

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ADRIANA GONÇALVES AMARAL

**INFLUÊNCIA DO MANEJO IRRIGADO E DE SEQUEIRO NOS TEORES DE
CARBONO ORGÂNICO EM SOLOS ARENOSOS DO OESTE DA BAHIA**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2026**

ADRIANA GONÇALVES AMARAL

**INFLUÊNCIA DO MANEJO IRRIGADO E DE SEQUEIRO NOS TEORES DE
CARBONO ORGÂNICO EM SOLOS ARENOSOS DO OESTE DA BAHIA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Michel Castro Moreira

Coorientador: Prof. Erli Pinto dos Santos

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2026

ADRIANA GONÇALVES AMARAL

**INFLUÊNCIA DO MANEJO IRRIGADO E DE SEQUEIRO NOS TEORES DE
CARBONO ORGÂNICO EM SOLOS ARENOSOS DO OESTE DA BAHIA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Michel Castro Moreira
Coorientador: Prof. Erli Pinto dos Santos

APROVADA: 03 de julho de 2026

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANA GONCALVES AMARAL**
Data: 27/09/2026 14:10:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriana Gonçalves Amaral
Estudante

Documento assinado digitalmente
 **MICHEL CASTRO MOREIRA**
Data: 25/09/2026 12:20:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Michel Castro Moreira
Orientador

À minha avó Elvira (*in memoriam*).

Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.

(Provérbios 16:3)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me guiar, me fortalecer e me sustentar ao longo de toda esta caminhada.

À minha mãe, Sindia, e ao meu pai, Anderson, por todo o amor, apoio, dedicação e incentivo durante toda a minha vida. Obrigado por todos os sacrifícios realizados para que eu pudesse estudar, pelos ensinamentos que moldaram meu caráter e por nunca deixarem que eu desistisse dos meus sonhos. Esta conquista também é de vocês.

À minha tia Adriana e ao meu tio Bruno, por todo o incentivo, carinho e apoio ao longo de todos esses anos. Vocês sempre estiveram presentes em momentos importantes da minha vida e contribuíram diretamente para que este sonho se tornasse realidade.

A todos os meus familiares, em especial à minha irmã, Andreza, e a todos os meus amigos: vocês foram a melhor parte dessa conquista. Obrigado pela amizade, pelo companheirismo e pelos momentos compartilhados! Um agradecimento especial à Raquel, ao Igor e ao Leandro, que se tornaram minha segunda família em Viçosa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Michel Castro, pelos conhecimentos compartilhados ao longo da minha graduação.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Erli Pinto dos Santos, por todo o apoio, pelos ensinamentos, pela paciência e pela dedicação durante a realização deste trabalho e ao longo da minha atuação como bolsista de iniciação científica. Sua contribuição foi fundamental para minha formação acadêmica e profissional.

A todos os professores, técnicos e colaboradores do Departamento de Engenharia Agrícola que contribuíram para minha formação ao longo destes anos. Cada ensinamento, conselho e experiência vivenciada ajudou a construir a profissional que estou me tornando.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, por proporcionarem a estrutura, os conhecimentos e as oportunidades que tornaram possível a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta trajetória.

RESUMO

A expansão da agricultura sobre solos arenosos no Cerrado, especialmente na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), tem levantado preocupações quanto à sustentabilidade desses sistemas, sobretudo em relação à dinâmica do carbono orgânico do solo (COS), um dos principais indicadores da qualidade do solo. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos sistemas de cultivo de algodão sob manejo irrigado e de sequeiro nos teores de COS em solos arenosos do Oeste da Bahia.

Para isso, foram analisados dados do MapBiomas referentes ao período de 1985 a 2024, bem como construída uma biblioteca espectral de solos (BSS) a partir de amostras coletadas na camada de 0–20 cm, analisadas por espectroscopia de reflectância difusa (Vis–NIR–SWIR), permitindo a caracterização física, química e mineralógica dos solos da região.

Os resultados indicaram intensificação do uso agrícola em solos arenosos a partir dos anos 2000, associada ao avanço tecnológico e à expansão da fronteira agrícola. Na avaliação do efeito do manejo hídrico sobre os teores de COS, observou-se, em uma análise inicial, maiores valores em áreas de sequeiro. No entanto, ao restringir a análise a solos com maior homogeneidade textural (areia > 50% e argila < 20%), não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas irrigado e de sequeiro. Adicionalmente, foi observada forte correlação entre o teor de argila e o COS ($r = 0,79$), indicando a predominância do controle textural sobre a dinâmica do carbono nesses solos.

Conclui-se que, em solos arenosos do Oeste da Bahia, o sistema de irrigação não promove maiores perdas de carbono orgânico do solo em comparação ao sistema de sequeiro, sendo a textura do solo o principal fator determinante dos teores de COS. Além disso, a espectroscopia de reflectância difusa mostrou-se uma ferramenta eficiente para a caracterização de solos arenosos e avaliação de seus atributos.

Palavras-chave: espectroscopia de reflectância difusa; neossolos quartzarênicos; irrigação; MATOPIBA.

ABSTRACT

The expansion of agriculture over sandy soils in the Cerrado, particularly in the MATOPIBA region (Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia), has raised concerns regarding the sustainability of these systems, especially in relation to soil organic carbon (SOC) dynamics, one of the main indicators of soil quality. In this context, this study aimed to evaluate the influence of irrigated and rainfed cotton cropping systems on SOC levels in sandy soils of Western Bahia, Brazil.

To this end, MapBiomass data from 1985 to 2024 were analyzed, and a soil spectral library (SSL) was developed using samples collected from the 0–20 cm layer and analyzed through diffuse reflectance spectroscopy (Vis–NIR–SWIR), enabling the physical, chemical, and mineralogical characterization of the soils.

The results indicated an intensification of agricultural use in sandy soils since the 2000s, associated with technological advances and agricultural frontier expansion. In the assessment of water management effects on SOC levels, initial results showed higher values under rainfed conditions. However, when the analysis was restricted to soils with greater textural homogeneity (sand > 50% and clay < 20%), no statistically significant differences were observed between irrigated and rainfed systems. Additionally, a strong correlation was found between clay content and SOC ($r = 0.79$), indicating that soil texture plays a more decisive role in carbon dynamics than the irrigation system.

It is concluded that, in sandy soils of Western Bahia, irrigation does not promote greater losses of soil organic carbon compared to rainfed systems, with soil texture being the main factor controlling SOC levels. Furthermore, diffuse reflectance spectroscopy proved to be an efficient tool for the characterization and evaluation of sandy soils.

Keywords: diffuse reflectance spectroscopy; quartzipsamments; irrigation; MATOPIBA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. Geral	11
2.2. Específicos	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1. Condições edafoclimáticas do Cerrado e do Oeste da Bahia	12
3.2. Influência do manejo hídrico e da textura do solo (sequeiro vs. irrigado)	12
3.3 Espectroscopia	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1. Área de estudo	16
4.2. Aquisição e processamento de dados geoespaciais	18
4.3. Delineamento amostral e coleta de dados	19
4.4. Preparo das amostras e análises laboratoriais de referência	20
4.5. Leituras com espectrorradiômetro	22
4.6. Processamento dos dados espectrais e obtenção dos atributos do solo	24
4.7. Análises estatísticas	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Evolução da agricultura sobre classes de textura do solo brasileiro	26
5.2. Propriedades físicas, químicas e espectrais dos solos estudados no Oeste da Bahia	34
5.3. Efeito do manejo agrícola nos teores de carbono orgânico do solo	37
6. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo (COS) desempenha um papel central em ambientes agrícolas, tanto na manutenção da qualidade física, química e biológica do solo quanto na mitigação das mudanças climáticas, ao atuar como importante reservatório de carbono. (Beillouin et al., 2023).

No bioma Cerrado, entretanto, o acúmulo de COS encontra limitações associadas às condições edafoclimáticas da região. O clima tropical sazonal, caracterizado por períodos alternados de seca e chuva e elevadas temperaturas, pode favorecer a intensificação dos processos de decomposição da matéria orgânica, principalmente após alterações no uso do solo, reduzindo o potencial de acúmulo de carbono em sistemas agrícolas manejados de forma inadequada. (Colli; Vieira; Dianese, 2020; Villela et al., 2026). Esse processo tende a se intensificar quando áreas nativas são convertidas em sistemas agrícolas intensivos.

No Oeste da Bahia, esse cenário se torna ainda mais crítico. Inserida na fronteira agrícola do MATOPIBA, região que abrange áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, essa porção do território tem passado por uma rápida expansão da agricultura mecanizada (Araújo et al., 2019; Pimenta et al., 2021). Do ponto de vista pedológico, predominam solos derivados dos arenitos do Grupo Urucuia, com textura arenosa e ampla ocorrência de Neossolos Quartzarênicos. Esses solos são naturalmente mais vulneráveis às alterações decorrentes do manejo agrícola, devido à alta permeabilidade, baixa fertilidade e limitada capacidade de retenção de água (Freitas et al., 2014). Além disso, o baixo teor de argila e de óxidos de ferro reduz a proteção física e química da matéria orgânica, tornando o equilíbrio entre entrada e decomposição de resíduos orgânicos altamente sensível às práticas de manejo adotadas. (Kirsten et al., 2021).

Diante dessa sensibilidade ao manejo, as discussões sobre o uso do solo na região alinham-se diretamente às agendas globais e nacionais de sustentabilidade. Em âmbito global, esse cenário relaciona-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável), que estabelece a necessidade de promover sistemas produtivos sustentáveis, capazes de aumentar a produtividade agrícola e garantir a conservação dos recursos naturais por meio de práticas resilientes de manejo do solo (ONU, 2015).

No contexto nacional, essa transição encontra respaldo nas diretrizes do Plano ABC+ (2020–2030), que incentiva a adoção de tecnologias e práticas de produção sustentável voltadas ao aumento da eficiência produtiva, à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e à conservação dos recursos naturais (Brasil, 2021). Nesse contexto, a irrigação apresenta-se como uma ferramenta estratégica para a intensificação sustentável da agricultura, desde que

associada a práticas adequadas de manejo do solo, como sistemas conservacionistas de cultivo, rotação de culturas e manutenção da cobertura vegetal. O Brasil possui elevado potencial de expansão da agricultura irrigada, especialmente em áreas de intensificação produtiva e recuperação de pastagens degradadas, de modo que o uso eficiente da água aliado ao manejo sustentável pode contribuir para o aumento da produtividade agrícola, a segurança alimentar e o desenvolvimento de sistemas produtivos mais resilientes (Brasil, 2021)

Apesar da relevância do tema e do estímulo a essas políticas públicas, ainda são escassos estudos que comparem diretamente os teores de carbono em diferentes regimes hídricos sob condições semelhantes de solo e clima no Oeste baiano. Diante disso, este trabalho parte da seguinte questão: em solos arenosos da região, sistemas irrigados promovem maiores perdas de carbono orgânico do solo em comparação aos sistemas de sequeiro?

Assim, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a influência do manejo irrigado e de sequeiro sobre os teores de carbono orgânico em solos arenosos do Oeste da Bahia. Parte-se da hipótese de que, em função da baixa proteção física da matéria orgânica nesses solos, associada ao aumento da atividade microbiana favorecida pela irrigação contínua, os sistemas irrigados tendem a apresentar menores teores de carbono orgânico nas camadas superficiais quando comparados aos sistemas de sequeiro.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a influência dos sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro nos teores de carbono orgânico dos solos arenosos no Oeste da Bahia.

2.2. Específicos

- Caracterizar a evolução da agricultura sobre classes de textura do solo no Brasil;
- Elaborar uma biblioteca espectral de solos arenosos para o Oeste da Bahia; e
- Avaliar o efeito do manejo hídrico das lavouras sobre o carbono orgânico em solos arenosos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Condições Edafoclimáticas do Cerrado e do Oeste da Bahia

O bioma Cerrado apresenta clima tropical sazonal do tipo Aw, caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação chuvosa, entre outubro e março, e uma estação seca prolongada, de abril a setembro, além de temperaturas elevadas ao longo do ano (COLLI; VIEIRA; DIANESE, 2020). Essas condições climáticas exercem forte influência sobre os processos ecológicos e hidrológicos, especialmente na dinâmica da matéria orgânica e do carbono no solo. No Oeste da Bahia, inserido na região do MATOPIBA, a expansão recente da agricultura tem ocorrido sob essas condições climáticas, e em solos arenosos, com intensa mecanização e adoção de tecnologias que aumentam a produtividade (PIMENTA et al., 2021).

