, 1996.

- FRAGA, V. da S. Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência. 70 f. Tese Doutorado (**Doutorado em tecnologias energéticas e Nucleares**) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 55, n. 3-4, p. 183-191, 2000.
- BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 4, p. 1191-1192, 1988.
- ISERMEYER, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. **Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde**, v. 56, n. 1-3, p. 26-38, 1952.
- ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and fertility of soils**, v. 1, n. 2, p. 81-89, 1985.
- SANTOS, H. G., et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- THEODORO, VCA de et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1039-1047, 2003.