



UFRPE

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

NAYANE LAÍSA DE LIMA CAVALCANTI

**ABORDAGEM DAS CORRELAÇÕES: CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA SATURADA, CARBONO ORGÂNICO E
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA
SILVIPASTORIL NO SEMIÁRIDO**

**RECIFE - PE
FEVEREIRO/2023**

NAYANE LAÍSA DE LIMA CAVALCANTI

**ABORDAGEM DAS CORRELAÇÕES: CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA SATURADA, CARBONO ORGÂNICO E
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA
SILVIPASTORIL NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya.

Coorientadores: Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho;

Prof. Dr. Francisco das Chagas da Costa Filho.

**RECIFE - PE
FEVEREIRO/2023**

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)

- C377a Cavalcanti, Nayane Laísa de Lima
ABORDAGEM DAS CORRELAÇÕES: CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA, CARBONO ORGÂNICO
E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL NO SEMIÁRIDO / Nayane Laísa de Lima
Cavalcanti. - 2023.
51 f. : il.
- Orientador: Victor Casimiro Piscoya.
Coorientador: Renisson Neponuceno de Araujo Filho.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, 2023.
1. Propriedades físicas do solo. 2. Movimento da água no solo. 3. Sistemas agroflorestais. 4. Integração lavoura
pecuária-floresta. I. Piscoya, Victor Casimiro, orient. II. Filho, Renisson Neponuceno de Araujo, coorient. III. Título

CDD 620.8

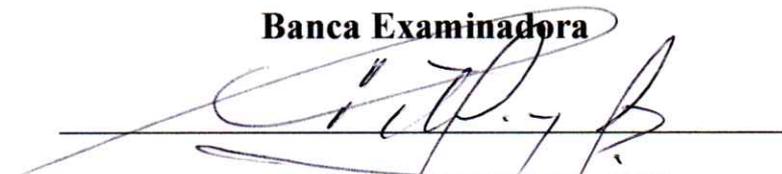
NAYANE LAÍSA DE LIMA CAVALCANTI

ABORDAGEM DAS CORRELAÇÕES: CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA, CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL NO SEMIÁRIDO - 2023

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 28 de fevereiro de 2023.

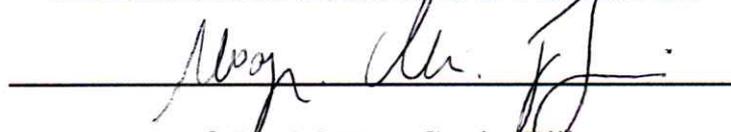
Banca Examinadora



Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya

Orientador

Universidade Federal Rural de Pernambuco



Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Membro externo



Prof. Dr. Alex Souza Moraes

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Membro Interno

Recife – PE

fevereiro, 2023.

*Dedico este trabalho aos meus queridos pais,
Ronaldo de Souza Cavalcanti e Ivanilda Maria de Lima
Cavalcanti, e ao meu amado e querido esposo, Gabriel,
por todo amor, dedicação e investimento
que possibilitaram minha formação.*

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, o meu Senhor e salvador, agradeço pelo amor, misericórdia e fidelidade que nunca se acaba ou esquece! Agradeço aos meus pais, Ronaldo de S. Cavalcanti e Ivanilda Maria de L. Cavalcanti, por todo sacrifício e educação, por me trazerem até aqui, por todo apoio, cuidado e proteção.

Agradeço ao meu querido e amado esposo, Gabriel Felipe Pereira Cavalcanti, o qual está ao meu lado, foi meu apoio, e peça chave durante esse processo, me incentivando a prosseguir em meio a toda a dificuldade.

Deixo os meus sinceros agradecimentos a todos os professores da UFRPE/PPEAMB que contribuíram nesta pesquisa, em especial ao meu orientador Dr. Victor Casimiro Piscoya e ao meu coorientador Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho. Aos técnicos e demais funcionários da UFRPE, em especial a Eudes Oliveira, técnico do laboratório de física do solo.

Aos amigos e confidentes durante essa jornada, em especial Vitória Maria e Julyane que me ajudaram com conselhos e favores impagáveis.

RESUMO

Compreender a dinâmica da água no solo é de suma importância para o desenvolvimento de sistemas agrícolas. Nesse contexto, a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) é relevante para concluir sobre o fluxo e transporte de água e sedimentos, e para estratégias de manejo da água no solo. Como esse parâmetro é influenciado pelas propriedades físicas do solo, também é utilizado para avaliar os efeitos do manejo do solo, sendo fundamental para os estudos de modelagem de processos hidrológicos. Assim, esta pesquisa objetiva analisar as correlações existentes entre a K_{sat} , carbono orgânico e atributos físicos do solo em um sistema silvipastoril, por meio de correlações lineares de Pearson, para avaliação dos fatores interferentes no fluxo de água do solo em sistema silvipastoril (SSP). O estudo foi desenvolvido em Serra Talhada, Sertão Pernambucano, e conduzido por meio de um delineamento experimental em blocos casualizados, utilizando um fragmento de mata nativa do bioma caatinga como área de referência. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo entre as profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, para a determinação da K_{sat} , densidade, porosidade total, macro e microporosidade, granulometria, argila dispersa em água, densidade de partículas, carbono orgânico total, frações húmicas, matéria orgânica leve e carbono lábil. Foram calculadas as médias e aplicadas correlações simples entre os atributos físico-hídricos e o carbono orgânico. A classificação textural não foi alterada entre as duas áreas, porém o SSP apresentou os maiores valores de densidade do solo e microporosidade, e maior macroporosidade ocasionados pelo pisoteio animal. A K_{sat} no SSP é elevada, maior que na área de Caatinga, devido a atuação do sistema radicular das Algarobas e ao depósito de matéria orgânica ao longo do perfil do solo. O SSP apresentou maior estoque de carbono apenas na primeira camada de solo avaliada (0 - 10 cm) devido ao aporte de MOS proveniente das fezes dos animais que pastam no local. Foram observadas correlações significativas entre o carbono orgânico e suas frações com a textura do solo, demonstrando que a granulometria está relacionada com o nível de transformação da matéria orgânica do solo. Os resultados obtidos para a condutividade hidráulica saturada não demonstraram associação significativa com as frações da matéria orgânica do solo, mas é nítida a influência dos atributos físicos e da MOS na agregação do solo e conseqüentemente no fluxo da água no meio poroso.

Palavras-chave: Propriedades físicas do solo; Movimento da água no solo; Sistemas agroflorestais, Integração lavoura-pecuária-floresta.

ABSTRACT

Understanding the dynamics of water in the soil is of paramount importance for the development of agricultural and silvopastoral systems. In this context, the saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) is relevant to conclude about the flux and transport of water and sediments, and for soil water management strategies. As this parameter is influenced by the physical properties of the soil, it is also used to evaluate the effects of soil management, being fundamental for hydrological modeling studies. Thus, this research aims to analyze the existing correlations between K_{sat} , organic carbon and soil physical attributes in a silvopastoral system, through Pearson's linear correlations, to evaluate the interfering factors in soil water flow in a silvopastoral system (SSP). The study was developed in Serra Talhada, Sertão Pernambucano, and controlled through an experimental design in randomized blocks. A fragment of native forest of the caatinga biome was used as a reference area. Deformed and informed soil samples were collected between the depths of 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30 and 0.30-0.40 m, for the province of K_{sat} , density, total porosity, macro and microporosity, granulometry, clay dispersed in water, particle density, total organic carbon, humic fractions, light organic matter and labile carbon. Simple correlations were shown as averages and applied between physical-hydric attributes and organic carbon. The textural classification did not change between the two areas, but the SSP showed the highest values of soil density and microporosity, and the highest macroporosity caused by animal trampling. The K_{sat} in the SSP is high and better than in the Caatinga area, due to the performance of the mesquite root system and the deposit of organic matter along the soil profile. The SSP showed a higher carbon stock only in the first soil layer evaluations (0 - 10 cm) due to the contribution of SOM from the feces of animals that graze in the area. Significant correlations were observed between organic carbon and its fractions with soil texture, demonstrating that granulometry is related to the level of transformation of soil organic matter. The results obtained for saturated hydraulic conductivity did not show a significant association with the fractions of soil organic matter, but the influence of physical attributes and SOM on soil aggregation and consequently on the flow of water in the porous medium is clear.

Keywords: Soil physical Properties; Soil water movement; Agroforestry systems, Crop-livestock-forest integration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região semiárida do estado de Pernambuco composta pelas mesorregiões do Agreste e do Sertão	13
Figura 2 - Mapa da área experimental: Fazenda Cedro, Serra Talhada – PE	23
Figura 3 - Área com caatinga preservada	24
Figura 4 - Área do sistema silvipastoril	25
Figura 5 - Áreas em estudo e coleta das amostras de solo: C1 área de caatinga preservada; C2 coleta de amostras de solo na área de caatinga preservada; S1 área do sistema silvipastoril; S2 coleta de amostras de solo na área do sistema silvipastoril	26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Valores médios dos atributos físicos: granulometria e densidade nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades 34
- Tabela 2** - Distribuição da porosidade e a condutividade hidráulica saturada nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades 36
- Tabela 3** - Valores médios das frações orgânicas e carbono orgânico do solo nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades 37
- Tabela 4** - Valores médios dos estoques das frações orgânicas e de carbono orgânico no solo nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades 38
- Tabela 5** - Coeficientes de correlação linear (r) entre o carbono e os atributos físicos do solo 40
- Tabela 6** - Coeficientes de correlação linear (r) entre o carbono, a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total e a condutividade hidráulica saturada do solo 41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS	12
	2.1 Objetivo geral	12
	2.2 Objetivos específicos	12
3.	REVISÃO DE LITERATURA	13
	3.1 Caracterização da região semiárido do estado de Pernambuco	13
	3.2 Sistemas silvipastoris no Semiárido	14
	3.3 Influência dos atributos físicos e matéria orgânica na qualidade do solo	16
	3.4 Condutividade hidráulica saturada	20
	3.5 Correlação linear do Pearson	21
4.	MATERIAL E MÉTODOS	23
	4.1 Descrição da área experimental	23
	4.2 Amostragem do solo	26
	4.2.1 Preparo das amostras de solo	27
	4.3 Determinação dos atributos físicos do solo	27
	4.3.1 Análise granulométrica	27
	4.3.2 Argila dispersa em água	28
	4.3.3 Densidade de partículas	28
	4.3.4 Condutividade hidráulica saturada do solo	29
	4.3.5 Densidade do solo	29
	4.3.6 Porosidade total, macro porosidade e micro porosidade	30
	4.4 Determinação do carbono no solo: carbono orgânico total, frações húmicas, matéria orgânica leve e carbono lábil	30
	4.5 Análise estatística dos dados	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
	5.1 Análise dos atributos físico-hídricos do solo	34
	5.2 Análise do carbono orgânico e substâncias húmicas	36
	5.3 Análise das correlações entre os atributos físico-hídricos e carbono orgânico do solo	39
6.	CONCLUSÃO	43
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

A compreensão do fluxo de água no solo é importante para a modelagem hidrológica, desenvolvimento de projetos de irrigação e drenagem, controle de processos erosivos e gerenciamento dos sistemas agrícolas (MESQUITA; MORAES, 2004; AMARAL, 2011; ÇERÇIOĞLU *et al.*, 2019). A partir da precipitação ou irrigação, a água que infiltra se distribui no espaço poroso do perfil do solo. Essa movimentação é responsável por diversos processos, como o transporte e disponibilidade de água e nutrientes às plantas, retenção hídrica e transporte de sedimentos.

Nesses fenômenos, há uma grande influência das propriedades físicas (textura, estrutura, densidade e porosidade) e da matéria orgânica presente no solo, que atuam sobre a condutividade hidráulica do meio (O'GEEN, 2013; PLA *et al.*, 2017). Esses parâmetros, em conjunto com as características químicas, são fundamentais para o bom desenvolvimento e produção de culturas (PEQUENO, 2013). Mudanças no uso do solo, por exemplo, que afetam significativamente seus atributos físicos, interferindo na produtividade, causando erosão e perda de água, constituindo-se em importantes fatores para a sustentabilidade agrícola (HAGHIGHI *et al.*, 2010).