Do ponto de vista pedológico, predominam nessa região solos derivados de arenitos do Grupo Urucuia, como Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, caracterizados por elevada permeabilidade, baixa fertilidade natural e reduzida capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2019). Essas características tornam os solos mais suscetíveis a alterações no uso e manejo, especialmente no que se refere à dinâmica do carbono orgânico, uma vez que influenciam diretamente o equilíbrio entre a entrada de resíduos orgânicos e sua decomposição.

Nesse contexto, a dinâmica do carbono no solo é fortemente condicionada por fatores climáticos e de manejo. No Cerrado, a combinação de altas temperaturas e sazonalidade hídrica favorece a atividade microbiana e a mineralização da matéria orgânica, podendo limitar o acúmulo de carbono (VILLELA et al., 2026). A conversão de áreas nativas para sistemas agrícolas intensivos tende a reduzir os estoques de carbono, sobretudo na camada superficial do solo, sendo essas perdas moduladas pela intensidade do manejo. Sistemas baseados em monoculturas e preparo convencional do solo apresentam maiores reduções, enquanto práticas conservacionistas, como os sistemas integrados como integração lavoura-pecuária e sistemas agroflorestais, tecnologia recomendada pelo Plano ABC+, além do sistema plantio direto que adota a rotação de culturas, contribuem para a mitigação dessas perdas (VILLELA et al., 2026).

3.2. Influência do manejo hídrico e da textura do solo (sequeiro vs. irrigado)

A irrigação é um fator de grande relevância na dinâmica do carbono. De acordo com Tang et al. (2025), seus efeitos são contrastantes: por um lado, o aumento da disponibilidade hídrica favorece a produção de biomassa e o aporte de carbono ao solo; por outro, pode intensificar a atividade microbiana e acelerar a decomposição da matéria orgânica, reduzindo os estoques de carbono, especialmente nas camadas superficiais. Dessa forma, o balanço final

entre acúmulo e perda de carbono depende da interação entre condições ambientais, edáficas e práticas de manejo.

Além disso, a textura do solo desempenha papel determinante nesse processo. Campos, Pires e Costa (2020) demonstraram que, no Oeste da Bahia, o regime de chuvas sazonais, aliado às altas temperaturas, limita a produção de biomassa e favorece a mineralização da matéria orgânica, restringindo o acúmulo de carbono. Embora a irrigação possa elevar a produção de biomassa e favorecer o sequestro de carbono, os autores evidenciam que áreas de sequeiro com maior teor de argila apresentam taxas de acúmulo superiores às observadas em áreas arenosas irrigadas. Em contrapartida, conforme mostram os autores, solos arenosos sob sequeiro, predominantes na região, não apresentam acúmulo significativo de carbono. Essas diferenças estão diretamente relacionadas à textura do solo, uma vez que solos argilosos promovem maior proteção física e química da matéria orgânica e maior retenção de água, enquanto solos arenosos são mais suscetíveis à decomposição e às perdas de carbono, principalmente se o manejo não for direcionado para incorporar carbono no solo, em superfície e subsuperfície (Sistemas integrados), e em estimular a atividade da fauna (coprólitos).

3.3 MapBiomias

O MapBiomias é uma iniciativa colaborativa que integra universidades, organizações não governamentais e empresas de tecnologia com o objetivo de mapear e monitorar a cobertura e o uso da terra no Brasil por meio de séries históricas consistentes (Souza et al., 2020; MapBiomias, 2025). Fundamentado em princípios de ciência aberta e no uso de tecnologias inovadoras, o projeto disponibiliza dados públicos, gratuitos e de alta resolução, permitindo a análise das transformações territoriais e subsidiando a tomada de decisão nos setores público e privado, bem como ações voltadas à conservação dos recursos naturais e à mitigação das mudanças climáticas (MapBiomias, 2025).

Os dados do MapBiomias são gerados a partir de imagens da série Landsat, com resolução espacial de 30 metros, processadas por algoritmos de aprendizado de máquina na plataforma Google Earth Engine. A classificação é realizada anualmente desde 1985, formando uma série temporal contínua que permite avaliar, de forma padronizada, as mudanças no uso e cobertura da terra ao longo das décadas (Souza et al., 2020). Essa consistência temporal possibilita a aplicação de análises estatísticas de tendência, como o teste de Mann-Kendall e o estimador de Sen Slope, amplamente utilizados para quantificar a direção e a magnitude das mudanças antrópicas no território.

No contexto brasileiro, os dados evidenciam uma intensa dinâmica de conversão do uso da terra, com destaque para a substituição de vegetação nativa por atividades agropecuárias. Entre 1985 e 2024, mais de 100 milhões de hectares de vegetação nativa foram convertidos principalmente em pastagens e agricultura (MapBiomas, 2025). Nesse cenário, o Cerrado se destaca como o bioma com maior expansão agrícola nos últimos 40 anos (MapBiomas, 2025), especialmente em regiões de fronteira agrícola como o MATOPIBA, onde o avanço tecnológico e a intensificação do uso do solo impulsionaram a ocupação de novas áreas (Araújo et al., 2019; Pimenta et al., 2021).

Além das informações de cobertura e uso da terra, o MapBiomas disponibiliza módulos temáticos que ampliam o potencial analítico da plataforma, incluindo dados sobre agricultura, pastagens, mineração, água e solo. O módulo MapBiomas Solo, em particular, fornece estimativas espaciais de atributos como textura e estoque de carbono orgânico do solo na camada superficial de 0–20 cm, permitindo análises integradas entre uso da terra e propriedades edáficas. Essa integração é especialmente relevante para estudos em solos arenosos, nos quais a dinâmica do carbono está fortemente associada às mudanças de uso e às práticas de manejo adotadas (Donagemma et al., 2016).

Desta forma, o uso do MapBiomas neste estudo possibilita compreender a evolução da ocupação agrícola em áreas de textura arenosa no Oeste da Bahia, com ênfase na expansão recente associada à intensificação produtiva e ao uso de irrigação (Santos et al., 2022). A análise dessas transformações é fundamental para interpretar os impactos do manejo sobre os estoques de carbono orgânico do solo e para subsidiar estratégias de uso sustentável em regiões de elevada fragilidade ambiental.

3.4 Espectroscopia de reflectância na região do visível e do infravermelho próximo

Nas últimas décadas, métodos baseados em sensoriamento remoto, como a espectroscopia de reflectância difusa, têm sido amplamente utilizados em estudos de caracterização e modelagem dos atributos do solo (DEMATTÊ et al., 2014). As técnicas que utilizam espectroscopia, destacam-se por serem rápidas, não destrutivas e de menor custo, configurando-se como alternativas sustentáveis aos métodos tradicionais.

O princípio dessa abordagem baseia-se na interação da radiação eletromagnética com os constituintes do solo, incluindo água, matéria orgânica e minerais, permitindo que a reflectância medida esteja relacionada a propriedades como cor, mineralogia, granulometria, teor de matéria orgânica, umidade e capacidade de troca catiônica, entre outras propriedades químicas, físicas a respeito da amostra de terra. (VISCARRA ROSSEL et al., 2022).

Com os avanços computacionais, bibliotecas espectrais de solos têm sido desenvolvidas, possibilitando a estimativa de atributos do solo por meio de modelos estatísticos aplicados aos dados espectrais (SATO, 2015). Entretanto, solos arenosos do Oeste da Bahia ainda são pouco representados nessas bibliotecas, o que limita a aplicabilidade e a precisão dos modelos preditivos para essa região.

A espectroscopia de reflectância difusa nas faixas do visível e do infravermelho próximo (VISNIR-DRS) configura-se como uma alternativa promissora para a estimativa de atributos do solo. O comportamento espectral resulta da interação entre a radiação eletromagnética e a superfície do solo, produzindo padrões característicos de absorção, reflexão e transmissão ao longo dos diferentes comprimentos de onda. Esses padrões são influenciados por fatores como composição mineralógica, teor de matéria orgânica, textura, umidade e presença de óxidos de ferro (VASQUES et al., 2014).

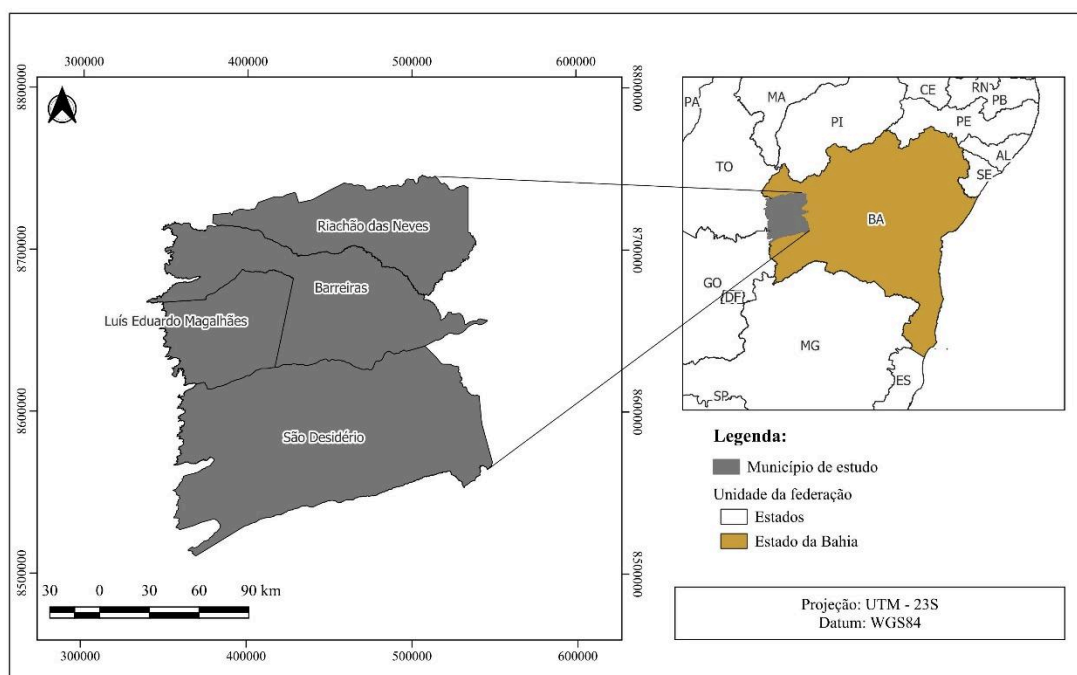
Dessa forma, a análise qualitativa e quantitativa das respostas espectrais permite identificar padrões característicos, que, quando organizados em bibliotecas espectrais, possibilitam estabelecer relações entre a assinatura espectral e os atributos do solo, viabilizando sua predição com maior eficiência e confiabilidade (DEMATTE et al., 2014).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O presente estudo foi conduzido em seis propriedades agrícolas localizadas nos municípios de Barreiras, São Desidério, Luís Eduardo Magalhães e Riachão das Neves, no oeste do Estado da Bahia (Figura 1).

