



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS BACHARELADO

MARIA TAWANA DA SILVA GUIMARÃES

**ATIVIDADE BIOLÓGICA DO SOLO EM ÁREAS DE FRUTICULTURA
NA MATA ATLÂNTICA**

Recife - PE

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Guimarães, Maria Tawana da Silva.

Atividade biológica do solo em áreas de fruticultura na mata atlântica / Maria Tawana da Silva Guimarães. - Recife, 2025.

39 : il., tab.

Orientador(a): Leonor Costa Maia

Coorientador(a): Indra Elena Costa Escobar

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2025.

9.

Inclui referências.

1. Ciências do solo. 2. Mata Atlântica. 3. Qualidade do solo. 4. Fruticultura.
I. Maia, Leonor Costa . (Orientação). II. Escobar, Indra Elena Costa .
(Coorientação). IV. Título.

500 CDD (22.ed.)

MARIA TAWANA DA SILVA GUIMARÃES

**ATIVIDADE BIOLÓGICA DO SOLO EM ÁREAS DE FRUTICULTURA
NA MATA ATLÂNTICA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Ciências Biológicas - Bacharelado, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Biólogo.

Orientador (a): Prof. Dra. Leonor Costa Maia

Coorientador (a): Dra. Indra Elena Costa Escobar

Recife - PE

2025

MARIA TAWANA DA SILVA GUIMARÃES

Atividade biológica do solo em áreas de fruticultura na mata atlântica

Trabalho de Conclusão
apresentado ao Curso de
Ciências Biológicas -
Bacharelado, da Universidade
Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção
do Título de Biólogo.

Aprovado em: 21/03/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Leonor Costa Maia (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Joana Suassuna da Nóbrega Veras
(Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Vilma Maria dos Santos (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco - Estação Itapirema pela gentileza e análises físico-químicas.

À minha co-orientadora Indra Elena Costa Escobar pela orientação, preocupação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora Leonor Costa Maia, pela orientação e minha formação acadêmica, transmitindo conhecimento e incentivando o pensamento crítico.

A toda equipe do Laboratório de Micorrizas, Joana, Dani Karla, Dani Magna, Lídia, Gabriel, Thiago, Hilton, Vinicius, Lucas e Marizalva.

Aos meus amigos da graduação: Nathan, Cecília, Albean, Gabriel, Erick, Arthur, Ewellyn, Yanka, Herbert, João, Antônio, Elloá, Giovanna, João Pedro, Joana, Emanuelle, Natally, Raphaela, Ana Elisa, Roberta, Maria Eduarda e Pablo, por compartilharem momentos bons comigo durante o curso.

Aos meus amigos maranhenses: Isabel, Hiza, Djullia, Mônica, Felipe, Jordan, Naiane, Victor e André.

Aos meus pais, Arlindo e Edilene por terem me criado tão bem, com amor e carinho.

Aos meus irmãos, Taynam e Talyta, pelo apoio apesar das distâncias geográficas.

À toda minha família querida, que foram essenciais para seguir com meus princípios e objetivos.

.

RESUMO

A qualidade do solo é um fator essencial para a sustentabilidade dos ecossistemas naturais e agrícolas, sendo influenciada por diversos atributos físicos, químicos e biológicos presentes. O Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco (IPA) desenvolve pesquisas voltadas para árvores frutíferas de interesse comercial, na Estação de Itapirema, e há pelo menos 10 anos não faz o manejo das áreas cultivadas com abacateiros (*Persea americana*), jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus*) e sapotizeiros (*Manilkara sapota*). O objetivo deste trabalho foi determinar se a qualidade do solo é influenciada pela cobertura com essas fruteiras exóticas, comparando-se com a área de Mata Atlântica típica do local. Foram coletadas oito amostras de solo em cada cultivo e na Mata, analisando atributos físicos, químicos e biológicos (atividade da arilsulfatase, beta-glucosidase e fosfatase, e respiração induzida pelo substrato). Pelas análises univariadas foi possível observar diferenças químicas e físicas entre as áreas; na área com jaqueiras foram registrados maior pH e teores de K, Na, Ca, Mg, SB, CTC e V. Os solos de Mata Atlântica apresentaram o menor pH e os menores valores de P, K, Na, Ca, Mg, SB, CTC, e saturação por bases (V) além de areia grossa. Os maiores valores de atividade da betaglicosidase foram observados na área cultivada com jaqueiras; os valores de C-CO₂ foram maiores apenas na área cultivada com abacateiros, não diferindo significativamente nas demais áreas. Os parâmetros químicos do solo e a atividade das enzimas arilsulfatase e betaglicosidase foram os mais responsivos em determinar as diferenças de acordo com a cobertura vegetal (sapotizeiro, jaqueiras, abacateiros ou Mata) das áreas estudadas. O cultivo de árvores frutíferas influencia a fertilidade do solo, a atividade microbiana e a retenção de nutrientes, sendo a jaqueira a espécie que maior favoreceu a fertilidade e a atividade enzimática do solo.

Palavras-chave: *Artocarpus heterophyllus*; Bioindicadores; Fruteiras; Qualidade do Solo; Pomares.

ABSTRACT

Soil quality is an essential factor for the sustainability of natural and agricultural ecosystems, and is influenced by several physical, chemical and biological attributes present. The Pernambuco Institute of Agronomic Research (IPA) conducts research on commercial fruit trees at the Itapirema Station, and has not managed areas cultivated with avocado trees (*Persea americana*), jackfruit trees (*Artocarpus heterophyllus*) and sapodilla trees (*Manilkara sapota*) for at least 10 years. The objective of this study was to determine whether soil quality is influenced by the coverage of these exotic fruit trees, comparing it with the typical Atlantic Forest area of the site. Eight soil samples were collected from each crop and from the Forest, and physical, chemical and biological attributes (arylsulfatase, beta-glucosidase and phosphatase activity, and substrate-induced respiration) were analyzed. The univariate analyses revealed chemical and physical differences between the areas; In the area with jackfruit trees, higher pH and K, Na, Ca, Mg, SB, CTC and V contents were recorded. The Atlantic Forest soils presented the lowest pH and the lowest values of P, K, Na, Ca, Mg, SB, CTC, and base saturation (V), in addition to coarse sand. The highest beta-glucosidase activity values were observed in the area cultivated with jackfruit trees; C-CO₂ values were higher only in the area cultivated with avocado trees, not differing significantly in the other areas. The chemical parameters of the soil and the activity of the enzymes arylsulfatase and beta-glucosidase were the most responsive in determining the differences according to the vegetation cover (sapotize, jackfruit trees, avocado trees or forest) of the studied areas. The cultivation of fruit trees influences soil fertility, microbial activity and nutrient retention, with jackfruit being the species that most favored soil fertility and enzymatic activity.

Keywords: *Artocarpus heterophyllus*; Bioindicators; Fruit Trees; Soil Quality; Orchards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Flor, fruto e folhas do abacateiro	18
Figura 2 – Frutos de jaqueira	19
Figura 3 – Flor, frutos e sapotizeiro	20
Figura 4 – Mapa da localização da Estação Experimental de Itapirema e das áreas de coleta na Mata Atlântica e nos pomares de abacateiro, jaqueira e sapotizeiro.	21
Figura 5 - Mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo em resposta a diferentes cultivos de frutíferas e em relação à Mata Atlântica, de acordo com a ordenação NMS.	28
Figura 6 - Mudanças nas propriedades biológicas do solo em áreas cultivadas com frutíferas e em Mata Atlântica, de acordo com a ordenação NMS.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades químicas das amostras de solo das Áreas de Mata Atlântica e de plantio de abacateiro, jaqueira e sapotizeiro.....	26
Tabela 2 - Propriedades físicas das amostras de solo das Áreas de Mata Atlântica e de plantio de abacateiro, jaqueira e sapotizeiro.....	26
Tabela 3 - Propriedades biológicas do solo C-CO ₂ e atividades das enzimas arilsulfatase (ARIL), fosfatase (FOS) e β-glicosidase (BETA em solos de Mata e em cultivos de Abacate, Sapoti e Jaca.....	27
Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as propriedades químicas e físicas do solo e os eixos 1 e 2 da ordenação NMS.....	28

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1.	QUALIDADE DO SOLO	12
2.1.1	Principais indicadores para avaliação da qualidade do solo.....	13
2.1.2	Qualidade do solo em pomares.....	16
2.2.	DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	17
2.2.1	Abacateiro (<i>Persea americana</i> Mill).....	17
2.2.2	Jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.)	18
2.2.3	Sapotizeiro (<i>Manilkara sapota</i> L.)	19
3.	METODOLOGIA	21
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA.....	21
3.2	AMOSTRAGEM	22
3.3	PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	22
3.4	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS	22
3.4.1	Respiração induzida pelo substrato	22
3.4.2	Atividade Enzimática do solo.....	22
3.5	ANÁLISE DOS DADOS	23
3.5.1	Análises univariadas	23
3.5.2	Análises multivariadas.....	23
4.	RESULTADOS.....	25
4.1	PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO	25
4.2	INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO	27
5.	DISCUSSÃO	30
6.	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Todos os sistemas vivos requerem o suprimento de nutrientes e energia em quantidade e forma adequadas. No sistema solo-planta não seria diferente; para compreender o funcionamento desse *microhabitat* é preciso entender suas demandas nutricionais, as interações físico-químicas, as biossínteses e as trocas de energia (CARDOSO et al., 1992). Nesse contexto, a qualidade do solo desempenha papel chave, influenciando diretamente a disponibilidade de nutrientes e a dinâmica das interações biológicas. Um solo equilibrado fornece os elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, estimula a atividade microbiana e propicia ciclos biogeoquímicos eficientes (BUNEMANN et al, 2018).