Esses fatores interagem entre si na conformação das características do solo, tal como a matéria orgânica, que atua na melhoria da estabilidade dos agregados, diminui a densidade devido à estruturação do solo, que, juntamente com a textura, também determinam a distribuição do tamanho dos poros. Dessa maneira, essas condições são fundamentais para a manutenção do fluxo de água no meio poroso (HAGHIGHI *et al.*, 2010; O'GEEN, 2013, JUNQUEIRA *et al.*, 2018).

Para os sistemas silvipastoris (SSPs), é imprescindível o desenvolvimento adequado das funções do solo, que por sua vez, integra a presença de espécies florestais simultânea ou sequencialmente à criação de animais (NAIR, 1993; MICCOLIS *et al.*, 2016). Na região do Semiárido Brasileiro, no bioma Caatinga, a produção agrícola é limitada devido às suas condições climáticas, caracterizado numa economia de subsistência, sendo a pecuária a principal atividade econômica. Contudo, a forma tradicional de produção e manejo

inadequado que vem sendo utilizado tem levado à degradação do solo (BALBINO *et al.*, 2011; MICCOLIS *et al.*, 2016).

Sendo assim, os SSPs constituem-se como uma alternativa eficiente à mitigação das mudanças climáticas, intensificação da produção de alimentos, sustentabilidade socioambiental e conservação do solo, combinando atividades pecuárias e florestais em diferentes arranjos espaço-temporais (BALBINO *et al.*, 2011; ASSIS *et al.*, 2015; UDAWATTA *et al.*, 2017; BIELUCZYK *et al.*, 2020; REIS *et al.*, 2021). Contudo, os SSPs podem apresentar desvantagens, como a possibilidade de ocorrência de compactação, acarretada pelo maquinário e pisoteio do componente animal, que podem ser avaliadas por meio de indicadores físicos da qualidade do solo, derivados das propriedades intrínsecas desse e que variam a depender dos diferentes usos da terra (SAMUEL-ROSA *et al.*, 2013; NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Um parâmetro que pode ser empregado na avaliação da qualidade do solo é a condutividade hidráulica do solo saturado, ou apenas condutividade hidráulica saturada (K_{sat}). Essa propriedade expressa a facilidade com que um fluido é transportado pelos espaços vazios do solo, por tanto, é influenciada por suas propriedades físicas, dependendo do arranjo poroso (AMARAL, 2011; ASSIS *et al.*, 2015; LIBARDI, 2018; ÇERÇIOĞLU *et al.*, 2019). Sua determinação torna-se relevante para a agricultura, em termos de infiltração e disponibilidade de água às plantas, e para o meio ambiente, na avaliação da conservação do recurso solo (AMARAL, 2011; JUNQUEIRA *et al.*, 2018).

Essa propriedade físico-hídrica pode ser medida em campo a partir do princípio do permeâmetro de carga constante, contudo, os métodos existentes requerem treinamento especializado e consistem em procedimentos onerosos (GALLAGE *et al.*, 2013; MASAOKA; KOSUGI, 2018; CERNICCHIARO *et al.*, 2019). Assim, uma estimativa pode ser realizada através de modelos matemáticos, utilizando-se de correlações entre os parâmetros físicos de fácil determinação e a matéria orgânica do solo (JUNQUEIRA *et al.*, 2018). A aplicação de correlações lineares, por meio do coeficiente de Pearson (r), medem o grau de relação entre duas variáveis quantitativas, demonstrando o nível de associação

entre elas, pois a mudança em uma dessas variáveis está associada à mudança na outra (CORRÊA, 2003; LIRA, 2004).

Assim sendo, este trabalho propõe-se a analisar as correlações lineares entre a condutividade hidráulica saturada, carbono orgânico e atributos físicos do solo, através de coeficientes de Pearson, para um sistema silvipastoril, em bioma Caatinga, no semiárido.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar as correlações existentes entre a condutividade hidráulica saturada, carbono orgânico e atributos físicos do solo, por meio de correlações lineares de Pearson, para avaliação dos fatores interferentes no fluxo de água do solo em sistema silvipastoril.

2.2. Objetivos específicos

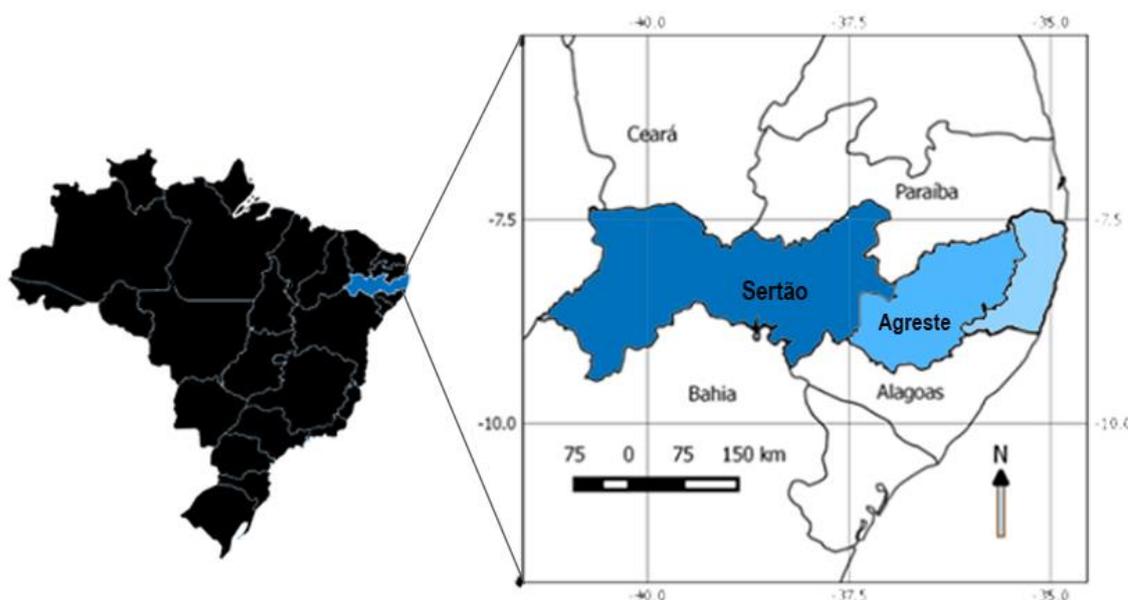
- Determinar os atributos físicos e carbono orgânico do solo;
- Avaliar as alterações nos atributos físicos do solo e no teor de carbono orgânico em sistema silvipastoril;
- Aplicar a ferramenta estatística matriz de correlação de Pearson;
- Verificar as correlações significativas entre a condutividade hidráulica saturada, atributos físicos e carbono orgânico do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização da região semiárida do estado de Pernambuco

O Semiárido pernambucano é composto pelas mesorregiões Agreste e Sertão (Figura 1) e abrange 127 municípios, que representam 88,5% da área total do Estado. O clima predominante é o semiárido, com precipitações médias anuais variando entre 650 mm e 900 mm no Agreste e entre 400 mm e 750 mm no Sertão distribuídas de forma irregular no tempo e no espaço, sendo marcado por longos períodos de seca conforme Irmão (2015), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2016) e Andrade *et al.* (2018).

Figura 1 - Região semiárida do estado de Pernambuco composta pelas mesorregiões do Agreste e do Sertão



Fonte: Adaptado de Embrapa (2016).

A região é caracterizada pela paisagem típica da Depressão Sertaneja, com predominância de um relevo suave e ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas. De maneira geral, os solos no Semiárido apresentam profundidades muito variadas devido ao intenso intemperismo das rochas, possuem boa fertilidade natural e, em algumas áreas, grande potencial para a ocorrência de erosão hídrica, estando mais propícios à degradação devido às condições ambientais locais. Quanto à vegetação nativa, é predominante a caatinga,

encontrada nas formações densa, aberta e brejo de altitude (FEITOSA *et al.*, 2010; IRMÃO, 2015; EMBRAPA, 2016; ANDRADE *et al.*, 2018; MELO *et al.*, 2019).

A escassez de água é uma das principais problemáticas do Semiárido e dificulta o desenvolvimento socioeconômico da região (ANDRADE *et al.*, 2018). Dessa maneira, é comum a prática da agricultura de sequeiro com culturas temporárias e semipermanentes, como o milho, a fava, o feijão e a mandioca, em um âmbito de agricultura familiar. As áreas ocupadas por esses cultivos e as propriedades nas quais estão inseridas são geralmente pequenas e praticam também a pecuária com a criação de bovinos, caprinos e outros animais de pequeno porte. Atrelada a essa paisagem, também se evidenciam áreas destinadas à agricultura irrigada de frutíferas e hortaliças (EMBRAPA, 2016; MELO *et al.*, 2019).

O manejo inadequado do solo no Semiárido tem intensificado os processos de degradação, levando à desertificação, acentuando a pobreza e a insegurança alimentar associadas ainda aos longos períodos de seca. Por isso, diversos agricultores familiares têm adotado sistemas agroecológicos de produção, em que utilizam os insumos da própria propriedade e o conhecimento do agricultor familiar. Isso em conjunto com o emprego de tecnologias de convivência com o Semiárido auxiliam a garantir a sustentabilidade da população na região (GONÇALVES *et al.*, 2016; KIILL *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2019).

3.2. Sistemas silvipastoris no Semiárido

Os sistemas silvipastoris (SSPs) são agroecossistemas que combinam numa mesma área a produção florestal e pastagem com animais (NAIR, 1993). Esses sistemas são comuns em regiões áridas e semiáridas, atuando como estratégia de fortalecimento dos meios de vida e adaptação às mudanças climáticas, principalmente no contexto agrofamiliar (MICCOLIS *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2019).

Tendo em vista a fragilidade apresentada pelo Semiárido brasileiro devido à sua exploração intensa, Araújo Filho *et al.* (2010) afirmam que os sistemas de produção diversificados, integrados, equilibrados e viáveis econômica e socialmente, como os SSPs, são alternativas para o uso adequado dos recursos naturais nesse tipo de ambiente, pois tornam as propriedades rurais mais resistentes às condições climáticas locais, conferem maior estabilidade

econômica, elevam a produtividade e melhoram as condições sociais e ambientais, promovendo a geração de emprego e renda, ação contra erosão hídrica, manutenção do ciclo hidrológico e melhoria das propriedades físicas e químicas do solo (AGUIAR *et al.*, 2010; ARAÚJO FILHO *et al.*, 2010; ASSIS *et al.*, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2016; LUZ *et al.*, 2019).

Como retratado por Teixeira (2016), no Sertão pernambucano há a predominância tanto da agricultura familiar, que, além de atender às próprias demandas, comercializa os excedentes da produção, como também da agricultura de subsistência, que tem por objetivo suprir as necessidades da unidade familiar. Balbino *et al.* (2011) apontam que os agroecossistemas vêm sendo difundidos como alternativas sustentáveis para a região semiárida no Brasil, uma vez que nessa área a produção agrícola é limitada pelas condições climáticas e possui como principal atividade econômica a pecuária extensiva, com exploração da pastagem nativa da caatinga, marcada pela baixa produtividade e pelo extrativismo, que causa degradação dos recursos naturais.

O solo e a água são fatores importantes no Semiárido, sendo o segundo um limitador do desenvolvimento agrícola na região. A estrutura do solo, por sua vez, é influenciada pela movimentação da água no meio poroso, trocas gasosas, dinâmica da matéria orgânica e pelo transporte de solutos. Esses fenômenos resultam de ações naturais ou antrópicas, que modificam a estrutura porosa do meio (MELO *et al.*, 2019; REIS *et al.*, 2021). A adoção de SSPs contribui para a conservação desses recursos, como demonstrado por Martinkoski *et al.* (2017), que, ao compararem a uma floresta secundária na região central do estado do Paraná, não constataram degradação do solo, por exemplo, incrementando os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) (ASSIS *et al.*, 2015; BIELUCZYK *et al.*, 2020).