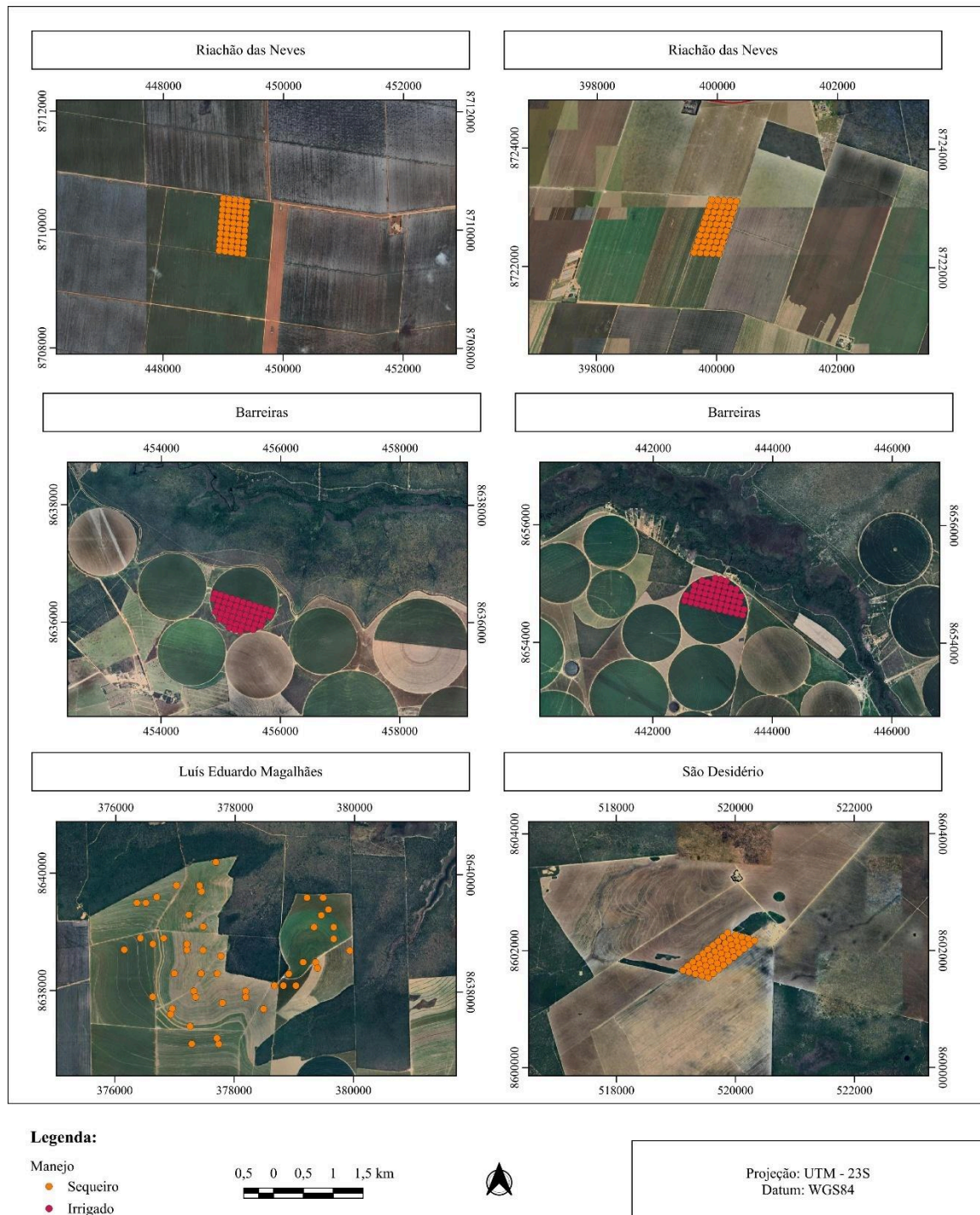
Figura 1 - Localização da área de estudo no Extremo Oeste Baiano



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nessas áreas ocorrem sistemas de cultivo tanto em sequeiro quanto irrigado, permitindo a avaliação comparativa dos efeitos do manejo hídrico e das características edáficas sobre os teores de carbono orgânico do solo (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição espacial das áreas amostrais sob manejos de sequeiro e irrigado nos municípios de Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, Oeste da Bahia



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O clima da região é classificado como tropical semiúmido, do tipo Aw segundo Köppen (Pimenta et al., 2021), caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa e quente,

entre outubro e abril, e outra seca, de maio a setembro. A precipitação média anual varia entre 1.400 e 1.600 mm, com forte concentração das chuvas no período de verão (Fontana e Oliveira, 2018).

O relevo é predominantemente plano a suave ondulado, típico das superfícies de chapadas e interflúvios do Oeste Baiano, com declividades geralmente inferiores a 3% (Fontana e Oliveira, 2018). Essa configuração favorece a mecanização agrícola e contribui para menor suscetibilidade a processos erosivos intensos.

Quanto aos solos, a região apresenta diversidade pedológica associada à posição na paisagem. Predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos nas áreas planas de topos e interflúvios, com textura variando de média a argilosa. Os Neossolos Quartzarênicos ocorrem em áreas mais dissecadas, sendo solos profundos e de textura predominantemente arenosa. Já os Gleissolos e Organossolos estão associados às áreas de fundo de vale e veredas, sob condições de hidromorfismo (Freitas et al., 2014).

A predominância de solos arenosos na região está diretamente relacionada ao material de origem. A área é geologicamente dominada pelo Grupo Urucuia, uma formação sedimentar do período Cretáceo, composta majoritariamente por arenitos quartzosos. (Fontana; Oliveira, 2018).

O quartzo, principal constituinte desses arenitos, apresenta elevada resistência ao intemperismo químico. Assim, ao longo da evolução pedogenética sob condições tropicais, os minerais mais susceptíveis foram intemperizados e removidos, restando uma fração residual rica em areia. Esse processo explica a ampla ocorrência de solos arenosos, especialmente os Neossolos Quartzarênicos. (Huang; Hartemink, 2020)

As variações texturais observadas na região estão associadas à heterogeneidade do material de origem: camadas com maior granulometria originam solos mais arenosos, enquanto porções com frações mais finas ou maior grau de alteração dão origem a Latossolos de textura média a argilosa (Freitas et al., 2014).

4.2. Aquisição e processamento de dados geoespaciais

Os dados geoespaciais utilizados no estudo foram obtidos a partir das plataformas do projeto MapBiomias e do banco de dados pedológicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). Foram empregados dados do produto MapBiomias Solo, utilizando as classes de textura do solo em nível 3 de classificação, na profundidade de 0–20 cm. Essas informações foram utilizadas para identificar e caracterizar áreas com predominância de solos arenosos na região de estudo (MAPBIOMAS, 2024).

Também foram utilizados os dados do MapBiomas Uso e Cobertura da Terra referentes ao período de 1985 a 2024. A partir dessas informações, foi realizada a análise da dinâmica temporal do uso agrícola e da expansão das áreas cultivadas ao longo da série histórica (MAPBIOMAS, 2024).

De forma complementar, foram obtidas junto ao banco de dados IBGE/BDIA informações relacionadas à distribuição espacial das unidades de mapeamento com dominância de Neossolos Quartzarênicos. Esses dados auxiliaram na delimitação e caracterização das áreas de ocorrência dessa classe de solo (IBGE, 2024).

As bases cartográficas foram processadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Nessa etapa, foi realizada a integração, espacialização e análise conjunta dos dados ambientais e agrícolas, permitindo a elaboração dos mapas temáticos e das análises espaciais utilizadas no estudo.

4.3. Delineamento amostral e coleta de dados

Foram avaliadas seis áreas agrícolas, sendo quatro sob sistema de cultivo em sequeiro e duas sob sistema irrigado por pivô central. As áreas avaliadas correspondem às Fazendas Araucária (FA), Barcelona (FB), Bela Vista (FBV), São Francisco (FSF), Rio das Pedras (FRP) e Marechal Rondon (FMR). As áreas FB, FSF, FA e FRP possuem aproximadamente 200, 200, 100 e 100 hectares, respectivamente, enquanto a área FBV possui cerca de 500 hectares. A área FMR corresponde a um perfil de solo utilizado de forma complementar nas análises, não sendo considerada uma lavoura comercial amostrada por malha regular. As principais características das áreas avaliadas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das áreas agrícolas avaliadas.

Área	Sistema	Número de amostras	Tipo de amostragem	Classe textural predominante
FA	Irigado	50	Tradagem	Arenosa a franco-arenosa
FRP	Irigado	50	Tradagem	Arenosa a franco-arenosa
FB	Sequeiro	50	Tradagem	Franco argilo-arenosa a argilo-arenosa
FBV	Sequeiro	50	Tradagem	Franco argilo-arenosa, argilo-arenosa a muito argilosa
FSF	Sequeiro	50	Tradagem	Franco argilo-arenosa a argilo-arenosa
FMR	Sequeiro	51	Perfis (3) + Minitrincheiras (48)	Arenosa a franco-arenosa

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nas áreas FA, FRP, FB, FBV e FSF foi adotada uma malha amostral regular, com a coleta de 50 pontos por área, totalizando 250 amostras de solo. Adicionalmente, foram utilizados dados provenientes da Fazenda Marechal Rondon (FMR), localizada no município de Riachão das Neves. Inicialmente, foram consideradas três amostras provenientes de um perfil de solo na camada de 0–20 cm, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com textura variando de arenosa a franco-arenosa.

Posteriormente, foram incorporados dados adicionais obtidos por meio de minitrincheiras na mesma área, totalizando 48 amostras sob sistema de sequeiro, também na camada de 0–20 cm. Dessa forma, o conjunto de dados utilizado no estudo foi composto por 301 amostras de solo.

As amostragens foram realizadas na camada de 0–20 cm em todas as áreas avaliadas e todas foram submetidas à determinação de atributos físicos e químicos, conforme metodologias padronizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

4.4. Preparo das amostras e análises laboratoriais

As amostras de solo, coletadas em campo, foram inicialmente secas ao ar e submetidas à remoção manual de impurezas grosseiras, como fragmentos de plantas, raízes e partículas maiores (pedras). Em seguida, procedeu-se à desagregação dos torrões por meio de leve pressão mecânica, utilizando rolo, com o objetivo de homogeneizar o material, preservando a integridade dos constituintes minerais. Posteriormente, as amostras foram submetidas à tamisação em peneira de malha de 2 mm, visando à obtenção da fração de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Após esse processo, o material foi homogeneizado e alíquotas de aproximadamente 30 g foram separadas e acondicionadas em recipientes apropriados, conforme apresenta-se na Figura 3.

Figura 3 - Aliquotas de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) homogeneizadas, pesadas (aproximadamente 30 g) e acondicionadas em sacos plásticos identificados para posterior análise espectral.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Essas amostras foram então destinadas às análises espectrais por espectrorradiometria, garantindo padronização quanto à granulometria e às condições físicas do material analisado.

Adicionalmente, os dados analíticos de granulometria (teores de areia, silte e argila) e de carbono orgânico do solo empregados na caracterização e calibração dos modelos foram obtidos a partir de um banco de dados preexistente da área de estudo. Todas as determinações laboratoriais que originaram esses dados quantitativos de referência foram realizadas em amostras de TFSA, seguindo os protocolos metodológicos oficiais descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017).

A determinação da composição granulométrica foi baseada no Método da Pipeta, fundamentado na velocidade de sedimentação das partículas em meio líquido conforme a Lei de Stokes. O procedimento laboratorial envolveu a dispersão química de alíquotas de TFSA com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) combinada com agitação mecânica de alta rotação, promovendo a completa individualização dos constituintes minerais. A fração areia foi separada fisicamente por tamisação em peneira com abertura de malha de 0,05 mm, sendo seca em estufa e pesada. A quantificação da argila ocorreu por meio da coleta de uma alíquota da suspensão líquida com uma pipeta volumétrica, em tempo e profundidade predeterminados de acordo com a temperatura da água, instante no qual as partículas de silte já haviam se

depositado. O teor de silte foi obtido por diferença matemática, subtraindo-se os valores de areia e argila da massa inicial de solo.

Paralelamente, o teor de carbono orgânico do solo foi quantificado por via úmida através do método clássico de Walkley-Black (1947), baseado na oxidação da matéria orgânica por digestão ácida. O processo consistiu na reação do carbono da amostra com uma solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio acidificado com ácido sulfúrico (H_2SO_4), sob aquecimento controlado. O excesso de dicromato de potássio não consumido foi determinado por titulação com uma solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, utilizando o indicador difenilamina, permitindo calcular diretamente o teor de carbono orgânico presente nas amostras.

4.5. Leituras no espectrorradiômetro

As amostras de solo foram submetidas à análise espectral em condições controladas de laboratório, utilizando o espectrorradiômetro FieldSpec 4 Std-Res (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, Colorado, EUA). O equipamento opera na faixa do visível ao infravermelho próximo e de ondas curtas (Vis–NIR–SWIR), abrangendo comprimentos de onda entre 350 e 2.500 nm, com resolução espectral de 1 nm.

Para a obtenção das medições, foi utilizada uma sonda de contato acoplada ao equipamento (Contact Probe®, Analytical Spectral Devices Inc.), responsável pela captação da radiação refletida pelas amostras de solo (reflectância) e da radiação incidente (irradiância). O princípio de funcionamento baseia-se na separação da radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, permitindo a análise contínua da intensidade da energia refletida ao longo do espectro eletromagnético.

A sonda de contato possui fonte de iluminação própria, composta por uma lâmpada halógena de 100 W, o que possibilita a realização das medições de forma ativa. Dessa forma, minimizam-se interferências decorrentes das variações na iluminação ambiente, garantindo maior padronização e confiabilidade dos dados espectrais obtidos.

A operação do espectrorradiômetro foi realizada por meio do software RS³, fornecido pelo fabricante (ASD Inc., 2014). Antes da obtenção das respostas espectrais, foram conduzidos procedimentos de otimização e calibração dos sensores, conforme recomendado.

