



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

EWERTON GUILHEME ALVES DE SOUSA

**EFEITOS DA DEGRADAÇÃO DA TERRA NAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS
DE SOLOS NO CARIRI PARAIBANO**

**AREIA
2024**

EWERTON GUILHEME ALVES DE OUSA

**EFEITOS DA DEGRADAÇÃO DA TERRA NAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS
DE SOLOS NO CARIRI PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Luciana Gomes Barbosa

Coorientador: Dr.(a) Kalline de Almeida Alves Carneiro

AREIA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S725e Sousa, Ewerton Guilherme Alves de.

Efeitos da degradação da terra nas substâncias
húmicas de solos no Cariri Paraibano / Ewerton
Guilherme Alves de Sousa. - Areia:UFPB/CCA, 2024.
54 f. : il.

Orientação: Luciana Gomes Barbosa.

Coorientação: Kalline de Almeida Alves Carneiro.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Estoque de carbono orgânico. 3.
Substâncias húmicas. 4. Luvisolos. I. Barbosa, Luciana
Gomes. II. Carneiro, Kalline de Almeida Alves. III.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

EFEITOS DA DEGRADAÇÃO DA TERRA NAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS DE SOLOS NO CARIRI PARAIBANO

Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em: 09 / 05 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. (a) Dr. (a) Luciana Gomes Barbosa (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Kalline de Almeida Alves Carneiro

Dr. (a) Kalline de Almeida Alves Carneiro (Coorientador)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

Leticia Moro

Dr. (a) Leticia Moro (Examinador Externo)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

Rodrigo Santana Macedo

Dr. Rodrigo Santana Macedo (Examinador Externo)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Suplente

Aos meus pais e avós Erinaldo Modesto de
Sousa e Maria de Fatima Alves de Sousa e
meu avô Pedro Modesto e minha avó
Esmerina Modesto (*In Memoriam*)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus dois maiores incentivadores educacionais: minha avó e meu avô. Nunca mediram esforços para que hoje conseguisse chegar aonde cheguei e todas as conquistas que alcancei. Desde o ensino fundamental tiveram como objetivo a melhor educação que pudessem me dar, na medida do possível, para que hoje pudesse conquistar o “canudo do diploma” como minha vovó falava.

Infelizmente minha avó não está mais no mundo terreno para que possa lhe entregar em mãos o “canudo”, mas sei que onde estiver olhará com muita felicidade, por ter um dos sonhos dela acontecendo.

Ao meu avô Pedro, só tenho a agradecer por toda força em minha jornada de vida, o homem que sempre esteve ao meu lado e que sempre que precisei de um conselho e de uma força ele estava lá. Nunca me esquecerei, da frase: “E como vão os estudos, tá tudo bem?”. E sim vovô, está tudo bem, e se encerrando mais um ciclo. Dedico novamente esse trabalho ao senhor e a vovó, e a meus amados pais, pela dedicação companheirismo e amizade e por tanto aguentaram meus estresses, apereios e tristezas da vida.

E para findar meus agradecimentos agradeço ainda aos meu amigos e orientadores Dr. (a) Luciana, Dr. (a) Kalline, Dr. (a) Leticia, Dr. Rodrigo. Agradeço ainda ao INSA e a UFPB pela disponibilidade.

Obrigado.

“...Aprende que as circunstâncias e os ambientes têm influência sobre nós, mas nós somos responsáveis por nós mesmos. Começa a aprender que não se deve comparar com os outros, mas com o melhor que pode ser. Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto...”

William Shakespeare

RESUMO

O compartimento solo armazena cerca de três vezes carbono em comparação com a atmosfera, por isso, a manutenção do estoque de carbono orgânico do solo é de suma importância para a qualidade do solo. A matéria orgânica do solo (MOS) é um termômetro sensível da degradação do solo, e em regiões semiáridas, as modificações causadas pelas interferências antrópicas geram perdas no estoque de carbono, bem como na qualidade e quantidade de MOS. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das ações antrópicas no estoque de carbono orgânico total bem como das substâncias húmicas, quanto às frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina sob diferentes sistemas de uso da terra no Cariri paraibano. A pesquisa foi realizada em áreas com diferentes usos do solo no município de Sumé-PB. Foram selecionadas três áreas: área de mata (AM) em processo de regeneração natural há 10 anos, uma área degradada com histórico de retirada de solo para construção de pistas de pouso e uma área de cultivo de espécies anuais (AC), com milho e feijão. Foram coletadas amostras nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm nas quais foi realizada a determinação do carbono orgânico do solo, calculando seu estoque (ECOS) e o teor de carbono das substâncias húmicas (ácido fúlvico, ácido húmico e humina) através do fracionamento químico da matéria orgânica. Os maiores ECOT na camada de 0 a 5 cm foram observados nas áreas de mata ($2,36 \text{ g kg}^{-1}$) e de cultivo ($2,33 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto a área de Tecnossolo apresentou os menores valores ($0,95 \text{ g kg}^{-1}$). A área de cultivo apresentou os maiores estoques de COT nas camadas de 5 a 10 cm ($4,43 \text{ g kg}^{-1}$) e de 10 a 20 cm ($2,96 \text{ g kg}^{-1}$), respectivamente. Esses resultados estão associados ao manejo com a adição de fertilizantes orgânicos. O teor de C contido nas substâncias húmicas (SHs) variou de 0,5 a $36,7 \text{ g kg}^{-1}$, sendo os maiores valores associados ao solo na área de cultivo nas três camadas avaliadas. A fração humina foi predominante em todas as camadas avaliadas nas três áreas, relacionado à maior recalcitrância e complexidade desse composto orgânico no solo. A área de cultivo (AC), apresentou as maiores médias da fração humina ($3,67 \text{ g kg}^{-1}$) em todas as camadas. O ECOT e fração humina inferiores na área de Tecnossolo se deve ao desbalanceamento na entrada e saída dos resíduos orgânicos. A degradação reduz significativamente os teores e estoque de carbono em diferentes camadas dos solos e na fração humina, isso se deve ao desbalanceamento na entrada e saída dos resíduos orgânicos nessa área. Teores mais elevados de carbono orgânico total ocorre na fração humina na área de cultivo de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) principalmente nas camadas de 5-20 cm. em comparação as demais áreas estudadas, e da insolubilidade da fração humina que forma compostos de maior complexidade.

PALAVRAS-CHAVE: estoque de carbono orgânico; substâncias húmicas; luvisolos.

ABSTRACT

The soil compartment stores about three times more carbon compared to the atmosphere, therefore, maintaining the soil's organic carbon stock is of paramount importance for soil quality. Soil organic matter (SOM) is a sensitive thermometer of soil degradation, and in semi-arid regions, changes caused by anthropogenic interference generate losses in carbon stock, as well as in the quality and quantity of SOM. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of anthropogenic actions on the total organic carbon stock as well as humic substances, regarding the fractions of fulvic acid, humic acid and humin under different land use systems in Cariri Paraíba. The research was carried out in areas with different land uses in the municipality of Sumé-PB. Three areas were selected: a forest area (AM) in the process of natural regeneration for 10 years, a degraded area with a history of soil removal for the construction of landing strips and an area cultivating annual species (AC), with corn and bean. Samples were collected at depths of 0 to 5, 5 to 10 and 10 to 20 cm in which soil organic carbon was determined, calculating its stock (ECOS) and the carbon content of humic substances (fulvic acid, humic acid and humin) through the chemical fractionation of organic matter. The highest ECOT in the 0 to 5 cm layer were observed in the forest (2.36 g kg^{-1}) and cultivation (2.33 g kg^{-1}) areas, while the Technosol area presented the lowest values (0.95 g kg^{-1}). The cultivation area had the highest TOC stocks in layers from 5 to 10 cm (4.43 g kg^{-1}) and from 10 to 20 cm (2.96 g kg^{-1}), respectively. These results are associated with management with the addition of organic fertilizers. The C content contained in humic substances (SHs) ranged from 0.5 to 36.7 g kg^{-1} , with the highest values associated with the soil in the cultivation area in the three layers evaluated. The humin fraction was predominant in all layers evaluated in the three areas, related to the greater recalcitrance and complexity of this organic compound in the soil. The cultivation area (AC) presented the highest averages of the humin fraction (3.67 g kg^{-1}) in all layers. The lower ECOT and humin fraction in the Technosol area is due to the imbalance in the input and output of organic waste. Degradation significantly reduces carbon levels and stocks in different soil layers and in the humin fraction, this is due to the imbalance in the entry and exit of organic waste in this area. Higher levels of total organic carbon occur in the humin fraction in the corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivation area, mainly in the 5-20 cm layers. in comparison to other areas studied, and the insolubility of the humin fraction, which forms compounds of greater complexity.

KEYWORDS: organic carbon stock; humic substances; luvisols.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do Estado da Paraíba com destaque para a localização do município de Sumé	14
Figura 2: Mapa de localização das áreas avaliadas: área de mata nativa (AM), área de Tecnossolo (AT) e área de cultivo (AC), no município de Sumé/PB.....	24
Figura 3: Aspecto geral da vegetação na área de mata nativa (AM), no município de Sumé/PB.....	26
Figura 4: Aspecto geral da vegetação na área de Tecnossolo (AT), no município de Sumé/PB.....	26
Figura 5: Aspecto geral área de cultivo com milho (AC), no município de Sumé/PB.....	27
Figura 6: Coleta das amostras de solo nas áreas estudadas, município de Sumé/PB	28
Figura 7: Infográfico do método de extração e fracionamento da matéria orgânica do solo	32
Figura 8: Valores médios do estoque de carbono orgânico do solo (ECOT) nas áreas de mata nativa (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), em função da profundidade, no município de Sumé/PB.....	33
Figura 9: Valores médios das frações da matéria orgânica do solo nas áreas de Mata (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), na profundidade de 0 a 5 cm, no município de Sumé/PB.....	35
.....	35
Figura 10: Valores médios das frações da matéria orgânica do solo nas áreas de Mata (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), na profundidade de 5 a 10 cm, no município de Sumé/PB.....	36
Figura 11: Valores médios das frações da matéria orgânica do solo nas áreas de Mata (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), na profundidade de 10 a 20 cm, no município de Sumé/PB.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas geográficas das áreas de estudo de Luvissolo Crômico, na área de Mata (AM), área de cultivo (AC) e área de Tecnossolo (AT) no município de Sumé/PB.....	24
Tabela 2: Preparo e uso do solo, adubação, controle de plantas invasoras e pragas nas áreas de estudo nos últimos 10 anos	25
Tabela 3: Atributos físicos na camada de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, dos solos das áreas de Mata (AM), área de Tecnossolo (AT) e área de cultivo (AC), no município de Sumé/PB.....	28
Tabela 4: Atributos químicos nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em amostra simples, dos solos das áreas de mata nativa (AM), área de Tecnossolo (AT) e área de cultivo (AC), no município de Sumé/PB.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Características Gerais do Meio Físico do Município de Sumé	13
2.2 Solos	14
2.3 Atributos físico-químicos do solo em áreas degradadas e preservadas no Semiárido paraibano.....	15
2.4 Efeitos das ações antrópicas nos atributos físico-químicos da qualidade do solo	17
2.5 Dinâmica da Matéria orgânica em áreas degradadas	18
2.6 Dinâmica da MO em áreas preservadas de agricultura familiar no semiárido paraibano.....	19
2.7 Método de fracionamento químico da matéria orgânica do solo	20
2.8 Importância das substâncias húmicas para o solo e as plantas	21
2.9 Caracterização das substâncias húmicas por técnicas analíticas (LECO): Analisador de carbono e enxofre para materiais inorgânicos.....	22
2.10 Pesquisas científicas com substâncias húmicas no Nordeste do Brasil ..	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Descrição da área de estudo.....	24
3.2 Caracterização físico-química do solo	27
3.3 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica	31
3.4 Análises Estatística dos Dados.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Estoque de Carbono Orgânico Total (ECOT)	33
4.2 Carbono das Substâncias Húmicas.....	35
5 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Os solos desempenham papel essencial na regulação do ciclo global de carbono, além de ser um recurso natural de extrema importância na sobrevivência do homem. A matéria orgânica do solo (MOS), é constituída por resíduos vegetais, microorganismos e produtos de sua decomposição, ao qual atua diretamente melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

O carbono orgânico do solo (COS) está presente principalmente nos compostos orgânicos, compostos humificados e/ou materiais carbonizados, que podem estar associados ou não à fração mineral do solo, além de ser encontrado nas raízes e na microbiota (Signor *et al.*, 2014). A presença do COS é de suma importância na qualidade do solo bem como provisão de serviços ecossistêmicos, pois, solos com altos teores de MOS, apresentam diversos benefícios como melhor estruturação, capacidade de retenção de água, porosidade, controle de erosão e redução de gases do efeito estufa devido ao estoque de carbono no solo, entre outros.

Os Luvisolos são solos caracterizados por sua alta capacidade de retenção de água, boa fertilidade natural, argila de alta atividade, porém são rasos e com baixos teores de matéria orgânica do solo. Essa classe de solos é representada fortemente na região semiárida do Brasil, onde as condições climáticas são marcadas por períodos de estiagem prolongada e chuvas irregulares (SiBCS, 2018).