Outra vantagem desses sistemas é o conforto térmico proporcionado ao componente animal devido ao sombreamento causado pelas copas das árvores, que alteram a qualidade e a quantidade da luz que chega ao pasto, afetando a produção e a produtividade animal (GEREMIA *et al.*, 2018). Paciullo *et al.* (2011) verificaram que a forragem sob a copa das árvores apresenta maior teor proteico, como também entre 7 e 10 m de distância dos renques arborizados ocorre melhor aproveitamento dos benefícios sobre a massa da forragem e acúmulos de matéria seca e proteína bruta.

Também tem sido verificado que, em alguns casos, os SSPs podem promover a compactação do solo devido ao maquinário e pisoteio do componente animal, resultando no aumento da densidade, alteração da estrutura e conseqüentes modificações dos fluxos de água, gases e solutos na matriz porosa. Por tanto, é importante o conhecimento das potencialidades e limitações de um solo, possibilitando ao agricultor a adoção de ações que visem à sustentabilidade dos sistemas produtivos (MELO *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2019).

3.3. Influência dos atributos físicos e matéria orgânica na qualidade do solo

A qualidade do solo pode ser representada por seus atributos biológicos, químicos e físicos (DORAN; PARKIN, 1994). Estes últimos, correspondendo à textura, estrutura, densidade e densidade de partículas, tamanho e distribuição dos poros e porosidade total, são fundamentais para o crescimento das plantas. As propriedades do meio retratam os efeitos de diferentes práticas de manejo e uso da terra, sendo por isso indicadores úteis das condições do solo (D'ANDRÉA *et al.*, 2002; KARACA *et al.*, 2021).

Esses indicadores correlacionam-se controlando os processos e aspectos relacionados à variação das características do solo ao longo do tempo, pois apresentam sensibilidade às alterações decorrentes de processos naturais e do uso antrópico. Dessa forma, a avaliação dos atributos do solo auxilia na adequação das práticas de manejo, possibilitando o aumento da produção agrícola, a sustentabilidade e a conservação de agroecossistemas (CARVALHO *et al.*, 2018; KARACA *et al.*, 2021).

A textura e o teor de matéria orgânica (MOS) são características importantes para a determinação dos valores da densidade do solo (Ds), sendo o conteúdo de MOS fundamental para a estruturação das camadas superficiais. Os valores de Ds podem ser alterados pelo uso e manejo da terra em magnitudes que dependem da ocorrência e da frequência das práticas agrícolas superficiais e subsuperficiais no solo e, também, do efeito compactante produzido pelo trânsito do maquinário agrícola ou pelo pisoteio dos animais (MESQUITA; MORAES, 2004; FERREIRA, 2019).

Andrade *et al.* (2017) verificaram em plantações comerciais de eucaliptos (*Eucalyptus* sp.) na região nordeste do Brasil, que a pressão exercida pelas máquinas utilizadas durante o

período de colheita sobre solos dos tipos Argissolo e Espodossolo resultou no aumento da densidade, com conseqüente compactação em várias camadas subsuperficiais. Silva *et al.* (2010) também identificaram, para o período de colheita florestal, o aumento da densidade e a diminuição do volume de poros a partir da camada 0,10 - 0,13 m do solo. Nas áreas avaliadas pelos autores, algumas porções de terra cultivadas adotaram resíduos vegetais como cobertura de solo, o que promoveu a redução da compactação nesses locais (SILVA *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2017).

A D_s também está relacionada às condições estruturais, refletindo primariamente o arranjo das partículas do solo (FERREIRA, 2019). Segundo Guimarães Júnnyor (2019), a degradação da estrutura é uma das principais conseqüências negativas da modernização dos sistemas agrícolas. Como um dos efeitos da degradação do solo, a compactação provoca um aumento da densidade. Isso decorre do rearranjo das partículas do solo, levando à redução da porosidade com modificações do fluxo de água no meio, diminuição da aeração na matriz porosa, acentuação da resistência à penetração das raízes das plantas, prejudicando o desenvolvimento radicular, e aumento da perda de nitrogênio (MESQUITA; MORAES, 2004; REICHERT *et al.*, 2019; BATISTA *et al.*, 2020). Todos esses fatores interferem no desenvolvimento dos cultivos agrícolas, pois podem provocar a perda de solo por erosão e diminuição da fertilidade natural.

A estrutura porosa do solo é fundamental para os processos que ocorrem no meio edáfico, principalmente com relação ao transporte de gases e água. Há uma classificação quanto ao tamanho do diâmetro apresentado, sendo macro, meso, micro e criptoporos. Os valores para essa categorização são bastantes divergentes, variando de 30 μm (0,03 mm) a 100 μm (0,10 mm), sendo os macros e microporos comumente caracterizados, respectivamente, para valores maiores e menores que 50 μm (0,05 mm) (FRANCIS; FRASER, 1998; FERREIRA, 2019).

Klein e Libardi (2002) consideram macroporos aqueles com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem água em tensões menores que 6 kPa) e microporos os que possuem diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1.500 kPa). Libardi (2019) ainda subdivide essa classificação apontando a ocorrência de poros intermediários, denominados de mesoporos, de diâmetro entre 15 e 50 μm , com a função de conduzir água durante o processo

de esvaziamento dos macroporos. E há a caracterização dos criptoporos, definidos para diâmetros menores que 0,0002 mm (que perdem água apenas a tensões maiores que 1.500 kPa), onde a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas (KLEIN; LIBARDI, 2002).

A real importância da distribuição dos tamanhos dos poros depende do tipo de cultivo, das condições climáticas, posição do lençol freático, possibilidade de irrigação e controle ambiental (FERREIRA, 2019), uma vez que modificações na geometria porosa, distribuição e continuidade dos poros podem interferir nas propriedades físico-hídricas causando alterações nas funções do solo.

Com relação ao cultivo agrícola, o solo é importante para o bom desenvolvimento das culturas. O crescimento das raízes e das plantas é dependente das trocas gasosas que acontecem nos macroporos (porosidade de aeração). Dessa maneira, para uma macroporosidade inferior a 10%, há prejuízo para a produção agrícola, sendo esse valor adotado como um índice da qualidade física do solo (LIBARDI, 2018; FERREIRA, 2019).

Contudo, em sistemas de manejo conservacionistas ou agroecológicos, esse índice pode não ser o valor restritivo à produção agrícola, devido à melhora estrutural do solo promovida ao longo do tempo por esses sistemas. Isso foi verificado por Costa *et al.* (2015) em um sistema de integração lavoura-pecuária implantado em Mato Grosso do Sul, onde, ao longo de três anos, houve o incremento da macroporosidade do solo.

O cultivo intensivo do solo por vários anos pode promover mudanças nos atributos físicos, alterando a retenção de água (BEUTLER *et al.*, 2002), influenciada pelo diâmetro e distribuição dos poros, bem como pelo manejo da terra (DEXTER; RICHARD, 2009). Sendo assim, as modificações na macroporosidade do solo são muito importantes, pois afetam várias propriedades e processos físicos, químicos e biológicos, que podem ter consequências econômicas e ambientais (ALAKUKKU *et al.*, 2010).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais reservatórios de C do solo e tem uma grande implicação nas propriedades físicas e químicas do solo (OSMAN *et al.*, 2023). A MOS pode ser dividida em dois grandes compartimentos: um composto pela fração não

humificada (restos vegetais e animais pouco decompostos) e outro formado pelas substâncias humificadas, consideradas as frações mais estáveis. A MOS associada à fração mineral do solo compreende aproximadamente 80% do carbono orgânico total (COT) e é onde estão presentes as substâncias húmicas (CANELLAS *et al.*, 2001; PRIMO *et al.*, 2011).

As substâncias húmicas são o principal componente da MOS, contribuindo com cerca de 85 a 90% do COT (PRIMO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013). Elas são produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade dos microrganismos do solo. De acordo com sua solubilidade, são compostas por diferentes frações: os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas (CANELLAS *et al.*; PRIMO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013).

Os ácidos fúlvicos são compostos solúveis em meio alcalino e em ácido diluído, sendo constituídos por polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos. Os ácidos húmicos, por sua vez, são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido diluído e são formados por reações de síntese secundárias a partir de resíduos orgânicos. Ambos são reativos, mas os ácidos húmicos constituem a fração mais estável. Já a humina é insolúvel em meio alcalino e em meio ácido, apresenta baixa capacidade de reação, alta hidrofobicidade e forte interação com componentes inorgânicos, resultando em associação com a fração mineral do solo (CANELLAS *et al.*; PRIMO *et al.*, 2011).

Essas substâncias exercem influência nas propriedades físicas do solo, melhorando sua estrutura e estabilidade. As substâncias húmicas podem se ligar à fração mineral do solo, aumentando a agregação das partículas e reduzindo a infiltração da água no meio (CANELLAS *et al.*; PRIMO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013).

Paes *et al.* (2021) identificaram que em sistemas agroflorestais onde há menor revolvimento do solo e maior incorporação de carbono orgânico, a perda de atributos físicos é menos evidente quando comparado com pastagem plantada e sistema de cultivo convencional. Isso ocorre, pois, a MOS atua na melhoria da estabilidade dos agregados, diminui a densidade devido à estruturação do solo, que, juntamente com a textura, também determinam a distribuição do tamanho dos poros (HAGHIGHI *et al.*, 2010; O'GEEN, 2013, JUNQUEIRA *et al.*, 2018).

Os sistemas agrícolas integrados conferem benefícios ao solo, como o aumento da estabilidade dos agregados e da taxa de infiltração, diminuição da densidade do solo e da compactação (ASSIS *et al.*, 2015). Costa *et al.* (2015) verificaram que sistemas silvipastoris, no decorrer de três anos, promoveram redução da compactação, com conseqüente incremento da macroporosidade e porosidade total e diminuição da resistência mecânica à penetração e densidade do solo, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m.

3.4. Condutividade hidráulica saturada

O conhecimento das propriedades físicas e hidráulicas do solo é indispensável para resolver muitos problemas de manejo dos recursos solo e água relacionados à agricultura, ecologia e meio ambiente, por exemplo no planejamento da irrigação, na modelagem da drenagem e do transporte de solutos na zona vadosa (SHWETHA; VARIJA, 2015). Essas variáveis são fatores-chave na regulação dos fenômenos de infiltração de água, perdas de solo por erosão e de substâncias químicas por lixiviação, diretamente relacionados com a condutividade hidráulica do meio (MESQUITA; MORAES, 2004; MERDUN *et al.*, 2006; SHWETHA; VARIJA, 2015).

A condutividade hidráulica descreve a facilidade de escoamento da água no solo. Em condições saturadas, ela atinge o valor máximo e reflete o número e o arranjo dos poros. Sendo assim, a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) representa a capacidade com que a água flui através do solo quando os poros estão completamente preenchidos com água (MESQUITA; MORAES, 2004; SHWETHA; VARIJA, 2015). A K_{sat} é influenciada pela textura e estrutura do solo, apresentando valores maiores em solos com fissuras, buracos de minhoca e canais radiculares deteriorados. Também é afetada pelo teor de matéria orgânica e, principalmente, pela densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade, que impactam a permeabilidade do meio (MESQUITA; MORAES, 2004; MERDUN *et al.*, 2006; SHWETHA; VARIJA, 2015).

A medição direta de propriedades hidráulicas em campo ou laboratório é demorada, trabalhosa e, portanto, cara, e ainda pode apresentar resultados não precisos devido à variabilidade espacial e temporal das propriedades físicas e hidráulicas do solo (MESQUITA; MORAES, 2004; MERDUN *et al.*, 2006; CHAPUIS, 2012; SHWETHA; VARIJA, 2015).