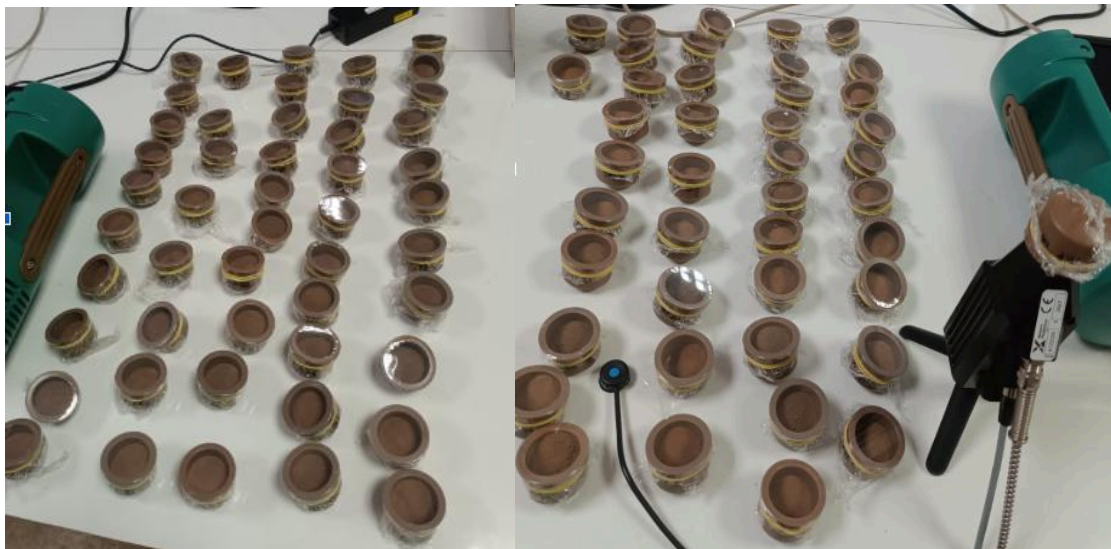
A etapa de otimização teve como finalidade ajustar a sensibilidade dos detectores às condições específicas de iluminação no momento da leitura, considerando a corrente escura média (*Mean Dark Current*), que corresponde ao sinal registrado na ausência de luz e é utilizada para reduzir interferências e ruídos de fundo nas medições. Em seguida, foi realizada a

calibração do equipamento utilizando uma referência branca (*White Reference*) de Spectralon, material com elevada reflectância difusa, adotado como padrão de 100% de reflectância. Esse procedimento permite a normalização dos dados espectrais, minimizando variações associadas à fonte de luz e ao próprio sensor. Conforme orientação do fabricante, a otimização foi realizada no início das operações, enquanto a calibração foi repetida em intervalos regulares de aproximadamente 10 minutos durante as medições.

Para a aquisição dos espectros, as amostras de terra previamente peneiradas foram acondicionadas em tampões confeccionados em policloreto de vinila (PVC), com dimensões aproximadas de 23 mm de altura e 30 mm de diâmetro. O material opaco dos recipientes, aliado à compatibilidade com a abertura da sonda de contato, contribuiu para reduzir interferências externas durante as leituras (Figura 4).

Com o objetivo de garantir uniformidade na superfície das amostras, o solo acondicionado nos recipientes foi recoberto com filme plástico. Esse procedimento possibilitou a obtenção de uma superfície mais homogênea, além de evitar o contato direto entre a sonda e o solo, assegurando maior padronização e qualidade nas medições espectrais.

Figura 4 - Aparato experimental para a leitura espectroscópica das amostras: disposição das amostras de terra em recipientes de PVC revestidos com filme plástico para leitura com o espectrorradiômetro FieldSpec 4; e (detalhe do acoplamento da sonda de contato (Contact Probe®) utilizada de forma ativa para a captação da reflectância no intervalo de 350 a 2.500 nm.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.6. Processamento dos dados espectrais e obtenção dos atributos do solo

Os dados espectrais obtidos pelo espectrorradiômetro, originalmente registrados em formato ondulatório, foram convertidos para arquivos de texto (.txt), correspondentes a cada medição realizada. Esses arquivos contêm a identificação de cada leitura, bem como os valores de comprimento de onda e suas respectivas respostas espectrais ao longo da faixa de 350 a 2.500 nm.

O tratamento e a análise dos dados espectrais, tanto em abordagem qualitativa quanto quantitativa, foram realizados no ambiente computacional R (R Core Team, 2023), amplamente utilizado para análises estatísticas e processamento de dados. Essa etapa permitiu a organização, visualização e posterior interpretação das informações espectrais obtidas.

4.7. Análises estatísticas

Os dados de uso e cobertura da terra referentes ao período de 1985 a 2024 foram avaliados quanto à existência de tendências temporais e possíveis mudanças ao longo da série histórica. Para essa finalidade, empregou-se o teste de tendência de Mann-Kendall, amplamente utilizado na detecção de tendências monotônicas em séries temporais ambientais, e o estimador de declividade de Sen (Sen's slope), utilizado para quantificar a magnitude da tendência observada.

Para a avaliação dos atributos edáficos, os dados de carbono orgânico do solo (COS) foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. A distribuição dos dados também foi verificada por meio da análise visual de gráficos Normal Q-Q Plot.

A relação entre os teores de argila (%) e os teores de COS (g kg^{-1}) foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Pearson, sendo os resultados representados em gráficos de dispersão com ajuste de regressão linear.

Para avaliar o efeito do manejo agrícola sobre os teores de COS, foram adotados dois critérios de seleção das amostras, com o objetivo de reduzir a influência da variabilidade textural. Inicialmente, foram consideradas amostras com teor de areia superior a 50% na fração terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, foi realizada uma análise mais restritiva, incluindo apenas amostras com teor de areia superior a 50% e teor de argila inferior a 20%.

Após a seleção dos dados, a comparação dos teores de COS foi realizada entre os sistemas irrigados das Fazendas Araucária e Rio das Pedras e o sistema de sequeiro da Fazenda Marechal Rondon.

Considerando que os dados não atenderam ao pressuposto de normalidade, mesmo após tentativas de transformação, optou-se pela utilização do teste não paramétrico de Mann-Whitney para comparação entre os grupos, adotando-se nível de significância de 5%.

Os resultados foram apresentados por meio de tabelas contendo estatísticas descritivas e por gráficos de caixa (*boxplots*), além de gráficos de dispersão e gráficos de avaliação de normalidade (Q-Q plot), permitindo a visualização da distribuição e do comportamento dos dados.

Todas as análises estatísticas e representações gráficas foram realizadas em linguagem e ambiente de programação R.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Evolução da agricultura sobre classes de textura do solo brasileiro

Para entender a importância das áreas cultivadas no Oeste da Bahia, é necessário, antes de tudo, situar o panorama da ocupação agrícola em solos arenosos em escala nacional, identificando o comportamento e a pressão antrópica sobre essas classes texturais nas últimas décadas. (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição das classes texturais do solo na camada de 0–20 cm no território brasileiro

Classe Textural	Área (ha)	Participação (%)
Franco Areno Argilosa	244.898.037	29,43
Franca	199.002.236	23,91
Franco Argilosa	122.069.939	14,67
Argilosa	115.443.494	13,87
Arenosa	46.982.666	5,65
Silte	29.937.488	3,60
Areia Franca	29.104.439	3,50
Muito Argilosa	19.559.559	2,35
Franco Argilo Siltosa	12.506.281	1,50
Argila Siltosa	5.962.117	0,72
Areia	5.077.531	0,61
Afloramento Rochoso	1.695.441	0,20
Total	832.239.229	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em dados de MapBiomas (2026).

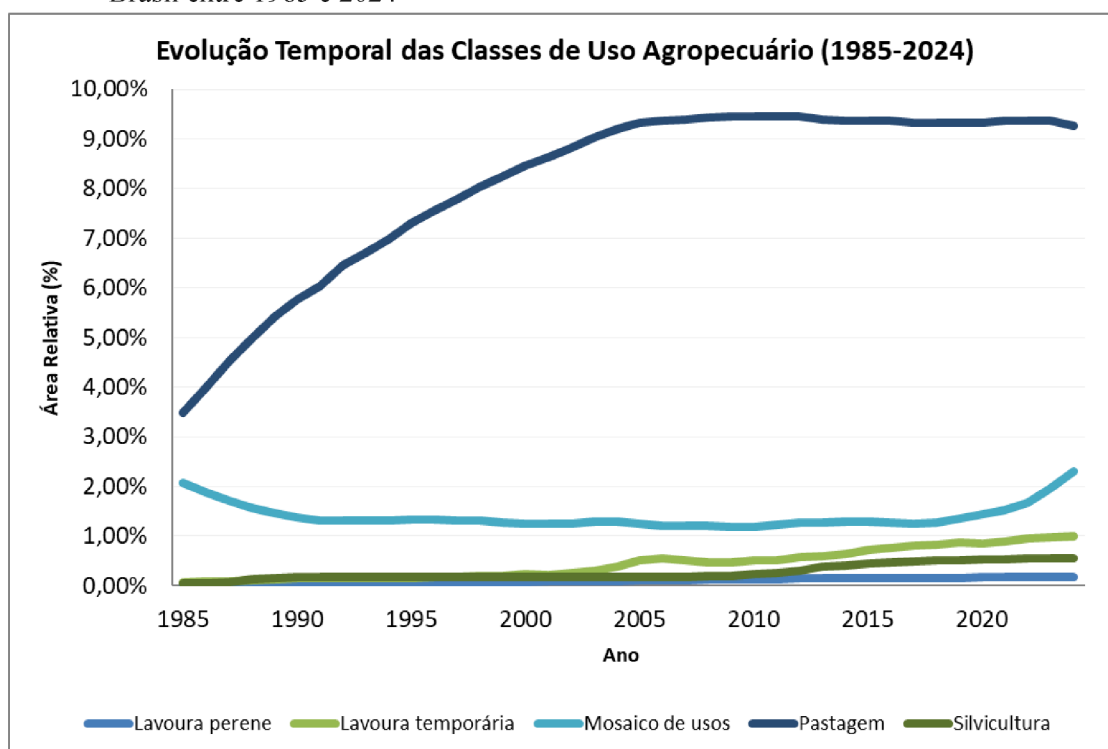
A distribuição das classes texturais na camada superficial do solo (0–20 cm) no Brasil mostra predominância da classe Franco Areno Argilosa, que ocupa a maior extensão com aproximadamente 244,9 milhões de hectares (29,43% da área analisada), seguida pelas classes Franca (23,91%), Franco Argilosa (14,67%) e Argilosa (13,87%) (Tabela 2). Somadas, as

quatro classes com maior teor ou presença expressiva de argila (Franco Arenoso Argiloso, Franco Argiloso, Argiloso e Muito Argiloso, com 2,35%) representam pouco mais de 60% do território.

Por outro lado, as classes mais arenosas, como Arenoso (5,65%), Areia Franca (3,50%) e Areia (0,61%), ocupam áreas menores, mas ainda assim são relevantes, principalmente em regiões de expansão agrícola, como o Cerrado.

De forma geral, esses dados mostram que os solos brasileiros têm grande heterogeneidade textural, o que ajuda a entender como a ocupação agropecuária ocorre em diferentes condições físicas e limitações. Essa base é importante para interpretar as mudanças no uso da terra ao longo do tempo (Figura 5).

Figura 5 - Evolução temporal das classes de uso agropecuário em áreas de Neossolos Quartzarênicos no Brasil entre 1985 e 2024



Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em dados de MapBiomas (2026).

Observa-se, na Figura 5, um crescimento gradual da ocupação agropecuária em áreas de Neossolos Quartzarênicos no período de 1985 a 2024. Inicialmente, esse crescimento é fortemente impulsionado pela expansão das pastagens, que passam de aproximadamente 3,5% em 1985 para valores próximos de 9,0% no início dos anos 2000. A partir desse período, no entanto, nota-se uma estabilização da área de pastagem, indicando uma possível limitação à

expansão horizontal dessa atividade nesses ambientes, possivelmente associada às restrições edáficas e à saturação das áreas mais aptas.

Conforme destacado por De Holanda, Vargas e Granada (2023), o desenvolvimento agrícola sustentável em solos arenosos recebeu pouca atenção durante grande parte da história da agricultura, uma vez que a demanda mundial por alimentos e fibras era suprida por terras de maior aptidão. Entretanto, o cenário atual é marcado por crescente pressão para expansão da fronteira agrícola em ambientes com maior fragilidade e limitações edáficas. Soma-se a isso o avanço tecnológico, especialmente o uso da irrigação e práticas de manejo que permitem contornar restrições hídricas e de fertilidade, ampliando o potencial produtivo desses solos. Esse contexto ajuda a explicar a expansão inicial das pastagens, seguida, posteriormente, pelo avanço das lavouras temporárias e da silvicultura.

Apesar de a pecuária ainda ser o principal uso dessas áreas, a Figura 5 mostra uma diversificação ao longo do tempo. As lavouras temporárias apresentam crescimento contínuo a partir dos anos 2000, saindo de cerca de 0,1% para 1,0% em 2024. A silvicultura também cresce, passando de aproximadamente 0,1% para 0,6% no mesmo período. Mesmo com valores menores que os das pastagens, esse aumento indica a entrada gradual da agricultura mais intensiva e da produção florestal em solos arenosos.