No semiárido, as intervenções antrópicas geram mudança no uso da terra, que ocorre através do desmatamento, queima da vegetação e preparo convencional do solo para agricultura de sequeiro, que em muitos casos está associado à pecuária extensiva (Medeiros *et al.*, 2020). As mudanças no uso do solo provocam impactos ao ambiente, e que acompanhado das condições edafoclimáticas de variação espaço-temporal da precipitação, elevada insolação e longo período de estiagem, limitam a produção de biomassa vegetal comprometendo o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) nesses sistemas (Medeiros *et al.*, 2021).

Desse modo, a degradação em Luvisolos remete uma preocupação constante em regiões semiáridas, particularmente em virtude de práticas de manejo do solo inadequado, a exemplo da utilização da conversão de áreas nativas em sistemas de agricultura intensiva.

Essas intervenções antrópicas desencadeiam a processos de erosão do solo que, conseqüentemente, levam a perda da MOS e do COS. Outro fator que está associado a qualidade do solo são as substâncias húmicas, pois, sua presença está relacionada com a quantidade e qualidade da matéria orgânica incorporada ao solo.

Portanto, em regiões semiáridas, o manejo e uso do solo influenciam diretamente a qualidade e a quantidade de MOS aportada no solo, conseqüentemente, no estoque de carbono orgânico do solo e das substâncias húmicas. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das ações antrópicas no estoque de carbono orgânico total bem como das substâncias húmicas, quanto às frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina sob diferentes sistemas de uso da terra no Cariri paraibano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características Gerais do Meio Físico do Município de Sumé

O município de Sumé, está localizado na mesorregião da Borborema e microrregião do Cariri Ocidental, semiárido do estado da Paraíba o qual corresponde a 3,63% da área total da Região Nordeste do Brasil, com uma população estimada de 17.166 habitantes e uma taxa demográfica de 20,60 hab/km², distribuídos em uma área 833,315 km² (IBGE, 2022), com altitude de 533 m, situa-se entre as coordenadas geográficas 07° 40' 18" Sul, e 36° 52' 58" Oeste de Greenwich (IBGE 2022; Silva *et al.*, 2022).

O relevo é predominantemente suave-ondulado, cortado por vales estreitos e vertentes dessecadas. Apresenta algumas elevações residuais, e outeiros pontuais à linha do horizonte. Esses relevos são testemunhas dos intensos ciclos de erosão que o nordeste brasileiro vivência. Enquanto a parte norte do município encontra-se na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (Santos, 2019).

O clima predominante na região é do tipo Bsh (semiárido quente e seco), com precipitações médias anuais em torno de 400 mm (Alencar, 2008), com período chuvoso entre os meses de fevereiro a abril, e seco entre os meses de agosto a novembro (Sena *et al.*, 2017).

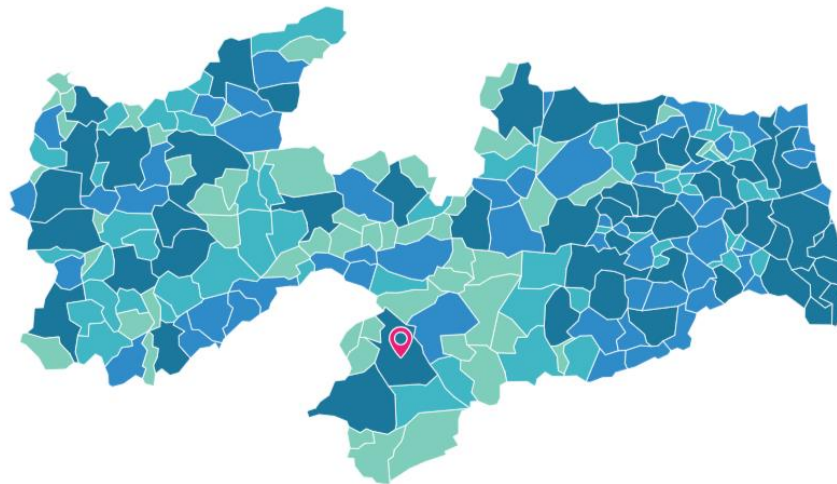
O bioma local é classificado como Floresta Tropical Sazonal Seca (SDTFs) denominada de Caatinga, a qual é a maior Floresta Tropical Seca da América do Sul, e que apresenta uma imensa biodiversidade, entre peixes, anfíbios, insetos, fungos e plantas (Maia *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2020). As Florestas Tropicais Sazonais Secas (SDTFs) estão entre os ecossistemas Brasileiros que tem uma das maiores taxas de desmatamento passando de 12% entre 2000 para 18,4% em 2022 (140,637 ha) (BioMapa, 2022; Janzen, 2000), que configura o ecossistema com alto risco de extinção (Werneck *et al.*, 2011), portando necessitando de ações urgentes para a conservação desta formação vegetacional (Miles *et al.*, 2006).

A Caatinga hiperxerofila é composta por um mosaico de vegetação rala e rasteira e manchas de floresta seca e caducifólia, com elevada capacidade de adaptação à escassez hídrica, que é referida comumente na literatura como uma floresta sazonal seca, ou um ecossistema arbustivo (Gomes, 2013; Santos, *et al.*,

2011; Belarmino, 2017). Contudo foi demonstrado que a flora lenhosa da Caatinga (arbustos e árvores), consiste em espécies de floresta seca e não de savana como é corriqueiramente confundida devida a vegetação de baixa estatura em toda a região da Caatinga, que representa 10% da biomassa terrestre (Santos *et al.*, 2011).

No município ocorrem solos das classes de Neossolos Litólicos Eutróficos, Vertissolos, Planossolos Nátricos e a predominância de solos Luvisolos Crômicos bem desenvolvidos (Francisco, 2010).

Figura 1: Mapa do Estado da Paraíba com destaque para a localização do município de Sumé



Fonte: IBGE (2022)

Na região, a agricultura é de base familiar destacando o plantio de espécies anuais como feijão (*Vigna unguiculata* L. Walp), milho (*Zea mays* L.), batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), fava (*Phaseolus lunatus* L), algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.r. latifolium Hutch), mamona (*Ricinus communis* L), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), banana (*Musa spp.*), coco (*Cocos nucifera* L.), goiaba (*Psidium guajava* L.), manga (*Mangifera indica* L.) e sisal (*Agave sisalana* Perrine ex Engelm) (Santos *et al.*, 2022).

2.2 Solos

O estado da Paraíba apresenta aproximadamente 76,23% do território localizado em região de semiárido (mesorregião do Sertão e Borborema) (Medeiros,

2018), ocorrendo as seguintes classes de solo, respectivamente: Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos, Argissolos Vermelhos e Vertissolos Hápticos, entre outros (Nunes *et al.*, 2016). O solo predominante no município de Sumé, na Paraíba, é o Luvisolo Crômico (Campus; Queiroz 2006; Francisco, 2010).

Os Luvisolos são solos com alta fertilidade, pouca profundidade. Constituídos por material mineral, não hidromórfico e exibem B textural com argila de alta atividade, altos valores de saturação por base nos primeiros 100 cm do horizonte B, independente de qual horizonte A esteja abaixo, (exceto A chernozêno), ou caso ele está sob o horizonte E. Os mesmos ainda apresentam caráter crômico no horizonte B textural, nos primeiros 100 cm (Saraiva, 2016; SiBCS, 2018).

Os Luvisolos apresentam faixa de pH de 5,5 a 6,5, os horizontes são caracterizados por valor de carbono que variam entre 7,41 e 9,37 g kg⁻¹ com baixos níveis de matéria orgânica (Saraiva, 2016).

Entretanto, segundo Buch *et al.* (2021) e Schaefer *et al.* (2015), com as diversas atividades atuais que interferem e degradam as estruturas naturais dos solos que originam novas paisagem, que são denominadas por Tecnosolo. Outros critérios utilizados para a classificação de um Tecnosolo, são: Solos criados por atividades antrópicas como parte integrante de atividades industriais ou artesanais, e que suas características sejam substancialmente diferentes das propriedades do material original da área (Buch *et al.*, 2021; Schad, 2018).

2.3 Atributos físico-químicos do solo em áreas degradadas e preservadas no Semiárido paraibano

A conversão de vegetação nativa em áreas de pastagens e/ou áreas agrícolas, causa sérios impactos ambientais e isso acarreta diversas mudanças significativas no uso e na cobertura do solo (Celentano *et al.*, 2017).

Solos considerados com boas condições físicas podem apresentar infiltração de água, aeração (Dexter, 2004), resistência à erosão (Fidalski; Tormena; Alves, 2013), estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, resistência à penetração, permeabilidade do solo à água e carbono orgânico total (Cherubin *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2016).

Na região semiárida, geralmente os solos são pouco desenvolvidos devido as condições irregulares de chuvas e controle estrutural do material de origem (Araújo, 2011), apesar disso, apresentam de acordo com sua natureza, altos teores de sódio e de matéria orgânica, o que dificulta os processos de intemperismo e ação dos microrganismos (Silva *et al.*, 2019).

Pode-se definir degradação do solo como a perda que este compartimento tem de fornecer os serviços e funções ecossistêmicas. Dentre os principais impactos que a degradação dos solos pode causar, têm-se: (i) aos atributos físicos a perda da capacidade de retenção de água em função da redução da porosidade e erosão (Silva *et al.*, 2021); (ii) aos atributos químicos a redução dos teores de carbono, nitrogênio e da fertilidade e; (iii) aos atributos biológicos a redução das atividades de biomassa (Pereira *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2020).

Outros fatores podem contribuir com a degradação dos solos, como as condições edafoclimáticas, a aplicação excessiva de fertilizantes, o sobrepastejo, a retirada da vegetação nativa e exposição do solo (Yu *et al.*, 2020; Baude *et al.*, 2019).

A exposição dos solos após retirada da vegetação provoca diminuição das taxas de infiltração de água causando impermeabilização superficial do solo, aumentando a perda de solo por erosão (Vermang *et al.*, 2015). Esse crescente processo de degradação é proveniente do uso inadequado do solo ou dos recursos hídricos, consequentemente, pode desenvolver processo de salinização, desertificação e redução da diversidade biológica. Tais impactos têm resultado em uma constante preocupação com relação à recuperação de áreas degradadas bem como a conservação dos ambientes ainda resistentes (Silva *et al.*, 2019).

Portanto, a ação de degradação provocada pela ocupação humana, desmatamento, agropecuária e as queimadas, além de agravar a deterioração do solo, também prejudica as perspectivas de desenvolvimento sustentável para a região (Silva *et al.*, 2018).

Estudos apontam que no Brasil, a região semiárida é uma das que mais sofrem com a degradação ambiental, chegando a apresentar um decréscimo de aproximadamente 27% de toda a cobertura florestal nas duas últimas décadas (Santos; Nascimento; Silva, 2020).

2.4 Efeitos das ações antrópicas nos atributos físico-químicos da qualidade do solo

Estudos demonstram que o manejo do solo é um fator que influencia na heterogeneidade natural do solo, ao passo que os sistemas de manejo podem causar variações no acúmulo de matéria orgânica, bem como na movimentação da água no solo, além de contribuir para a compactação e erosão hídrica dos solos. Porém, solos ocupados com florestas nativas, apresentam presença de raízes grandes e finas e uma maior prevalência de macroporos na superfície (Moratelli *et al.*, 2023).

O bioma Caatinga é alvo de intensas ações antrópicas, a exemplo do corte e queima da vegetação nativa para coleta de lenha e carvão, e em conjunto com esses atos se soma o sobre-pasejo excessivo que contribui fortemente para desencadear o processo de desertificação dessas áreas (Almeida *et al.*, 2017).

De acordo com estudo proposto por Frank *et al.* (2015), as condições de clima extremo e o solo degradado provocou à redução do crescimento, da produtividade e do sequestro de carbono das plantas em regiões semiáridas. Estudos recentes também corroboram quanto a este cenário, onde a degradação dos solos em regiões áridas e semiáridas vem se intensificando rapidamente, provocando a redução da qualidade dos solos (Pereira *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021; Lonazo-Garcia *et al.*, 2017; Prosdocimi *et al.*, 2016).

Os resultados encontrados por Oliveira Filho *et al.* (2019), avaliando os efeitos na recuperação da fertilidade do solo em região semiárida do Brasil após 17 anos de pressão de sobrepastejo e exclusão de pastejo, observaram redução nos efeitos das ações antrópicas nas camadas profundas do solo. Os autores também observaram o acúmulo de carbono nas frações particuladas (50%) e minerais associadas (50%) da matéria orgânica do solo, resultante do equilíbrio entre a entrada de resíduos vegetais e a decomposição microbiana na superfície do solo.

É de suma importância destacar que os solos provenientes da Caatinga e outros locais áridos sujeitos à degradação proveniente de ações antrópicas, tendem a ser compactos e com baixa presença de matéria orgânica. Esse cenário impacta negativamente na capacidade de aeração e infiltração do solo, prejudica o desenvolvimento das raízes das plantas, compromete a recuperação de áreas

degradadas e dificulta a retenção de água, resultando em teores absolutos menores de umidade no solo (Martins *et al.* 2024).

Em relação aos atributos físicos do solo, as mudanças provocadas na cobertura vegetal e na estrutura do solo resultam no aumento do escoamento superficial e na erosão dos horizontes superficiais mais férteis. Particularmente em região semiárida, os principais usos da terra como a pecuária extensiva, a remoção da cobertura vegetal para uso doméstico e comercial, a agricultura de sequeiro em solos rasos e irrigação resultam na crescente degradação dos solos da região (Corrêa *et al.*, 2019).