Como alternativa, tem sido usada nesse campo a estimativa indireta dessas propriedades a partir de propriedades básicas do solo amplamente disponíveis ou mais facilmente medidas, para prever a K_{sat} através de dados disponíveis das propriedades do solo (MERDUN *et al.*, 2006; ALBDELBAKI, 2021). Para que essa determinação seja eficiente, devem ser empregadas variáveis (propriedades do solo) que apresentam correlação com a K_{sat} e que sejam de fácil determinação (MESQUITA; MORAES, 2004; CHAPUIS, 2012).

3.5. Correlação linear de Pearson

Em estudos multivariados, é comum a investigação do relacionamento entre duas ou mais variáveis. A análise de correlação é o método utilizado para estudar as relações entre variáveis, fornecendo um número que indica a forma como elas variam conjuntamente (CORRÊA, 2003; LIRA, 2004).

Para quantificar o grau de associação entre duas variáveis, é utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r). Se a relação entre duas variáveis for linear, é possível ajustar uma reta aos dados por meio da equação $Y = \alpha + \beta X$, e o coeficiente de correlação será denominado linear simples (CORRÊA, 2003; LIRA, 2004).

Na prática, o coeficiente (r) é interpretado como um indicador que descreve a interdependência entre as variáveis X e Y . Quando $r = 1$, existe correlação linear perfeita entre as variáveis. A correlação é linear perfeita positiva quando $r = 1$, linear perfeita negativa quando $r = -1$ e não existente quando $r = 0$ (CALLEGARI-JACQUES, 2003; CORRÊA, 2003; LIRA, 2004).

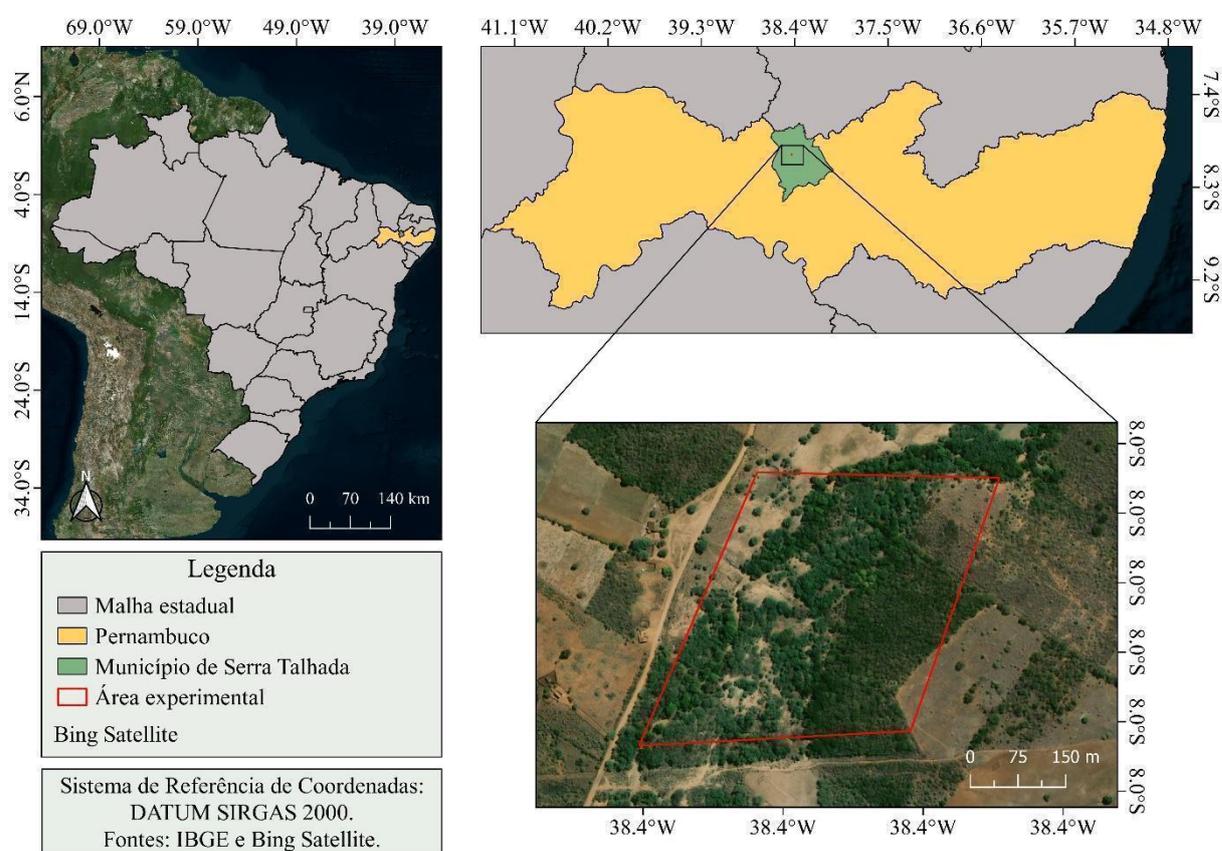
De acordo com Callegari-Jacques (2003), é possível realizar uma avaliação qualitativa do coeficiente de correlação da seguinte forma: para $0 < r < 0,30$, existe uma correlação linear fraca; para $0,30 \leq r < 0,60$, existe uma correlação linear moderada; para $0,60 \leq r < 0,90$, existe uma correlação linear forte; para $0,90 \leq r < 1$, existe uma correlação linear muito forte; para $r = 1$, existe uma correlação linear plena ou perfeita.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área experimental

O estudo foi conduzido em um sistema silvipastoril na Fazenda Cedro, município de Serra Talhada, porção norte do estado de Pernambuco (Figura 2). A propriedade possui 200 ha de área e o acesso se dá pela rodovia PE-414, na estrada que interliga o município ao distrito de Bernardo Vieira, sob coordenadas geográficas 07°58'57,1'' latitude sul e 38°25'52,6'' longitude oeste.

Figura 2 - Mapa da área experimental: Fazenda Cedro, Serra Talhada – PE



Fonte: Acervo pessoal (2022).

De acordo com a classificação de Köppen, o município é caracterizado por um clima do tipo BSw^h, denominado semiárido quente e seco, com chuvas de verão-outono de pluviosidade média anual para o período de 1911 a 2013 de 647 mm ano⁻¹ e temperatura média anual superior a 30 °C (JARDIM *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2020). A vegetação predominante é do bioma Caatinga (CPRM, 2005; FEITOSA *et al.*, 2010).

O estudo foi realizado em duas áreas experimentais, uma com caatinga preservada (AP) e outra em sistema silvipastoril (AS). A área com caatinga preservada está localizada nas coordenadas geográficas 07°59'01,33'' latitude sul e 38°25'43,44'' longitude oeste (Figura 3), identificando a presença das seguintes espécies: *Mimosa tenuiflora* (Wild) Poir. (Jurema preta); *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub (Canafístula); *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan (Angico); *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro); *Croton blanchetianus* Baill. (Marmeleiro); *Cereus Jamacaru* DC. (Mandacaru); *Tacinga quipa* (F. A. C. Weber) N. P. Taylor & Stuppy. (Quipá); *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P. (Catingueira); *Bauhinia cheilantha* (Bong) Steud. (Pata-de-vaca) (LUZ *et al.*, 2021). O solo da área foi classificado como Neossolo flúvico (SANTOS *et al.*, 2018).

Figura 3 - Área com caatinga preservada



Fonte: Acervo pessoal (2022).

O sistema silvipastoril está localizado nas coordenadas geográficas 07°59'02,14'' latitude sul e 38°25'47,75'' longitude oeste (Figura 4). O sistema é composto pela espécie

vegetal leguminosa *Prosopis juliflora* (Sw) DC (Algaroba), plantada de forma aleatória, e pela presença de ovinos e bovinos que realizam o pastejo alimentando-se das vagens das algarobas que se depositam no solo. O solo da área foi classificado como Neossolo flúvico (SANTOS *et al.*, 2018). A textura para os dois sistemas estudados mostra uma predominância de areia (60%) seguido de argila (27%) e em proporções menores o silte (12%), estas proporções definem a textura dos solos nos sistemas estudados como Franco Argilo Arenoso, possuindo então uma 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.

Figura 4 - Área do sistema silvipastoril



Fonte: Acervo pessoal (2022).

4.2. Amostragem do solo

A amostragem do solo foi realizada em oito trincheiras representativas em cada área experimental do estudo com dimensões 1,0 m x 1,0 m x 0,40 m, nas profundidades de 0-0,10

m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m, totalizando dezesseis trincheiras, distribuídas ao acaso (Figura 3). Para as amostras deformadas foram coletadas 64 amostras, e com o amostrador tipo Uhland, foram coletadas 128 amostras indeformadas.

Figura 5 - Áreas em estudo e coleta das amostras de solo: C1 - Área de caatinga preservada; C2 - coleta de amostras de solo na área de caatinga preservada; S1 - Área do sistema silvipastoril; S2 - Coleta de amostras de solo na área do sistema silvipastoril



Fonte: Acervo pessoal (2022).

4.2.1. Preparo das amostras de solo

As amostras deformadas, foram identificadas, secas ao ar, destorroadas manualmente e peneiradas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras de TFSA foram homogeneizadas e quarteadas, tendo sido utilizadas para a determinação granulométrica, argila dispersa em água e densidade de partículas. As amostras para

determinação do carbono foram ainda maceradas em almofariz de porcelana e pistilo até formar um pó fino, depois passado em peneira de malha de 150 µm. As amostras indeformadas foram embaladas em plásticos dos tipos filme e bolha para o transporte, depois submetidas aos ensaios experimentais de condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade.

4.3. Determinação dos atributos físicos do solo

4.3.1. Análise granulométrica

Os teores de areia, silte e argila foram determinados com 50,0 g de TFSA, onde foi realizado a dispersão mecânica, a estabilização das amostras por meio de agitador do tipo Wagner em solução dispersante, hexametáfosfato de sódio com carbonato de sódio, seguida da separação das frações por peneiramento e sedimentação, com medição de cada fração granulométrica por meio de pesagem após secagem em estufa. A separação da areia foi realizada por tamisação e a determinação da argila e de silte pelo método do densímetro (EMBRAPA, 2017).

O cálculo das frações granulométricas seguiu as fórmulas abaixo:

$$S_m = (m_{at} \cdot f / m_i) + [(L_{d(s+a)} - L_{d(a)}) \cdot f] + [(L_{d(a)} - L_{d(b)}) \cdot f] \quad (1)$$

$$T_{at} = (m_{at} \cdot f / m_i) \cdot (1000 / S_m) \quad (2)$$

$$T_s = [(L_{d(s+a)} - L_{d(a)}) + C_T] \cdot f \cdot (1000 / S_m) \quad (3)$$

$$T_{arg} = [(L_{d(a)} - L_{d(b)}) + C_T] \cdot f \cdot (1000 / S_m) \quad (4)$$

Em que: S_m : somatório das massas das frações granulométricas (g); m_{at} : massa de areia total (g); m_i : massa inicial da amostra (g); f : fator de correção de umidade para a massa inicial; $L_{d(s+a)}$: leitura do densímetro na suspensão silte e argila ($g L^{-1}$); $L_{d(a)}$: leitura do densímetro na suspensão argila ($g L^{-1}$); $L_{d(b)}$: leitura do densímetro na suspensão do branco ($g L^{-1}$); T_{at} : concentração de areia total ($g kg^{-1}$); T_s : concentração de silte ($g kg^{-1}$); T_{arg} : concentração de argila ($g kg^{-1}$).

Levando em consideração a umidade residual, o fator de correção f foi adotado para corrigir a massa de solo utilizada nas determinações analíticas em laboratório com a utilização de TFSA (EMBRAPA, 2017), tendo sido obtido por meio da seguinte equação:

$$f = a / b \quad (5)$$

Em que: a: massa da amostra seca ao ar (g); b: massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante (g).

4.3.2. Argila dispersa em água

A determinação da argila dispersa em água se dará pelo princípio da dispersão mecânica lenta em água, seguida da separação da fração argila por sedimentação do silte e medição da fração argila por meio da densidade da suspensão (EMBRAPA, 2017).

