



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIA AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA

FRANCISCO MATHEUS MEDEIROS DE FREITAS

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DA
CARNAÚBA (*Copernicia prunifera*) NO BIOMA CAATINGA

FORTALEZA

2023

FRANCISCO MATHEUS MEDEIROS DE FREITAS

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DA CARNAÚBA
(*Copernicia prunifera*) NO BIOMA CAATINGA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F936a Freitas, Francisco Matheus Medeiros de.
Atividade enzimática do solo em sistemas de manejo da Carnaúba (*Copernicia prunifera*) no bioma Caatinga / Francisco Matheus Medeiros de Freitas. – 2023.
59 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira.
1. Atividade microbiana. 2. Palmeira k- estrategista. 3. Semiárido. 4. Ciclagem de nutrientes. I. Título.
CDD 630
-

FRANCISCO MATHEUS MEDEIROS DE FREITAS

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DA CARNAÚBA
(*Copernicia prunifera*) NO BIOMA CAATINGA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharelado em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira.

Aprovada em: 06/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Kaio Gráculo Vieira Garcia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Elane Bezerra da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,

Aos meus pais, Adriano e Elisa,

À minha avó Maria Rocicleide (*In memoriam*),

dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A **Universidade Federal do Ceará (UFC)**, na qual estou me formando com o título de Engenheiro Agrônomo. Agradeço por todo o suporte estudantil e laboratorial fornecido, pelas experiências de extensão dentro e fora de sala, tornando possível a realização deste sonho.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq** pela concessão da bolsa que me proporcionou a permanência no curso.

A empresa **Pontes Indústria de Cera – LTDA**, por nos ter aberto as portas e possibilitado a realização deste trabalho.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Arthur Prudêncio**, pela excelente orientação, pelo suporte e oportunidades que me proporcionou, pela parceria e os “N’s” desafios mirabolantes de sua “roleta russa supersecreta” nos proporcionou, e em especial pelo convite em fazer parte do GEMBioS, pela paciência e por acreditar em meu potencial. Ao **Grupo de Estudos em Microbiologia e Biotecnologia do Solo – GEMBioS**, Raylane, Jarlane, Miguel, Murilo, Lucas e Luan, sou grato por nesses 2 anos e 3 meses terem me ensinado valiosas lições, nos auxiliamos frente cada desafio. Abro um agradecimento especial a **MSc. Elane Bezerra da Silva** tanto pela parceria durante nossa fase juntos, mas, principalmente por ter aceitado convite em compor parte da Banca avaliadora desse projeto.

Ao meu “padrinho-científico”, **Dr. Kaio Gráculo Vieira Garcia**, responsável técnico pelo Laboratório de Microbiologia do solo, a que tenho extremo respeito e admiração, não sei onde estarei amanhã, daqui a 15 ou 30 dias, mas, certamente, o profissional que serei irá carregar muito dos ensinamentos que o sr. minuciosamente ensinou-me, e com toda paciência do mundo investiu e acreditou em meu aprendizado. Além disso, agradeço também por aceitar o convite em compor parte da Banca avaliadora desse projeto.

Formalmente, aos membros participantes da banca examinadora, agradeço pela confiança, pelo tempo e principalmente pelas valiosas colaborações para aprumação dessa monografia.

Aos amigos do **Laboratório de Fitopatologia da EMBRAPA Agroindústria Tropical**, Regimara, Acácio, Fabiana, Antônia Fabiana, Rita, sou grato pelos inúmeros conselhos e lições tanto de vida, como acadêmicas. À Samara pelas primeiras instruções em laboratório. Ao pesquisador, **Prof. Dr. Cléber de Freitas Fernandes**, primeiro pai científico, agradeço pela sublime oportunidade e pela tutoria quanto bolsista Pibic – CNPq e Capes. Ao pesquisador **Dr. Wardson Lustrino Borges**, pelos vários conhecimentos e conselhos

fornecidos para e durante a condução de um de nossos experimentos, principalmente por me encorajar a tentar seleção em pós-graduação.

Aos meus **professores da graduação**, em especial meus **primeiros orientadores: Prof. Dr^a Rosemeiry Melo**, pela tutoria na Empresa Júnior de Agronomia, e ao **Prof. Dr. Benito Moreira** por me acolher e confiar a primeira oportunidade como bolsista Pibic – CNPq na Estação Agrometeorológica. Obrigado pela dedicação e zelo à docência, por se esforçarem em tornar esse percurso da graduação gratificante e por contribuírem na formação de excelentes profissionais.