2.5 Dinâmica da Matéria orgânica em áreas degradadas

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta pela acumulação de resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição, e essa formação desempenha importante influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Brady; Weil, 2013). Nas propriedades físicas do solo, a MOS atua contribuindo na capacidade de retenção de água no solo, na formação e estabilização dos agregados, na agregação e na aeração do solo (Usharani *et al.*, 2019; BlancoCanqui; Ruis, 2018), enquanto nas propriedades químicas, a matéria orgânica é fonte de nutrientes para as plantas após decomposição (Brady; Weil, 2013).

Em relação às propriedades biológicas, além da MOS ser fonte de alimento para os microrganismos, as secreções de fungos micorrízicos que são liberados da matéria orgânica no processo de decomposição, melhoram as propriedades físicas do solo (Usharani *et al.*, 2019; Brady; Weil, 2013). Desse modo, a MOS é considerada como um indicador sensível à degradação, por isso sua quantidade e qualidade é descrita como uma condição essencial para determinar a qualidade do solo (Cherubin *et al.*, 2015).

Algumas pesquisas demonstram que os mecanismos de armazenamento de carbono orgânico em solos de áreas degradadas, a exemplo de estudo realizado por Wen *et al.* (2016), ao avaliar os efeitos da exclusão de pastejo em área de pastagem após 30 anos em região degradada na Mongólia, onde obteve maiores teores de carbono orgânico e carbono total nas áreas de estudo. Os autores observaram que o pousio da área promoveu um acúmulo de carbono associado as partículas de macro e micro

agregados do solo e maior labilidade do nutriente, além de estar também relacionado em menor grau, com a fração mais estável da MOS (<53 μm).

É importante ressaltar que em solos Semiárido, a redução da matéria orgânica do solo ocorre através da supressão da vegetação, da queima dos resíduos vegetais, do aumento da erosão e da fotodegradação da matéria orgânica em decorrência das elevadas temperaturas e da ação dos microrganismos (Santos *et al.*, 2021).

2.6 Dinâmica da MO em áreas preservadas de agricultura familiar no semiárido paraibano

O carbono orgânico do solo (COS) pode ser classificado em dois grupos distintos: (i) matéria orgânica particulada, composta principalmente por serrapilheira fragmentada e em estágio de decomposição, e que apresenta um tempo de renovação mais curto e; (ii) matéria orgânica associada a minerais, e seu tempo de renovação mais longo (Lavalley *et al.*, 2020; Cotrufo *et al.*, 2019; Haddix *et al.*, 2020).

A MOS reponde como o maior reservatório de carbono (C) presente na terra, chegando a conter cerca de três vezes a quantidade de C que é encontrado na atmosfera ou na vegetação. Devido sua considerável importância para os ecossistemas, tem sido objeto de intensas pesquisas nas últimas duas décadas (Sokol *et al.*, 2019).

A matéria orgânica do solo é composta por uma complexa matriz formada por compostos orgânicos provenientes de fontes naturais (Crittenden *et al.*, 2012). Portanto, a MOS consiste em todo material rico em carbono orgânico do solo, resíduos vegetais e/ou animais, compostos de microrganismos e substâncias orgânicas microbiológicas, de modo que pode ser caracterizada em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica (Ferreira; Ferreira; Tavares, 2022). Logo, compreender a dinâmica da MOS é um aspecto importante, sobretudo em regiões semiáridas (Hamdi *et al.*, 2011). O Semiárido brasileiro abrange uma extensão territorial de 980.133 km², dos quais cerca de 33,3 milhões de hectares (34,0%) correspondem a fins agrícolas (Brasil, 2015).

Segundo Midwood *et al.* (2021), a agricultura é considerada uma das indústrias de maior importância e um segmento essencial para todos os países, tendo em vista sua enorme contribuição para a renda nacional. A agricultura familiar é fundamental

no âmbito nacional, tendo em vista que seu desenvolvimento promove uma a produção de alimentos para o consumo interno. Assim, a agricultura familiar além de assegurar o sustento de inúmeras famílias, também gera empregos indiretos e proporciona a distribuição de renda (Oliveira *et al.*, 2017).

Contudo, a agricultura familiar em regiões semiáridas enfrenta desafios múltiplos e complexos, isso ocorre pelo declínio na produtividade associado a degradação dos recursos naturais (Rathore; Tanwar; Yadav, 2019). Somando a esses fatores, as ações antrópicas agravam esses problemas e como consequência, as regiões áridas e semiáridas são atingidas pela insegurança alimentar da população (Qader; Dash; Atkinson, 2018).

Uma pesquisa realizada no semiárido brasileiro, sob diferentes sistemas de uso e tipos de solo, avaliando os componentes lábeis e recalcitrantes do COS e a dinâmica da respiração do solo, em função do aumento de temperatura, observaram que a fração mais recalcitrante da MOS se mostrou mais sensível em função do gradiente de temperatura (Maia *et al.*, 2019). Ainda de acordo com os autores, o carbono da fração lábil na área de vegetação nativa foi mais sensível ao aumento de temperatura quando comparado às áreas agrícolas, no estudo.

2.7 Método de fracionamento químico da matéria orgânica do solo

Na fração estável da MOS destacam-se as substâncias húmicas que são descritas como misturas heterogêneas formadas por polieletrólitos provenientes da degradação biológica dos resíduos vegetais e animais. Assim, a fração estável da MOS é constituída pelas frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (Ferreira; Ferreira; Tavares, 2022).

Algumas décadas de estudos comprovaram que não é possível compreender os aspectos da MOS levando-a em consideração como uma entidade uniforme e única (Trumbore, 2009). Assim, a comunidade científica demonstra concordância quanto à necessidade de separar a MOS total em componentes que apresentam comportamentos distintos. As primeiras tentativas para separar a MOS ocorreu através de métodos de separação química que resultou no estudo de substâncias húmicas isoladas por meio de extrações alcalinas, contudo, o reconhecimento que as

substâncias provenientes eram subprodutos artificiais da extração da MOS começou a surgir na década de 1840 (Baveye; Wander, 2019).

Os métodos físicos de separação da MOS com base no tamanho ou densidade das partículas tomaram destaque, pois, com esse método eram produzidos de duas a quatro formas de MOS com comportamentos distintos (Cambardella; Elliott, 1992). Portanto, para avaliar as estruturas da MOS, é realizado um processo de fracionamento químico que separa as substâncias húmicas em ácido húmico, ácido fúlvico e humina.

Atualmente existem diversos métodos para fracionamento das SHs, a exemplo dos métodos Kononova, Dabin, Danneberg e Ullah, Schnitzer, Swift, Benites, purificação com ácido fluorídrico (HF), resina DAX-8, diálise e liofilização. Entretanto, a diferença existente entre esses métodos está relacionada a alguns fatores como: (i) uso de substâncias extratoras, (ii) relação massa da amostra/extrator, (iii) tempo de agitação e centrifugação e, (iv) formas de purificação (Canellas; Santos, 2005).

O método mais utilizado na comunidade científica é o fracionamento químico da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), ao qual recomenda como solução extratora padrão o hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de 0,5 ou 0,1 mol/L⁻¹ (Swift, 1996). Para extração das SHs, é necessário um tratamento inicial do solo com uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,1 mol/L⁻¹ para remover carbonatos e outros cátions polivalentes que podem comprometer a eficiência da extração da solução alcalina (Canellas; Santos, 2005).

2.8 Importância das substâncias húmicas para o solo e as plantas

As substâncias húmicas (SHs) são definidas como os produtos decompostos da biomassa da matéria orgânica, ao qual encontram-se em uma fase sem definição e não apresentam semelhanças morfológicas com as estruturas das quais foram derivadas (El-Ramady *et al.*, 2015). As SHs fornecem nutrientes para as plantas através da mineralização, que com ação química promove efeitos diretos no crescimento de plantas (Canellas *et al.*, 2015).

Pesquisas científicas mostram que os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e a humina contribuem para a melhoria do solo, remediação da poluição da água e do solo, essas condições ocorrem devido a algumas funções químicas e físicas

específicas das SHs que realizam ligações de metais-íons-moléculas, bem como biopolímeros, participação em reações redox, melhoria da estruturação do solo e retenção de água (Schwarzenbach; Gschwend; Imboden, 2017).

Santos *et al.* (2019) avaliando as frações e estoques de carbono e, nas substâncias húmicas sob o efeito do uso da terra em solos do semiárido brasileiro, observaram que as frações lábeis de C foram sensíveis aos diferentes usos do solo. Solos de regiões tropicais secas apresentaram predominância de compostos orgânicos de fácil mineralização, em função dos teores de carbono muito lábil.

Desse modo, a presença da fração mais lábil de carbono na recuperação de solos degradados pode promover a ciclagem de nutrientes, fornecendo alimento para atividade microbiana e reações bioquímicas no solo (Yuan *et al.*, 2018). Porém, uma maior labilidade de carbono em solos de regiões semiáridas pode promover perdas na MOS através da liberação de CO₂ (Ribeiro *et al.* 2016), como também por materiais lixiviados acumulados no subsolo (Sharma *et al.*, 2014).

2.9 Caracterização das substâncias húmicas por técnicas analíticas (LECO): Analisador de carbono e enxofre para materiais inorgânicos

Estudos a respeito da química das substâncias húmicas (SHs) bem como das suas funções no meio ambiente estão provavelmente relacionadas as áreas mais diversas das ciências (Assunção *et al.*, 2019). Isso está associado tanto a complexidade da formação das SHs como pelo complexo estrutural das SHs, que são definidos como entidades estruturais independentes (Zherebker *et al.*, 2016).

Dentre as principais características das SHs, a de destaque é sua heterogeneidade quanto a sua funcionalidade química, distribuição de tamanho molecular e composição elementar (Kang; Shin; Park, 2002). Mesmo a comunidade científica estudando há muitos anos, ainda há muito debate a respeito da estrutura química exata das macromoléculas das SHs, bem como seu peso molecular e sua gênese, em virtude da sua complexidade (Nasir *et al.*, 2011).

Alguns métodos destrutivos e não destrutivos foram usados para caracterizar as SHs, com o objetivo de fornecer informações tanto qualitativas como quantitativas sobre sua estrutura molecular das SHs. Diante dessa natureza, para determinar do Carbono Total (CT) e Enxofre encontrado no solo, se faz necessário a conversão de

todas as formas de carbono em CO₂. Sendo assim, é fundamental que a análise seja feita por meio de combustão via seca em analisador elementar (CHNS), a forma mais eficiente na determinação de carbono onde pode ser obtido toda a composição elementar, tendo em vista que a mesma não considera os diversos compartimentos e/ou origens no solo, principalmente para o carbono, onde o mesmo pode ter origens de materiais orgânicos e minerais (Silva, 2018; Fontana; Bianchi, 2017; Nasir *et al.*, 2011).

2.10 Pesquisas científicas com substâncias húmicas no Nordeste do Brasil

Em condições semiáridas, é difícil mensurar as alterações nos estoques de COT, essa problemática é devido à heterogeneidade relacionada com a estabilidade da fração orgânica do solo (Zhao *et al.* 2016).

Em pesquisa realizada no semiárido brasileiro, avaliando diferentes usos do solo (floresta tropical seca, sucessão florestal, regeneração secundária e milho não irrigado), as áreas de sucessão e regeneração, apresentaram maiores frações de carbono mais lábil. Contudo, observaram que o estoque de carbono da fração humina diminuiu entre 38 e 53% com os diferentes usos da terra, quando comparado com as áreas de floresta tropical seca, assim como também foi observado efeito dos diferentes usos da terra e da cobertura vegetal nas frações oxidáveis de carbono, os estoques de carbono e das frações húmicas, principalmente na camada de 0–5 cm (Santos *et al.*, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

O experimento foi realizado em três áreas localizadas na zona rural do município de Sumé-PB, sob as coordenadas geográficas 07° 39' sul e 36° 53' e altitude de 536 m (Tabela 1, Figura 2). A precipitação média anual para o município de Sumé no ano de 2023 foi de 584,9 mm, com período chuvoso entre os meses de fevereiro a abril, e seco entre os meses de agosto a novembro (AESA, 2024).

As áreas de estudo pertencem ao tipo climático “BSh”, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013), definida como clima úmido e seco tropical com estação seca, precipitação média anual para o tipo climático de 662 mm e temperatura média de 25° C.

Tabela 1: Coordenadas geográficas das áreas de estudo de Luvissolo Crômico, na área de Mata (AM), área de cultivo (AC) e área de Tecnossolo (AT) no município de Sumé/PB

Área de Estudo	Coordenadas Geográficas
AC	7°39'51.04"S; 36°53'55.84"W
AM	7°39'56.67"S; 36°54'07.58"W
AT	7°39'52.27"S; 36°54'04.83"W

Área de Mata: com de preservação há cerca de 10 anos; Área de cultivo: plantio de espécies anuais; Área de Tecnossolo: área degradada com a retirada de solo.

Figura 2: Mapa de localização das áreas avaliadas: área de mata nativa (AM), área de Tecnossolo (AT) e área de cultivo (AC), no município de Sumé/PB



Fonte: Google Earth (2024)

Foram selecionadas três áreas com diferentes sistemas de uso da terra, a saber (Tabela 2), o primeiro ambiente é uma área de Mata (AM), que se encontra há cerca de 10 anos em processo de regeneração natural sem uso e interferências antrópicas (Figura 3). O segundo ambiente é uma área atualmente degradada, um Tecnosolo (AT) onde foi retirado solo para construção de pistas de pouso (Figura 4).