Atualmente, as ciências do solo ainda enfrentam o desafio de desenvolver métodos práticos, simples e rápidos para avaliar o potencial agrícola e saúde do solo, considerando a necessidade de monitoramento constante dos atributos que influenciam na sustentabilidade desses ambientes (MENDES et al., 2021). As análises dos atributos físicos e químicos são parâmetros importantes no monitoramento da condição e fertilidade dos solos. Entretanto, evidências recentes sugerem que a integração desses indicadores com a avaliação dos atributos biológicos pode proporcionar a compreensão mais abrangente das respostas do solo aos manejos adotados, uma vez que as mudanças na atividade biológica frequentemente se manifestam de forma mais evidente (SILVA et al., 2021).

A microbiota do solo constitui um indicador de qualidade do solo crucial das modificações induzidas pelas práticas agrícolas, servindo tanto para o monitoramento quanto para orientar o planejamento e a avaliação das estratégias de manejo - sustentáveis ou não (MELLONI et al., 2008; FERREIRA et al., 2017). Por outro lado, o monitoramento dos sistemas agrícolas por meio de microrganismos torna viável a identificação e o papel que estes desempenham na dinâmica do microbioma do solo (MENDES et al., 2020). Dixon e Tilson (2010) apontam que comunidades microbianas do solo sofrem impactos sob qualquer prática de manejo e uso do solo.

Embora os solos em áreas de cultivo estabelecido apresentem índices superiores de nutrientes e condições físico-químicas otimizadas devido a práticas de manejo, estes solos exibem uma menor diversidade biológica e atividade microbiana em comparação aos solos da Mata Atlântica, onde a ausência de intervenção humana propicia um ecossistema do solo mais robusto e equilibrado.

O cultivo perene é conhecido por sua longevidade e menor necessidade de manejo contínuo; bastante comum no Brasil, cobre uma área superior a 2 milhões de hectares destinada apenas à fruticultura (BRASIL, 2024). Em sistemas agrícolas como fruticultura, a qualidade do

solo está intimamente relacionada à obtenção de uma produção de frutas sustentável e da manutenção das espécies vegetais (MARTINS et al., 2002; RAMANANJATOVO et al., 2024).

Pomares, como sistemas agrícolas perenes, equilibram desenvolvimento econômico e sustentabilidade, promovendo emprego e renda no meio rural, além de proverem serviços ecossistêmicos contribuindo para a biodiversidade, conservação do solo e sequestro de carbono (SANTOS et al., 2020). Entre as diversas árvores de importância econômica e nutricional no Nordeste esse trabalho analisa três frutíferas exóticas (EMBRAPA, 2008), são abacateiro (*Persea americana*), jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) e sapotizeiro (*Manilkara sapota*).

Nesse contexto, segue-se a pergunta norteadora “Como a cobertura com fruteiras exóticas influencia os atributos físicos, químicos e biológicos do solo em comparação a uma área de Mata Atlântica?”. Este trabalho teve como objetivo deste trabalho: foi determinar se a qualidade do solo é influenciada pela cobertura com fruteiras exóticas, comparando com uma área de Mata Atlântica típica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. QUALIDADE DO SOLO

Solo é toda superfície terrestre complexa, formada pela interação de processos físicos, químicos e biológicos, fundamental para o desenvolvimento da vida no planeta (EMBRAPA, 2020). A atividade biológica do solo é extremamente concentrada nas camadas mais superficiais (1 a 30 cm), onde microrganismos realizam diversas funções para a manutenção dos processos ecológicos (ARAÚJO et al., 2008).

Um solo saudável deve apresentar resiliência a estresses abióticos - não somente nos primeiros anos de produção, mas também após vários ciclos de uso com a manutenção de suas características (MENDES et al., 2021). A qualidade do solo é definida por Doran e Parking (1998), como a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentando a produtividade de plantas e animais, promovendo a saúde ambiental e humana.

Os indicadores da saúde do solo são determinados por parâmetros que abrangem aspectos físicos, químicos e biológicos. As propriedades químicas e físicas do solo impactam o crescimento das plantas e a sustentabilidade dos ecossistemas. Enquanto os atributos físicos influenciam a retenção de água e a aeração, os químicos determinam a disponibilidade de nutrientes (DORAN; PARKIN, 1998). Além dos parâmetros, as propriedades biológicas são úteis para avaliar a qualidade e a capacidade de resposta às alterações causadas no solo. Aspectos como a atividade e a diversidade de microrganismos influenciam diretamente o ciclo de nutrientes, a estrutura do solo e sua resistência à degradação (ARAÚJO et al., 2008).

A microbiota no solo promove a decomposição da matéria orgânica, disponibilizando carbono e nutrientes para plantas e outros organismos do solo, influenciando diretamente a diversidade biológica do ecossistema (HOPKINS; DUNGAIT, 2010). Os microrganismos do solo podem favorecer a nutrição das plantas por meio de interações simbióticas, como as formadas por bactérias que se associam com raízes de leguminosas, fixando nitrogênio (CARDOSO et al., 1992) e os fungos micorrízicos, que formam associações mutualísticas com raízes, e fornecem à planta maior absorção de água e nutrientes, e em troca recebendo carboidratos e lipídios (SMITH; READ, 2008). Essas relações são capazes de estabelecer uma rede de suporte à produtividade e à saúde do solo (MENDES et al., 2018).

Além dos aspectos químicos e físicos rotineiramente avaliados no solo, Mendes et al. (2020), ao observarem que solos quimicamente semelhantes podem apresentar diferentes capacidades de produção e funcionalidades, destacam a importância da inclusão de parâmetros

relacionados ao funcionamento biológico do solo (bioindicadores) em análises de rotina atuais, pois são indicadores sensíveis às mudanças ocorridas no solo (FREITAS et al., 2024).

2.1.1 Principais indicadores para avaliação da qualidade do solo

Um dos maiores desafios nas ciências do solo atuais é como avaliar a qualidade do solo de maneira fácil, simples e rápida, considerando que não há método padronizado para diferentes tipos de solo. A partir do uso de indicadores químicos, físicos e biológicos, modelos matemáticos foram utilizados para proporcionar índices de qualidade, combinando diversas características e composições do solo (TÓTOLA; CHAER, 2002). Nas últimas décadas, a avaliação de qualidade de solo focou em atributos práticos para os pesquisadores e agricultores, relacionados, principalmente, com sua utilidade em definir processos do ecossistema (MENDES et al, 2020) em função do uso do solo (PEREIRA et al., 2014) ou das mudanças climáticas nos microambientes do solo (JANSSON et al., 2020).

Um indicador de qualidade não deve ser apenas uma variável mensurável (ex. temperatura do solo, pH, CTC), mas também pode ser um processo (taxa de mineralização do N) ou um índice (porosidade). A diferenciação possibilita comparações e interpretações a partir dos indicadores. A capacidade de retenção de umidade, por exemplo, é um indicador físico com respostas sobre armazenamento e disponibilidade de água no solo. Em indicadores químicos, como o conteúdo de N, P e K, são encontradas respostas para a produtividade por indicar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (ARAÚJO et al., 2008; DORAN; PARKIN, 1994).

Os indicadores físicos e químicos continuam desempenhando papel importante na avaliação da qualidade, tendo seu efeito potencializado principalmente quando abordados de forma integrada com indicadores biológicos (SANTOS et al., 2025). Esses indicadores são organismos, processos ou atividades da biota do solo que refletem sua qualidade, fertilidade e saúde ecológica (MENDES et al., 2021), responsáveis direta ou indiretamente por processos bioquímicos diversos com alto grau de complexidade.

Estudos têm demonstrado que, quando testados individualmente, indicadores físicos e químicos muitas vezes não são sensíveis para diferenciar áreas sob diferentes sistemas de cultivo como café (RODRIGUES et al., 2022) e soja (CERVANTES, 2012), florestas plantadas (LINO, 2015), áreas degradadas por mineração e em recuperação (ESCOBAR, 2015) entre outros ambientes (BARBOSA et al., 2023). Por outro lado, os indicadores biológicos têm se mostrado mais responsivos às mudanças ocorridas no sistema solo (CHAER; TÓTOLA, 2007). Dentre esses, as análises enzimáticas mostraram-se mais precisas na avaliação da qualidade do

solo, distinguindo de forma satisfatória as áreas naturais, sob sistema de cultivo orgânico e sob sistema convencional (BARBOSA et al., 2023; BETANCUR et al., 2024).

No Brasil, a Embrapa Cerrados tem participação na introdução de indicadores biológicos (atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase) em análises de rotina para caracterização e monitoramento; entretanto, o método é validado apenas para solos do Cerrado (MENDES et al., 2018). Os componentes da comunidade microbiana do solo possuem contribuições diversas no solo, com atividades que podem ser divididas em dois tipos: as gerais e as específicas. As gerais são aquelas provenientes de todos ou quase todos os microrganismos do solo, como a respiração e a produção de calor, e as específicas são medidas por grupos específicos, como os organismos fixadores de nitrogênio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Cardoso et al. (1992) apontam que na maior parte dos ambientes no solo o carbono orgânico é o maior fator limitante das comunidades e que quanto mais simples o *habitat*, menor será o número de nichos disponíveis e quanto mais complexo, maior esse número. Nos solos de bioma Mata Atlântica, por exemplo, é possível observar maiores valores médios de atividade de β -glicosidase, celulase e urease em comparação com os demais biomas brasileiros (BARBOSA et al., 2023). Efeitos diversos como o estresse hídrico são eventos observáveis nas comunidades microbianas (BODONI, 2015).