A classe Mosaico de usos apresentou redução até o início dos anos 2000 e posterior crescimento, atingindo cerca de 2,3% em 2024. No contexto do MapBiomass, essa classe não representa um uso específico, mas sim uma categoria de transição ou incerteza, associada a áreas com mistura de usos ou dificuldade de discriminação por sensoriamento remoto. Assim, seu aumento pode refletir tanto a maior heterogeneidade dos sistemas produtivos quanto limitações inerentes ao processo de classificação.

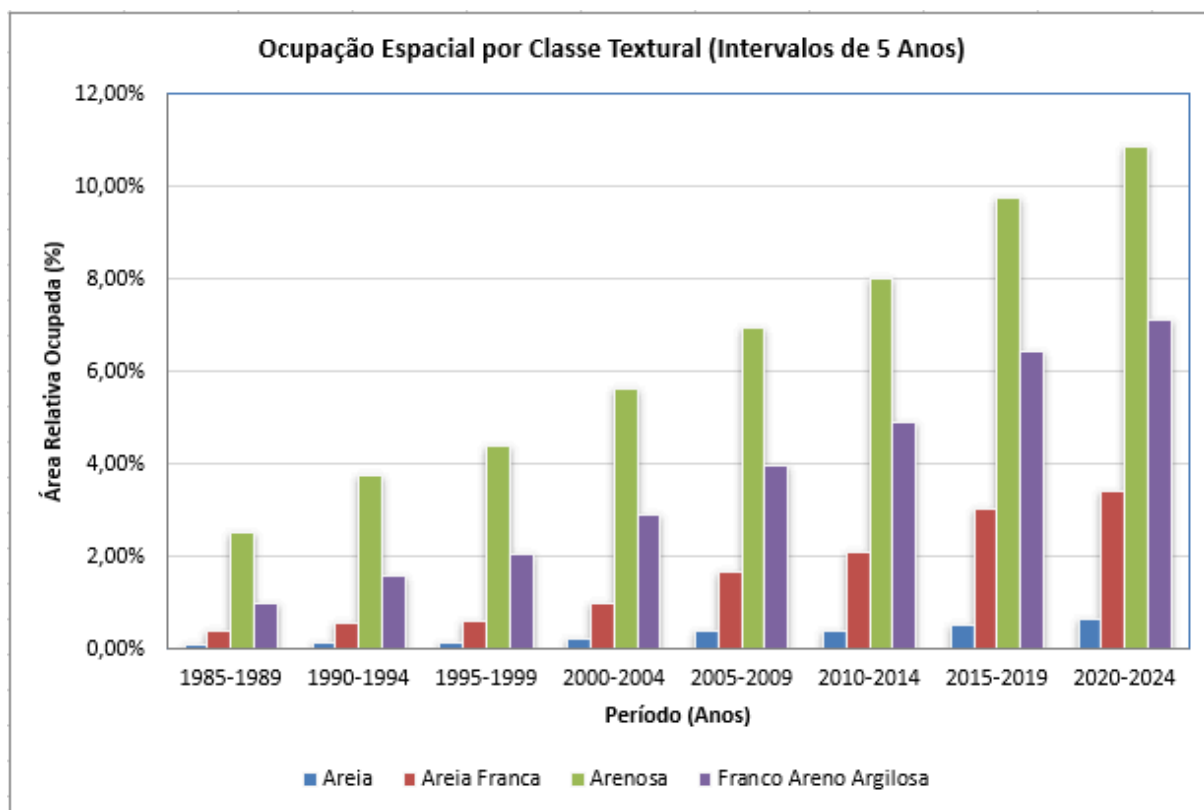
De maneira geral, os resultados mostram que os Neossolos Quartzarênicos passaram por uma mudança importante nas últimas décadas. Mesmo com a predominância da pecuária, há um avanço progressivo das atividades agrícolas e florestais, impulsionado por tecnologias como correção do solo, aumento da matéria orgânica, irrigação e práticas conservacionistas.

Esse processo está ligado diretamente à expansão da fronteira agrícola no Matopiba. Segundo Donagemma et al. (2016), essa região passou por transformações intensas, com expansão de infraestrutura e valorização de áreas antes consideradas marginais. Solos arenosos, antes usados principalmente para pecuária extensiva, vêm sendo incorporados à agricultura moderna com níveis de produtividade mais altos quando bem manejados.

A evolução temporal da ocupação agrícola em solos de texturas mais grosseiras no Brasil, ao longo das últimas quatro décadas, revela um padrão de expressiva expansão

territorial. Nesse contexto, a Figura 6 apresenta a série temporal da área ocupada por diferentes classes texturais do solo no país, considerando um período de 40 anos. Essa análise permite compreender o ritmo de incorporação dessas áreas ao sistema produtivo nacional, fornecendo uma base diagnóstica para a interpretação das tendências observadas.

Figura 6 - Evolução da ocupação espacial de terras com textura predominantemente arenosa no Brasil entre os anos de 1985 e 2024



Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em dados de MapBiomias (2026).

A ocupação agropecuária em solos de textura mais arenosa apresentou crescimento contínuo em todo o território brasileiro entre 1985 e 2024 (Figura 6). Considerando a camada superficial do solo (0–20 cm), observa-se que a classe Arenosa concentrou as maiores áreas relativas ocupadas durante todo o período analisado, passando de 2,52% no intervalo de 1985–1989 para 10,84% em 2020–2024, o que representa um incremento de aproximadamente 8,32 pontos percentuais. Esse resultado indica a intensificação do uso agropecuário em áreas tradicionalmente consideradas mais restritivas, em função da baixa capacidade de retenção de água e nutrientes.

As demais classes seguem tendência semelhante, mas em menor intensidade. A Franco Arenoso Argiloso aumentou de 1,00% para 7,13%, enquanto a Areia Franca passou de 0,39% para

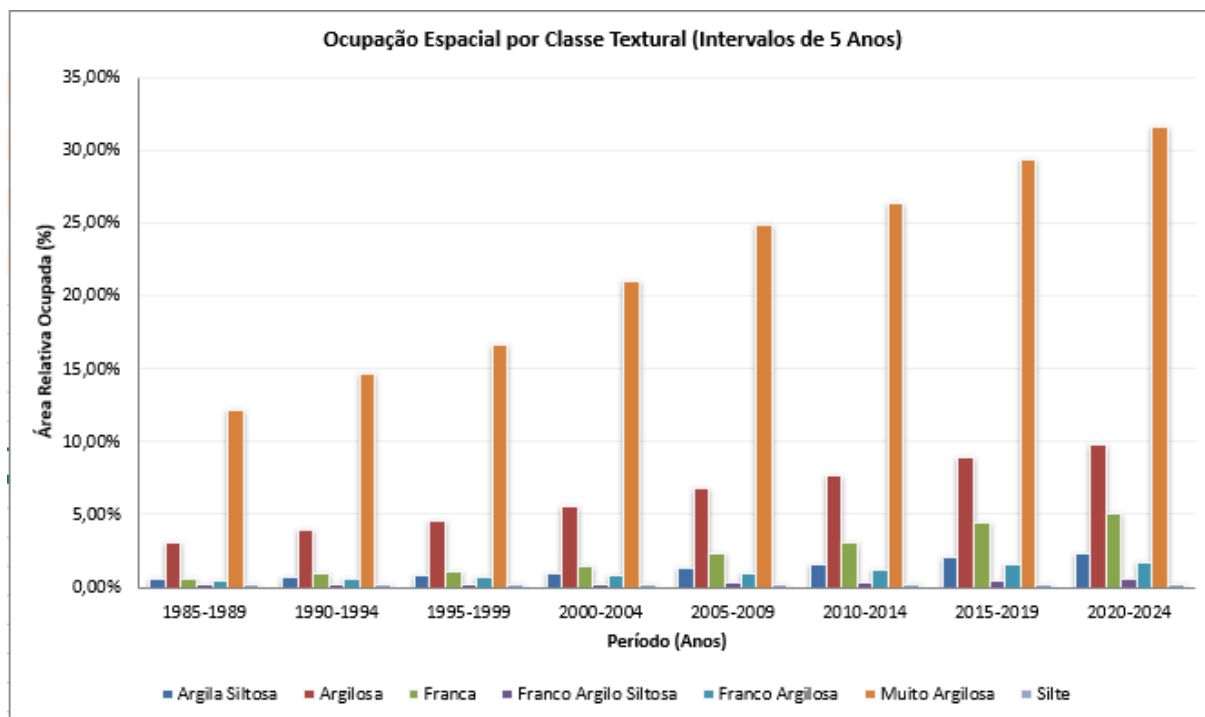
3,43%. A classe Areia, mesmo com menor participação, também cresceu de 0,09% para 0,63%. No conjunto, isso mostra uma expansão progressiva da ocupação agrícola sobre solos mais arenosos.

A dinâmica observada torna-se mais evidente a partir dos anos 2000, período em que todas as classes passam a apresentar taxas de crescimento mais elevadas. Entre os intervalos de 2000–2004 e 2020–2024, a área relativa ocupada na classe Arenosa praticamente dobrou, passando de 5,63% para 10,84%. Esse comportamento ocorre no mesmo período de expansão da fronteira agrícola brasileira, especialmente no Cerrado e na região do Matopiba, onde a incorporação de áreas com solos arenosos foi viabilizada por avanços tecnológicos, como correção da acidez, manejo da fertilidade, uso de cultivares adaptadas e expansão da agricultura irrigada (Locatelli et al., 2022). Esses fatores reduziram as limitações produtivas desses solos, permitindo sua inserção em sistemas agrícolas intensivos.

Os resultados reforçam a importância dos chamados “solos leves” na agricultura brasileira. De acordo com Donagemma et al. (2016), essas classes texturais que incluem, Areia, Areia Franca e Arenosa, ocupam aproximadamente 8% do território nacional, sendo representadas principalmente por Neossolos Quartzarênicos distribuídos em áreas extensas do Cerrado. Mesmo com limitações físicas e químicas, esses solos vêm sendo progressivamente incorporados à produção agrícola, o que reforça a importância do desenvolvimento de estratégias de manejo voltadas à conservação da matéria orgânica, ao aumento da eficiência do uso da água e à manutenção da qualidade estrutural

Em relação aos solos de textura mais fina, também foi observado aumento contínuo da ocupação agropecuária ao longo do período analisado (Figura 7). Entretanto, diferentemente dos solos arenosos, essas classes já apresentavam elevada participação relativa desde o início da série histórica. No período de 1985–1989, a classe Muito Argilosa registrava cerca de 12,1% de ocupação, valor substancialmente superior ao observado para a classe Arenosa no mesmo intervalo.

Figura 7 - Evolução da ocupação espacial de terras com textura predominantemente argilosa no Brasil entre os anos de 1985 e 2024



Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em dados de MapBiomias (2026).

Ao longo das quatro décadas, a classe Muito Argilosa apresentou o maior incremento absoluto, passando de 12,1% para 31,6%, enquanto a classe Argilosa aumentou de aproximadamente 3,0% para 9,7%. Esse padrão reflete tanto a elevada aptidão agrícola desses solos, associada à maior capacidade de retenção de água e nutrientes quanto sua importância histórica na consolidação da agricultura brasileira.

A intensificação da ocupação a partir dos anos 2000 também foi observada nesses ambientes, possivelmente associada à expansão da agricultura tecnificada e do crescimento da área irrigada no Brasil. Segundo a ANA (2021), a partir da década de 1990 houve crescimento significativo dos sistemas de irrigação, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Matopiba. Embora este estudo não permita estabelecer relação direta de causa e efeito, a evolução simultânea desses processos sugere que o avanço das tecnologias de irrigação e manejo pode ter contribuído para ampliar a utilização agrícola de solos com maiores teores de argila, potencializando sua elevada aptidão produtiva.

De forma geral, os resultados mostram dois movimentos principais: a expansão da agricultura para áreas com maior limitação edáfica, como os solos arenosos, e a intensificação do uso de solos mais argilosos já consolidados na produção. Isso evidencia a interação entre características naturais do solo e o avanço tecnológico na redefinição do uso agrícola no Brasil.