Essa área (AT) foi utilizada como área de empréstimo (retirada de material), e essa ação exumou o saprólito, que vem sendo degradado paulatinamente pela ação de processos erosivos. Nessas áreas, é desafiador o manejo desses solos sem horizonte A e/ou B, onde os processos mineralógicos e geoquímicos exercem importante influência na recuperação desses ambientes ou mesmo para o manejo para fins agronômicos. Enquanto o terceiro ambiente é uma área de cultivo de espécies anuais (AC), com milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (Figura 5).

Tabela 2: Preparo e uso do solo, adubação, controle de plantas invasoras e pragas nas áreas de estudo nos últimos 10 anos.

Atividades	Área de Mata (AM)	Área de Tecnosolo (AT)	Área de Cultivo (AC)
Implementos no preparo do solo	Sem preparo do solo ou interferências antrópicas	Sem preparo do solo e com interferências antrópicas e retirada de camada superficial do solo	Com preparo do solo, com uso de implementos agrícolas
Modo de adubação	Solos sem adução mineral ou orgânica, sem interferência antrópica		Solo com adubação com esterco bovino, caprino e mineral
Preparo do solo	Sem preparo	Sem preparo	Utilização de aragem, com introdução de esterco bovino em área total e adubação mineral em cova
Uso da área	Área de conservação de mata (10 anos)	Local de retirada de solo e despejo de restos da produção de blocos de cimento e carvão	Plantio de milho, feijão, alface, berinjela, cebolinha e coentro
Manejo cultural		Sem manejo cultural	Manejo cultural com auxílio de implementos agrícolas manuais

Áreas AM e AT: sem manejo e adubação nos últimos dez anos; AC: com manejo e adubação nos últimos cinco anos.

Figura 3: Aspecto geral da vegetação na área de mata nativa (AM), no município de Sumé/PB



Fonte: SOUSA, E.G.A (2024)

Figura 4: Aspecto geral da vegetação na área de Tecnossolo (AT), no município de Sumé/PB



Fonte: SOUSA, E. G. A (2024).

Figura 5: Aspecto geral área de cultivo com milho (AC), no município de Sumé/PB



Fonte: SOUSA, E. G. A (2024).

3.2 Caracterização físico-química do solo

Em cada sistema de uso da terra foram coletadas aleatoriamente 15 amostras simples de solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, totalizando 45 amostras simples por área de estudo ($n=135$). Em cada uma dessas profundidades também foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos. Todas as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Mineralogia do Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCTI/PB) para análise dos atributos físicos e químicos dos solos e fracionamento químico da MOS (Figura 6).

Para a determinação das análises físicas foram utilizadas amostras das três áreas estudadas (AM, AT e AC). As amostras foram secas (TFSA), e posteriormente, realizadas as análises físicas e químicas dos solos segundo o Manual de Métodos de Análises de Solo (Teixeira *et al.*, 2017), já as análises granulométricas foram determinadas pelo método da EMBRAPA (1997). O método utilizado baseia-se na Lei de Stokes, ou seja, na taxa de sedimentação das partículas sólidas em água para as frações silte e argila e para a fração areia foi obtida por meio de peneiragem.

Figura 6: Coleta das amostras de solo nas áreas estudadas, município de Sumé/PB



Fonte: SOUSA, E. G. A (2024)

A fração argila foi separada por meio de sedimentação e os valores de silte por meio da diferença obtida, já a argila dispersa em água, foi utilizado a mesma metodologia das análises granulométricas, sendo adicionado água como dispersante químico (Teixeira *et al.*, 2017). Por fim, foram analisados os teores de umidade do solo (Tabela 3).

Tabela 3: Atributos físicos na camada de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, dos solos das áreas de Mata (AM), área de Tecnossolo (AT) e área de cultivo (AC), no município de Sumé/PB

Características	Unidades	Amostras	AM	AT	AC
Areia (NaOH)	g Kg ⁻¹	0 – 5	12,98	14,72	14,36
		5 – 10	12,78	15,02	12,13
		10 – 20	12,90	14,67	11,63
Argila (NaOH)	g Kg ⁻¹	0 – 5	0,11	0,07	0,10
		5 – 10	0,11	0,07	0,11
		10 – 20	0,31	0,26	0,12
Argila (H₂O)	g Kg ⁻¹	0 – 5	0,05	0,06	0,06
		5 – 10	0,05	0,05	0,09
		10 – 20	0,07	0,05	0,09

Cascalho	g Kg ⁻¹	0 – 5	53,45	53,21	45,70
		5 – 10	52,84	65,81	46,88
		10 – 20	71,89	77,71	33,62
Umidade	g Kg ⁻¹	0 – 5	14,53	4,72	5,09
		5 – 10	14,90	5,11	4,13
		10 – 20	16,52	7,20	7,13
Dens. do Solo	g cm ⁻¹	0 – 5	1,31	1,64	1,32
		5 – 10	1,31	1,58	1,54
		10 – 20	1,36	1,52	1,33
Porosidade	m ³ m ⁻³	0 – 5	0,50	0,38	0,50
		5 – 10	0,51	0,40	0,42
		10 – 20	0,51	0,40	0,42
Grau de Flocculação	g Kg ⁻¹	0 – 5	50,61	33,27	37,09
		5 – 10	51,45	26,67	19,79
		10 – 20	48,41	35,31	28,05

Área AM e AT: sem manejo e adubação nos últimos dez anos, e AC: com manejo e adubação nos últimos cinco anos.

Os atributos físicos realizados foram o pH (1:2,5, v/v) e condutividade elétrica (CE) (Teixeira *et al.*, 2017). O teor de carbono orgânico total (COT), foi determinado segundo Yeomans e Bremner (1988), o Carbono Total (CT) por oxidação por via úmida segundo Yeomans e Bremner (1988), enquanto o Carbono Total (CT) e Nitrogênio Total (NT) foram obtidos por meio de combustão via seca com o auxílio do analisador carbono e enxofre para materiais inorgânicos (LECO).

O teor de fósforo disponível (P) foi extraído com Mehlich-1 (CH₃COOH 0.2 mol l⁻¹, NH₄NO₃ 0.25 mol l⁻¹, NH₄F 0.015 mol l⁻¹, HNO₃ 0.013 mol l⁻¹ e EDTA 0.001 mol l⁻¹) (Mehlich, 1984). O potássio (K⁺), sódio (Na²⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), manganês (Mn), zinco (Zn²⁺), cobalto (Co³⁺) e ferro (Fe²⁺), foram determinados pelo método de Microwave Plasma (MP-AES); e Acidez potencial (H⁺+Al³⁺) – obtido com acetato de cálcio pH 7,0. A determinação do estoque de carbono das amostras de solo de cada área e de cada profundidade de solo estudado, foram calculados pela expressão de Veldkamp (1994), em que:

Est C = (COT x Ds x e)/10, onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha⁻¹)

COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹)

Ds = densidade do solo (kg.dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (dm)

Tabela 4: Atributos químicos nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em amostra simples, dos solos das áreas de mata nativa (AM), área de Tecnossolo (AT) e área de cultivo (AC), no município de Sumé/PB.

Características	Unidades	Amostras (cm)	AM	AT	AC
pH	1:2,5 (H ₂ O)	0 – 5	7,44	7,96	7,53
		5 – 10	7,61	7,93	7,57
		10 – 20	7,79	7,75	7,50
CE	1:2,5 (dS m ⁻¹)	0 – 5	1385,4	176,9	150,4
		5 – 10	937,7	151,3	126,8
		10 – 20	646,1	155,0	91,3
COT	g kg ⁻¹	0 – 5	33,55	16,05	19,45
		5 – 10	36,45	8,71	16,14
		10 – 20	31,85	6,58	11,94
CT	g kg ⁻¹	0 – 5	34,19	7,10	23,28
		5 – 10	39,10	6,60	17,64
		10 – 20	31,23	5,61	14,73
NT	g kg ⁻¹	0 – 5	2,51	0,85	2,69
		5 – 10	2,76	0,94	1,71
		10 – 20	2,55	0,65	1,82
P _{Mehlich-3}	mg kg ⁻¹	0 – 5	186,20	13,80	4,00
		5 – 10	201,20	5,44	1,96
		10 – 20	73,40	0,80	0,16
K ⁺ _{MP}	cmolc kg ⁻¹	0 – 5	2,36	0,20	0,77
		5 – 10	1,81	0,11	0,66
		10 – 20	1,09	0,06	0,73
H ⁺ + Al ³⁺	cmol kg ⁻¹	0 – 5	0,64	0,5	1,04
		5 – 10	0,5	0,72	1,06
		10 – 20	0,42	0,68	1,2
Na ⁺ _{MP}	cmolc kg ⁻¹	0 – 5	0,56	0,09	0,03
		5 – 10	0,55	0,12	NQ
		10 – 20	0,47	0,20	0,06
Ca ²⁺ _{MP}	cmolc kg ⁻¹	0 – 5	20,90	9,37	10,39
		5 – 10	19,96	9,27	8,83
		10 – 20	17,14	9,87	8,90
Mg ²⁺ _{MP}	cmolc kg ⁻¹	0 – 5	10,27	5,54	2,39
		5 – 10	10,35	5,77	2,30
		10 – 20	8,27	6,06	2,57
Al ³⁺ _{MP}	cmolc kg ⁻¹	0 – 5	10,92	12,85	15,10
		5 – 10	11,31	15,91	15,69
		10 – 20	12,30	16,33	16,78

Mn_{MP}	mg kg ⁻¹	0 – 5	184,26	106,15	221,33
		5 – 10	182,51	93,48	213,89
		10 – 20	176,51	95,96	218,93
Zn²⁺_{MP}	mg kg ⁻¹	0 – 5	26,79	1,49	2,50
		5 – 10	26,14	0,93	1,29
		10 – 20	18,76	0,34	1,19
Co³⁺_{MP}	mg kg ⁻¹	0 – 5	2,02	1,98	3,62
		5 – 10	2,10	1,84	3,84
		10 – 20	2,68	1,76	3,92
Fe²⁺_{MP}	mg kg ⁻¹	0 – 5	322,08	205,34	188,31
		5 – 10	330,12	197,63	169,79
		10 – 20	317,39	207,75	177,19

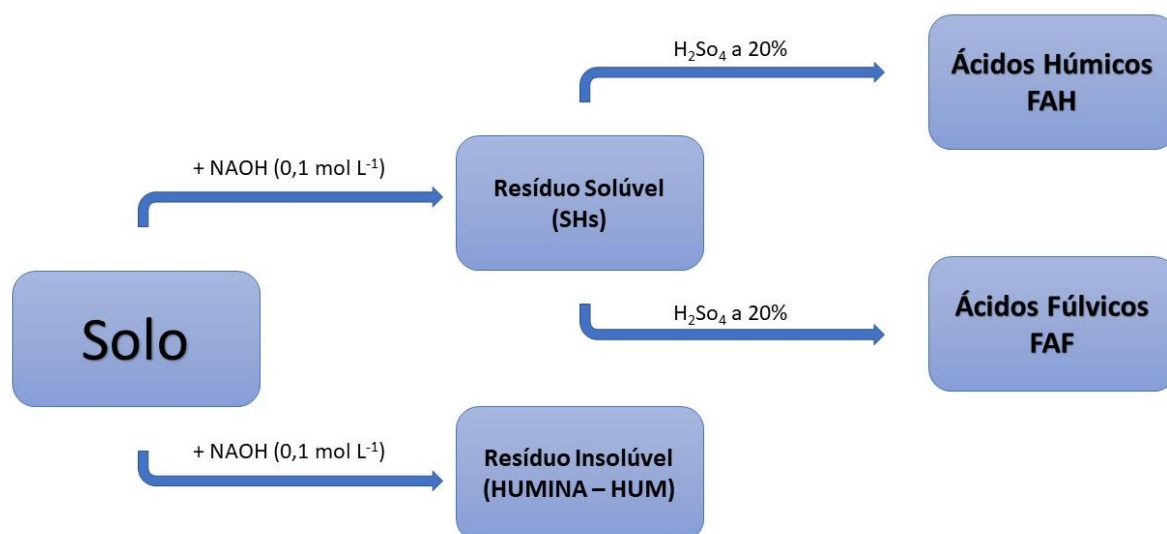
Área AC e AT sem manejo e adubação nos últimos dez anos, e AM com manejo e adubação nos últimos cinco anos. CE - condutividade elétrica; COT - carbono orgânico total; CT - carbono total; NT - nitrogênio total; P_{Mehlich-1} - fósforo extraível por Mehlich-1; Acidez potencial - extraível em calcário, MP - método de Microwave Plasma – AES.

3.3 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado em triplicata no Laboratório de Solos e Mineralogia do INSA (INSA/MCTI/PB) localizado no município de Campina Grande/PB, com base em conceitos e métodos desenvolvidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, adaptados por Benites, Madari e Machado (2003).

De acordo com a técnica de solubilidade diferencial, o ácido fúlvico (AF), o ácido húmico (AH) e a humina (HUM) foram separados, em seguida, o teor de C orgânico em cada extrato das frações foi determinado. De acordo com o conceito de fração de húmus estabelecido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996). Logo abaixo é demonstrado o processo de separação das frações orgânicas (Figura 7).