A diversidade da comunidade microbiana edáfica desempenha várias funções ecossistêmicas (GIANINAZZI et al., 2010), destacando-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA, Filo Glomeromycota) (WIJAYWARDENE et al., 2022) que formam associações com a maioria das plantas terrestres, fornecendo nutrientes como fósforo (P) (SMITH; READ, 2008). Esses fungos auxiliam na agregação e estabilidade do solo (RILLING, 2004), e aumentam a tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos (LIU et al., 2007). O estudo dos FMA e de suas interações com as plantas pode apresentar respostas sobre a manutenção da biodiversidade e de interações tróficas, refletindo na saúde do ecossistema como indicador de qualidade do solo.

Além dos microrganismos presentes no solo, a fauna edáfica, constituída principalmente de nematoides, rotíferos, artrópodes, entre outros, os quais variam em relação à ocorrência, aspectos funcionais ou tamanho (ARAÚJO et al., 2008; VEZZANI et al., 2009), também podem ser utilizados como indicadores. A fauna edáfica influencia diretamente a ciclagem biogeoquímica por meio da modulação do arranjo físico das partículas do solo (WARDLE; LAVELLE, 1997).

A biomassa microbiana representa, em média, 2% a 5% do C orgânico e funciona como um reservatório de nutrientes, controlando a decomposição e o acúmulo da matéria orgânica

(JENKINSON; LADD, 1981). Determinações de biomassa microbiana total, como o quociente microbiano, são ótimas alternativas para o estudo, mas podem ser complementadas por outras análises como a taxa respiratória, que permite analisar o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo (EMBRAPA, 2007).

A respiração induzida por substrato é um dos métodos mais tradicionais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1978), sendo baseado na quantidade de CO₂ liberado na respiração dos microrganismos, induzida por uma fonte de carbono facilmente assimilável, geralmente glicose (PRAGANA et al., 2012). Os microrganismos do solo utilizam a glicose como fonte de energia, aumentando temporariamente sua atividade respiratória. Esse aumento da liberação de CO₂ indica o potencial metabólico da comunidade microbiana presente no solo, permitindo avaliar sua capacidade de decomposição da matéria orgânica e a saúde do solo (MENDES et al., 2018).

Outro indicador biológico utilizado em diferentes biomas é a atividade enzimática do solo (BARBOSA et al., 2023). Por exemplo, enzimas como fosfatase, arilsulfatase e betaglicosidase são importantes pois informam sobre o metabolismo microbiano relacionado aos nutrientes fósforo (P), enxofre (S) e carbono (C), respectivamente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A síntese de enzimas do solo pode estar relacionada à composição da comunidade microbiana, de modo que alterações nessas comunidades refletem na atividade, o que pode interferir direta ou indiretamente nos processos biogeoquímicos ocorridos nesses ambientes (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2011).

A fosfatase é uma enzima importante economicamente por aumentar a eficiência no uso do P, catalisando a hidrólise de compostos orgânicos e os convertendo em formas disponíveis para absorção pelas plantas (PEREIRA et al., 2024). O fósforo participa de biomoléculas como ATP e ácidos nucleicos e sua solubilização acontece principalmente por ação de fungos e bactérias (CARDOSO et al., 1992). As fosfatases são classificadas em dois grupos: Fosfatases alcalinas, geralmente encontradas em solos alcalinos, sendo produzidas por bactérias, e Fosfatases ácidas, em geral encontradas em solos ácidos e produzidas principalmente por fungos e raízes, sendo as mais comumente analisadas no Brasil (MENDES et al., 2019).

A β -glicosidase é a enzima responsável pela catalisação e hidrólise de glicosídeos e celobiose, compostos derivados da celulose e de outros carboidratos. O resultado dessa quebra é a liberação da glicose, um açúcar essencial na respiração microbiana e para a manutenção da atividade biológica (SHERENE et al., 2017). A arilsulfatase é responsável por catalisar a hidrólise de ésteres sulfatos orgânicos em forma de enxofre inorgânico (SO₄²⁻). O enxofre (S) é um elemento que participa da formação de diversas proteínas e enzimas vegetais; sua ciclagem

- medida pela presença da arilsulfatase - é sensível a alterações no uso da terra, matéria orgânica e pH do solo (TABATABAI; BREMNER, 1970). Em avaliações recentes MENDES et al. (2019) e SANTOS et al. (2025) destacam principalmente a arilsulfatase e a β -glicosidase como indicadores devido à sua eficiência, custo-benefício e relevância na ciclagem de carbono e nutrientes essenciais.

2.1.2 Qualidade do solo em pomares

Muito além da produção de alimentos, os sistemas agrícolas são a base fundamental da agricultura, representando um conjunto integrado de técnicas e práticas de manejo e cultivo do solo no campo. O manejo influencia diretamente as comunidades microbianas do solo, independente da escala de intervenção (DIXON; TILSON, 2010). A adoção de diferentes sistemas agrícolas influencia diretamente a biota do solo. Os pomares são um tipo de cultura perene, com estratégias de manejo diversificadas, que podem incluir abordagens convencionais e orgânicas (SANTOS et al., 2020). Nesses sistemas permanentes a estabilidade proporcionada pela cobertura vegetal contínua favorece a microbiota solo (BRASIL, 2024).

Os sistemas agrícolas perenes, como os pomares, desempenham um papel no equilíbrio entre desenvolvimento econômico e social e na preservação ambiental. Esses sistemas proporcionam múltiplas fontes de renda para os produtores, fortalecendo a economia rural e promovendo a geração de empregos locais (BRASIL, 2024). Além disso, a manutenção de pomares contribui para a conservação do solo e para a biodiversidade, atuando como um mecanismo de sequestro de carbono (JANSSON et al., 2020) e contribui para a mitigação dos impactos proporcionados pelas mudanças climáticas globais.

A avaliação da qualidade do solo em pomares desempenha é essencial para a sustentabilidade desses sistemas de produção. A busca por práticas que conciliam a produtividade com a preservação ambiental justifica o monitoramento desses solos, de modo a assegurar a conservação, a produtividade sustentável e melhorar a qualidade das frutas (MARTINS et al., 2002; RAMANANJATOVO et al., 2024).

O Brasil ocupa a terceira posição no ranking mundial de produção de frutas, ficando atrás apenas da China e da Índia. A fruticultura nacional é sustentada por pequenos e médios produtores e conta com mais de 2 milhões de hectares cultivados em todas as regiões do país. A diversidade de frutíferas nativas e exóticas proporciona aos consumidores uma grande variedade de produtos ao longo do ano. Dentre as regiões, o Nordeste se destaca como um dos principais polos de produção de frutas, consolidando-se como um polo estratégico para a fruticultura nacional (BRASIL, 2024).

O cultivo de frutas em sistemas agroflorestais, como o cacau na Bahia e o açaí no Amapá, demonstra que é possível unir inovação e sustentabilidade na agricultura brasileira. Esses sistemas, muitas vezes baseados em práticas tradicionais, não apenas fortalecem a economia, mas também desempenham um papel essencial na conservação de ecossistemas nativos, como a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica (ALMEIDA; UDRY, 2019).

Além da importância econômica e nutricional, a fruticultura brasileira desempenha um papel estratégico na conservação e no manejo dos germoplasmas, que são fundamentais para o desenvolvimento e melhoramento genético das variedades frutíferas. Esses bancos de recursos genéticos garantem a preservação da diversidade das espécies e o aprimoramento de cultivos mais produtivos e resistentes (EMBRAPA, 2008).

Em Pernambuco, o Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPA), criado em 1935, desenvolve pesquisas voltadas para frutíferas, com destaque para a Estação de Itapirema, no município de Goiana, onde, além dos estudos, também realiza a comercialização de mudas (IPA, 2025). O IPA abriga o maior banco de germoplasma de sapoti do Brasil, além de conservar importantes bancos genéticos de abacate e jaqueira, frutas que desempenham um papel significativo na economia local do estado.

2.2. DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

2.1.1 Abacateiro (*Persea americana* Mill)

O abacateiro é uma árvore frutífera de crescimento rápido cujo fruto é o abacate, bastante consumido no Brasil. Apenas em São Paulo, foram produzidas cerca de 422.545 toneladas de abacate em 2023 em cultivos que duram o ano inteiro (IBGE, 2024). Podendo atingir até 20 metros, o abacateiro é nativo da América Central e do México, e pertence à família Lauraceae. Suas folhas são coriáceas e lanceoladas, as flores são pequenas e os frutos são drupas de formato oval ou piriforme, com casca verde-escura e polpa cremosa, levemente adocicada, rica em gorduras, variando entre verde-claro e amarelado (EMBRAPA, 1998) (Figura 1).