Tabela 3 - Distribuição espacial e evolução da ocupação agrícola sobre as classes de textura do solo no Brasil (1985–2024)

Classe de textura do solo (camada de 0-20 cm)	Área do país classificada por textura (ha)	Tamanho da série histórica de uso e cobertura (anos)	Área relativa (% em 1985)	Área relativa (% em 2024)	Diferença normalizada	Sen's slope (%/ano)	Evolução de uso agrícola (ha/ano)	t	p-value <=
Franco Argilo Siltosa	12506281,01	40	0,10	0,62	-	0,0124	1552	0,96	2,22E-16
Areia	5077531,31	40	0,06	0,67	-	0,0156	793	0,93	2,22E-16
Silte	29937488,49	40	0,01	0,03	-	0,0005	159	0,92	2,22E-16
Franco Arenoso Argiloso	244898037,30	40	0,63	7,33	11,70	0,1815	444585	0,99	2,22E-16
Areia Franca	29104438,89	40	0,31	3,53	11,32	0,0914	26594	0,97	2,22E-16
Franca	199002236,29	40	0,48	5,07	10,61	0,1286	255872	0,99	2,22E-16
Arenosa	46982665,59	40	1,61	11,13	6,89	0,2387	112136	0,98	2,22E-16
Argila Siltosa	5962116,78	40	0,41	2,45	5,96	0,0532	3170	0,96	2,22E-16
Franco Argiloso	122069939,16	40	0,33	1,78	5,44	0,0365	44574	0,99	2,22E-16
Argiloso	115443494,24	40	2,18	9,99	4,58	0,1964	226744	0,98	2,22E-16
Muito Argiloso	19559559,43	40	7,77	32,16	4,14	0,5627	110058	0,97	2,22E-16

Fonte: Dados originais do MapBiomass Solo (1985-2024), adaptado pela autora (2026).

Nota: Todas as classes apresentaram tendência de aumento estatisticamente significativa ($p - \text{valor} < 0,05$ pelo teste de Mann-Kendall).

A Tabela 3 apresenta a tendência temporal da ocupação agropecuária nas diferentes classes texturais do solo no Brasil entre 1985 e 2024, avaliada pelos testes de Mann-Kendall e pela declividade de Sen (Sen's slope). Todas as 11 classes analisadas apresentaram tendências monotônicas crescentes altamente significativas ($p < 0,0001$), com coeficientes tau entre 0,92 e 0,99, evidenciando que a expansão da agropecuária ocorreu de forma contínua e consistente ao longo das últimas quatro décadas.

A intensidade dessa expansão, entretanto, variou entre as classes texturais. Em termos relativos, os solos Muito Argilosos apresentaram a maior taxa de crescimento ($0,5627\% \text{ ano}^{-1}$), com a ocupação agropecuária aumentando de 7,77% para 32,16% da área da classe entre 1985 e 2024. Em seguida destacaram-se os solos Arenosos ($0,2387\% \text{ ano}^{-1}$) e argilosos ($0,1964\% \text{ ano}^{-1}$), refletindo tanto o elevado potencial produtivo dos solos mais argilosos quanto a crescente incorporação de áreas arenosas ao sistema produtivo.

Em termos absolutos, a maior expansão ocorreu na classe Franco Areno Argilosa, que incorporou em média $444.585 \text{ ha ano}^{-1}$ à agropecuária, seguida pelas classes Franca ($255.872 \text{ ha ano}^{-1}$) e argilosa ($226.744 \text{ ha ano}^{-1}$). Esses resultados indicam que grande parte do crescimento da fronteira agrícola brasileira ocorreu sobre solos de textura intermediária, que combinam condições favoráveis à mecanização e ao armazenamento de água.

Apesar disso, o avanço sobre os solos Arenosos merece destaque. Nessa classe, a ocupação agropecuária aumentou de 1,61% para 11,13% da área total, correspondendo à incorporação média de $112.136 \text{ ha ano}^{-1}$. Essa expansão foi impulsionada por avanços tecnológicos, como a correção da acidez, a adubação intensiva, o plantio direto e a expansão da agricultura irrigada, especialmente no Cerrado.

Contudo, a conversão desses ambientes impõe importantes desafios agronômicos e ambientais. Solos arenosos apresentam baixa capacidade de troca catiônica, menor retenção de água e reduzida proteção física da matéria orgânica, características que os tornam mais suscetíveis à degradação estrutural e às perdas de carbono orgânico do solo sob manejo inadequado.

Diante desse cenário, torna-se fundamental investigar os impactos da expansão agrícola sobre solos arenosos em escala regional. Um exemplo representativo é o Oeste da Bahia, na fronteira agrícola do MATOPIBA, onde extensas áreas de Cerrado foram convertidas para a agricultura sobre Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura leve. Nessa região, avaliar os efeitos dos sistemas irrigado e de sequeiro sobre o carbono orgânico do solo é essencial para compreender a sustentabilidade produtiva e ambiental desses ambientes, tema abordado nas seções subsequentes deste estudo.

5.2. Propriedades físicas, químicas e espectrais dos solos estudados no Oeste da Bahia

A construção da biblioteca espectral de solos (BSS) desenvolvida neste estudo representa uma contribuição importante para ampliar a representação de ambientes arenosos em bases espectrais brasileiras. Solos com textura mais grosseira ainda são pouco contemplados em acervos de referência, como a Brazil Soil Spectral Library (BSSL), o que pode limitar o desempenho de modelos preditivos e funções de espectrotransferência aplicados a regiões com essas características.

Para compor a BSS, foram obtidas curvas de reflectância na faixa do visível ao infravermelho de ondas curtas (Vis-NIR-SWIR), entre 350 e 2.500 nm, utilizando o radiômetro FieldSpec 4 Std-Res. A análise granulométrica mostrou a forte predominância da fração arenosa na maioria das propriedades, sendo que a maior parte das amostras foi classificada estritamente entre as classes areno-argilosa e areia. (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização granulométrica e dos teores de carbono orgânico do solo (COS) nas fazendas avaliadas no Oeste da Bahia

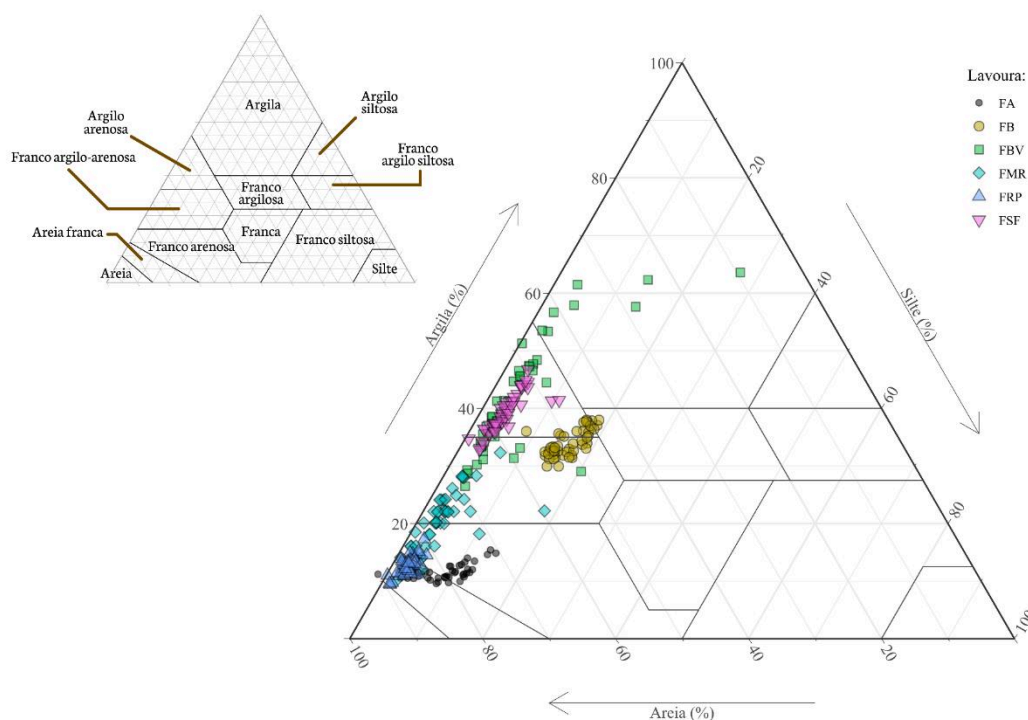
Fazenda	Manejo	N	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)	COS (g kg ⁻¹)
FA	Irigado	48	80,31 ± 4,39	11,58 ± 1,30	8,10 ± 3,72	5,58 ± 1,30
FB	Sequeiro	50	50,25 ± 3,83	34 ± 2,27	15,72 ± 2,73	13,56 ± 1,31
FBV	Sequeiro	49	53 ± 11,76	41,50 ± 9,59	4,70 ± 4,77	14,22 ± 4,53
FMR	Sequeiro	51	76,37 ± 6,04	20,16 ± 5,04	3,46 ± 2,68	6,80 ± 2,04
FRP	Irigado	50	84,90 ± 1,84	12,65 ± 1,48	2,44 ± 0,85	6,00 ± 1,01
FSF	Sequeiro	50	57,12 ± 4,13	39,05 ± 3,31	3,82 ± 1,56	14,48 ± 1,41

*Dados expressos em média ± Desvio padrão;

Legenda: COS: Carbônico orgânico do solo; n: número de amostras.

Para a caracterização física detalhada dessas amostras que compõem a biblioteca espectral, a distribuição granulométrica foi projetada no diagrama trifásico apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Distribuição das amostras de solo das fazendas estudadas no triângulo textural



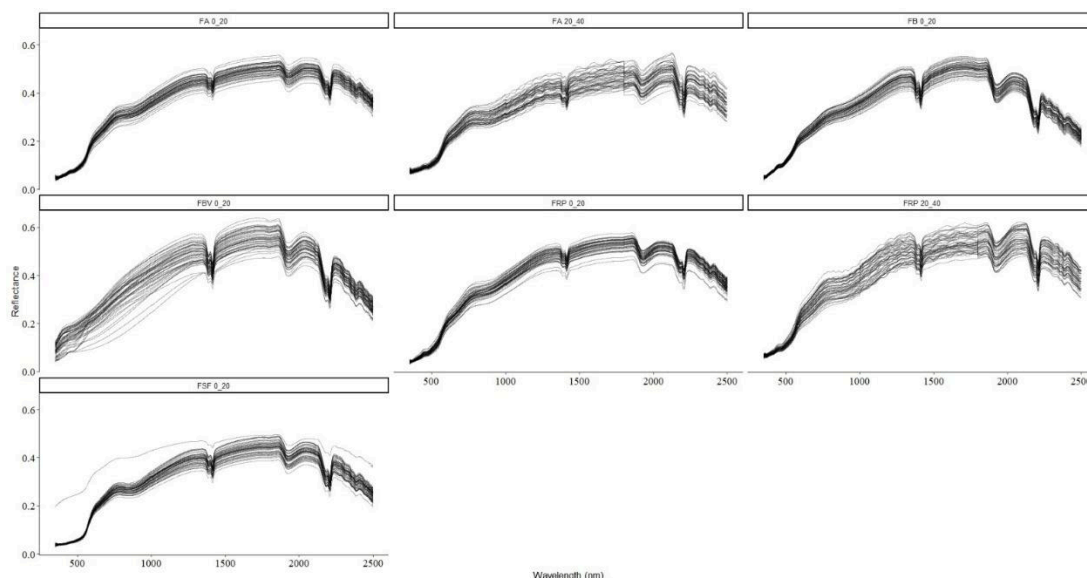
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Conforme apresentado no triângulo textural (Figura 8), a maior parte das amostras das lavouras FA, FRP e FMR concentra-se estritamente nas classes Areia e Areia Franca, mostrando o domínio de solos quartzosos derivados do Grupo Urucuia. Por outro lado, observa-se que as amostras da FBV, FB e FSF apresentam uma dispersão em direção às classes Franco-Arenosa e Argilo-Arenosa, indicando uma maior heterogeneidade textural dentro da biblioteca espectral construída.

Esse comportamento geral de dominância da fração arenosa está diretamente relacionado à mineralogia predominante dos solos da região, formada principalmente por materiais quartzosos, de coloração clara e baixos teores naturais de argila e matéria orgânica. Essas características refletem a influência do Grupo Urucuia, unidade geológica composta majoritariamente por arenitos e conglomerados e amplamente distribuída no Oeste da Bahia.

Como consequência dessa matriz quartzosa, o padrão geral das curvas espectrais foi marcado por elevados valores de albedo, especialmente a partir da região do infravermelho próximo, frequentemente com valores de reflectância acima de 0,4, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Comportamento das curvas espectrais de reflectância difusa (Vis-NIR-SWIR) das amostras de solo avaliadas nas áreas de estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Mesmo com o albedo alto sendo uma característica geral da BSS, a espectroscopia de reflectância difusa permitiu identificar diferenças importantes na mineralogia e nos solos das áreas analisadas, a partir de feições específicas de absorção. Na lavoura FSF, por exemplo, foi observada uma absorção bem marcada perto de 530 nm, ligada à presença de hematita, além de absorções próximas de 900 nm, associadas à goethita. Esses resultados confirmam a predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos nessa área.