Figura 7: Infográfico do método de extração e fracionamento da matéria orgânica do solo



Fonte: Benites (2003)

3.4 Análises Estatística dos Dados

Os dados obtidos na caracterização dos atributos físico-químicos do solo, foram avaliados por meio de análise de variância e a comparação das médias foi efetuada com a aplicação do teste de Tukey a 5% de significância, com o auxílio do *software* SISVAR. Para elaboração dos gráficos, foi utilizado o *software* SIGMAPLOT.

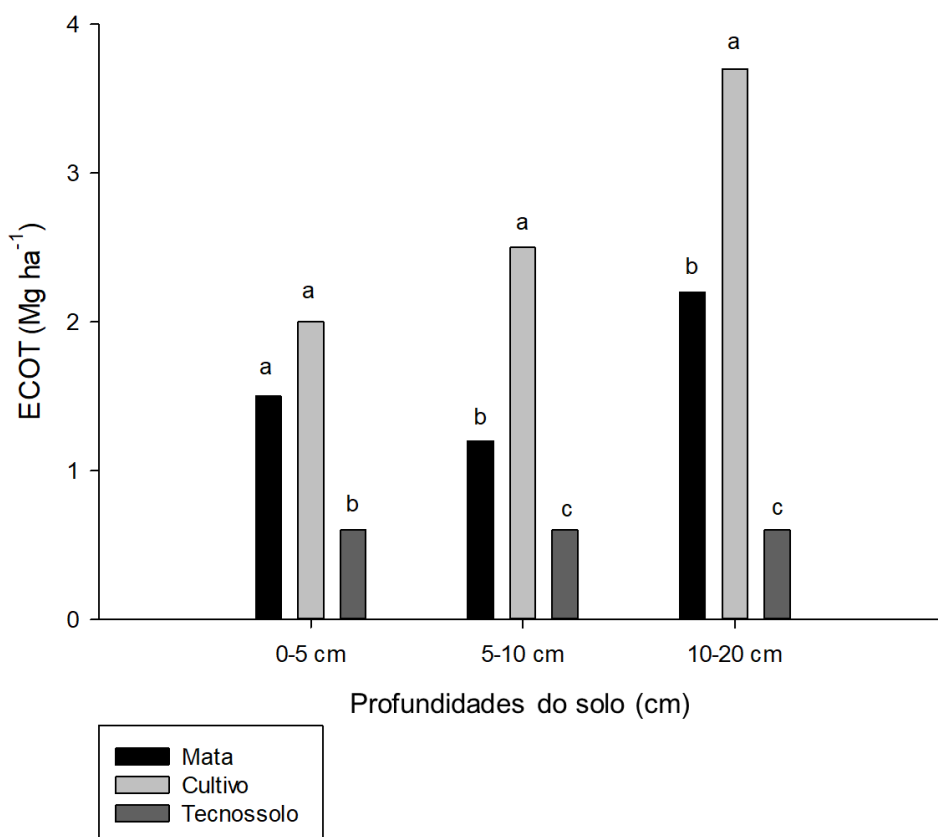
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estoque de Carbono Orgânico Total (ECOT)

Foi observado diferença estatística significativa ($p < 0,05$) no estoque de carbono orgânico total (ECOT) e nos teores de COT da fração humina entre as áreas e profundidades avaliadas (Figura 8). Os teores do estoque de COT nas três áreas variaram de 0,42 a 4,43 g kg⁻¹.

Os maiores estoques de COT na profundidade de 0 a 5 cm foram observados nas áreas de mata nativa (2,36 g kg⁻¹) e de cultivo (2,33 g kg⁻¹), enquanto a área de Tecnossolo apresentou os menores valores (0,95 g kg⁻¹). Contudo, a área de cultivo apresentou os maiores estoques de COT nas camadas de 5 a 10 cm (4,43 g kg⁻¹) e de 10 a 20 cm (2,96 g kg⁻¹), respectivamente.

Figura 8: Valores médios do estoque de carbono orgânico do solo (ECOT) nas áreas de mata nativa (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), em função da profundidade, no município e Sumé/PB



Araújo (2020), avaliando os estoques de carbono em solos com diferentes usos agrícolas em área de agricultura familiar, no Rio Grande do Norte, observou diferença entre as áreas. A área de uso com hortaliças e manejo agroecológico apresentou o maior estoque de COT ($6,85 \text{ g kg}^{-1}$).

Resultados que corroboram com os observados no presente estudo quanto ao maior ECOT foram encontrados por Lima (2023), avaliando solos sob diferentes sistemas de manejo. Conforme os resultados encontrados pelo autor supracitado, foi observado que a área de cultivo (mamão, melancia e tomate) apresentou valores superiores ($2,26$ a $2,9 \text{ g kg}^{-1}$) no ECOT em comparação com a área de vegetação nativa ($1,29 \text{ g kg}^{-1}$). Segundo Araújo (2020), maiores valores para ECOT em áreas de cultivo podem estar relacionados com as condições do solo e manejo adotado. Esses resultados corroboram com o presente estudo, onde a área de cultivo apresentou os maiores estoques de COT em relação às demais áreas de Mata e Tecnossolo.

Um fator que pode explicar os maiores estoques de COT na AC neste estudo é enfatizado por Silva (2022), em que áreas cultivadas com espécies de plantas gramíneas elevam o teor de carbono em solos arenosos. De acordo com Lima Filho *et al.* (2022), gramíneas como o milho (*Zea mays*), possuem um sistema radicular bastante ramificado e que podem atingir até $1,8 \text{ m}$ de profundidade, chegando a produzir cerca de 6 Mg ha^{-1} de matéria seca e de alta relação C/N.

Além disso, essas culturas promovem a rizodeposição de carbono, devido a elevada produção de matéria seca da parte aérea e relação C/N alta, o que explica os altos teores de ECOT encontrados na área de cultivo em todas as profundidades estudadas, assim como constatado por Silva (2022) e Thivierge *et al.* (2016).

Com relação aos baixos ECOT encontrados na área de Tecnossolo do respectivo estudo, é enfatizado por Barros (2020), onde afirma que a retirada da vegetação para transformar a área em sistemas agrícolas, queimadas, desmatamentos e revolvimento do solo, gera perdas acentuadas nos estoques de carbono orgânico total, particularmente nas camadas superficiais do solo (0 a 10 cm). Essa hipótese corrobora com o presente estudo, tendo em vista que a área de Tecnossolo utilizada para retirada de solo e construção de pistas de pouso, apresentou os menores teores para as variáveis analisadas.

Outras pesquisas também reforçam os resultados obtidos no presente estudo, como Barros, Chaves e Pereira (2015) e Oliveira *et al.* (2015) que observaram perdas

nos estoques de COT em solos na camada superficial (0 a 10 cm), devido ao aumento na densidade do solo nas camadas subsuperficiais (>20 cm), da retirada da biomassa e da rápida decomposição dos resíduos culturais.

4.2 Carbono das Substâncias Húmicas

Com relação ao carbono das substâncias húmicas (ácido fúlvico, ácido húmico e humina), em Luvisolo Crômico sob diferentes sistemas de uso em função da profundidade, constatou-se diferença estatística entre as áreas estudadas (Figura 9, 10 e 11). O teor de C contido nas substâncias húmicas (SHs) variou de 0,5 a 3,67 g kg⁻¹, sendo os maiores valores associados ao solo na área de cultivo. A fração humina foi predominante no carbono em todas as profundidades avaliadas nas três áreas.

A mesma condição ressaltada no ECOT, foi observada na fração humina para a área de cultivo (AC), que apresentou as maiores médias (3,67 g kg⁻¹) em todas as profundidades, enquanto a área de Tecnossolo demonstrou as menores médias (0,81 g kg⁻¹). A área de Tecnossolo é historicamente afetada por intervenções antrópicas, o que provavelmente contribuiu para redução nos estoques de COT nesse estudo.

Figura 9: Valores médios da frações da matéria orgânica do solo nas áreas de Mata (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), na profundidade de 0 a 5 cm, no município e Sumé/PB

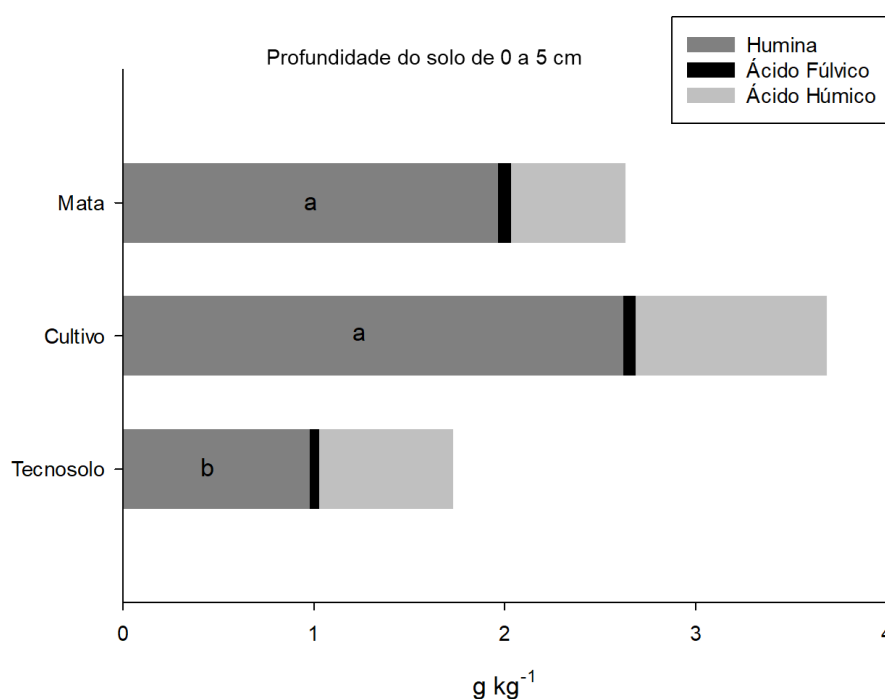


Figura 10: Valores médios da frações da matéria orgânica do solo nas áreas de Mata (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), na profundidade de 5 a 10 cm, no município e Sumé/PB

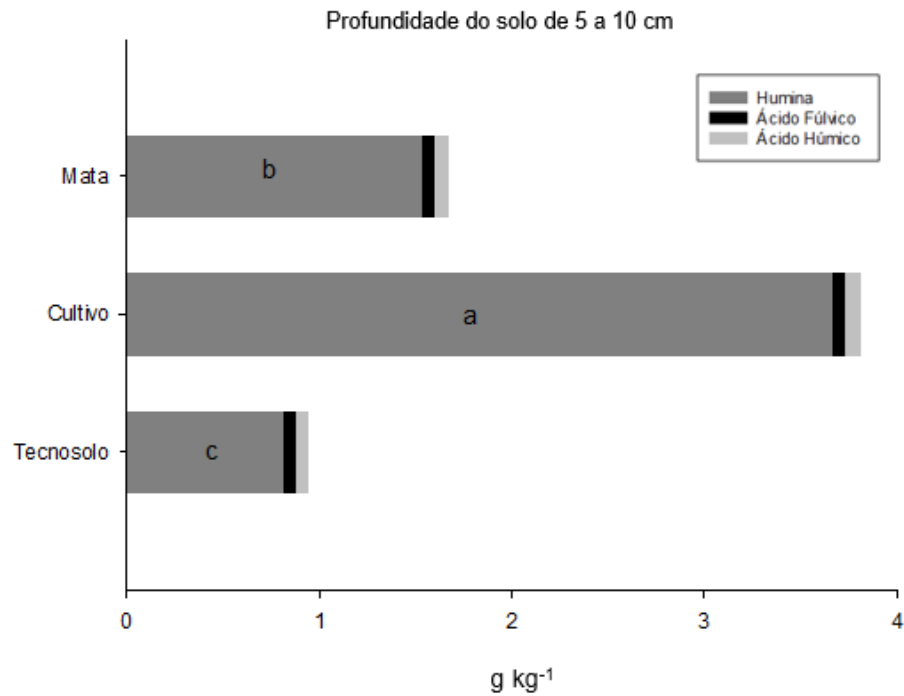
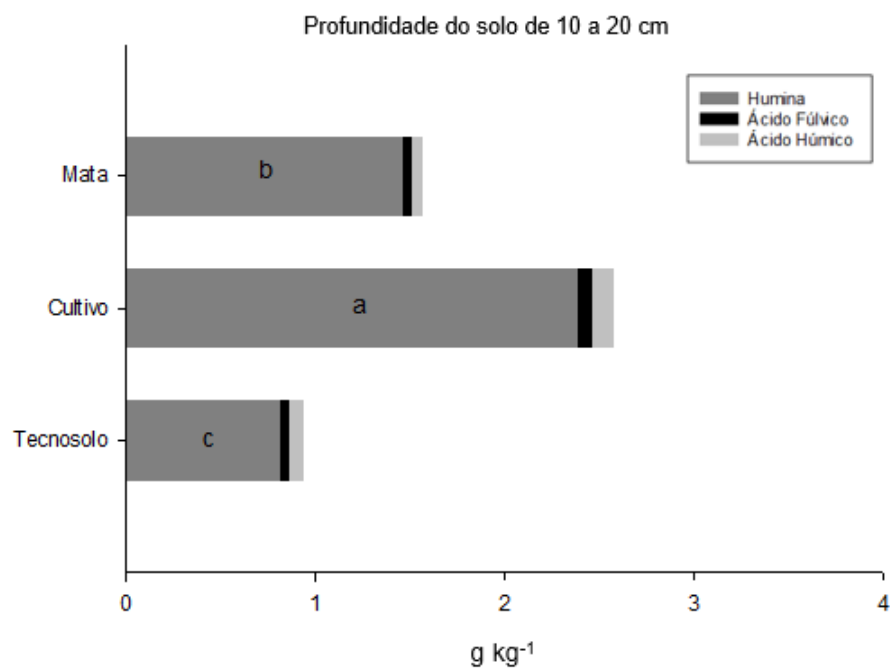


Figura 11: Valores médios da frações da matéria orgânica do solo nas áreas de Mata (AM), Tecnossolo (AT) e cultivo (AC), na profundidade de 10 a 20 cm, no município e Sumé/PB



A maior predominância do carbono da fração humina (C-HUM) foi observada em estudos em regiões semiáridas em solo arenoso submetido a diferentes culturas no Rio Grande do Norte (Silva, 2022), no Norte de Minas Gerais e Sudoeste da Bahia (Martins *et al.*, 2015), e em Sousa na Paraíba (Correa *et al.*, 2003). Os resultados obtidos por Silva (2022), apresentaram maior teor de C-HUM variando entre 0,48 a 5,89 g kg⁻¹, valores que se assemelham aos encontrados neste estudo.