Figura 1 - Flor, fruto e folhas do abacateiro



Fonte: <https://www.istockphoto.com>

O abacate é um fruto extremamente nutritivo e consumido, faz parte das frutas mais exportadas *in natura* no Brasil (BRASIL, 2024) mas ainda pouco explorado pela indústria para fins medicinais, considerando seu alto potencial antioxidante e anti-inflamatório (TREMOCOLDI, 2015). Os pomares de abacateiro geralmente são propagados por enxertia ou sementes e entram em produção 2 a 3 anos após o plantio; todas as partes da árvore liberam látex branco pegajoso ao serem feridas (PRAKASH et al., 2009). O abacateiro é muito sensível à carência de ferro e possui preferência a solos leves, drenados e levemente ácidos (EMBRAPA, 1998).

2.1.2 Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)

A jaqueira é uma árvore perene, da família Moraceae, originária da Índia e trazida para o Brasil ainda durante a colonização portuguesa. Crescem melhor em solos drenados e de fertilidade moderada, com texturas franco-arenosas e franco-argilosos e pH entre 5,0-7,5; também toleram solos rasos e levemente salinos (ELEVITCH; MANNER, 2006).

Mais explorada nas regiões Norte e Nordeste, é consumida principalmente *in natura* mas também em doces e compotas, sendo preferida a variedade “jaca dura” (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008). A planta pode alcançar até 20 metros de altura, as folhas são simples e alternadas em formato oval e o fruto, a jaca (Figura 2), é o maior fruto comestível de uma árvore, podendo pesar até 50 kg (PRAKASH et al., 2009).

Figura 2 – Frutos de jaqueira



Fonte: <https://www.istockphoto.com>

O cultivo de jaqueira no Brasil é um sistema permanente, de cultivo extensivo ou sem manejo, tradicional nos estados de Pernambuco e Bahia (IBGE, 2017). No Brasil, são consumidos comumente apenas três variedades de jaca e a estação do IPA em Itapirema apresenta cerca de 42 acessos da variedade Jaca dura, os quais foram coletados na Região Metropolitana do Recife, Zonas da Mata Sul e Norte e Agreste de Pernambuco (LIRA JÚNIOR et al., 2013).

2.1.3 Sapotizeiro (*Manilkara sapota* L.)

O sapotizeiro é uma árvore frutífera da família Sapotaceae, originária do sul do México e da América Central e do Sul (BANDEIRA et al., 2003). É uma árvore de folhas verdes brilhantes e copa densa; a forma pode variar entre arredondada, piramidal ou irregular, podendo alcançar até 15 metros de altura. Possui tronco, geralmente curto com coloração que varia do cinza-claro ao marrom-escuro, produz pequenas flores agrupadas em inflorescências fasciculadas, em tons brancos, cremes ou levemente rosados. O fruto, sapoti, consumido principalmente *in natura*, tem sabor doce, o que contribui para a valorização (MONTEIRO et al., 2020). (Figura 3).

Figura 3 – Flor, frutos e saptizeiro



Fonte: <https://www.istockphoto.com>

Embora a produção global do sapoti não seja amplamente documentada, sabe-se que os principais países produtores incluem Índia, Filipinas, Sri Lanka, Malásia, México, Brasil e outras nações da América Central. No Brasil, a maior parte da produção ocorre no Nordeste, com destaque para Pernambuco, Bahia, Ceará, Pará, Paraíba e Sergipe (BANDEIRA et al., 2005), sendo majoritariamente cultivados em pequenas propriedades para abastecimento local.

O saptizeiro apresenta ampla variabilidade genética; com 710 acessos conservados *ex situ* em nível mundial. No Brasil, o maior banco ativo de germoplasma está localizado no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), onde estão preservados 270 acessos (SILVA JUNIOR et al., 2014). Essa frutífera se desenvolve em climas quentes e úmidos, apresentando crescimento ideal em locais com temperaturas médias próximas a 28°C e chuvas entre 1.250 e 2.500 mm anuais. Destaca-se pela elevada adaptabilidade a diferentes tipos de solo, sendo capaz de se desenvolver inclusive naqueles com baixa fertilidade (SILVA JUNIOR et al., 2014). No entanto, seu desenvolvimento ideal ocorre em solos profundos, ricos em matéria orgânica, levemente argilosos e bem arejados, com pH de 6,0 a 6,5 (SEAGRI, 2009). A planta apresenta uma leve tolerância à seca e também consegue crescer em solos com certa salinidade, embora em condições extremas sua produtividade possa ser afetada (BANDEIRA et al., 2005).

3. METODOLOGIA

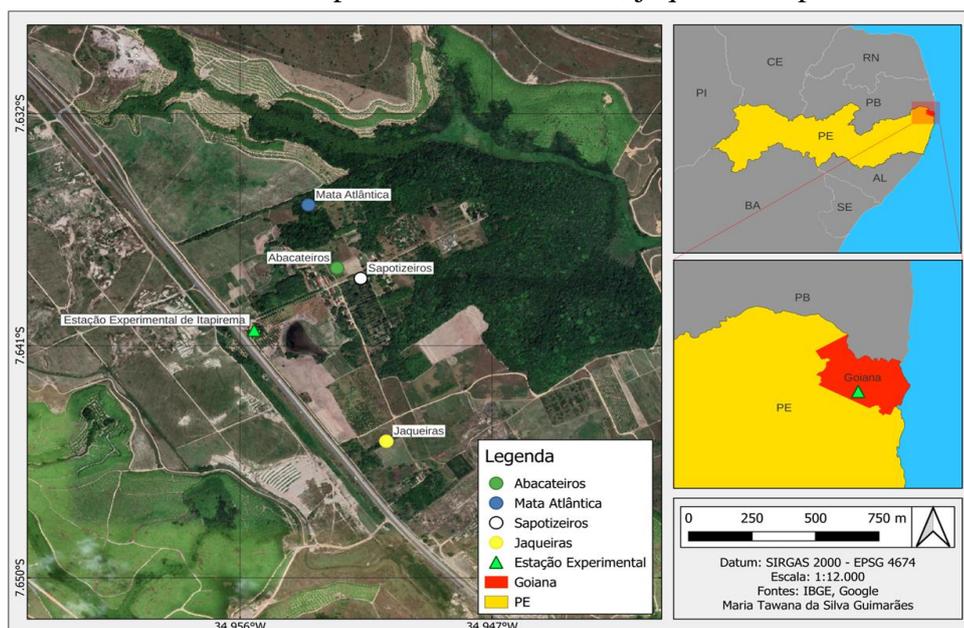
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA

A área de estudo está localizada na Estação Experimental de Itapirema, que pertence ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Goiana, Zona da Mata Norte de Pernambuco. O município apresenta temperatura média anual de 25,1°C e precipitação pluviométrica anual em torno de 1.541 mm, com período mais chuvoso concentrado nos meses de março a julho; o solo é do tipo argissolo vermelho-amarelo (GEBER et al., 2001).

A coleta do solo foi realizada em outubro de 2024 em três pomares de frutífera: abacateiro (*Persea americana*), jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) e sapotizeiro (*Manilkara sapota*), e em uma área de Mata Atlântica adjacente aos pomares selecionados. O fragmento remanescente da Mata Atlântica apresenta cerca de 120 espécies arbóreas com baixa intensidade de uso (Figura 4).

As áreas de frutíferas estudadas nesse trabalho, recebiam apenas tratos culturais simples como poda e capina, não recebendo fertilização e manejo do solo há mais de 10 anos. O último registro de adubação na área cultivada com sapoti ocorreu em 2012 utilizando-se NPK, calagem de calcário e presença de gramíneas no plantio estabelecido há pelo menos 50 anos (PEREIRA et al., 2014). Não foi possível estimar a idade de cada cultura, mas todas as árvores dos pomares estavam em fase de produção.

Figura 4 – Mapa da localização da Estação Experimental de Itapirema e das áreas de coleta na Mata Atlântica e nos pomares de abacateiro, jaqueira e sapotizeiro.



Fonte: A autora

3.2 AMOSTRAGEM

Uma coleta de solo foi realizada em três frutíferas: de abacateiro, de jaqueira e de sapotizeiro, além de uma área de Mata Atlântica adjacente, utilizada como referência. A coleta foi aleatória, garantindo a representatividade das amostras dentro de cada ambiente. Em cada pomar foram coletadas oito amostras, na profundidade de 0-10cm, totalizando 32 unidades experimentais. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração até o momento das análises no Laboratório de Micorrizas da Universidade Federal de Pernambuco. Parte do solo foi separada e mantida em temperatura ambiente para a realização das análises químicas e físicas do solo.

3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

Parte das amostras de solo foi enviada para o IPA, onde foram realizadas análises químicas e físicas conforme os procedimentos estabelecidos pela Embrapa (1997). Para a determinação da umidade do solo, o pH foi medido em solução de solo:água na proporção de 1:2,5. Os teores de P, K⁺ e Na⁺ foram extraídos usando solução Mehlich I, com o fósforo quantificado por espectrofotometria e o sódio e potássio por fotometria de chama. Os conteúdos de Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de cloreto de potássio (KCl) 1M e quantificados por titulometria. As análises granulométricas, envolvendo silte, argila, areia grossa e fina, foram realizadas pelo método da pipeta, conforme a metodologia da Embrapa (1997).