O cálculo pelo método do densímetro segue a fórmula:

$$T_{\text{arg}} = [(L_{d(a)} - L_{d(b)}) + C_T] \cdot f \quad (6)$$

Em que: T_{arg} : concentração de argila dispersa em água (g kg^{-1}); $L_{d(a)}$: leitura do densímetro na suspensão de argila (g L^{-1}); $L_{d(b)}$: leitura do densímetro na suspensão do branco (g L^{-1}); C_T : correção da temperatura; f : fator de correção de umidade.

4.3.3. Densidade de partículas

A densidade de partículas (D_p) foi determinada com base no método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2017). O procedimento envolveu a obtenção por pesagem da massa da amostra seca em estufa e a determinação de seu volume por meio da medida da diferença entre o volume do álcool etílico hidratado 99° necessário para preencher um recipiente calibrado vazio e o volume do mesmo necessário para completar o recipiente contendo a amostra seca.

Sendo assim, utilizou-se a seguinte equação:

$$D_p = m_a / (V_T - V_u) \quad (7)$$

Em que: D_p : densidade de partículas (g cm^{-3}); m_a : massa da amostra seca a $105\text{ }^\circ\text{C}$ (g); V_T : volume total aferido do balão (mL); V_u : volume utilizado para completar o balão com a amostra de solo (mL).

4.3.4. Condutividade Hidráulica Saturada do Solo

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), foi utilizado o Permeômetro de carga constante, tendo como base a Lei de Darcy, segundo Young (2000), Marques *et al.* (2008) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2017).

As amostras indeformadas de solo foram saturadas, inseridas no permeômetro e mantidas à carga hidráulica constante de 2 cm. Realizou-se a medição do volume de água percolado durante uma hora, até a estabilização.

Aplicou-se a equação de Darcy a seguir:

$$K_{sat} = (Q \cdot L / A \cdot H \cdot t) \quad (8)$$

Em que: K_{sat} : condutividade hidráulica saturada (cm h^{-1}); Q : volume percolado de água (mL); H : altura da coluna de solo (cm); L : altura da coluna de solo e da coluna de água (cm); A : área da seção transversal da coluna de solo (cm^2); t : tempo de percolação (h).

4.3.5. Densidade do Solo

A densidade do solo (D_s) foi obtida por meio do método do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 2017), com o emprego de um anel cilíndrico de $79,52\text{ cm}^3$ e submetendo as amostras indeformadas à estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ por 48 horas.

Utilizou-se a seguinte equação:

$$D_s = m_a / V \quad (9)$$

Em que: D_s : densidade do solo (g cm^{-3}); m_a : massa da amostra de solo seco a $105\text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante (g); V : volume do cilindro (cm^3).

4.3.6. Porosidade Total do Solo, Macroporosidade e Microporosidade

A macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo foram determinadas pelo método da mesa de tensão, aplicado um potencial de 6 kPa nas amostras indeformadas previamente saturadas. Cada amostra permaneceu, aproximadamente, 24 horas em bandeja plástica até que apresentasse superfície brilhante, indicando a saturação (EMBRAPA, 2017).

A macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total do solo foram calculadas, respectivamente, a partir das equações:

$$Ma = (m_{\text{sat}} - m_{\text{após mesa}}) / V \quad (10)$$

$$Mi = (m_{\text{após mesa}} - m_{\text{seca estufa}}) / V \quad (11)$$

$$Pt = Ma + Mi \quad (12)$$

Em que: Ma: macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); m_{sat} : massa do solo saturada, após 24 horas (g); $m_{\text{após mesa}}$: massa do solo seco mais massa da água retida, após equilíbrio na mesa de tensão com o potencial de 6kPa (g); V: volume total da amostra (cm^3); Mi: microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); $m_{\text{seca estufa}}$: massa do solo seco a 105 °C (g); P_t : porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

4.4. Determinação do carbono no solo: carbono orgânico total, frações húmicas, matéria orgânica leve e carbono lábil

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método indireto por via úmida, por meio da oxidação com o dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Durante esse processo, assumiu-se que o $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ reduzido na reação foi equivalente ao COT da amostra e, ao final, todo o carbono oxidável foi transformado em CO_2 . Nessa abordagem, apenas o COT proveniente de materiais orgânicos facilmente oxidáveis ou decomponíveis foi quantificado (EMBRAPA, 2017).

O cálculo do teor de COT deu-se conforme a fórmula abaixo:

$$\text{COT} = [0,003 \cdot V_d \cdot (40 - V_a) \cdot (40 / V_b) \cdot 10] / m \quad (17)$$

Em que: COT: concentração de carbono orgânico no solo (g kg^{-1}); V_d : volume total da solução de dicromato de potássio adicionada na digestão da amostra (mL); V_a : volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra (mL); V_b : volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido (mL); m: massa da amostra de solo (g).

De acordo com o método sugerido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), o fracionamento químico das substâncias húmicas (ácidos fúlvicos – AF, ácidos húmicos – AH e huminas – Hum) se deu com base na diferença de solubilidade em meio ácido e alcalino (SWIFT, 1996). Os compostos húmicos e fúlvicos permanecem solúveis em soluções alcalinas; com a acidificação do extrato alcalino, ocorre a precipitação dos AH, enquanto os AF permanecem solúveis (BENITES *et al.*, 2003).

A separação das frações húmicas foi realizada a partir da mistura de 200 g de solo com solução de ácido clorídrico (HCl) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, na proporção de 1 g de solo para cada 10 mL da solução, com agitação manual durante 1 hora, seguida por um período de 4 horas de repouso. Após isso, o extrato sobrenadante foi sifonado e reservado (extrato I de AF). À parte precipitada, foi adicionada a solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, também na proporção de 1 g de solo para cada 10 mL da solução, com posterior agitação manual e repouso por 16 horas. O material precipitado foi separado, consistindo nas huminas e fração mineral, e o sobrenadante (AF e AH) foi centrifugado por 10 minutos a 1000 rpm.

Em seguida, foi feita a correção do pH do material sobrenadante, adicionando 50 mL de HCl 6 mol L^{-1} até atingir valor entre 1 e 2, e agitado manualmente por 2 minutos. A solução foi deixada em repouso por 12 horas. Logo após, foi obtido o extrato II de AF por desvio do sobrenadante, e o material precipitado relaciona-se aos AH. Após o fracionamento, foi determinado o conteúdo de carbono nas frações por oxidação via úmida com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e NaOH seguindo o método de Snyder e Trofymow (1984).

A matéria orgânica leve (MOL), fração da matéria orgânica com densidade inferior a 1 g cm^{-3} , foi determinada por flotação em água, método adaptado de Fraga (2002) (CORREIA *et al.*, 2015). Foram passadas através de peneira de malha de 0,5 mm amostras de solo de 50 g de TFSA. Logo em seguida, o material retido foi peneirado em uma malha de 0,053 mm e lavado

em água corrente até que a solução saísse límpida, indicando a remoção das frações silte e argila. Em seguida, o material foi transferido para um béquer de 500 mL, posteriormente preenchido com água destilada até 1 cm de sua borda. Com um bastão de vidro, a solução foi agitada para que a MOL permanecesse em suspensão na água. Após repouso de 24 horas, o material flotado foi filtrado em uma tela de 0,053 mm de abertura, lavado com água destilada e seco em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C até peso constante, tendo sido pesado em balança analítica de precisão.

Depois da separação da MOL, as amostras foram maceradas em almofariz de porcelana com pistilo até formar um pó fino, que foi passado por uma peneira de malha de 150 µm. A determinação do carbono na fração leve da matéria orgânica (FL-C) também foi realizada pelo método oxidação via úmida com K₂Cr₂O₇ e NaOH (SNYDER; TROFYMOW, 1984).

4.5. Análises estatística dos dados

As análises de correlações lineares de Pearson foram realizadas entre o carbono do solo, frações húmicas, carbono lábil, matéria orgânica leve e os atributos físicos: granulometria, argila dispersa em água, densidade de partículas, condutividade hidráulica saturada, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, aplicando matriz de correlação linear de Pearson.

A matriz de correlações é aplicada quando há interesse em conhecer a correlação entre um grande número de variáveis, duas a duas. Essa matriz é formada pelas correlações entre as variáveis X_i e X_j, em que i ≠ j, fora da diagonal, e o valor 1 na diagonal indica a correlação das variáveis X_i e X_j, sendo i = j (LIRA, 2004). O cálculo do coeficiente de correlação de uma amostra é dado pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \times \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (18)$$

Em que: r: coeficiente de correlação linear de Pearson; X_i: variável independente; Y_i: variável dependente; \bar{X} : média aritmética da variável X; \bar{Y} : média aritmética da variável Y.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise dos atributos físico-hídricos do solo

Na área preservada (AP), todas as profundidades analisadas apresentaram maiores teores de areia, variando entre 61,73 - 64,37% (Tabela 1). Os teores de silte foram maiores que os de argila nas camadas compreendidas entre as profundidades 20 - 30 cm e 30 - 40 cm, as camadas entre 0 - 10 cm e 10 - 20 cm possuem teor de argila maior que o de silte. Apenas entre 10 - 20 cm o solo tem textura franco argilosa arenosa, enquanto que nas demais possuem textura franco arenosa, típico de Neossolo flúvico psamítico em que há o predomínio da textura arenosa média (EMBRAPA, 2018; FERREIRA, 2019).

Tabela 1 - Valores médios dos atributos físicos: granulometria e densidade nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades

ÁREAS	Areia	Silte	Argila	D _s	D _p	ADA
	-----%-----			-----g cm ⁻³ -----		----%---
Profundidade 0-10 cm						
AP	63,81± 1,59	16,36± 1,90	19,83± 3,50	1,64± 0,06	2,33± 0,36	15,26± 1,35
AS	38,87± 19,29	50,27± 23,97	10,86± 11,92	1,65± 0,06	2,60± 0,05	6,79± 1,44
Profundidade 10-20 cm						
AP	64,37± 0,79	15,51± 1,20	20,11± 0,40	1,49± 0,09	2,47± 0,20	16,32± 1,50
AS	31,51± 17,45	50,78± 25,82	17,70± 15,62	1,72± 0,03	2,64± 0,14	12,58± 3,35
Profundidade 20-30 cm						
AP	64,09± 0,40	18,56± 1,92	17,34± 1,50	1,59± 0,23	2,63± 0,04	15,30± 1,49
AS	29,96± 12,58	60,86± 20,20	9,17± 7,85	1,76± 0,03	2,62± 0,20	9,88± 5,81
Profundidade 30-40 cm						
AP	61,73± 0,15	19,93± 1,24	18,34± 1,40	1,59± 0,04	2,70± 0,09	15,28± 1,41
AS	32,90± 13,76	55,20± 20,56	11,89± 9,93	1,85± 0,10	2,60± 0,11	8,85± 6,25

D_s: densidade do solo, D_p: densidade de partículas, ADA: argila dispersa em água, AP: área preservada de Caatinga, AS: área sob sistema silvipastoril.

Já na área sob sistema silvipastoril (AS), em todas as profundidades houve maiores teores de silte, variando entre 50,27 - 60,86% (Tabela 1), seguidos dos teores de areia que

variaram de 29,96 - 38,87%, sendo também caracterizada com textura média (classe franco siltosa) (EMBRAPA, 2018; FERREIRA, 2019). Medeiros *et al.* (2013), estudando um Neossolo litólico na região semiárida do Seridó/RN, da mesma forma identificaram essas classificações texturais médias.

Os valores médios de densidade do solo (Ds) encontrados para as duas áreas (AP e AS) não apresentaram grandes variações (Tabela 1). Contudo, assim como no trabalho de Medeiros *et al.* (2013), é percebido uma tendência de aumento de acordo com a profundidade, tendo a AS os maiores resultados. Os mesmos autores afirmam que esses valores decorrem do aumento da argila em profundidade.