Por outro lado, algumas amostras da lavoura FBV apresentaram valores de reflectância bem menores ao longo de todo o espectro, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (Figura 9). Essas curvas mais baixas coincidiram com os maiores teores de carbono orgânico do solo (COS) encontrados na BSS, chegando a cerca de 5%. Essa redução da reflectância está de acordo com o efeito da matéria orgânica no comportamento óptico do solo, já que ela absorve boa parte da radiação incidente. Segundo Demattê et al. (1993), quanto maior o teor de matéria orgânica, mais escuro o solo se torna, reduzindo a energia refletida em diferentes partes do espectro.

Nas curvas analisadas, a influência do COS também apareceu na dinâmica superficial entre os ambientes agrícolas. De forma geral, amostras com maior quantidade de biomassa na superfície e maior retenção de umidade apresentaram menor reflectância em todo o intervalo analisado. Já áreas com menores teores de COS na superfície mostraram maior reflectância.

Isso confirma que a matéria orgânica é um dos principais fatores que controlam a resposta espectral dos solos (Demattê et al., 1993).

Além de diminuir a reflectância de forma geral, o COS também influencia regiões específicas do espectro. De acordo com Viscarra Rossel et al. (2016), a matéria orgânica apresenta feições de absorção ligadas a grupos funcionais como C-H, C=O e O-H, principalmente nas regiões do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Nos solos avaliados, que são predominantemente arenosos e com baixo teor de argila, esse efeito tende a ser ainda mais evidente. Isso acontece porque a menor quantidade de minerais finos reduz a interferência de outros componentes, destacando mais o efeito do COS nas curvas espectrais.

Diante dessa variação granulométrica e mineralógica, foi possível perceber que a lavoura FBV se diferenciava do restante das áreas, que eram mais arenosas. Isso porque ela apresentava regiões com maior teor de argila, associadas a ambientes hidromórficos, possivelmente com presença de Gleissolos. Essas áreas costumam ter coloração acinzentada e ficam em posições mais baixas do relevo, como veredas. Como essas características poderiam prejudicar a análise do efeito isolado do manejo hídrico na etapa seguinte, a fazenda FBV foi excluída das análises estatísticas.

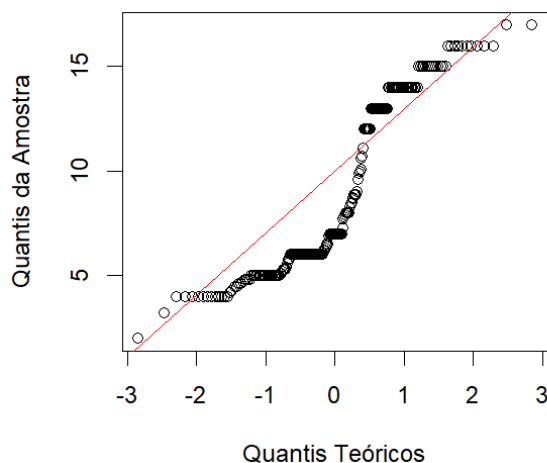
De forma geral, os resultados mostram que a espectroscopia de reflectância difusa tem grande potencial como uma ferramenta rápida, não destrutiva e sustentável para caracterizar solos arenosos e monitorar o carbono orgânico na região, contribuindo para a criação de uma base de dados importante para o Oeste da Bahia

5.3. Efeito do manejo agrícola nos teores de carbono orgânico do solo

Para avaliar o impacto dos sistemas de manejo (irrigado e de sequeiro) sobre os teores de carbono orgânico do solo (COS), foi realizada inicialmente uma triagem no banco de dados selecionando apenas as amostras com características predominantemente arenosas, com teores de areia superiores a 50%.

Antes da comparação entre os grupos, foi verificada a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk, juntamente com a análise visual do gráfico QQ-plot (Figura 10). Os resultados indicaram que os dados não seguem distribuição normal, o que também foi observado pela dispersão dos pontos em relação à linha de referência. Diante disso, optou-se pela utilização do teste não paramétrico de Mann-Whitney.

Figura 10 - QQ-plot para avaliação da normalidade dos teores de carbono orgânico do solo (COS) em amostras com teor de areia superior a 50%

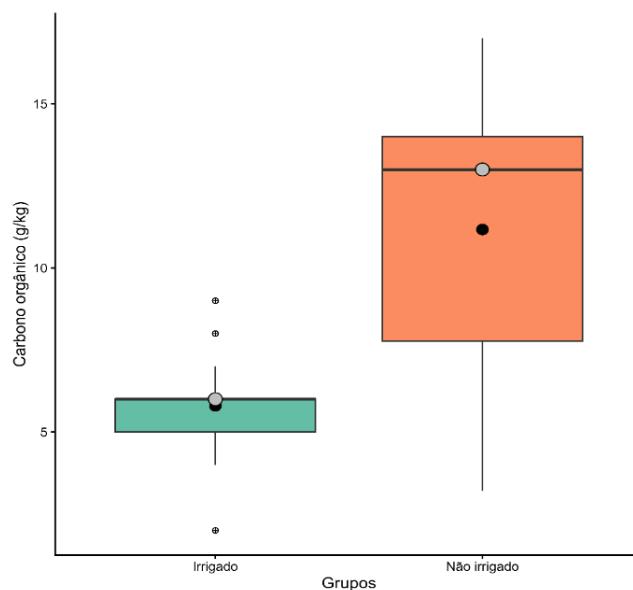


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Os resultados indicaram diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de manejo irrigado e de sequeiro ($p < 0,05$), com maiores teores de carbono orgânico do solo em sistemas de sequeiro. A mediana de COS foi de $13,0 \text{ g kg}^{-1}$ [IIQ 8,72 – 14,0] para o sequeiro e de $6,0 \text{ g kg}^{-1}$ [IIQ 5,0 – 6,0] para o sistema irrigado.

A Figura 11 apresenta a distribuição dos dados por meio de *boxplots*, permitindo visualizar as diferenças nas medianas e na dispersão dos valores entre os grupos. Observa-se maior variabilidade dos teores de COS no sistema de sequeiro, refletida pela maior amplitude dos dados e pelo intervalo interquartilico mais amplo. Já o sistema irrigado apresentou valores mais concentrados, embora com a ocorrência de valores discrepantes (*outliers*).

Figura 11 - Teores de Carbono Orgânico do Solo (COS) em lavouras de algodão sob sistemas de manejo irrigado e de sequeiro em áreas de textura arenosa no Oeste da Bahia



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Os resultados apresentados na Figura 11, em um primeiro momento, sugerem que o manejo hídrico pode influenciar os teores de carbono orgânico do solo. No entanto, essa interpretação deve ser feita com cautela, uma vez que mesmo dentro do grupo de solos arenosos ainda podem existir variações importantes no teor de argila, fator reconhecidamente determinante na dinâmica do carbono no solo, ou seja, nossos resultados podem estar refletindo diferenças na textura do solo entre as áreas avaliadas, e não necessariamente um efeito direto do manejo hídrico.

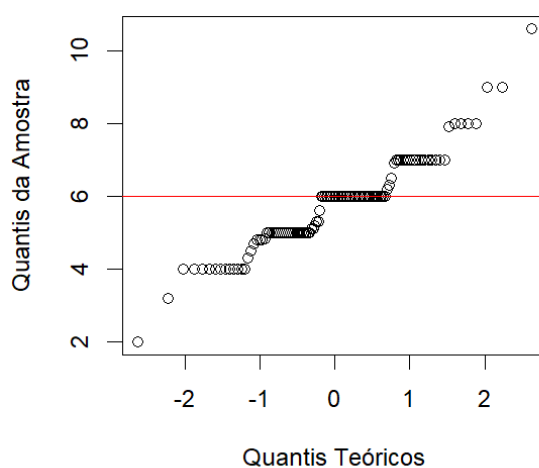
De acordo com Campos, Pires e Costa (2020), a fração argila exerce papel fundamental na estabilização da matéria orgânica, favorecendo a formação de associações organominerais e reduzindo a taxa de decomposição microbiana. Dessa forma, diferenças texturais, mesmo que sutis, podem influenciar significativamente os teores de carbono observados.

Com o objetivo de reduzir a influência da variabilidade textural observada na análise anterior, foi realizada uma segunda abordagem considerando apenas amostras com teor de areia superior a 50% e teor de argila inferior a 20%. Essa delimitação fundamentou-se nos critérios adotados por Huang e Hartemink (2020), que caracterizam os solos arenosos por elevadas proporções de areia e baixos teores de argila na camada superficial. Segundo os autores, esses solos apresentam propriedades físicas e químicas distintas das observadas em solos mais argilosos, incluindo menor capacidade de troca catiônica, menor retenção de nutrientes e reduzida proteção física da matéria orgânica. A restrição da análise a essa faixa granulométrica

permitiu avaliar de forma mais específica a influência dos sistemas de manejo sobre os teores de carbono orgânico do solo, minimizando o efeito da heterogeneidade textural observada no conjunto completo de amostras.

Nessa nova condição, a normalidade dos dados foi novamente avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, que confirmou a não normalidade ($p < 0,05$). Assim, manteve-se o uso do teste de Mann-Whitney, conforme mostrado na Figura 12.

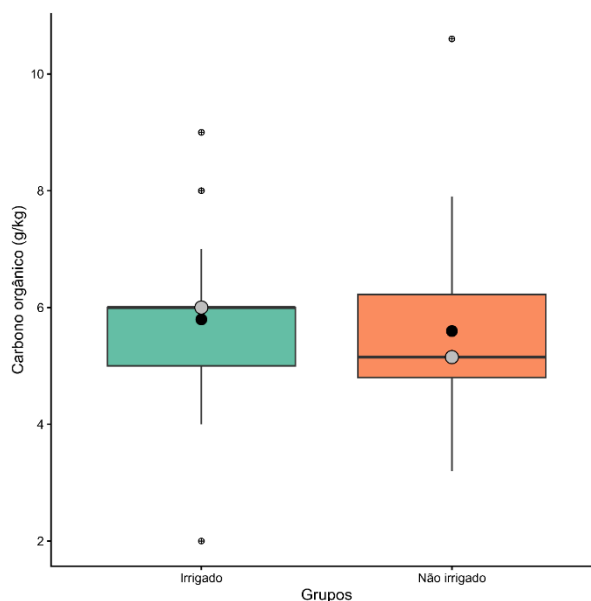
Figura 12 - QQ-plot para avaliação da normalidade dos teores de carbono orgânico do solo (COS) em amostras com teor de areia superior a 50% e teor de argila inferior a 20%



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Diferentemente do observado na análise anterior, os resultados não indicaram diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de manejo irrigado e de sequeiro ($p = 0,1822$), conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Distribuição dos teores de carbono orgânico do solo (COS) em função do manejo (irrigado e de sequeiro), considerando amostras com teor de areia superior a 50% e teor de argila inferior a 20%



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O sistema irrigado apresentou mediana de COS de 6,0 g/kg [IIQ 5,0 - 6,0], enquanto o sistema de sequeiro apresentou mediana de 5,15 g/kg [IIQ 4,8 - 6,25]. Esses valores evidenciam a proximidade dos teores de carbono orgânico do solo entre os dois manejos.