3.4 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS

3.4.1 **Respiração induzida pelo substrato**

A respiração induzida pelo substrato foi determinada pelo método de captura de CO₂, liberado pelos microrganismos, em NaOH (0,5 M). Para a análise, 20 g de solo foram pesados e acondicionados em frascos respirômetros hermeticamente fechados, aos quais foram adicionados 1 g de glicose como substrato e 20 mL da solução de NaOH para absorção do CO₂. Os frascos foram incubados ao abrigo de luz e à temperatura ambiente por um período de 24 horas. Após a incubação, em alíquotas de 10 ml de NaOH (0,5M) foram adicionados 5ml de Cloreto de Bário (0,5 M). A quantidade de C-CO₂ foi quantificada por titulação com HCl 0,1 N (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Como controle, foi conduzida uma prova em branco, na qual os respirômetros foram montados sem a adição de solo, seguindo os mesmos procedimentos de incubação.

3.4.2 **Atividade Enzimática do solo**

A atividade das enzimas β -glicosidase (BETA), arilsulfatase (ARIL) e fosfatase ácida (FOS) foi determinada por meio da quantificação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado após incubação do solo em solução tampão por 1 hora a 37 °C. Para cada enzima, foram utilizados substratos específicos dissolvidos em soluções tamponadas. A atividade da β -glicosidase foi estimada a partir do substrato *p*-nitrofenil- β -D-glucosídeo (25 mM), enquanto a atividade da arilsulfatase foi avaliada com a solução de *p*-nitrofenil-sulfato (0,05 M), conforme descrito por Tabatabai e Bremner (1970). A atividade da fosfatase ácida foi determinada a partir do substrato *p*-nitrofenil-fosfato (0,05 M) (TABATABAI; BREMNER, 1969). O *p*-nitrofenol liberado foi extraído, filtrado e quantificado por espectrofotometria (400 nm). As concentrações de *p*-nitrofenol foram determinadas a partir de curva de calibração utilizando concentrações conhecidas do substrato.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

3.5.1 Análises univariadas

Os dados das variáveis químicas, físicas e biológicas dos solos das quatro áreas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade quando os dados apresentaram normalidade e homogeneidade. Nos casos em que esses pressupostos não foram atendidos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) para a análise dos dados. As análises estatísticas foram realizadas no software Statistica 8.0 (StatSoft, 2007).

3.5.2 Análises multivariadas

Técnicas de análise multivariada foram utilizadas para investigar o efeito das diferentes coberturas vegetais (abacateiros, jaqueiras, sapotizeiros e Mata Atlântica) sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. As diferenças observadas foram representadas graficamente por meio da técnica de ordenação NMS (Non-metric multidimensional Scaling) (SOKAL, 1979; MCCUNE; GRACE, 2002), utilizando a medida de distância de Sorensen.

A ordenação NMS permitiu visualizar o efeito do uso do solo (pomar ou mata) sobre suas características. Os dados relativos às propriedades químicas e físicas foram ordenados separadamente dos dados biológicos. As correlações observadas entre os eixos da ordenação e as variáveis (químicas, físicas e biológicas) indicam quais variáveis estão relacionadas à distribuição dos dados ao longo dos eixos 1 e 2. As correlações entre as propriedades físicas e químicas ou biológicas do solo e os eixos da ordenação NMS foram determinadas por meio dos coeficientes de correlação de Pearson (r).

Antes da análise, a matriz de dados referente às propriedades químicas e físicas (pH, P, Ca, Mg, Na, K, H, Al, SB, CTC, V, m, DAP, Dr, areia grossa, areia fina, silte e argila) e às propriedades biológicas (BETA, ARIL e FOS) foi relativizada pelos respectivos totais das colunas, garantindo a padronização das variáveis e eliminando as diferenças nas unidades de medida. Para avaliar diferenças estatísticas entre os ambientes estudados (pomares e mata), foi utilizada a análise PERMANOVA para as variáveis do solo, baseada na distância de Sørensen, considerando um nível de significância de $p < 0,05$. Quando necessário, os valores de p foram ajustados pela correção de Bonferroni, conforme o número de comparações pareadas. Todas as análises multivariadas foram realizadas no software estatístico PC-ORD, versão 6.0 (MCCUNE; MEFFORD, 2011).

4. RESULTADOS

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

A partir da análise univariada, observou-se que a fração de Areia Grossa variou entre os locais, sendo mais elevada no solo sob cultivo de sapotizeiro, seguida pelas áreas de abacateiro e jaqueira, que não diferiram entre si. Por outro lado, a área de Mata Atlântica apresentou o menor percentual de areia grossa e as maiores quantidades de Areia fina. Os maiores percentuais de argila e os menores de Silte foram observados na área com abacateiros, sem diferença entre esses solos e os cultivados com sapotizeiro para os teores de silte. Os solos cultivados com sapotizeiro apresentaram os menores teores de argila. Em relação à densidade do solo, os menores valores de densidade aparente (Dap) e densidade relativa (Dr) foram observados no solo cultivado com jaqueira (Tabela 1).

A análise química do solo evidenciou variações significativas entre as áreas estudadas. De modo geral, o solo da área cultivada com jaqueira apresentou maior pH e maiores teores de K, Na, Ca, SB, CTC e V em relação a Mata. Não foram observadas diferenças significativas entre os solos de jaqueira e do sapoti para as variáveis K, Na, Al, Mg, H, SB e m. Os solos de sapotizeiro foram quimicamente similares aos de abacateiro em relação ao: pH, P e K. Os valores de Ca, Mg, H, SB, m e V não diferiram entre os solos do sapotizeiro, abacateiro e da área de Mata Atlântica (Tabela 2).

De modo geral, os solos de Mata Atlântica apresentaram solos mais ácidos e menores valores de pH, P, K, Na, Ca, Mg, SB, CTC e saturação por bases (V) e as maiores concentrações de Al e m. Não foram observadas diferenças entre a área de referência e as áreas cultivadas com abacateiro e sapotizeiro para as variáveis: K, Ca, Mg, H, SB, m e V. Os menores teores de P e de Na, observados na Mata, diferiram das demais áreas, com exceção, respectivamente, dos solos das áreas com jaqueira e com abacateiro (Tabela 2).

Tabela 2 - Propriedades químicas das amostras de solo das Áreas de Mata Atlântica e de plantio de abacateiro, jaqueira e sapotizeiro

Áreas	pH	P	K	Na	Al	Ca	Mg	H	SB	CTC	m	V
	(H ₂ O)	(mg/dm ³)		%								
Abacateiro	5,2 b	19,7 a	0,1 ab	0,03 b	0,23 b	1,3 b	0,6 b	4,0 b	2,3 b	6,4 c	13,5 a	31,7 b
Jaqueira	5,7 a	11,1 b	0,2 a	0,06 a	0,06 b	6,1 a	1,8 a	5,0 ab	8,2 a	13,2 a	0,87 b	62,2 a
Sapotizeiro	5,2 b	33,7 a	0,1 ab	0,06 a	0,21 b	2,7 b	1,0 ab	6,1 a	3,9 ab	10,3 b	5,4 ab	39,1 b
Mata Atlântica	4,7 c	2,6 b	0,06 b	0,04 b	0,59 a	0,8 b	0,7 b	5,7 ab	1,6 b	7,9 c	29,6 a	19,6 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis ou Tukey a 5% de probabilidade. SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; m: saturação por alumínio; V: saturação por bases. Fonte: a autora.

Tabela 1 - Propriedades físicas das amostras de solo das Áreas de Mata Atlântica e de plantio de abacateiro, jaqueira e sapotizeiro

Áreas	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Dap	Dr
	%				g/cm ³	
Abacateiro	52,3 ab	35,1 b	10,7 a	1,7 c	1,34 a	2,53 a
Jaqueira	50,8 ab	33,0 b	10,0 ab	6,1 a	1,21 b	2,49 b
Sapotizeiro	53,5 a	36,3 ab	7,5 b	2,6 bc	1,35 a	2,53 a
Mata Atlântica	47,0 b	39,8 a	9,2 ab	3,9 ab	1,26 ab	2,57 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis ou Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: a autora.

Os maiores valores de atividade da β -glicosidase foram observados na área cultivada com jaqueira, diferindo das demais áreas. Por outro lado, a fosfatase foi menor na área com abacateiro, diferindo das demais áreas, que apresentaram valores semelhantes entre si. Os maiores valores de arilsulfatase e de C-CO₂ também foram observados nos solos desta frutífera, não diferindo do sapotizeiro e do abacateiro, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Propriedades biológicas do solo C-CO₂ e atividades das enzimas arilsulfatase (ARIL), fosfatase (FOS) e β -glicosidase (BETA em solos de Mata e em cultivos de abacateiro, sapotizeiro e jaqueira.