Outras pesquisas também corroboram com os resultados obtidos no presente estudo, em que o C-HUM sobressaiu aos teores de ácidos húmicos (C-AH) e ácidos fúlvico (C-AF) encontrados nos solos (Barbosa *et al.*, 2020). De acordo com Clemente *et al.* (2018), a maior variação da fração humina pode ser atribuída a textura do solo, tendo em vista que solos argilosos possuem tendência de maior concentração da fração humina.

Em Luvisolos, ocorre o desenvolvimento mais significativo do horizonte B textural, associado a elevada atividade das partículas de argila e alta saturação por bases (Santos *et al.*, 2018; SiBCS, 2018; Saraiva, 2016). No entanto, o solo do presente estudo (Luvisolo Crômico), apresentou textura mais arenosa, com as maiores concentrações da fração areia em todas as áreas e profundidades, com valores variando entre 11,63 a 15,02 g kg⁻¹ (Tabela 2).

Giongo e colaboradores (2011) explicam que os solos predominantes no semiárido brasileiro em sua grande maioria são pouco intemperizados, com predominância da fração areia e baixos teores de óxidos de ferro e alumínio. Conforme enfatizam os autores, esses fatores interferem na proteção física do solo, que provocam a redução da estabilização da matéria orgânica do solo, que por sua vez limita o tempo médio de resistência do COS, especialmente e condições de área manejada.

A retirada da vegetação na área de Tecnossolo contribui com a redução do carbono orgânico na superfície do solo, condição também observada em estudo realizado por Chen *et al.* (2017). Outro efeito relado por Chen *et al.* (2017), com a retirada da vegetação nativa foi o aumento da temperatura no solo que gerou diminuição da proteção da matéria orgânica (Qin *et al.*, 2019). Esses fatores contribuem para uma maior mineralização da matéria orgânica do solo, o que também pode ter causado a redução no ECOT na área de Tecnossolo (Yu *et al.*, 2017, Zhao *et al.*, 2021).

A predominância do C-HUM em comparação com as demais frações de ácido húmico (C-AH) e fúlvico (C-AF) encontrados no presente estudo também foram relatados em diversos artigos, independentemente das profundidades estudadas e/ou do sistema de manejo adotado (Silva *et al.*, 2011; Primo *et al.*, 2011; Marinho *et al.*, 2018; Fontana *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2018).

A fração humina é capaz de formar complexos organominerais que apresentam maior resistência a decomposição em virtude da interação da matriz do solo. Essa maior resistência ajuda de forma positiva a estabilizar os grupos funcionais impedindo a ação dos organismos edáficos ao acesso do carbono, permitindo a manutenção das atividades da biota edáfica. Como resultado, o carbono encontra-se mais protegido da oxidação biológica e aumenta seu tempo de residência nos solos (Weber *et al.*, 2021). Outra característica da fração humina é sua insolubilidade, sendo composta por hidrocarbonetos alifáticos funcionais, formando baixa quantidade de carboidratos (Hayes; Mylote; Swift, 2017).

O C-AH foi superior aos ácidos fúlvicos apenas na profundidade de 0 a 5 cm (Figura 9), com maiores teores na área de cultivo de milho e feijão (AC). Os resultados do presente estudo corroboram com os valores encontrados em outros trabalhos ao qual atribuíram os maiores valores encontrados de C-AH ao uso do solo com intensa deposição de resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição e sob menor interferência antrópica (Pessoa *et al.*, 2012; Leite; Iwata; Araújo, 2015). Ainda de acordo com os autores citados, os maiores valores de C-AH podem indicar que o uso do solo está formando estruturas mais complexas, polimerizadas e estabilizadas.

Os complexos orgânicos recalcitrantes são compostos de estrutura molecular complexa, com cores variando de amarelo a castanho, elevada reatividade de grupos funcionais e CTC, e baixo peso molecular (Stevenson, 1994). A manutenção do COT e das substâncias húmicas está relacionada com o balanço entre a entrada e saída de carbono, sendo influenciados diretamente pela qualidade e quantidade dos resíduos orgânicos, dos exsudados radiculares, da biomassa radicular, da respiração microbiana e adubação (Benbi *et al.*, 2015). Diante disso, diversos estudos retratam sobre a importância da manutenção da diversidade de cultivos (Schaak *et al.*, 2023), da incorporação de resíduos orgânicos provenientes da propriedade (Olagoke *et al.*, 2022), do acúmulo de serrapilheira em áreas de vegetação nativa preservada, a exemplo de florestas de Caatinga (Moura *et al.*, 2016).

5 CONCLUSÕES

- A degradação reduz significativamente os teores e estoque de carbono em diferentes camadas dos solos e na fração humina, isso se deve ao desbalanceamento na entrada e saída dos resíduos orgânicos nessa área;
- Teores mais elevados de carbono orgânico total ocorre na fração humina na área de cultivo de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) principalmente nas camadas de 5-20 cm. em comparação as demais áreas estudadas, e da insolubilidade da fração humina que forma compostos de maior complexidade;
- Os maiores estoques de carbono orgânico total e da fração humina na área de cultivo podem estar relacionados com o manejo do solo, o sistema de cultivo e da adição de resíduos orgânicos produzidos pelas culturas adotadas.

REFERÊNCIAS

- ABBT-BRAUN, G.; LANKES, U.; FRIMMEL, F.H. Structural characterization of aquatic humic substances—the need for a multiple method approach. **Aquatic Sciences**, v.66, p.151–70, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00027-004-0711-z>. Acesso em: 30 nov. 2023.
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **AESA**. Governo da Paraíba. 2024. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>. Acesso em: 30 Jan 2024.
- ALBAJI, M.; P. PAPAN, M. HOSSEINZADEH.; BARANI, S. Evaluation of land suitability for principal crops in the Hendigan region. **International Journal of Modern Agriculture**, v.1, n.1, p.24-32, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.17762/ijma.v1i1.3>. Acesso em: 01 dez. 2023.
- ALCAÑIZ, M.; OUTEIRO, L.; FRANCOS, M.; ÚBEDA, X. Effects of prescribed fires on soil properties: A review. **Science of the Total Environment**, p. 613–614, 944–957, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.144>. Acesso em: 01 dez. 2023.
- ALENCAR, M. L. S. **Os sistemas Hídricos, o bioma Caatinga e o Social na bacia do Rio Sucuru: Riscos e Vulnerabilidades**. 2008. 157p, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_1f1ef917c8c764d8bfe0bf81f22c3a5f. Acesso em: 01 dez. 2023.
- ALMEIDA, C. A.; DE OLIVEIRA, A. F.; PACHECO, A. A.; LOPES, R. P.; NEVES, A. A.; QUEIROZ, M.E.L.R. Characterization and evaluation of sorption potential of the iron mine waste after Samarco dam disaster in Doce River basin Brazil. **Chemosphere**, v.209, p.411-420, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.071>. Acesso em: 22 abr. 2024.
- ALMEIDA, C. L. D.; ARAÚJO, J. C. D.; COSTA, M. C. G.; ALMEIDA, A. M. M. D.; ANDRADE, E. M. D. Fallow reduces soil losses and increases carbon stock in Caatinga. **Floresta e Ambiente**, p.24, 1-10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.017516>. Acesso em: 01 dez. 2023
- ALVES, M.A.B.; SOUZA, A.P.; ALMEIDA, F.T.; HOSHIDE, A.K.; ARAÚJO, H.B.; SILVA, SILVA, A.F.; CARVALHO, D.F. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment. **Sustainability**, v.15, n.6, p.1-21, 2023. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v15y2023i6p4954-d1093638.html>. Acesso em: 01 dez. 2023
- AMUNDSON, R.; BIARDEAU, L. Opinion: Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.115, n.46, p.11652–11656, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1815901115>. Acesso em: 01 dez. 2023

ANABA, B. D.; YEMEFACK, M.; ABOSSOLO-ANGUE, M.; NTSOMBOH-NTSEFONG, G.; BILONG, E.G.; EBONGUE, G.F.N.; BELL, J.M. Soil texture and watering impact on pot recovery of soil-stripped oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings. **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05310, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05310>. Acesso em: 01 dez. 2023

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica**, v.5, n.5, 2011. Disponível em: <https://www.publicacoes.unirios.edu.br/index.php/revistarios/article/view/617>. Acesso em 01 dez. 2023

ASSUNÇÃO, S.A.; PEREIRA, M.G.; ROSSET, J.S.; BERBARA, R.L.L.; GARCÍA, AC. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of The Total Environment**, v.658, p.901-911, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BARBOSA, E.D.; MELO, R.E.; PIMENTA, R.M.B.; ABREU, E.D.; OLIVEIRA, L.J.; SOUZA JÚNIOR, J.H.; ALVES, M.F.A.T.; FERREIRA, R.C.; LOPES, M.H.L.; SILVA, A.E.B. Tecnologia alternativa para a produção de mudas de moranga com a utilização de substâncias húmicas no semiárido baiano. **Research, Society and Development**, v. 11,n.16, e465111638171, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/38171/31844>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BARBOSA, T.D.C.S.; LACERDA, C.F.; BARBOSA, F.E.L.; BRAZ, R.S.; COSTA, M.C.G.; Carbon and chemical fractionation of soil organic mater in irrigated banana plantation subjected to conservation practice. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.6, p.42049-42063, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-661>. Acesso em: 03 maio 2024.

BARROS, D.R.S. **Impactos dos sistemas agrícolas e postagem nos estoques de carbono, nitrogênio e qualidade do solo no Semiárido brasileiro**. 2020. 147f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/7188>. Acesso em: 23 abr. 2024

BARROS, J.D.S.; CHAVES, L.H.G.; PEREIRA, W.E. Carbon and nitrogen stocks under diferente management systems in the Paraiban “Sertão”. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.130-136, 2015. https://academicjournals.org/article/article1421158492_Barros%20et%20al.pdf. Acesso em: 23 abr. 2024.

BAUDE, M.; MEYER, B. C.; SCHINDEWOLF, M. Land use change in an agricultural landscape causing degradation of soil based ecosystem services. **Science of The Total Environment**, v. 659, p. 1526–1536, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.455>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BAVEYE, P. C.; WANDER, M. The (bio)chemistry of soil humus and humic substances: Why is the “new view” still considered novel after more than 80 years? **Frontiers in Environmental Science**, v.7, p.35-36, 2019. Disponível em:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00027>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BELARMINO, M. R. A. **Adaptações vegetacionais da caatinga à seca:** concepções dos alunos de uma escola pública do município de Damião-PB. 2017. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso 9Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2017. Disponível em:<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/7337>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BENBI, D.K.; BRAR, K.; TOOR, A.S.; SINGH, P. Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. **Geoderma**, v.237–238, p.149-158, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.002>. Acesso em: 03 maio 2024.

BLANCO-CANQUI, H.; SCHLEGEL, A. J.; HEER, W. F. Soil-profile distribution of carbon and associated properties in no-till along a precipitation gradient in the central Great Plains, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 144, p. 107-116, 2011. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.004>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Matéria orgânica do solo. *In*: BRADY, N.C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 11, p. 398-436.

BRASIL. MCTI. **Emissões no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas:** relatório de referência. Brasília: MCTI, 2015. 343 p. (Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2017/08/RR_EMITSOES_E_REMOCOES_DO_SETOR_DE_USO_DA_TERRA_E_FLORESTAS_2011_A_2015_CONSULTA-2_JLC.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023. Acesso em: 22 abr. 2024.

BUCH, A. C.; NIEMEYER, J. C.; MARQUES, E. D.; SILVA-FILHO, E. V. Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. **Journal of Hazardous Materials**, v.403, p.123852, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123852>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777–783, 1992. Disponível em:<https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CAMPOS, M. C. C.; JUNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Revista Ciência Rural**, v.38, n.4, p.974-980, 2008. Disponível em:<https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400011>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; DAVEY, L.; JONES, D.L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Science Horticulturae**, v.196, p.1-5, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CANELLAS, L.; ZANDONADI, D.B.; BUSATO, J.; BALDOTTO, M.A.; SIMÕES, M.L.; MARTIN-NETO, L.; FAÇANHA, A.; SPACCINI, A. PICCOLO, A. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. **Soil Science**, v.173, n.9, p.24–637, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181847ebf>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. **Humosfera**: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, 2005. 345p.