Aos membros que compõe o **Laboratório de Fitopatologia do Departamento de Fitossanidade (UFC)**, Dr. Bruno Café, Paulo, Raquel, Thiffany, Rogério e Natanael, registro minha gratidão quanto ao acolhimento, ainda que nosso tempo juntos não tenha sido longo. À minha *quase* co-orientadora de monografia, **Professora Dra. Carmem Dolores**, a quem admiro profundamente, sou abençoado por ter sido acolhido como seu orientando. Sou grato pela sua atenção, que de muitas vezes exclusiva, nos proporcionou conversas construtivas e enriquecedoras para o meu conhecimento. Mesmo que essas conversas consumissem boa parte do nosso horário de almoço (mas lembre-se, não foi culpa minha, foi culpa **nossa!**), agradeço por me deixar à vontade, por reconhecer minhas qualidades, por encorajar minha carreira na pesquisa e, também, pelas inúmeras risadas.

Agradeço ao Laboratório de sementes e Banco Ativo de Germoplasma (BAG), na pessoa da **Dra. Ana Kelly Firmino**, por toda atenção e suporte prestado na confecção de um dos nossos projetos, sou grato principalmente por nossas ricas conversas e troca de experiências.

A empresa júnior **Agronômica – Consultoria e Projetos Agropecuários**, agradeço por ter sido um divisor de águas e pelos 18 meses experiência e principalmente pelos amigos feitos nessa trajetória. Ao meu **time do Gente e Gestão**: Jonatas Coelho, Nicole Melo, Weverton Lima, Lucas Xavier, João Pedro Dieb, agradeço a confiança do cargo de diretoria.

A empresa **IN Soluções Biológicas**, representada pelos profissionais Dr^a Cristiane Coutinho e Dr. Ruan Carlos pela minha primeira experiência de estágio, sou grato pelo acolhimento e oportunidade.

Aos meus amigos, base de apoio, **Dr.a. Isabelle Mary Pereira e M.e. Felipe Augusto Sombra**, pelos nossos inúmeros momentos de apoio emocional, assessorias e conselhos acadêmicas, pelos cafés e churros, mas, principalmente, pela paciência e cuidado que tiveram comigo.

Aos amigos feitos durante o curso, tanto do meu **Grupo Agro-Friends** que me acompanham desde o S1, agradeço a parceria durante essa caminhada. Aos amigos Ant. Claudio

e Davi Queiroz, sou grato por toparem meus rolês de cafeterias, pela troca de conhecimento ao longo de toda essa trajetória.

Aos meus primeiros professores influenciadores, **Prof. Leandro** e **Prof. Élder**, agradeço pelas orientações ainda no ens. médio, pelas lições de vida, por investirem em meu preparo, por abrirem meus olhos e pela primeira oportunidade de bolsista CNPq-júnior.

Ao apoio dos meus amigos Carol Gadelha, Vitória Régia, Pedro David e Joyce Maria, que mesmo longe, acreditaram e sonham o meu sonho.

Aos meus pais espirituais, **Pr. Fausto Furtado**, **Pb. Erivaldo** e **Pb. Gildomar**, agradeço por estarem sempre em oração em prol da minha vida e por essa importante etapa.

Aos **meus pais, Adriano** e **Elisa**. Ao meu pai por todo apoio, não apenas financeiro, mas por ser motivador nessa trajetória, por ter sido um dos principais responsáveis em meu egresso na universidade. À minha mãe por crer em meus sonhos e me permitir sonhar, que sempre torce pelo meu sucesso e por meu bem-estar, por respeitar meus limites e ser uma base forte em minha vida. Sou grato a pessoa do **meu irmão João Pedro**, a quem tanto amo. À **minha avó**, Maria Rocicleide (*In memoriam*), sou grato pelos incentivos nos estudos.

Por fim e não menos importante, agradeço imensamente ao **meu Deus Pai, Filho e Espírito Santo**, que possibilitou a concretização de uma parte do meu sonho. “Todas as coisas foram feitas através Dele, e sem Ele, nada do que existe teria sido feito” (Jo 1:3). Agradeço por **Ele** ter me concedido força e, principalmente, resiliência, por ter guiado meus passos, por ter me dado a oportunidade de estudo e discernimento para concluir minha tão sonhada graduação. Assim, pude concretizar coisas que, até então, pareciam impossíveis em minha mente.