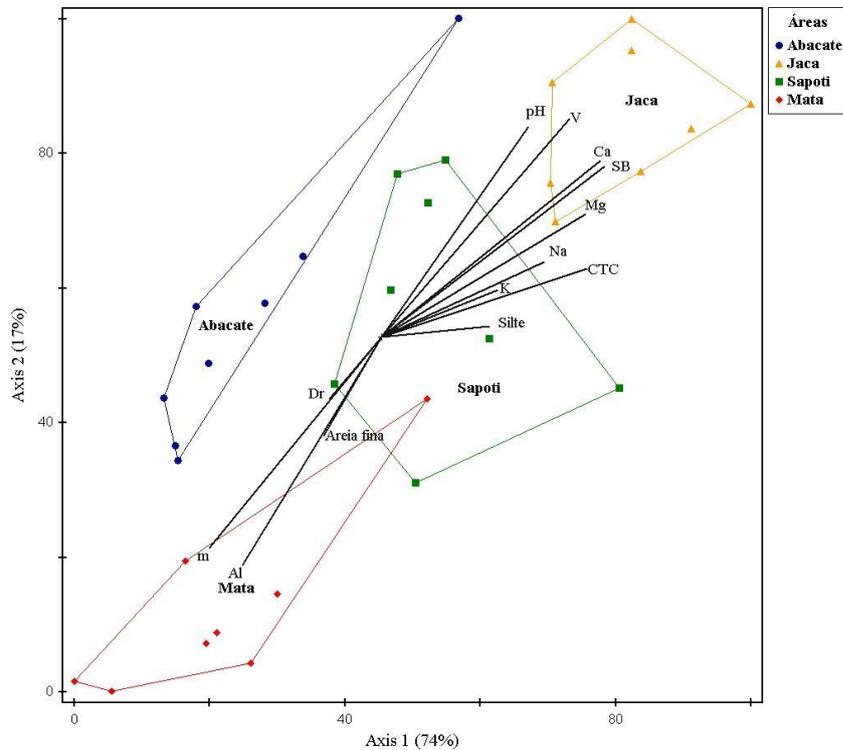
Área	BETA	FOS	ARIL	C-CO ₂
	μg p-nitrofenol. g ⁻¹ .solo.h ⁻¹			mgC-CO ₂ .Kg ⁻¹ solo.dia ⁻¹
Abacateiro	39,9 b	159,5 b	56,0 b	811,0 ab
Jaqueira	100,0 a	380,6 a	216,7 a	1209,9 a
Sapotizeiro	62,1 b	321,0 a	116,9 ab	650,5 b
Mata	49,9 b	297,3 a	95,0 b	599,9 b

4.2 INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

A ordenação NMS gerada a partir das propriedades físicas e químicas do solo nas áreas com frutíferas e em solos de Mata Atlântica explicaram 91% da variabilidade total dos dados expressada nos dois eixos. Para essas variáveis, o Eixo 1 explicou 71% da variação dos dados, enquanto o Eixo 2 explicou 17% da variação (Figura 4). De acordo com a análise de PERMANOVA, após a correção de Bonferroni ($p < 0,008$) foram observadas diferenças significativas entre todas as áreas para as propriedades químicas e físicas do solo.

As variáveis químicas do solo foram fortemente influenciadas pelas frutíferas, diferentes entre si e entre a área de referência (Mata), segundo a análise de PERMANOVA ($p < 0,008$). As diferenças entre os pomares podem ser observadas ao longo do Eixo 1, a partir de um gradiente de fertilidade do solo, indicando forte influência da frutífera cultivada sobre a maior parte das propriedades químicas do solo (Figura 5).

Figura 5 - Mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo em resposta a diferentes cultivos de frutíferas e em relação à Mata Atlântica, de acordo com a ordenação NMS.



Na Figura 4 podem ser observadas correlações positivas entre as variáveis químicas (pH, Ca, Mg, Na, K, SB, CTC e V) com o Eixo 1 e do Eixo 2 da ordenação indicando uma associação dessas características, sobretudo a área de jaqueira, situada à direita do gráfico. Por outro lado, as variáveis Al e m apresentaram correlação negativa com ambos os eixos, demonstrando uma maior relação com a área de Mata. Correlações negativas com as propriedades físicas Dr e Areia foram observadas ao longo do Eixo 2 (Figura 5; Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as propriedades químicas e físicas do solo e os eixos 1 e 2 da ordenação NMS

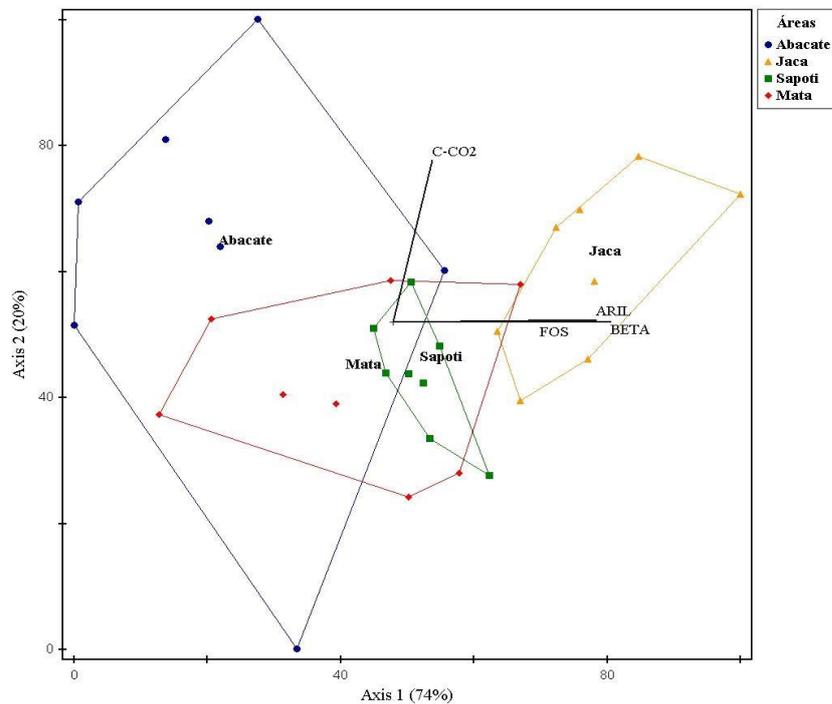
Variáveis químicas e físicas	r (correlação de Pearson)	
	Eixo 1	Eixo 2
Dr	-0,45	-0,49
Areia Fina	-0,48	-0,63
Silte	0,65	0,21
pH	0,76	0,91
Ca	0,93	0,84
Mg	0,90	0,70
Na	0,80	0,55
K	0,68	0,43
Al	-0,74	-0,95
SB	0,94	0,82
CTC	0,90	0,52

V	0,86	0,93
m	-0,82	-0,91

Dr – Densidade real; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Na – sódio; K – potássio; Al – Alumínio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – Saturação por bases; m – Saturação por alumínio.

Para as variáveis biológicas, os eixos da ordenação explicaram 94% da variabilidade dos dados; no Eixo 1 essa variabilidade representou 74% e 20% no Eixo 2 (Figura 6). Segundo a análise de PERMANOVA ($p < 0,008$), diferenças significativas foram observadas entre a área com jaqueira e as demais áreas. A área de referência (Mata Atlântica) não foi significativamente diferente das áreas cultivadas com abacateiro e sapotizeiro (Figura 6). Correlações positivas entre as variáveis FOS ($r=0,74$), BETA ($r=0,93$) e ARIL ($r=0,90$) foram observadas com o Eixo 1 da ordenação, correlações negativas entre o C-CO₂ ($r=0,82$) e o Eixo 2 da ordenação NMS também foram observadas, indicando uma associação das características biológicas, principalmente relacionadas com a área cultivada com jaqueira.

Figura 6 - Mudanças nas propriedades biológicas do solo em áreas de frutíferas e de Mata Atlântica, de acordo com a ordenação NMS.



5. DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que diferentes frutíferas podem impactar distintamente as propriedades físicas e químicas do solo, provavelmente devido às variações na quantidade e qualidade da serapilheira que produzem. A decomposição dessa matéria orgânica influencia diretamente a ciclagem de nutrientes, a estrutura do solo e a atividade microbiana, podendo favorecer ou limitar a disponibilidade de elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas. Estudos como o de Chen et al. (2025) demonstraram esse efeito em pomares de cerejeiras, onde a composição específica da serapilheira afetou os teores de matéria orgânica e a dinâmica de nutrientes no solo. Além disso, fatores como o tipo de sistema radicular, a exsudação de compostos orgânicos e a interação com a microbiota edáfica também podem contribuir para essas diferenças.

Os solos da Mata Atlântica apresentaram os menores valores de pH e teores de nutrientes, o que pode ser explicado pela ausência de intervenção antrópica e pela dinâmica natural do solo sob vegetação nativa que envolve a decomposição e reciclagem contínua de nutrientes presentes na serapilheira. Pereira et al. (2014) avaliando outra porção do mesmo fragmento de Mata Atlântica avaliado do nosso estudo, classificaram o solo com ácido (pH=5,1) e encontraram valores semelhantes de K e de Na. Esses achados reforçam a consistência dos fatores naturais que influenciam a composição do solo sob vegetação nativa.

Ao analisarem a fertilidade dos solos em áreas naturais (floresta e pastagem), áreas de pomar e agrícolas convencionais, Kooch et al. (2024) observaram que as diferentes coberturas vegetais podem ter impactos distintos sobre as propriedades do solo; entretanto, esses autores observaram melhor qualidade em solos naturais, quando comparados com os de pomar. No nosso estudo, a área de jaqueira destacou-se pela maior fertilidade e atividade biológica do solo, enquanto a de Mata manteve um pH ácido e alta saturação por alumínio, característicos de solos desse bioma, como observado por Freitas et al. (2024), que registraram valores de pH de 4,7 e 4,9 em solos de Mata, em Pernambuco.

Em áreas cultivadas com jaqueira maiores teores de nutrientes podem estar relacionados à deposição de matéria orgânica proveniente da queda das folhas e frutos. A jaqueira é uma árvore de grande porte, com copa densa e folhas que medem entre 15 e 25 cm de comprimento por 10 a 12 cm de largura, e são ricas em nutrientes (ELEVITH; MANNER, 2006) e ao se decomporem liberam nutrientes para o solo. Além disso, os frutos da jaqueira que podendo atingir até 60 cm de comprimento e pesar até 18 kg, possuem alto valor de carboidratos, proteínas, vitaminas, minerais, fibras alimentares e fitoquímicos (RANASINGHE et al., 2019), contribuindo para o acúmulo de atividade microbiana do solo.