CASTRO, G.C.; VIEIRA, C.R.; WEBER, O.L.S. Carbono orgânico e nitrogênio total nas frações granulométricas e húmicas em solos sob diferentes texturas. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 575- 581, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i6.5378>. Acesso em 30 nov. 2023.

CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G.X.; MUNIZ, F.H.; VARGA, I.D.; MARTINEZ, C.; CARNEIRO, M.S.; MIRANDA, M.V.C.; BARRO, M.N.R.; FREITAS, L.; NARVAES, I.S.; ADAMI, M.; GOMES, A.R.; RODRIGUES, J.C.; MARTINS, M.B. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land Use**, v.68, p.692-698, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.041>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M.T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.W.; SILVA, R.F.; SILVA, V.R.; BASSO, C.J. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20140462>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CLEMENTE, E.P.; OLIVEIRA, F.S.; MACHADO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R. Fracionamento da Matéria Orgânica e Micromorfologia dos Solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v.36, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.147796>. Acesso em: 20 abr. 2024.

CORRÊA, G.R.; ROSA, G.P.; CAMPOS, M.L.F.C.; BERNARDES, G.M.P.; SANTOS, F.M.F.; KOCH, V.A.; NASCIMENTO, D.C. Relação solo-ambiente em área degradada por voçoroca no Triângulo Mineiro, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.24, n.3, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2384>. Acesso em 13 abr. 2024.

CORRÊA, A.C.B.; TAVARES, B.A.C.; LIRA, D.R.; MUTZENBERG, D.S.; CAVALCANTI, L.C.S. The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil. In: SALGADO, A., SANTOS, L., PAISANI, J. (eds) **The Physical Geography of Brazil**. Geography of the Physical Environment. Springer, 2019. p.119-150. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_7. Acesso em: 30 nov. 2023.

CORRÊA, M. M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A.; BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.311-324, 2003. Disponível em:<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200011>. Acesso em: 20 abr. 2024.

COTRUFO, M. F.; RANALLI, M.G.; HADDIX, M.L.; SIX, J.; LUGATO, E. Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 12, p. 989–994, 18 nov. 2019. Disponível em:<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; HAND, D.W.; HOWE, K.J.; TCHOBANOGLIOUS, G. **MWH's water treatment: principles and design**. (3 ed.). Hoboken: John Wiley & Sons. 2012. 1901p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3, p. 201–214, 1 jun. 2004. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>. Acesso em: 02 nov. 2023.

EL-RAMADY, H.R.; ABDALLA, N.; ALSHAAL, T.; ELHENAWY, A.S.; SHAMS, M.S.; SALAH, E.D.A.F.; BELAL, E.-S.B.; SHEHATA, S.A.; RAGAB, M.I. AMER, M.M. Giant reed for selenium phytoremediation under changing climate. **Environmental chemistry letters**, v.13, n.4, p.359-380, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-015-0523-5>. Acesso em: 30 nov. 2023.

FERREIRA, G.C.; FERREIRA, C.S.; TAVARES, R.M. Frações da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio direto e integração lavoura pecuária no cerrado goiano. **Universidade do Rio Verde, ANAIS XVI CICURV**, p.1-4, 2022. Disponível em: <http://revistas.unirv.edu.br/index.php/cicurv/article/view/69/106>. Acesso em: 30 nov. 2023.

FIDALSKI, J.; TORMENA, A. C.; ALVES, J. S. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de brachiaria ruziziensis, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 775–783, 2013. Disponível em: 10.1590/S0100-06832013000300024. Acesso em: 30 nov. 2023.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; BERNINI, T.A.; ANJOS, L.H.C.; WADT, P.G.S.; SANTOS, L.L. Compartimentos da Matéria Orgânica de Solos sob Floresta no Estado do Acre. **Revista Floresta Ambiente**, v. 24, p. 2-8, 2017. Disponível em:<https://doi.org/10.1590/2179-8087.057113>. Acesso em: 22 abr. 2024.

FRANK, D.; REICHSTEIN, M.; BAHN, M.; THONICKE, K.; FRANK, D.; MAHECHA, M.D.; SMITH, P. Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. **Global Change Biology**, v. 21, n. 8, p. 2861–2880, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12916>. Acesso em: 30 nov. 2023.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da paraíba utilizando sistema de informações geográficas**. 2010. Dissertação (Mestrado em manejo de Solo e Água) – Universidade Federal da Paraíba Areia, PB. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/572883>. Acesso em: 30 nov. 2023.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.36, p.909-920, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>. Acesso em: 23 abr. 2024.

GIONGO, V.; FREITAS, M.S.C.; FREITAS, R.C.A.; FREITAS, A.D.S.; TAURA, T.A.; LEITE, L.F.C. Matéria orgânica do solo em sistemas de produção integrados no Nordeste brasileiro. IN: **Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste**. SOUZA, H.A LEITE; L.F.C; MEDEIROS, J.C. (Ed.). Embrapa Brasília, DF, 2021. p. 81-112.

HADDIX, M. L.; GREGORICH, E.G.; HELGASON, B.L.; JANZEN, H.; ELLERT, B.H.; COTRUFO, M.F. Climate, carbon content, and soil texture control the independent formation and persistence of particulate and mineral-associated organic matter in soil. **Geoderma**, v. 363, p. 114160, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114160>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HAMDI, S.; CHEVALLIER, T.; AÏSSA, N.B.; HAMMOUDA, M.B.; GALLALI, T.; CHOTTE, J-L.; BERNOUX, M. Short-term temperature dependence of heterotrophic soil respiration after one-month of pre-incubation at different temperatures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 9, p. 1752–1758, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.025>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HAYES, M.H.B.; MYLOTTE, R.; SWIFT, R.S. Humin: its composition and importance in soil organic matter. **Advances in Agronomy**, v.143, p. 47-138, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.001>. Acesso em: 20 abr. 2024.

KANG, K.H.; SHIN, H.S.; PARK, H. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different ages and implications. **Water Research**, v.36, n.16, p.4023–32, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00114-8). Acesso em: 30 nov. 2023.

KV, U.; KM, R.; NAIK, D. Role of soil physical, chemical and biological properties for soil health improvement and sustainable agriculture. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 5, p. 1256–1267, 2019. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue5/PartX/8-5-230-782.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2023.

INDORIA, A. K.; SHARMA, K. L.; REDDY, K. S. Propriedades hidráulicas do solo sob clima quente. **Mudanças Climáticas e Interações com o Solo**. p. 473–508, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00018-7>. Acesso em: 30 nov. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **INSA**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br>. Acesso em: 30 Jan 2024.

LACERDA, A. V.; BARBOSA, F. M.; DORNELAS, C. M. S.; GOMES, A. C.; LIMA, L. H. LACERDA, A. V.; NORDI, N.; BARBOSA, F. M.; WATANABE T. Levantamento florístico do componente arbustivo- arbóreo da vegetação ciliar na bacia do rio Taperoá, PB, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.19, n.3, p. 647-656. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300027>. Acesso em: 30 nov. 2023.

LAMBAIS, E.O.; NASCIMENTO, M.M.B.; MACEDO, R.S.M.; SOUZA, R.F.S.; SOUZA, S.L.; SOUSA, C.S.; LAMBAIS, G.R. BAKKER, A.O. Atividade microbiana e carbono orgânico do solo em agroecossistemas sob diferentes manejos no semiárido paraibano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.412-427, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0035>. Acesso em: 30 nov. 2023.

LAVALLEE, J. M.; SOONG, J. L.; COTRUFO, M. F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. **Global Change Biology**, v. 26, n. 1, p. 261–273, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>. Acesso em: 30 nov. 2023.

LEITE, L.F.C.; FERREIRA, J.S.; VELOSO, M.E.C.; MOUSINHO, F.E.P.; OCHA JÚNIOR, A.F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.394–401, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p394-401>. Acesso em: 20 abr. 2024.

LI, J.; HUANG, L.; ZHANG, J.; COULTER, J.A.; LI, L.; GAN, Y. Diversifying crop rotation improves system robustness. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0584-0>. Acesso em: 30 nov. 2023

LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Eds). **Adução verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: EMBRAPA; v.1, 507p. 2014

LOZANO-GARCÍA, B.; MUÑOZ-ROJAS, M.; PARRAS-ALCÁNTARA, L. Climate and land use changes effects on soil organic carbon stocks in a Mediterranean semi-natural area. **Science of The Total Environment**, v. 579, p. 1249–1259, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.111>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MA, X.; ASANO, M.; TAMURA, K.; ZHAO, R.; NAKATSUKA, H.; WUYUNNA, WANG, T. Physicochemical properties and micromorphology of degraded alpine meadow soils in the Eastern Qinghai-Tibet Plateau. **CATENA**, v. 194, p. 104649, 2020. Disponível em: [Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104649](https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104649). Acesso em: 30 nov. 2023.

MAIA, S. M. F.; GONZAGA, G.B.M.; SILVA, L.K.S.; LYRA, G.B.; GOMES, T.C.A. Soil organic carbon temperature sensitivity of different soil types and land use systems in the Brazilian semi-arid region. **Soil Use and Management**, v. 35, n. 3, p. 433–442, 2019. <https://doi.org/10.1111/sum.12508>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MARINHO A.C.C.S.; JC PORTELA, J.C.; SILVA, E.F.; DIAS, N.S.; SOUSA JÚNIOR, F.S.; SILVA, A.C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal Crop Science**, v. 10, n.1, p. 32-41, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n321rc>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MARTINS, K.B.S.; SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S.; LEITE, A.P.; MONTEIRO, M.M. Reflectância, variação da temperatura e conteúdo de água do solo em caatinga degradada na Paraíba. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 5, n. 2, 2024. <https://www.rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/138/0>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MARTINS, C. M.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SOARES, E.M.B.; SANTOS, S.R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, v.28, n.4, p.10-20, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n402rc>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MEDEIROS, A.S.; MAIA, S.M.F.; SANTOS, T.C.; GOMES, T.C.A. Perdas e ganhos de carbono orgânico do solo em campos do semiárido brasileiro. **Scientia Agrícola**, 78: e20190076, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0076>. Acesso em: 23 abr. 2024.

MEDEIROS, A.S.; MAIA, S.M.F.; SANTOS, T.C.; GOMES, T.C.A. Perdas de carbono do solo em sistemas agrícolas convencionais devido à mudança no uso da terra na região semiárida brasileira. **Agricultura, Ecosistemas e Meio Ambiente**, v.287, p.1-9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>. Acesso em: 23 abr. 2024.

MOORE, P.A.; LUKENBACH, M. C.; KETTRIDGE, N.; PETRONE, R. M.; DEVITO, K.J.; WADDINGTON, J. M. Peatland water repellency: Importance of soil water content, moss species, and burn severity. **Journal of Hydrology**, v.554, p.656-665, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.036>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MOURA, P.M.; ALTHOFF, T.D.; OLIVEIRA, R.A.; SOUTO, J.S.; SOUTO, P.C.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosyst**, v.105, p.25–38, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-016-9771-4>. Acesso em: 03 maio 2024.

MIKUTTA, R.; TURNER, S.; SCHIPPERS, A.; GENTSCH, N.; MEYER-STÜVE, S.; CONDRON, L.M.; PELTZER, D.A.; Richardson, S.J.; Eger, A.; Hempel, G.; Kaiser, K.; Klotzbücher, T.; Guggenberger, G. Microbial and abiotic controls on mineral-associated organic matter in soil profiles along an ecosystem gradient. **Scientific**

Reports, 9, 1–9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46501-4>. Acesso em: 30 nov. 2023.

NASIR, S.; SARFARAZ, T.B.; VERHEYEN, T.V.; CHAFFEE, A.L. Structural elucidation of humic acids extracted from Pakistani lignite using spectroscopic and thermal degradative techniques. **Fuel Process Technol**, v.92, n.5, p.983–91, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.12.020>. Acesso em: 30 nov. 2023.

NASCIMENTO, R. S.; SALAME, M. F. A. **Sistema de Interpretação de Informações do Solo para Tomada de Decisão Estratégica na Produção de Mandioca no Amazonas**. Anais da XII Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Ocidental, Brasília-DF, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047696/sistema-de-interpretacao-de-informacoes-do-solo-para-tomada-de-decisao-estrategica-na-producao-de-mandioca-no-amazonas>. Acesso em: 02 dez. 2023.

OLAGOKE, O.V.; BABANIYI, G.G.; AFOLABI, F.J.; BABANIYI, B.R. Soil Microbial Enzymes and Mitigation of Heavy Metal Uptake by Plants. In: MADDELA, N.R.; ABIODUN, A.S.; PRASAD, R. (eds) *Ecological Interplays in Microbial Enzymology*. **Environmental and Microbial Biotechnology**, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0155-3_11. Acesso em: 02 maio 2024.

OLIVEIRA FILHO, S. J.; Vieira, J.N.; Silva, E.M.R.; Oliveira, J.G.B.; Pereira, M.G.; BRASILEIRO, F.G. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: Evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal of Arid Environments**, v. 166, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.03.006>. Acesso em: 30 nov. 2023.

OLIVEIRA, A.N.; OLIVEIRA, A.N.; SILVA, K.R.; SILVA, L.J.A.; MELLO, A.H. Atributos Químicos de Solo Sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Projeto de Assentamento Veneza - São Domingos do Araguaia, PA. **Agroecossistemas**, v.9, n.1, p.170-179, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v9i1.4781>. Acesso em: 30 nov. 2023.