Para a densidade de partículas (Dp), tanto na área preservada do bioma Caatinga quanto na sob sistema silvipastoril, há aumento dos valores de acordo com a profundidade. AP e AS possuem valores semelhantes de Dp, que variam entre 2,33 - 2,70 g cm⁻³. Esses resultados são característicos de solos minerais, como o Neossolo flúvico, que não sofreram grande influência da matéria orgânica e nem de óxidos de Fe, cujos componentes (quartzo, feldspato e mica) apresentam Dp entre os limites de 2,3 - 2,9 g cm⁻³ (AIRES *et al.*, 2019; MEDEIROS *et al.*, 2013). Os teores de argila dispersa em água (ADA) da AP não sofrem grandes alterações com o aumento da profundidade, sendo também sempre maiores que os verificados para a AS.

Tanto na AP quanto na AS, a microporosidade (Mi) apresentou-se maior que a macroporosidade (Ma). Contudo, a área sob sistema silvipastoril possui valores mais baixos de Ma, variando entre 40,95 - 85,72 m³ m⁻³, e mais altos de Mi, variando entre 352,40 - 379,6 m³ m⁻³, e de condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), variando entre 20,96 - 59,40 cm h⁻¹ (Tabela 2). Na AS também se identificou os valores mais baixos de porosidade total (PT) associados a valores maiores de Ds descritos na Tabela 1. Assim como Paes *et al.* (2021), para um Latossolo no estado da Bahia em área de sistema de pastejo convencional, verificaram índices mais baixos de PT e Ma relacionados a altos valores de Mi e Ds, esses resultados estão relacionados ao pisoteio animal no local tanto para a pastagem convencional, como no SSP em estudo.

Tabela 2 - Distribuição da porosidade e a condutividade hidráulica saturada nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades

ÁREAS	Ma	Mi	PT	K _{sat}
	-----m ³ m ⁻³ -----			-----cm h ⁻¹ -----
AP	117,33± 34,78	306,43±12,97	423,77± 23,83	8,96± 11,15
AS	85,72± 40,77	362,83±28,81	448,55± 24,37	48,21± 66,33
Profundidade 10-20 cm				
AP	159,04± 57,67	296,32± 19,65	455,36± 38,01	16,14± 2,49
AS	58,8± 35,56	370,36± 38,82	429,16± 23,90	45,08± 52,49
Profundidade 20-30 cm				
AP	118,54± 90,57	306,76± 28,94	425,3± 62,21	21,37±6,42
AS	40,95± 22,73	379,6± 15,99	420,55± 25,67	20,96± 18,04
Profundidade 30-40 cm				
AP	130,53± 6,41	288,29± 14,56	432,33± 1,88	10,46± 0,23
AS	44,36± 13,81	352,40± 6,49	396,77± 20,13	59,40± 73,36

Ma: macroporosidade do solo, Mi: microporosidade do solo, PT: porosidade total do solo, K_{sat}: condutividade hidráulica saturada do solo, AP: área preservada de Caatinga, AS: área sob sistema silvipastoril.

Ainda assim, os valores de K_{sat} encontrados para o SSP são classificados como elevados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (ANDRADE *et al.*, 2011), uma vez que são maiores que 12 cm h⁻¹. Esses resultados são melhores que os da área preservada de Caatinga, demonstrando que o sistema radicular da algaroba (*Prosopis juliflora*) pode atuar no condicionamento da drenagem do solo. Silva *et al.* (2019) verificaram para um Neossolo regolítico sob sistema de integração lavoura-pecuária no semiárido paraibano, que as combinações de culturas e pastoreio permitiram que a K_{sat} também fosse elevada, tendo o sistema radicular atuado no favorecimento do aumento das taxas de infiltração, pois as raízes criam caminhos para a movimentação da água no solo (PAES *et al.*, 2021).

5.2. Análise do carbono orgânico e substâncias húmicas

A AP, para todas as profundidades, apresentou maiores teores de carbono na forma húmica (C-HUM). Os valores encontrados para C-HUM variaram de 3,47 - 8,20 g kg⁻¹ (Tabela 3), sendo maiores nas camadas mais profundas do solo, assim como também ocorreu para as

concentrações de ácidos fúlvicos (C-AF) e húmicos (C-AH). Do mesmo modo foi verificado para o carbono orgânico total (C) nessa área a tendência de crescimentos dos valores conforme o aumento da profundidade, variando entre 9,66 - 22,78 g kg⁻¹, demonstrando o depósito de matéria orgânica ao longo do perfil de solo e fazendo elevar a K_{sat} e diminuir a Ds na camada compreendida entre 10 - 30 cm, conforme as Tabelas 1 e 2.

Tabela 3 - Valores médios das frações orgânicas e carbono orgânico do solo nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades

ÁREAS	C-AF	C-AH	C-HUM	C
	----- g kg ⁻¹ -----			
Profundidade 0-10 cm				
AP	0,77 ± 0,06	1,44 ± 0,12	3,47 ± 0,30	9,66 ± 0,85
AS	10,70 ± 6,12	4,99 ± 2,85	3,09 ± 1,76	23,79 ± 13,61
Profundidade 10-20 cm				
AP	1,36 ± 0,05	2,56 ± 0,09	6,15 ± 0,22	17,10 ± 0,63
AS	5,77 ± 0,32	2,69 ± 0,15	1,66 ± 0,09	12,82 ± 0,72
Profundidade 20-30 cm				
AP	1,41 ± 0,02	2,64 ± 0,04	6,35 ± 0,09	17,66 ± 0,26
AS	5,41 ± 0,69	2,52 ± 0,32	1,56 ± 0,20	12,04 ± 1,55
Profundidade 30-40 cm				
AP	1,82 ± 0,09	3,41 ± 0,18	8,20 ± 0,44	22,78 ± 1,24
AS	6,67 ± 0,16	3,11 ± 0,07	1,92 ± 0,04	14,84 ± 0,36

C-AF: carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos, C-AH: carbono orgânico na fração ácidos húmicos, C-HUM: carbono orgânico na fração humina, C: carbono orgânico do solo, AP: área preservada de Caatinga, AS: área sob sistema silvipastoril.

A AS, para todas as profundidades, apresentou maiores teores de C-AF, que variam de 5,41 - 10,70 g kg⁻¹ (Tabela 3), ocorrendo uma tendência de diminuição nas camadas mais profundas do solo. Contudo, na última camada analisada (30 - 40 cm) verificou-se maior teor de C-AF que na camada anterior (20 - 30 cm). O mesmo comportamento foi observado para C-AH e C-HUM. Também foi verificado para o carbono total (C) nessa área a tendência de decréscimo dos valores conforme o aumento da profundidade, variando entre 12,04 - 23,79 g kg⁻¹.

Entre 30 - 40 cm, além do aumento no teor de C-AF, houve o crescimento de C, mesmo ainda menor que na AP, que promoveu a acentuação da K_{sat} para 59,40 cm h⁻¹ (Tabela 2). Paes

et al. (2021) também verificaram que um sistema agroflorestal de 17 anos possibilitou o incremento no conteúdo de carbono orgânico e aumento da condutividade hidráulica saturada quando comparado a floresta de vegetação secundária de referência em seu estudo, devido ao fornecimento constante de biomassa nesse sistema, além do maior volume de raízes, que influencia as camadas abaixo da superfície do solo.

A presença de teores maiores de C-AF no SSP ocorre devido ao clima seco e a baixa pluviosidade da região semiárida que desfavorecem o processo de decomposição da matéria orgânica (MEDEIROS *et al.*, 2013), pois consistem nos primeiros produtos do estágio inicial de decomposição da MOS.

A AP, para todas as profundidades, apresentou maiores estoques de C-HUM. Os valores encontrados para EstC-HUM variaram de 5,82 - 13,09 Mg ha⁻¹ (Tabela 4), sendo maiores nas camadas mais profundas do solo, assim como ocorreu para EstC-AF e EstC-AH. Também foi verificado para o EstC nessa área a tendência de crescimento dos valores conforme o aumento da profundidade, variando entre 16,16 - 36,36 Mg ha⁻¹. A área de referência do bioma Caatinga apresenta o maior EstC, exceto na primeira camada de solo avaliada (0 - 10 cm) onde a área sob o SSP possui EstC de 38,72 Mg ha⁻¹. Isso devido ao aporte de MOS proveniente das fezes dos animais que pastam no local.

Quanto ao maior estoque de carbono orgânico presente na área preservada, Osman *et al.* (2023), quando estudaram a região semiárida de Makkah na Arábia Saudita, verificaram a ocorrência de maiores EstC onde há vegetação densa, em comparação às áreas de vegetação mais escassa, associados a contribuição da serapilheira e a teores de argila de aproximadamente 14,7 %. As partículas de argila podem estocar mais carbono, uma vez que suas partículas possuem maior área superficial e alta força eletrostática.

Tabela 4 - Valores médios dos estoques das frações orgânicas e de carbono orgânico no solo nas áreas preservada e sob sistema silvipastoril em diferentes profundidades

ÁREAS	EstC-AF	EstC-AH	EstC-HUM	EstC
	-----Mg ha ⁻¹ -----			
Profundidade 0-10 cm				
AP	1,29 ^A ± 0,16	2,42 ± 0,30	5,82 ± 0,73	16,16 ± 2,03
AS	17,42 ± 9,10	8,13 ± 4,25	5,03 ± 2,63	38,72 ± 20,23
Profundidade 10-20 cm				
AP	2,04 ± 0,05	3,83 ± 0,10	9,21 ± 0,25	25,58 ± 0,72
AS	9,97 ± 0,77	4,65 ± 0,35	2,88 ± 0,22	22,16 ± 1,71
Profundidade 20-30 cm				
AP	2,44 ± 0,02	4,57 ± 0,04	10,98 ± 0,10	30,52 ± 0,30
AS	9,57 ± 1,13	4,46 ± 0,53	2,76 ± 0,32	21,28 ± 2,52
Profundidade 30-40 cm				
AP	2,90 ± 0,14	5,45 ± 0,26	13,09 ± 0,63	36,36 ± 1,76
AS	12,39 ± 1,31	5,78 ± 0,61	3,57 ± 0,37	27,53 ± 2,91

EstC-AF: estoque de carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos, EstC-AH: estoque de carbono orgânico na fração ácidos húmicos, EstC-HUM: estoque de carbono orgânico na fração humina, EstC: estoque de carbono orgânico do solo, AP: área preservada de Caatinga, AS: área sob sistema silvipastoril.

A AS apresentou maiores estoques de C-AF em todas as profundidades, variando de 9,57 - 17,42 Mg ha⁻¹ (Tabela 4), e uma tendência de diminuição nas camadas mais profundas do solo. Contudo, na última camada analisada (30 - 40 cm) verificou-se maior teor de EstC-AF que na camada anterior (20 - 30 cm). O mesmo comportamento foi observado para EstC-AH e EstC-HUM. Também foi verificado para o EstC nessa área a tendência de decréscimo dos valores conforme o aumento da profundidade, variando entre 21,28 - 38,72 Mg ha⁻¹. Entre 30 - 40 cm, além do aumento no teor de EstC-AF, EstC-AH e EstC-HUM, houve o crescimento do EstC. Lira Júnior *et al.* (2020), ao analisar um sistema silvipastoril composto por sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) (BS) e gliricídia (*Gliricidia sepium*) (BG) consorciado com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), também observaram que o estoque de carbono era maior nas camadas mais próximas à superfície.