A maior atividade enzimática e respiração microbiana na área de jaqueira indicam uma microbiota mais ativa, possivelmente devido à maior disponibilidade de nutrientes e a deposição de matéria orgânica proveniente da decomposição de folhas, frutos e outros resíduos orgânicos. Esse aporte orgânico contribui para a ciclagem de nutrientes e melhoria da estrutura do solo, estimulando a atividade microbiana do solo. Esse achado corrobora com Fierer et al. (2012) relataram que altos níveis de nutrientes favorecem organismos copiotróficos, caracterizados por rápido crescimento e elevada atividade metabólica em ambientes ricos em recursos. A maior atividade biológica no solo, em geral, indica aumento na decomposição da matéria orgânica e na liberação de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Indicadores biológicos do solo, especialmente os associados às atividades enzimáticas, são amplamente utilizados como ferramentas para detectar precocemente alterações no solo (ESCOBAR et al., 2015).

Os resultados obtidos neste trabalho destacam a importância do monitoramento das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo em sistemas agrícolas perenes, considerando não apenas a produtividade, mas também a manutenção da qualidade do solo e dos serviços ecossistêmicos associados aos pomares.

O estudo de Si et al. (2018) investigou como as espécies de árvores frutíferas decíduas influenciam as propriedades físico-químicas, a atividade enzimática e a comunidade microbiana do solo em suas rizosferas no norte da China. Foram evidenciadas rizosferas de oito espécies comuns de árvores frutíferas decíduas, avaliando-se propriedades físico-químicas do solo, atividades enzimáticas, perfis fisiológicos da comunidade microbiana e diversidade microbiana. Os resultados mostraram variações significativas entre as espécies de árvores em relação aos minerais disponíveis, pH do solo, atividades enzimáticas, utilização de diferentes substratos de carbono e diversidade microbiana.

Uma análise de redundância indicou que fatores como conteúdo de nitrogênio amoniacal, pH do solo e atividade de invertase estavam estreitamente relacionados à comunidade microbiana do solo. Além disso, a atividade de invertase apresentou brilho positivo com microrganismos benéficos às plantas, como *Mortierella*, *Geomyces*, *Lysobacter* e *Chaetomium*, e brilho negativo com microrganismos patogênicos, como *Alternaria*, *Fusarium* e *Colletotrichum*. Esses achados destacam a influência das espécies de árvores frutíferas na microestrutura da rizosfera e sugerem que uma seleção de espécies pode ser uma estratégia para manejar a saúde do solo e a comunidade microbiana associada.

O estudo de Molnárová, Vadkertiová e Stratilová (2014) investigou as atividades enzimáticas extracelulares e os perfis fisiológicos de leveduras que colonizam árvores

frutíferas. Os pesquisadores analisaram a diversidade e o potencial metabólico das leveduras isoladas de diferentes espécies de árvores, avaliando sua capacidade de produção de enzimas extracelulares, como proteases, celulasas, pectinases e lipases, essenciais para a composição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo e na rizosfera. Os resultados indicaram que a composição da comunidade de leveduras variava conforme a espécie da árvore frutífera e as condições ambientais. Algumas leveduras promoveram potencial biotecnológico, devido à produção significativa de enzimas com aplicações industriais. Além disso, o estudo destacou a importância das interações entre microrganismos e plantas na manutenção da saúde e da fertilidade do solo. Este estudo reforça o papel ecológico das leveduras na microbiota do solo e na rizosfera de árvores frutíferas, indicando que essas comunidades microbianas podem influenciar a qualidade do solo e o crescimento das plantas.

O estudo "*Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition*" de Yao et al. (2005) investiga como diferentes práticas de manejo do solo em pomares afetam a atividade microbiana e a composição da comunidade microbiana do solo. Os pesquisadores compararam áreas com diferentes tipos de cobertura do solo, incluindo vegetação permanente, biomassa de cobertura e solo exposto. Foram analisadas a respiração do solo, a biomassa microbiana e a diversidade da comunidade microbiana utilizando técnicas bioquímicas e moleculares. Os resultados mostraram que a manutenção de uma cobertura vegetal ou de biomassa no solo aumentou significativamente a atividade microbiana e a diversidade da microbiota do solo. Além disso, práticas que preservam a cobertura do solo reduziram a compactação e melhoram a retenção de umidade e nutrientes, promovendo um ambiente mais favorável para os microrganismos benéficos. O estudo destaca a importância do manejo sustentável do solo em pomares, enfatizando que práticas que mantêm a cobertura vegetal podem melhorar a saúde do solo, favorecer interações benéficas entre plantas e microrganismos e, potencialmente, aumentar a produtividade das árvores frutíferas.

6. CONCLUSÕES

As frutíferas influenciam diretamente os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Dentre os cultivos avaliados a jaqueira, destaca-se positivamente promovendo a fertilidade e a atividade biológica do solo.

Os parâmetros químicos do solo e a atividade das enzimas arilsulfatase e β -betaglicosidase mostram-se indicadores mais responsivos para identificar as diferenças edáficas de acordo com a cobertura vegetal.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; LASCANO, R.; CALDERÓN, F.; BOOKER, J. D.; ZOBECK, T. M.; UPCHURCH, D. R. Dryland cropping systems influence the microbial biomass and enzyme activities in a semiarid sandy soil. **Biology and Fertility of Soils** 47:655-667. 2011. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2233&context=usdaarsfacpub>. Acesso em: 14 fev. 2025
- ALMEIDA, J. S; UDRY, M. F; Sistemas agrícolas tradicionais no Brasil. **Coleção Povos e Comunidades Tradicionais**, v. 3. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 351 p. il. color. ISBN 978-85-7035-893-6. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1109452>. Acesso em: 2 fev. 2025.
- ANDERSON, T. H; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v. 1, p. 81-89, set. 1985. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00255134>. Acesso em: 31 jan. 2025.
- ARAÚJO, A. F; LEITE, L. C; NUNES, L. L; CARNEIRO, R. V; **Matéria orgânica e organismos do solo**. EDUFPI. Teresina, 2008.
- BANDEIRA, C. T.; MESQUITA, A. L. M.; AQUINO, A. R. L. de; CAVALCANTI JR, A. T.; SANTOS, F. J. de S.; SOBRINHO, R. B.; LIMA, R. N. de; OLIVEIRA, V. H. de. **O Cultivo do Sapotizeiro**. Circular Técnica 13 - Embrapa, ago. 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/424841/1/Ci013.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- BARBOSA, J. Z; POGGERE, G; CORRÊA, R. S; HUNGRIA, M; MENDES, I. C. Soil enzymatic activity in Brazilian biomes under native vegetation and contrasting cropping and management. **Applied Soil Ecology**, v. 190, p. 105014, out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105014>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- BETANCUR, M., RETAMAL-SALGADO, J., LÓPEZ, M.D. Enhancing Soil Health and Fruit Quality in Calafate Orchards Through Sustainable Amendments. **J Soil Sci Plant Nutr** 24, 1235–1249, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01625-z>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- BODONI, L. Impacto da umidade do solo sobre a estrutura das comunidades bacterianas e sobre as atividades enzimáticas em solos da Caatinga e da Mata Atlântica. **Dissertação (Mestrado)** - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 78p. Piracicaba. 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano nacional de desenvolvimento da fruticultura**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-lanca-plano-de-fruticultura-em-parceria-com-o-setor-privado/PlanoNacionaldeDesenvolvimentodaFruticulturaMapa.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-lanca-plano-de-fruticultura-em-parceria-com-o->

setorprivado/PlanoNacionaldeDesenvolvimentodaFruticulturaMapa.pdf. Acesso em: 15 mar. 2025.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (pp. 33-39; pp. 174-195). Campinas, 1992.

CHAER, G.M; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2007. 31: 1381-1396. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pwzJtXHCSQbZzcGHYmbtZyC/?format=pdf>. Acesso em: 31 jan. 2025.

DEBNATH, S., PATRA, A. K., AHMED, N., KUMAR, S., & DWIVEDI, B. S. Assessment of microbial biomass and enzyme activities in soil under temperate fruit crops in north western himalayan region. *Journal of soil science and plant nutrition*, v. 15, n. 4, p. 848-866, 2015. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-95162015005000059&script=sci_arttext . Acesso em: 29 de março.

DIXON, G. R.; TILSTON, E. L. **Soil Microbiology and Sustainable Crop Production**. Springer. New York, p. 399-412, 2010.

DORAN, J. W; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. *Defining soil quality for a sustainable environment*, v. 35, p. 1-21, 1994.

ELEVITCH, C. R; MANNER, H. I. **Artocarpus heterophyllus (jackfruit)**. Species profiles for Pacific Island agroforestry, v. 10, p. 1-25, 2006. Disponível em: <https://growables.org/information/TropicalFruit/documents/Jackfruit.pdf> . Acesso em: 15 de mar. 2025.

EMBRAPA. **Fruticultura Tropical: potenciais riscos e seus impactos**, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1109012/1/Documento232AureaGerumAinfo.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2025.