A Figura 13 reforça esse resultado ao mostrar uma grande sobreposição dos *boxplots* dos dois sistemas. Embora o sistema irrigado apresente distribuição ligeiramente mais concentrada em torno da mediana, a dispersão dos dados e a amplitude de variação observadas em ambos os manejos demonstram que os teores de carbono foram bastante semelhantes. Também foram observados valores discrepantes (*outliers*) nos dois grupos, evidenciando que ainda existem variações pontuais mesmo entre áreas com características texturais mais homogêneas. Esse comportamento pode estar relacionado às características dos solos arenosos, que apresentam baixa capacidade de retenção de água, menor teor de argila e, consequentemente, menor proteção da matéria orgânica. Nessas condições, o acúmulo e a estabilização do carbono no solo tendem a ser mais limitados, independentemente do manejo adotado. Além disso, esse resultado reforça que estudos envolvendo a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) devem ser conduzidos em condições de mesma classe textural quando o objetivo é avaliar o efeito do manejo. Embora essa condição seja, na prática, de difícil obtenção, ela é fundamental para reduzir a interferência de fatores edáficos, especialmente em estudos que envolvem a inclusão de áreas de referência. Nesse contexto, destaca-se que a textura do solo exerce influência mais determinante sobre os teores de carbono do que o manejo,

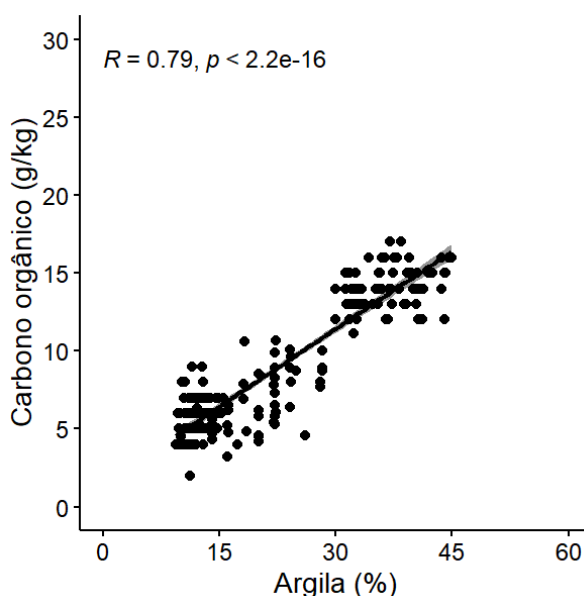
mesmo em sistemas que promovem a incorporação de matéria orgânica, seja na superfície ou na subsuperfície

De forma geral, os resultados indicam que a textura do solo exerce papel importante na regulação dos teores de carbono orgânico, quando a análise é restrita a solos mais homogêneos, com teor de areia superior a 50% e teor de argila inferior a 20%, o manejo hídrico não exerce influência significativa sobre os teores de carbono orgânico do solo. Em outras palavras, a diferença observada na análise anterior parece estar mais associada à variabilidade textural do que propriamente à irrigação.

Esse comportamento pode ser explicado pelas características dos solos arenosos. Nesses ambientes, o baixo teor de argila reduz a formação de associações organominerais e limita os mecanismos de proteção da matéria orgânica contra a decomposição. Como consequência, mesmo em condições de maior disponibilidade hídrica, o potencial de acúmulo e estabilização do carbono tende a permanecer reduzido. Assim, os resultados sugerem que a textura do solo exerce papel mais importante que o manejo hídrico na regulação dos teores de carbono orgânico nas áreas avaliadas.

A Figura 14 apresenta a relação entre o teor de argila e o carbono orgânico do solo (COS) nas amostras avaliadas. Cada ponto representa uma amostra de solo, sendo o eixo horizontal correspondente ao teor de argila e o eixo vertical ao teor de COS. Observa-se uma tendência clara de aumento dos teores de carbono à medida que aumenta o teor de argila no solo, evidenciada pela inclinação positiva da reta de regressão.

Figura 14 - Relação entre o teor de argila (%) e o carbono orgânico do solo (COS), com ajuste de regressão linear, nas amostras avaliadas



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A análise de correlação indicou forte associação positiva entre as variáveis ($r = 0,79$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$), demonstrando que amostras com maiores teores de argila tendem a apresentar maiores teores de carbono orgânico. Esse comportamento pode ser explicado pelo papel da fração argila na estabilização da matéria orgânica. Solos mais argilosos apresentam maior área superficial específica e maior capacidade de interação com compostos orgânicos, favorecendo a formação de associações organominerais. Essas associações protegem a matéria orgânica da decomposição microbiana e contribuem para sua permanência no solo por períodos mais longos.

Os resultados observados estão de acordo com Campos, Pires e Costa (2020), que destacam a importância da fração argila na estabilização do carbono em ambientes tropicais. Da mesma forma, Six et al. (2002a) demonstram que o armazenamento de carbono está fortemente associado às frações finas do solo e à formação de complexos organominerais, considerados mecanismos fundamentais para a proteção física e química da matéria orgânica.

A forte influência da textura observada neste estudo também auxilia na interpretação dos resultados apresentados anteriormente. Na análise inicial, considerando apenas amostras com teor de areia superior a 50%, foi observada diferença significativa entre os sistemas irrigado e de sequeiro. Entretanto, quando a comparação foi restrita a solos com características texturais mais homogêneas (areia > 50% e argila < 20%), essa diferença deixou de ser significativa. Esse resultado sugere que parte do efeito inicialmente atribuído ao manejo hídrico estava associada à variabilidade textural existente entre as áreas avaliadas.

Essa interpretação é reforçada pelo fato de que algumas áreas de sequeiro, como as fazendas Barcelona e São Francisco, apresentam teores de argila superiores aos observados em parte das áreas irrigadas, o que favorece uma maior capacidade de retenção e estabilização do carbono orgânico. Dessa forma, os maiores teores de COS observados inicialmente no sistema de sequeiro não podem ser atribuídos exclusivamente à ausência de irrigação.

Embora Tang et al. (2025) tenham avaliado os efeitos da irrigação sobre o carbono orgânico e inorgânico do solo em escala global, os nossos resultados indicam que a textura do solo deve ser considerada antes de qualquer interpretação sobre os impactos do manejo hídrico. Além disso, o estudo não apresentou análises específicas para solos extremamente arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos predominantes no Oeste da Bahia, o que limita a extrapolação direta de seus resultados para esses ambientes.

Assim, os resultados obtidos reforçam que a granulometria e a mineralogia do solo exercem forte controle sobre os teores de carbono orgânico. Qualquer avaliação dos efeitos da irrigação sobre a dinâmica do carbono deve considerar, primeiramente, as características do solo. Caso contrário, corre-se o risco de atribuir ao manejo hídrico diferenças que são explicadas, em grande parte, pela própria textura do solo.

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram compreender melhor a dinâmica da ocupação agrícola no Brasil e a sua relação com as características dos solos, com foco nos ambientes arenosos do Oeste da Bahia. A análise temporal mostrou que a expansão agrícola no país ocorreu de maneira diferente entre as classes texturais. Enquanto os solos mais argilosos já apresentavam alta ocupação agrícola desde o início da série histórica, os solos arenosos passaram a ser incorporados ao processo produtivo principalmente a partir dos anos 2000.

Esse comportamento está alinhado com a expansão agrícola observada no MATOPIBA, região onde predominam solos de textura mais grosseira. Nesse contexto, os resultados reforçam o papel dos avanços tecnológicos, especialmente relacionados à correção da fertilidade, ao manejo do solo e à irrigação, que foram essenciais para viabilizar o uso agrícola desses ambientes e consolidar a região como uma das principais fronteiras agrícolas do Brasil.

Em escala regional, a construção da biblioteca espectral de solos (BSS) do Oeste da Bahia ajudou a suprir a falta de informações espectrais sobre ambientes arenosos, que ainda são pouco representados em bibliotecas de referência nacionais. Os resultados mostraram o potencial da espectroscopia de reflectância difusa (Vis-NIR-SWIR) como uma técnica rápida, não destrutiva e eficiente para caracterização de solos. As curvas espectrais obtidas representaram bem a predominância de materiais arenosos associados ao Grupo Urucua e permitiram identificar feições ligadas à presença de hematita, goethita e matéria orgânica. Isso evidencia a capacidade da técnica em distinguir diferenças mineralógicas e pedológicas relevantes nesses ambientes.

Em relação ao carbono orgânico do solo (COS), os resultados indicaram que o manejo hídrico, de forma isolada, não gerou diferenças significativas entre áreas irrigadas e de sequeiro nas condições avaliadas. Em solos com teor de argila inferior a 20% e areia superior a 50%, não foi observada redução significativa do carbono associada à irrigação.

Esse resultado reforça a importância de considerar as características locais do solo na avaliação dos efeitos do manejo agrícola, já que fatores como textura e mineralogia têm papel decisivo na dinâmica da matéria orgânica.

De forma geral, os resultados mostram que a textura do solo influencia diretamente seus processos e, por isso, deve ser sempre considerada em estudos de manejo e conservação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. L. S. D. *et al.* Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land Use Policy**, [s. l.], v. 80, p. 57–67, 2019.

BEILLOUIN, D. *et al.* A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. **Nature Communications**, [s. l.], v. 14, art. 39338, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39338-z>.

BHATT, R. *et al.* Soil Texture: Unlocking Fertility and Productivity for Better Crops. **Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews**, [s. l.], 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021. 140 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 12 jun. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030)**: plano operacional nacional. Brasília, DF: MAPA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 05 jul. 2026.

CAMPOS, R.; PIRES, G. F.; COSTA, M. H. Soil carbon sequestration in rainfed and irrigated production systems in a new Brazilian agricultural frontier. **Agriculture**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 156, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture10050156>. Acesso em: 12 maio 2026.

DE HOLANDA, S. F.; VARGAS, L. K.; GRANADA, C. E. Challenges for sustainable production in sandy soils: A review. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 53–66, 2023.

DEMATTE, J. A. M. *et al.* Morphological Interpretation of Reflectance Spectrum (MIRS) using libraries looking towards soil classification. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 6, p. 509–520, 2014.

DEMATTE, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma topossequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 274–285, 1993.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1003–1020, 2016.

FONTANA, A.; OLIVEIRA, A. P. de. **Levantamento detalhado dos solos (1:5.000) da área piloto na Fazenda Marechal Rondon, Município de Luís Eduardo Magalhães, BA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 67 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 261). Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>. Acesso em: 4 jun. 2026.

FREITAS, P. L. de *et al.* Identificação e caracterização físico-química de latossolos de textura arenosa e média da região oeste da Bahia. **Cadernos de Geociências**, Salvador, v. 11, n. 1-2, p. 83-93, nov. 2014.

HUANG, J.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], v. 208, art. 103295, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>. Acesso em: 10 jun. 2026.

KIRSTEN, M. *et al.* Iron oxides and aluminous clays selectively control soil carbon storage and stability in the humid tropics. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, art. 5095, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84777-7>.

LOCATELLI, J. L. *et al.* Changes in soil organic matter fractions induced by cropland and pasture expansion in Brazil's new agricultural frontier. **Geoderma Regional**, [s. l.], v. 28, p. e00474, 2022.

MAPBIOMAS. **MapBiomas Solo**: metodologia de mapeamento das classes de textura do solo. São Paulo: MapBiomas, 2026. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-solo/>. Acesso em: 12 maio 2026.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas**: coleção de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2026. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/. Acesso em: 12 maio 2026.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil**: fomento à ciência aberta e resiliência climática. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/11/MapBiomas_cop30_06.11_v2.pdf. Acesso em: 10 jul. 2026.

MORAES, L. S. **Diagnóstico de uso e ocupação da bacia do Rio de Ondas: Barreiras/BA**. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. [s. l.]: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 05 jul. 2026.

PASSO, D. P. *et al.* Caracterização Geomorfológica do Município de São Desidério, Oeste Baiano, Escala 1:50.000. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (Embrapa Cerrados), Planaltina, DF, v. 283, p. 1-29, 2010.

PIMENTA, F. M. *et al.* Historical Changes in Land Use and Suitability for Future Agriculture Expansion in Western Bahia, Brazil. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 1088, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13061088>. Acesso em: 2 jun. 2026.

SANTOS, L. A. *et al.* Land use and land cover dynamics in the Brazilian Cerrado: A case study of the Western Bahia region. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 4, p. 250, 2022.

SATO, M. V. **Primeira aproximação da biblioteca espectral de solos do Brasil:** caracterização de espectros de solos e quantificação de atributos. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-15102015-152045/>. Acesso em: 1 maio 2026.

SIX, J. *et al.* Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 241, n. 2, p. 155-176, 2002.

SOUZA, C. *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>. Acesso em: 04 jul. 2026.

TANG, Q. *et al.* Global soil organic and inorganic carbon vulnerability in response to irrigation. **Communications Earth & Environment**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 599, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02591-9>. Acesso em: 8 maio 2026.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

VASQUES, G. M. *et al.* Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**, [s. l.], v. 223–225, p. 73–78, 2014.

VILLELA, J. M. *et al.* Soil carbon debt from land use change in Brazil. **Nature Communications**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 1626, 2026.

VISCARRA ROSSEL, R. A., Behrens, T., Ben-Dor, E., Chabrilat, S., Demattê, JAM, Ge, Y., Gomez, C., Guerrero, C., Peng, Y., Ramirez-Lopez, L., Shi, Z., Stenberg, B., Webster, R., Winowiecki, L. e Shen, Z. (2022). Espectroscopia de reflectância difusa para estimar propriedades do solo: uma tecnologia para o século XXI. **European Journal of Soil Science**, 73 (4), e13271. <https://doi.org/10.1111/ejss.13271>

VISCARRA ROSSEL, R. A. *et al.* A global spectral library to characterize the world's soil. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], v. 155, p. 198-230, 2016.