5.3. Análise das correlações entre os atributos físico-hídricos e carbono orgânico do solo

Houve significância ($P < 0,05$) entre a fração do carbono orgânico do solo ácidos fúlvicos (C-AF) que está associada moderada e negativamente com a fração granulométrica

areia ($r = -0,47$). A fração humina (C-HUM) foi, dentre as frações, a que apresentou maior correlação com a areia ($r = 0,59$, $P < 0,01$), evidenciando que a textura mais arenosa favoreceu a formação de humina (EBELING *et al.*, 2011). O estoque de ácidos fúlvicos (EstC-AF) correlacionou-se moderada e negativamente com a areia ($r = -0,51$, $P < 0,05$), enquanto que o EstC-HUM demonstrou associação positiva e moderada ($r = 0,58$, $P < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Coeficientes de correlação linear (r) entre o carbono e os atributos físicos do solo

Parâmetro	Atributos Físicos					
	Ds	Dp	ADA	Areia	Silte	Argila
CLabil	-0,18	0,15	-0,31	-0,12	0,21	-0,26
CMOL	-0,47	0,06	-0,04	0,26	-0,17	-0,10
CAF	0,18	0,19	-0,48*	-0,47*	0,53**	-0,32
CAH	-0,24	0,14	-0,27	-0,06	0,15	-0,23
CHum	-0,58**	-0,08	0,32	0,59**	-0,56**	0,14
CT	-0,44	0,08	-0,07	0,22	-0,13	-0,12
EstC	-0,29	0,09	-0,09	0,15	-0,06	-0,15
EstCAF	0,28	0,19	-0,48*	-0,51*	0,57*	-0,33
EstCAH	-0,07	0,16	-0,30	-0,14	0,23	-0,26
EstCHum	-0,52*	-0,07	0,32	0,58*	-0,55*	0,13
EstCLabil	-0,02	0,17	-0,34	-0,21	0,30	-0,28
EstCMOL	-0,32	0,08	-0,06	0,19	-0,11	-0,13

Ds: densidade do solo, Dp: densidade de partículas, ADA: argila dispersa em água, C-AF: carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos, C-AH: carbono orgânico na fração ácidos húmicos, C-HUM: carbono orgânico na fração humina, C: carbono orgânico do solo, EstC-AF: estoque de carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos, EstC-AH: estoque de carbono orgânico na fração ácidos húmicos, EstC-HUM: estoque de carbono orgânico na fração humina, EstC: estoque de carbono orgânico do solo. Número de observações (n) = 32, *, ** significativo a $P < 0,05$ e $P < 0,01$, respectivamente.

Já para a fração silte, houve uma moderada correlação positiva com o C-AF ($r = 0,53$, $P < 0,01$) e com o EstC-AF ($r = 0,57$, $P < 0,05$), apresentando ainda moderada correlação negativa com a fração C-HUM ($r = -0,56$, $P < 0,01$) e EstC-HUM ($r = -0,55$, $P < 0,05$). A fração argila não demonstrou associação significativa com as frações da matéria orgânica do solo (Tabela 5). Esses resultados confirmam que a textura está relacionada com o nível de transformação da matéria orgânica do solo e pode afetar a dinâmica e a qualidade dos principais reservatórios de MOS (EBELING *et al.*, 2011; SEDDAIU *et al.*, 2013). Esses autores corroboram que o comportamento das frações da MOS é dependente do ambiente de formação,

clima, material de origem e composição granulométrica. Esses fatores interferem diretamente em sua composição.

A argila dispersa em água demonstrou-se correlacionada moderada e negativamente com a fração C-AF ($r = -0,48$, $P < 0,05$) e com o EstC-AF ($r = -0,48$, $P < 0,05$). Já a densidade do solo apresentou moderada associação negativa com C-AF ($r = -0,58$, $P < 0,01$) e com o EstC-AF ($r = -0,52$, $P < 0,05$) (Tabela 5). Isso é explicado devido ao papel fundamental da matéria orgânica no processo de agregação, reduzindo a densidade do solo, como encontrado por Seddaiu *et al.* (2013) para um sistema agrossilvopastoril mediterrânico semiárido.

A macroporosidade do solo correlacionou-se forte e positivamente com a fração C-HUM ($r = 0,60$, $P > 0,01$), e de forma moderada e positiva com o EstC-HUM ($r = 0,55$, $P < 0,05$) (Tabela 6), indicando que presença de poros grandes favorece o processo de humificação, pois permitem o escoamento da água, reduzindo a capacidade de retenção, dessa forma mantendo a umidade necessária para o crescimento bacteriano e quebra da MOS (SEDDAIU *et al.*, 2013).

Tabela 6 - Coeficientes de correlação linear (r) entre o carbono, a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total e a condutividade hidráulica saturada do solo

Parâmetro	Atributos físicos			
	Ma	Mi	Pt	Ksat
CLabil	0,04	0,18	0,31	-0,09
CMOL	0,38	-0,21	0,31	-0,21
CAF	-0,32	0,51**	0,19	0,06
CAH	0,10	0,11	0,32	-0,11
CHum	0,60**	-0,58**	0,16	-0,24
CT	0,35	-0,17	0,32	-0,20
EstC	0,22	-0,11	0,23	-0,16
EstCAF	-0,39	0,54*	0,14	0,10
EstCAH	-0,03	0,19	0,23	-0,06
EstCHum	0,55*	-0,56*	0,10	-0,23
EstCLabil	-0,09	0,25	0,22	-0,04
EstCMOL	0,26	-0,15	0,22	-0,17

Ma: macroporosidade do solo, Mi: microporosidade do solo, PT: porosidade total do solo, K_{sat}: condutividade hidráulica saturada do solo, C-AF: carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos, C-AH: carbono orgânico na fração

ácidos húmicos, C-HUM: carbono orgânico na fração humina, C: carbono orgânico do solo, EstC-AF: estoque de carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos, EstC-AH: estoque de carbono orgânico na fração ácidos húmicos, EstC-HUM: estoque de carbono orgânico na fração humina, EstC: estoque de carbono orgânico do solo. Número de observações (n) = 32, *, ** significativo a $P < 0,05$ e $P < 0,01$, respectivamente.

Já para a microporosidade, houve uma moderada correlação positiva com o C-AF ($r = 0,51$, $P < 0,01$) e o EstC-AF ($r = 0,54$, $P < 0,05$), apresentando moderada correlação negativa com a fração C-HUM ($r = - 0,58$, $P < 0,01$) e EstC-HUM ($r = - 0,56$, $P < 0,05$). A porosidade total e a condutividade hidráulica saturada não demonstraram associação significativa com as frações da matéria orgânica do solo (Tabela 6). Contudo, as correlações apresentadas pelos atributos físicos do solo com as frações da MOS demonstram a influência desses fatores na agregação do solo, afetando o fluxo de água no meio e conseqüentemente a condutividade hidráulica.

6. CONCLUSÃO

O trabalho demonstrou que a implantação de um sistema silvipastoril no bioma Caatinga, no semiárido pernambucano, não promoveu alteração na classificação textural do solo, mantendo-se como média para as duas áreas avaliadas. Contudo, provocou modificações estruturais no meio, como a redução da macroporosidade e o aumento da microporosidade, evidenciando o crescimento da densidade do solo em profundidade, ocasionados pelo pisoteio animal devido a presença de ovinos que pastam no local, provocando a compactação do solo.

Ainda assim, os valores de condutividade hidráulica saturada encontrados para o SSP foram elevados e melhores que os da área preservada de Caatinga, demonstrando que o emprego da algaroba (*Prosopis juliflora*) como componente florestal desse sistema integrado traz benefícios, pois o sistema radicular dessa espécie arbórea atua no condicionamento da drenagem do solo.

Os resultados encontrados tornam evidente a influência da matéria orgânica sobre as propriedades físicas do meio edáfico, uma vez que na área com vegetação de Caatinga preservada, onde houve a tendência de depósito de MOS ao longo do perfil do solo, ocorreu aumento da K_{sat} e diminuição da D_s . Já no SSP houve a diminuição de matéria orgânica de acordo com a profundidade do solo, porém, entre 30 - 40 cm ocorreu acentuação da fração do carbono orgânico na forma de ácido fúlvico promovendo o aumento da K_{sat} para $59,40 \text{ cm h}^{-1}$, devido ao constante fornecimento de biomassa nesse sistema, além do maior volume de raízes, que influencia as camadas abaixo da superfície do solo. Além do mais, o SSP demonstrou que proporciona o incremento no estoque de carbono para as camadas mais superficiais do solo, pois há o depósito das fezes dos animais que pastam no local.

Os resultados da análise das correlações corroboraram a relação existente entre o carbono orgânico e suas frações com a textura do solo, demonstrando que a granulometria está relacionada com o nível de transformação da matéria orgânica do meio e pode afetar a dinâmica e a qualidade dos principais reservatórios de MOS. A correlação positiva da macroporosidade com a humina, por exemplo, indicou que presença de poros grandes favorece o processo de humificação, pois eles permitem o escoamento da água, reduzindo a capacidade de retenção, dessa forma, criando o ambiente adequado para o crescimento bacteriano e a quebra da MOS.

A condutividade hidráulica saturada não demonstrou associação significativa com as frações da matéria orgânica do solo. No entanto, as correlações apresentadas pelos atributos físicos com as frações da MOS demonstram a influência desses fatores na agregação do solo, impactando o fluxo da água no meio poroso e conseqüentemente a condutividade hidráulica.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. I. de; MAIA, S. M. F.; XAVIER, MENDONÇA, F. A. S.; ARAÚJO-FILHO, E. S.; J. A.; T. S. de O. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. **Agroforest Syst**, v.79, p. 277-289, 2010. DOI: 10.1007/s10457-010-9310-2

AIRES, E. S.; MARINHO, L. B.; GOMES, I. L. S.; SILVA, J. F. M.; SANTOS, K. C.; ANDRADE, E. A.; ARAÚJO, J. F. Alteração nos atributos físico-hídricos de um neossolo flúvico sob manejo convencional e orgânico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 8, n. 1-3, p. 5-17, 2019. DOI: 10.19149/wrim.v8i1-3.1753

ALAKUKKU, L.; NUUTINEN, V.; KETOJA, E.; KOIVUSALO, H.; PAASONEN-KIVEKÄS, M. Soil macroporosity in relation to subsurface drain location on a sloping clay field in humid climatic conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 275-284, 2010. DOI: 10.1016/j.still.2009.11.002

ALBDELBAKI, A. M. Selecting the most suitable pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity according to the available soil inputs. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, p. 2603-2615, 2021. DOI: 10.1016/j.asej.2021.01.030

ANDRADE, D. O. de; AMARAL, F. C. S. do; TAVARES, S. R. L.; BHERING, S. B. Parâmetros do sistema relacionados ao solo. In: AMARAL, F. C. S. do. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semiárida**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

ANDRADE, M. L. C.; TASSINARI, D.; DIAS JÚNIOR, M. S.; MARTINS, R. P.; ROCHA, W. W.; SOUZA, Z. R. de. Soil compaction caused by harvest and logging operations in eucalyptus forests in coarse-textured soils from northeastern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 191-200, 2017. DOI: 10.1590/1413-70542017412036216

ANDRADE, C. B. de; OLIVEIRA, L. M. M. de; OMENA, J. A. M.; GUSMÃO, A. C. V. L.; RODRIGUES, D. F. B. Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1., p. 097-107, 2018.