EMBRAPA. **O que é solo?** Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 10 fev. 2025.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P. da. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 4, p. 448-453, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/mtV9wNdsf3DRdL6rVmHzTHf/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 10 mar. 2025

HOPKINS, D. W.; DUNGAIT, J. J. **Soil microbiology and nutrient cycling**. In: *Soil microbiology and sustainable crop production*, p. 59-80, 2010.

IBGE. **Jaca** - Valor da produção, Quantidade produzida, Área colhida e Produtores. Censo Agropecuário. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/jaca/br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

JANSSON, J. K; HOFMOCKEL, K. S, Soil microbiomes and climate change. **Nature Review Microbiology**, 2020.

LI, J; NIE, M; PENDALL, E. Soil physico-chemical properties are more important than microbial diversity and enzyme activity in controlling carbon and nitrogen stocks near Sydney, Australia. **Geoderma**, v. 366, p. 114201, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119314788?via%3Dihub>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LINO, I.A.N. ; DOS SANTOS, V.M. ; ESCOBAR, I.E.C. ; DA SILVA, D.K.A. ; DE ARAÚJO, A.S.F. ; MAIA, L.C. Soil enzymatic activity in Eucalyptus grandis plantations of different ages. *Land Degradation & Development (Print)*, v. 27, p. 77-82, 2015.

LIRA JÚNIOR, J. S; BEZERRA, J. F; SILVA, J. J; ASSUNÇÃO, M. S; SILVA, M. F. Dissimilaridade entre acessos de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) com base em características de fruto. *Magistra, Cruz das Almas*, v. 25, n. especial, p. 264-265, nov. 2013. ISSN 2236-4420. Anais do 1º **Simpósio da Rede de Recursos Genéticos Vegetais do Nordeste**, Cruz das Almas, nov. 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/988736>. Acesso em: 7 mar. 2025

LIU, J., MALDONADO-MENDOZA, I., LOPEZ-MEYER, M., CHEUNG, F., TOWN, C. D., HARRISON, M. J. Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. **The Plant Journal**, 50(3): 529-544. 2007.

MARTINS, C. R; CANTILLANO, R. F; TREPTOW, R. R; FARIAS, R. M; ROMBALD, C. V. Influência do manejo do solo na conservação, qualidade sensorial, teor de nutrientes e incidência de fitopatias e fisiopatias pós-colheita de pêssegos cv. Cerrito. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal – SP, v. 24, n. 2, p. 359-363, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/bwHLjRR8v3Z4nPQ7KnWxstw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 mar. 2025.

MCCUNE, B., GRACE, J.B. Analysis of ecological communities. **MjM Software Design**. Gleneden Beach, Oregon. 2002.

MELO, V.F; SILVA, D.T; EVALD, A; ROCHA, P.R. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Rev. Agro** - on-line, v.11, n. 2, p. 101-110, 2017. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173261644>. Acesso em: 11 mar. 2025.

MENDES, I. C; CHAER, G. M., SOUSA, D. G; REIS JUNIOR, F. B; SILVA, O. ; OLIVEIRA, M. L; LOPES, A. C; SOUZA, L. M. **Bioanálise de solo: A mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola**. *Informações Agronômicas*, n. 8, p. 1-11. 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128778/1/IEDA-Bioanalise-do-solo-informacoes-agronomicas.pdf> Acesso em: 26 fev. 2025

MENDES, I. C; CHAER, G. M; REIS JUNIOR, F. B; SOUSA, D. M; SILVA, O. D; OLIVEIRA, M. I.; MALAQUIAS, J. V. **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Documentos 369 – Embrapa. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 50 p. CDD, 21ª ed. 631. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1133109/tecnologia-bioas-uma-maneira-simples-e-eficiente-de-avaliar-a-saude-do-solo>. Acesso em: 26 fev. 2025.

MENDES, I. C; SOUSA, D. G; JUNIOR, F. R; LOPES, A. C; **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo.** Embrapa Cerrados, Panaltina, DF. Circular Técnica, v. 38, p. 24, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110832/1/CircTec38IedaMendes.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2025.

MENDES, I. C; SOUSA, D. G; REIS JUNIOR, F. B; LOPES, A. C; SOUZA, L. M. **Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos.** Tópicos em Ciência do Solo, v. 10, p. 399- 462, 2019. Disponível em: 26 fev. 2025.

MOLNÁROVÁ, J.; VADKERTIOVÁ, R.; STRATILOVÁ, E. Extracellular enzymatic activities and physiological profiles of yeasts colonizing fruit trees. **Journal of Basic Microbiology**, v. 54, n. S1, p. S74-S84, 2014.

MONTEIRO, G. S; PEREIRA, T. S; SILVA, V. A; RIBEIRO, V. A; CABRAL, M. B; LUIZ, M. R; LIMA, S. R. Caracterização físico-química e perfil de açúcares da polpa de sapoti (*Manilkara sapota* L.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e585997425, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7425>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2ª EDIÇÃO. 625p. 2002.

MOURA, R. M; SILVA JÚNIOR, J. F. **Recursos genéticos e melhoramento do sapotizeiro em Pernambuco.** In: Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro. 1999. Disponível em: <http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livrorg/sapoti.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2025.

ONU. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050**, Relatório da ONU. 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-deve-chegar-97-bilh%C3%B5es-de-pessoas-em-2050-diz-relat%C3%B3rio-da-onu>. Acesso em: 8 fev. 2025.

PEREIRA, C. R; SILVA, D. A; FERREIRA, A. A; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 185, p. 245-252, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.01.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914000103>. Acesso em: 31 jan. 2025.

PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.R.; LUSTOSA FILHO, J.F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em latossolos amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36 (3) 851-858. 2012.

PRAKASH, O.; KUMAR, R.; MISHRA, A.; GUPTA, R. *Artocarpus heterophyllus* (Jackfruit): An Overview. **Phcog Rev.**, v. 3, n. 6, p. 353-358, 2009. Disponível em: <http://www.phcogrev.com>. Acesso em: 15 mar. 2025.

RAMANANJATOVO, T.; GUÉNON, R.; PEUGEOT, J.; CHANTOISEAU, E.; DELAIRE, M.; CANNAVO, P. Positive influence of apple trees on soil chemical and biological activities in agroecological garden orchard system. Preprint. **ResearchSquare**. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382984505_Positive_influence_of_apple_trees_on_

soil_chemical_and_biological_activity_in_an_agroecological_garden_orchard_system.
Acesso em: 15 mar. 2025.

RANASINGHE, R. N; MADUWANTHI, S. T; MARAPANA, R. J. Nutritional and health benefits of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): A review. **International Journal of Food Science**, v. 2019, Article ID 4327183, 12 p., 2019. DOI: 10.1155/2019/4327183. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/4327183>. Acesso em: 15 mar. 2025.

RILLING, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, 84(4): 355-363. 2004.

SANTOS, M. A; CUNHA, L. S; BARRAL, U. R; ALMEIDA, F. V; ARRUDA, A. M. Indicadores de qualidade do solo que utilizam parâmetros físico-químicos e microbiológicos: uma revisão sistemática da literatura com o Método Direto. **Revista Delos**, v. 18, n. 63, p. 01-24, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/3735/2154>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SANTOS, T. B; SOUZA, A. V; SILVA, K. D; BUENO, L. L; BESERRA, G. A. Agricultura orgânica e microbiota do solo. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 95-102, 2020.

SEAGRI-BA **Cultura - Sapotizeiro**. 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/sapoti/index.htm. Acesso em: 9 mar. 2025.

SI, P., SHAO, W., YU, H., YANG, X., GAO, D., QIAO, X. & WU, G. Rhizosphere microenvironments of eight common deciduous fruit trees were shaped by microbes in northern China. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 3147. 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2018.03147/full>. Acesso em: 31 mar. 2025.

SILVA JÚNIOR, J. F; BEZERRA, J. F; LEDERMAN, I. E; MOURA, R. J. O sapotizeiro no Brasil. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal – SP, v. 36, n. 1, p. 86-99, mar. 2014. DOI: 10.1590/0100-2945-449/13. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-449/13>. Acesso em: 10 mar. 2025.

SILVA, M. O; SANTOS, M. P; SOUSA, A. P; SILVA, R. V; MOURA, I. A. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, jan. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-463. Disponível em: ojs.brazilianjournals.com.br. Acesso em: 10 mar. 2025.

SMITH, S. E., READ, D. J. 2008. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed., Academic Press, New York.

SOKAL, R.R. Testing statistical significance of geographic-variation patterns. **Systematic Zoology**. 28 (2): 227-232. 1979.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 34, n. 2, p. 225-229, 1970.

TABATABAI, M.A., BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**. 1:301 – 307. 1969.

TÓTOLA, M.R., CHAER, G.M. 2002. **Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo** In: Alvarez V., V.H., Schaefer, C.E.G.R., Barros,N.F., Mello, J.W.V., Costa, L.M. (eds.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 195-276.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>. Acesso em: 10 de fev. 2025.

WIJAYAWARDENE, N. N; HYDE, K. D; DAI, D. Q.; SÁNCHEZ-GARCÍA, M. Outline of Fungi and fungus-like taxa – 2021. **Mycosphere**, v. 13, n. 1, p. 53-453, 2022.

YAO, S.; MERWIN, I.A; BIRD, G. W; ABAWAI, G. S.; THIES, J.E. Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition. **Plant and Soil**, v. 271, p. 377-389, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-004-3610-0>. Acesso em: 31 de março.