OLIVEIRA, S.P.; LACERDA, N.B.; BLUM, S.C.; ESCOBAR, M.E.O.; OLIVEIRA, T.S. Organic carbon and nitrogen stocks in soils of northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. **Land degradation & Development**, v.26, p.9-21, 2015. <https://doi.org/10.1002/ldr.2264>. Acesso em: 23 abr. 2024.

PESSOA, P.M.A.; DUDA, G.P.; BARROS, R.B.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; CORREA, M.M. Frações de carbono orgânico de um latossolo húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100011>. Acesso em: 03 maio 2024.

PEREIRA, A. P. A.; MENDES, L. W.; OLIVEIRA, F. A. S.; ANTUNES, J. E. L.; MELO, V. M. M.; ARAÚJO, A. S. F. Land degradation affects the microbial communities in the Brazilian Caatinga biome. **Catena**, v. 211, 105961, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105961>. Acesso em: 30 nov. 2023.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p.2-13, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/342>. Acesso em: 22 ago. 2017

PROSDOCIMI, M.; JORDÁN, A.; TAROLLI, P.; KEESSTRA, S.; NOVARA, A.; CERDÀ, A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 223 – 330, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.076>. Acesso em: 02 dez. 2023.

QADER, S.H.; DASH, J.; ATKINSON, P.M. Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. **Sci Total Environ**, v.613, p.250-262, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3sqWCKp>. Acesso em: 02 dez. 2023.

QIN, Y.; YI, S.; DING, Y.; ZHANG, W.; QIN, Y.; CHEN, J.; WANG, Z. Effect of plateau pika disturbance and patchiness on ecosystem carbon emissions in alpine meadow in the northeastern part of Qinghai–Tibetan Plateau. **Biogeosciences**, v.16, n.6, p.1097–1109. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-16-1097-2019>. Acesso em: 22 abr. 2024.

RATHORE, V.S.; TANWAR, S.P.S.; YADAV, O.P. Integrated Farming System: Key to sustainability in arid and semi-arid regions. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.89, n.2, p.181–92, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2VVLmR4>. Acesso em: 02 dez. 2023.

RIBEIRO, K.; SOUSA-NETO, E.R.; CARVALHO JUNIOR, J.A.; LIMA, J.R.S.; MENEZES, R.S.C.; DUARTE-NETO, P.J.; GUERRA, G.S.; OMETTO, J.P.H.B. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian caatinga. **Science of the Total Environment**, v.571, p.1048–1057, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.095>. Acesso em: 30 nov. 2023.

RIBEIRO, G. N. **Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé-PB**. 2014. 128f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola_ - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/29644>. Acesso em: 30 nov. 2023.

RODRIGUES, M.S.; SOUZA, C.; LIMA, D.D.; SILVA, S.D.P.; ALVES, D.C.; MACHADO, N.S. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida brasileira. **Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 139-144, 2016. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672016000100013&lng=en&tling=en. Acesso em: 30 nov. 2023.

SANDERMAN, J.; HENGL, T.; FISKE, G.J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v.114, n.36, p.9575–9580, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>. Acesso em 30: nov. 2023.

SANTANA, M. S.; ANDRADE, E. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FERREIRA, T. O.; SALVIANO, A. M.; SILVA, D. S.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V. Do agroecosystems change soil carbono and nutriente stocks in a semiarid environment. **Journal of Arid Environments**, v. 201, 104747, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104747>. Acesso em: 02 dez. 2023.

SANTOS, M.P.A.; SOUSA, J.H.S.; NASCIMENTO, A.A.; RIBEIRO, G.N.; PRADO JÚNIOR, L.S.; OLIVEIRA NETO, J.N. Volume hídrico por processamento digital de imagens de açude público em Sumé, Paraíba. **Revista Verde**, v.17, n.3, p.215-220, 2022. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8712672>. Acesso em: 02 dez. 2023.

SANTOS, U. J.; SAMPAIO, S. B. E. V.; ANDRADE, E. M. Nitrogen stocks in soil classes under different land uses in the Brazilian semiarid region. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 1621-1630, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00466-4>. Acesso em 02 dez. 2023.

SANTOS, C.A.G., NASCIMENTO, T.V.M., SILVA, R.M. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental Earth Science**, v.79, p.418, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-020-09158-1>. Acesso em: 02 dez. 2023.

SANTOS, U.J.; DUDA, G.P.; MARQUES, M.C.; MEDEIROS, E.V.; LIMA, J.R.S.; SOUZA, E.S.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C. Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil. **Arid Land Research and Management**, v.33, n.3, p. 255-273, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/15324982.2018.1555871>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SANTOS, J. T. A. **Produção de leite de cabras mestiças em uma propriedade rural no município de Sumé-PB**. 2019. 19f. Trabalho para a obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/11622> Acesso em 24 jan. 2024

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. (5 ed.) Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p

SANTOS, G.O.; HERNÁNDEZ, F.B.; FERRAUDO, A.S.; VANZELA, L.S.; SANTOS, D.J.O. Um estudo do impacto do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia através de estatísticas multivariadas. **Engenharia Agrícola**, v.37, p.453–462, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040103>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SANTOS, R. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; EISENLOHR, P. V.; QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D. B. O. S.; RODAL, M. J. N. Identity and relationships of the Arboreal Caatinga among other floristic units of seasonally dry tropical forests (SDTFs) of north-eastern and Central Brazil. **Ecology and Evolution**, v.2, p409–428, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.91>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SARAIVA, S. A. **Caracterização de Luvissolos, Neossolos Regolíticos e Planossolos ao longo de um gradiente pluviométrico no Semiárido brasileiro**. 2016. 91f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/25535/1/SMS06122022-TS030.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SCHAD, P. Technosols in the World Reference Base for Soil Resources history and definitions. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.64, n.2, p.138-144, 2018. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1432973>. Acesso em: 03 maio 2024.

SCHAAK, H.; BOMMARCO, R.; HANSSON, H.; KUNS, B.; NILSSON, P. Long-term trends in functional crop diversity across Swedish farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.343, n.108269, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108269>. Acesso em: 03 maio 2024.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E. E.; SOUZA, C. M.; DAMATO NETO, J.; FERNANDES FILHO, E. I.; DELPUPO, C. Cenário histórico, quadro físiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecnossolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. **Arquivos Do Museu de História Natural e Jardim Botânico Da UFMG**, v.24, n.1, p.105-135, 2015. <https://seer.ufmg.br/index.php/mhnb/article/view/11332/8524>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P. M.; IMBODEN, D. M. **Environmental organic chemistry**. (3rd ed). New Jersey: USA, Wiley-Interscience, 2017. 1026 pp.

SENA, J. P. O.; BESERRA LUCENA, D.; RIBEIRO, G. DO N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: variação espaço-temporal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 748–755, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4938>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. **SIBCS**. Brasília: Embrapa. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SIGNORA, D.; ZANI, C.F.; PALADINI, A.A.; DEON, M.D.; CERRI, C.E.P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1402-1410, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, D. R.; OLIVEIRA, F.P.; SILVA, P.L.F.; MARTINS, A.F. Qualidade do solo sob diferentes condições de uso no semiárido paraibano. **Revista Valore**, v.8, n.0, p.25-36, 2023. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/1145>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, A.M. **Frações da matéria orgânica do solo em diferente rotação de culturas em solo arenoso no semiárido**. 2022. 4f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal Rural do Semiárido. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/b793912f-db17-4944-bc78-7ad4c7375b9c>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, C. V. T.; ANDRADE, E. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; RIBEIRO FILHO, J. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, H. S. Temporal dynamics of soil susceptibility to erosion in semi-arid watersheds. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 43, n. 1, e51378, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51378>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, J. L. C.; VIDAL, C.A.S.; BARROS, L.; FREITA, F.R.V. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018180-191>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, J. P. **Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira sob remanescentes de vegetação nativa**. 2018. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f5e0bbf8-2c68-49cf-bb27-3ea3f3a94b5c/content>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, A.C.; CAVALCANTE, L.C.D.; FABRIS, J.D.; FRANCO JÚNIOR, R.F.; BARRAL, U.M.; FARNEZI, M.M.M.; VIANA, A.J.S.; ARDISSON, J.D.; EUGENIO, L.; FERNANDEZ-OUTON, LARA, L.R.S.; STUMPF, H.O.; BARBOSA, J.B.S.; SILVA, L.C. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil. **Revista Espinhaço**, v.5, n.2, p.44 53, 2016. https://www.academia.edu/80676205/Chemical_mineralogical_and_physical_characteristics_of_a_material_accumulated_on_the_river_margin_from_mud_flowng_from_the_collapse_of_the_iron_ore_tailings_dam_in. Acesso em: 26 abr. 2024.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/911441>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SOKOL, N. W.; SANDERMAN, J.; BRADFORD, M. A. Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. **Global Change Biology**, v. 25, n. 1, p. 12–24, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14482>. Acesso em: 26 abr. 2024.

STEVERSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. New York: John Wiley, 1994.496p.

SWIFT, R. **Organic matter characterization**. Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, v. 3, pp. 1011-1020, 1996.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. (3 ed.) Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107200>. Acessado em: 26 abr. 2024.

TOZO, M.L.L. **Uso de métodos baseados em laser para caracterização da matéria orgânica em solos**. 2022. 36f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/16832/MLLT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 nov. 2023.

TRUMBORE, S.E. Radiocarbon and soil carbon dynamics. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.37, p.47–66, 2009. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.earth.36.031207.124300>. Acesso em: 30 nov. 2023.

VENDRUSCOLO, J.; BARBOSA, M.A.S.; ABRANTES, E.G.; SOUZA, R.F.S.; FERREIRA, K.R.; MARIN, A.M.P.; SOUZA, E.F.M. Uso de geotecnologias para o manejo da fertilidade do neossolo litólico em agroecossistema familiar, no semiárido paraibano. **RECIMA21**, v.3, n.10, 2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2095/1564>. Acesso em: 26 abr. 2024.

VERMANG, J.; NORTON, L.D.; HUANG, C.; CORNELIS, W.M.; SILVA, A.M.; GABRIELS, D. Characterization of Soil Surface Roughness Effects on Runoff and Soil Erosion Rates under Simulated Rainfall. **Soil Science Society of America Journal**, v.79, n.3, p.903–916, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.08.0329>. Acesso em: 26 abr. 2024.

WANG, C.; HE, N.; ZHANG, J.; LV, Y.; WANG, L. Long-Term Grazing Exclusion Improves the Composition and Stability of Soil Organic Matter in Inner Mongolian Grasslands. **PLOS ONE**, v. 10, n. 6, p. e0128837, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128837>. Acesso em 30: nov. 2023.

WEBER, J.; JAMROZ, E.; KOCOWICZ, A.; DEBICKA, M.; BEKIER, J.; ĆWIELĄGPIASECKA, I.; UKALSKA-JARUGA, A.; MIELNIK, L.; BEJGER, R.; JERZYKIEWICZ, M. Optimized isolation method of humin fraction from mineral soil material. **Environmental Geochemistry and Health**, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01037-3>. Acesso em: 20 abr. 2024.

WEN, D.; HE, N.; ZHANG, J. Dynamics of Soil Organic Carbon and Aggregate Stability with Grazing Exclusion in the Inner Mongolian Grasslands. **PLOS ONE**, v.

11, n. 1, p. e0146757, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146757>. Acesso em 30: nov. 2023

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>. Acesso em: 26 abr. 2024.

YUAN, Y.; ZHAO, Z.; LI, X.; WANG, Y.; BAI, Z. Characteristics of labile organic carbon fractions in reclaimed mine soils: Evidence from three reclaimed forests in the Pingshuo opencast coal mine, China. **Science of the Total Environment**, v.613–614, p.1196–206, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.170>. Acesso em: 20 abr. 2024.

YU, G.H., CHEN, C.M., HE, X.H., ZHANG, X.Z., LI, L.N. Unexpected bulk density and microstructures response to long-term pig manure application in a Ferralic Cambisol Soil: Implications for rebuilding a healthy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 203, p. 104668, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104668>. Acesso em: 20 abr. 2024.

YU, C., ZHANG, J., PANG, X. P., WANG, Q., ZHOU, Y. P., & GUO, Z. G. (2017). Soil disturbance and disturbance intensity: Response of soil nutrient concentrations of alpine meadow to plateau pika bioturbation in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. **Geoderma**, v.307, p.98–106. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.041>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ZHAO, J.; TIAN, L.; WEI, H.; Zhang, T.; Bai, Y.; Li, R.; Tang, Y. Impact of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) burrowing-induced microtopography on ecosystem respiration of the alpine meadow and steppe on the Tibetan plateau. **Plant Soil**, v.458, 217–230, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04122-w>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ZHAO, S. C.; LI, K.J.; ZHOU, W.; QIU, S.J.; HUANG, S.W.; HE, P. Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under longterm straw return in North-Central China. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.216, p.82–8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.028>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ZHEREBKER, A.Y.; KOSTYUKEVICH, Y.I.; KONONIKHIN, A.S.; NIKOLAEV, A.N.; PERMINOVA, I.V. Molecular compositions of humic acids extracted from leonardite and lignite as determined by Fourier transform ion cyclo-tron resonance mass spectrometry. **Mendeleev Commun**, v.26, p.446–448, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2016.09.028>. Acesso em: 20 abr. 2024..