ARAÚJO FILHO, J. A. de; CAMPANHA, M. M.; FRANÇA, F. M. C.; SILVA, N. L. da; SOUSA NETO, J. M. de. Sistema de produção agrossilvipastoril no semiárido do Ceará. In: **International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions**, 2. Fortaleza, 2010

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316

BALBINO, L. C.; MARTINEZ, G. B.; GALERANI, P. R. **Ações de transferência de tecnologia para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta 2007-2010**. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011

BATISTA, P. H. D.; ALMEIDA, G. L. P. de; SILVA, J. L. B. da; LINS, F. A. C.; SILVA, M. V. da; CORDEIRO JÚNIOR, J. F. Hydro-physical properties of soil and pasture vegetation coverage under animal trampling. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 24, n. 12, p. 854-860, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p854-860

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **Comunicado Técnico**, n. 16, p. 1-7. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 829-834, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000300029

BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. T. de; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; MOREIRA, M. Z.; CAMARGO, P. B. de; DIAS, C. T. S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M. R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114368

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesq. agropec. bras.**, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, 2001. DOI: 10.1590/S0100-204X2001001200010

CARVALHO, M. A. C. de; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, E. E. R.; ARAÚJO, E. G.; BRANCAGLIONI, V. A.; DALLACORT, R. Multivariate approach of soil attributes on the characterization of land use in the southern Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 207-215, 2018. DOI: 10.1016/j.still.2018.08.004

ÇERÇIOĞLU, ANDERSON, M.; S. H.; UDAWATTA, R. P.; ALAGELE, S. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. **Geoderma**, v. 343, p. 247-253, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.02.027

CHAPUIS, R. P. Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review. Chapuis, R. P. (2012). Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 71, n. 3, p. 401-434, 2012. DOI:10.1007/s10064-012-0418-7

CORREIA, K. G.; ARAÚJO FILHO, R. N. de; MENEZES, R. S. C.; SOUTO, J. S.; FERNANDES, P. D. Atividade microbiana e matéria orgânica leve em áreas de caatinga de diferentes estágios sucessionais no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 196-202, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140269

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 913-923, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000400008

DE PUE, J.; REZAEI, M.; VAN MEIRVENNE, M.; CORNELIS, W. The relevance of measuring saturated hydraulic conductivity: Sensitivity analysis and functional evaluation. **Journal of Hydrology**, v. 576, p. 628-638, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.06.079

DEXTER, A. R.; RICHARD, G. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 113-118, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.10.001

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Solos e nutrição de plantas**, v. 70, n. 1, p. 157-165, 2011. DOI: 10.1590/S0006-87052011000100022

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mapeamento do uso e cobertura das terras do semiárido pernambucano**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

FEITOSA, A.; FECHINE, J. A. L.; FERREIRA, C. W. S.; ARAÚJO, M. S. B. de. Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a susceptibilidade à erosão dos solos num município do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, 2010. DOI: 10.20502/rbg.v11i2.154

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. *In*: LIER, Q. J. van. **Física do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

FRAGA, V. da S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. 2002. Tese (Doutorado em Fertilidade de solos) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

FRANCIS, G. S.; FRASER, P. M. The effects of three earthworm species on soil macroporosity and hydraulic conductivity. **Applied Soil Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 11-19, 1998. DOI: 10.1016/S0929-1393(98)00045-6

GALLAGE, C.; KODIKARA, J.; UCHIMURA, T. Laboratory measurement of hydraulic conductivity functions of two unsaturated sandy soils during drying and wetting processes. *Soils and Foundations*, v. 53, n. 3, p. 417-430, 2013. DOI: /10.1016/j.sandf.2013.04.004

GEREMIA, E. V.; CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; CARNEVALLI, B. A.; MOURÃO, G. B.; SILVA, S. C. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. *Piatã* in a crop-livestock-forestry integration area. **Livestock Science**, v. 212, p. 83-92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.03.020>

GONÇALVES, A. L. R.; MEDEIROS, C. M. de; MATIAS, R. L. A. de. **Sistemas agroflorestais no semiárido brasileiro: estratégias para combate à desertificação e enfrentamento às mudanças climáticas**. 1. ed. Recife: Centro Sabiá, Caatinga, 2016.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; DISERENS, E.; MARIA, I. C. de; ARAÚJO-JÚNIOR, C. F.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. de. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of The Total Environment**, v. 681, p. 424-434, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.009

HAGHIGHI, F.; GORJI, M.; SHORAFI, M. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. **Land Degrad. Develop.**, v. 21, p. 496-502, 2010. DOI: 10.1002/ldr.999

IRMÃO, R. A. **Vulnerabilidade do rebanho pecuário à variabilidade climática na região semiárida de Pernambuco**. 2015. Dissertação (Mestrado em Fontes Renováveis de Energia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SILVA, M. J.; SILVA, T. G. F.; SILVA, R. C. Tendência probabilística da precipitação pluvial e análise da distribuição decadal no município de Serra Talhada-PE. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 2016

JUNQUEIRA, R., MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, A. S. de ALVES, G. J.; AIRES, U. R. V. Análise da Condutividade Hidráulica Saturada em uma Floresta de Cedro, Madrid, Espanha. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, 2018. DOI: 10.18406/2316-1817v10n320181185

KARACA, S.; DENGIZ, O.; TURAN, İ. D.; ÖZKAN, B.; DEDEOĞLU, M.; GÜLSER, F.; SARGIN, B.; DEMIRKAYA, S.; AY, A. An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 121, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107001

KIILL, L. H. P.; ARAÚJO, F. P. de; ANJOS, J. B. dos; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; AIDAR, S. T.; SOUZA, A. V. V. de. Biodiversidade da caatinga como potencialidade para a agricultura

familiar. *In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000400003

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 2018.

LIBARDI, P. L. Água no solo. *In: LIER, Q. J. van. Física do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

LIRA JÚNIOR, M. A.; FRACETTO, F. J. C.; FERREIRA, J. S.; SILVA, M. B.; FRACETTO, G. G. M. Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. *Catena*, v. 189, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104508

LOGSDON, S. D.; JAYNES, D. B. Spatial variability of hydraulic conductivity in a cultivated field at different times. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 60, n. 3, p. 703-709, 1996. DOI: 10.2136/sssaj1996.03615995006000030003x

LUZ, F. B. da; SILVA, V. R. da; MALLMANN, F. J. K.; PIRES, C. A. B.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CHERUBIN, M. R. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 281, p. 100-110, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2019.05.006

LUZ, E. L. P. da; ALMEIDA, B. G. de; PISCOYA, V. C.; ARAÚJO FILHO, R. N. de; CUNHA FILHO, M.; GUERRA, S. M. S.; MELO, R. C. P.; PISCOYA, T. O. F.; CASTRO, J. B.; HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; GOMES FILHO, R. R.; FERNANDES, M. M.; FEITOSA, T. B.; SANTOS, L. D. V.; RONCAL, J. L. P. Changes in infiltration under different vegetations coverages in soils of the Semiarid Pernambucano Brazil. **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 7, p. 48785-48789. DOI: 10.37118/ijdr.22425.07.2021

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 2, p. 193-206, 2008. DOI: 10.1590/S0044-59672008000200002

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1590/2179-8087.028216

MEDEIROS, L. C. de; MEDEIROS, B. V. V. de; SOBRINHO, F. E.; GURGEL, M. T. Caracterização físico química de um neossolo lítólico na região Seridó do RN. **Agropecuária Científica no Semiárido – ACSA**, v. 9, n. 4, p. 01-07, 2013. DOI: 150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA

MELO, R. F. de; GIONGO, V.; DEON, D. S.; ANJOS, J. B. dos. Uso e manejo do solo. *In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019.

MERDUN, H.; ÇINAR, Ö.; MERAL, R.; APAN, M. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, v. 90, n. 1-2, p. 108-116, 2006. DOI: 10.1016/j.still.2005.08.011

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004. DOI: 10.1590/S0103-84782004000300052

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga**. 1. ed. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN, Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. 1. ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993

NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; SILVA, A. H. da; FAVARETTO, N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. *Soil & Tillage Research*, v. 186, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016>

O'GEEN, A. T. Soil water dynamics. *Nature Education Knowledge*, v. 4, n. 5, 2013.

OSMAN, H. E. M; ELAIDAROUS, A. A.; EL-MORSY, M. H.; EID, E. M.; KESHTA, A. E. Soils with more clay and dense vegetation were rich in soil carbon along Wadi Al-Sharaea, Makkah, Saudi Arabia. *Heliyon*, v. 9, 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e12988

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T. de; FERNADES, P. B.; MÜLLER, M. D.; PIRES, M. F. A.; FERNANDES, E. N.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 46, n. 10, p. 1176-1183, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009>

PAES, E. C.; FERNADES, I. O.; DIAS, F. P. M.; PEREIRA, E. G.; SANTOS, D. N.; LIMA, J. M. de; NÓBREGA, R. S. A.; NÓBREGA, J. C. A. Land use, management and physical attributes of dense ferralsols in tropical northeastern Brazil. *Catena*, v. 203, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105321

PAPANICOLAOU, T.; ELHAKEEM, M.; WILSON, C. G.; BURRAS, C. L.; WEST, L.T.; LIN, H.; CLARCK, B.; ONEAL, B. E. Spatial variability of saturated hydraulic conductivity

at the hillslope scale: Understanding the role of land management and erosional effect. **Geoderma**, v. 243-244, p. 58-68, 2015. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.12.010

PEQUENO, P. L. L. Noções básicas de uso e manejo de solo. 1. ed. Porto Velho: EDUFRO, 2013

PLA, C.; CUEZVA, S., MARTINEZ-MARTINEZ, J.; FERNANDES-CORTES, A.; GARCIA-ANTON, E.; FUSI, N.; CROSTA, G. B.; CUEVAS-GONZALEZ, J.; CAÑAVÉRAS, J. C.; SANCHEZ-MORAL, S.; BENAVENTE, D. Role of soil pore structure in water infiltration and CO₂ exchange between the atmosphere and underground air in the vadose zone: A combined laboratory and field approach. **Catena**, v. 149, 2017. DOI: 10.1016/j.catena.2016.10.018

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O.da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/342>. Acesso em: 11 abr. 2023.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: LIER, Q. J. van. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

REIS, A. M. H. dos; AULER, A. C.; ARMINDO, R. A.; COOPER, M.; PIRES, L. F. Micromorphological analysis of soil porosity under integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, v. 205, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104783

SAMUEL-ROSA, A.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P.; ZALAMENA, J.; DICK, D. P. The effect of intrinsic soil properties on soil quality assessments. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 1236-1244, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000500013

SANTOS, L. L. dos; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 955-968, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000400013

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018

SEDDAIU, G.; PORCU, G.; LEDDA, L.; ROGGERO, P. P.; AGNELLI, A.; CORTI, G. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 167, p. 1-11, 2013. DOI: 10.1016/j.agee.2013.01.002

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Serra Talhada, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005

SHWETHA, P.; VARIJA, K. Soil water retention curve from saturated hydraulic conductivity for sandy loam and loamy sand textured soils. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1142-1149, 2015. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.145

SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Propriedades físicas e mecânicas de latossolos em diferentes manejos florestais. **Ciênc. agrotec.**, v. 34, n. 6, p. 1483-1491, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000600019

SILVA, P. L. F. da; OLIVEIRA, F. P. de; AMARAL, A. J. do; TAVARES, D. D.; BORBA, J. O. M.; ZONTA, J. H. Condutividade hidráulica saturada em neossolo regolítico sob sistema de integração lavoura-pecuária no agreste da Paraíba. *In: **Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos***, 2019

SILVA, R. G. P. O.; MOTA, J. C. A.; TOMA, R. S. Semi-detailed survey of soils of Ceará's semiarid region: Lavoura Seca Experimental Farm. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 51, n. 2, p. 1-8, 2020. DOI: 10.5935/1806-6690.20200028

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, n. 5, p. 587-597, 1984. DOI: 10.1080/00103628409367499

STATSOFT INC. **Statistica for Windows (Computer Program Manual)**, versão 8.0. Tulsa: Statsoft. Inc., 2008

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. *In: SPARKS, D. L., PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H. **Methods of Soil Analysis Part 3 — Chemical Methods***. 1. ed. USA: Soil Science Society of America e American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1069. DOI: 10.2136/sssabookser5.3.c35

TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. **Revista Sociedade e Estado**, v. 31, n. 3, p. 769-797, 2016. DOI: 10.1590/S0102-69922016.00030010

UDUWATTA, R. P.; GANTZER, C. J.; JOSE, S. Agroforestry practices and soil ecosystem services. **Soil Health and Intensification of Agroecosystems**, p. 305-333, 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-805317-1.00014-2

YOUNGS, E. G. Hydraulic conductivity of saturated soils. *In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil and environmental analysis: physical methods***. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2000. p. 141-182.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEEER, H. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradients of disturbance. **Journal of Hydrology**, v. 361, p. 78-95, 2008. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.027

ZHANG, X.; WENDROTH, O.; MATOCHA, C.; ZHU, J.; REYES, J. Assessing field-scale variability of soil hydraulic conductivity at and near saturation. **Catena**, v. 187, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2019.104335