“As correntes do rio profundo foram mais generosas que o meu remar contra elas. Não cheguei aonde planejei ir. Cheguei, sem querer, aonde meu coração queria chegar, sem que eu o soubesse.” (Rubem Alves).

RESUMO

O Nordeste brasileiro está inserido sob domínio do bioma Caatinga, cuja vegetação intrínseca colabora para o desenvolvimento da região. Dentre as diversidades de espécies vegetais, se destaca a Carnaúba (*Copernicia prunifera*), o caráter k-estrategista possibilita à palmeira adaptabilidade a solos salinos, tornando-a uma planta útil em planos de manejo para revegetação dessas áreas. Por essa razão, o manejo racional da palmeira está relacionado com a conservação da espécie. Para tal, os processos biológicos compreendem a base para saúde e qualidade do solo. As enzimas do solo são sensíveis e eficiente indicadores para avaliação de variações ambientes, efetividade quanto aos tipos de manejos empregados em sistemas agrícolas e monitoramento ambiental. Considerando a importância econômica, cultural e a escassa literatura científica sobre ecossistema da Caatinga, o presente trabalho buscou investigar a influência de diferentes tipos de manejo sobre a atividade enzimática do solo em áreas de carnaubais no município de Caucaia-CE. Foram analisadas enzimas relacionadas aos ciclos dos nutrientes Carbono (C), Enxofre (S), Fósforo (P) e Nitrogênio (N), sendo elas: β -glicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e urease, respectivamente. Foram estudados solos de 4 áreas distintas: 1. Área de carnaúba não manejada e alagada (A1), 2. Área não manejada e não alagada (A2), 3. Área de carnaúba manejadas e alagadas (A3), e 4. Área manejada e não alagada (A4). Em cada uma das áreas, foram coletadas amostras de solo (*bulk soil*), cerca de 15 cm base do caule, de 6 carnaúbas de porte semelhante, sendo avaliadas 24 amostras (4 tratamentos x 6 repetições). As determinações enzimáticas seguiram os métodos baseadas na mensuração colorimétrica após a liberação do NH_4^+ (para Urease) e do p -nitrofenol para as demais enzimas, quando estas foram previamente incubados em tampões específicos e temperaturas correspondentes. A atividade da β -glicosidase foi significativamente inferior na A1, quando comparada aos demais tratamentos. Para a arilsulfatase, o tratamento A2 foi significativamente superior aos tratamentos A1 e A4, que não diferiram significativamente entre si, mas, principalmente ao A3. A atividade da fosfatase ácida foi significativamente superior na A2 em comparação aos demais tratamentos. Como conclusão, demonstrou-se que: as palmeiras na área da A2 em função da preservação ecológica e, principalmente, do não alagamento do solo, conseguem potencializar atividade enzimática, superando as plantas do Tratamento 1; o manejo adequado de carnaúba, independente das condições do solo, para A3 e A4 não provocaram grandes diferenças relacionadas a enzima do ciclo do C. Este estudo reforça a importância do manejo adequado do solo e de espécies nativas da Caatinga para sustentar suas funções ecológicas, como a ciclagem de C, S, P e N, dada a participação dessas enzimas na mineralização do material orgânico associado a cada um destes ciclos.

Palavras-chave: atividade microbiana; palmeira K-estrategista; semiárido; ciclagem de nutrientes; manejo extrativista.

ABSTRACT

The Northeast of Brazil is inserted under the domain of the Caatinga biome, whose intrinsic vegetation contributes to the development of the region. Among the diversity of plant species, the Carnaúba (*Copernicia prunifera*) stands out, the k-strategist character allows the palm tree adaptability to saline soils, making it a useful plant in management plans for revegetation of these areas. For this reason, the rational management of the palm tree is related to the conservation of the species. For this, the biological processes comprise the basis for soil health and quality. Soil enzymes are sensitive and efficient indicators for assessing environmental variations, effectiveness of the types of management employed in agricultural systems and environmental monitoring. Considering the economic, cultural and scarce scientific literature on the Caatinga ecosystem, the present work sought to investigate the influence of different types of management on soil enzyme activity in carnauba areas in the municipality of Caucaia-CE. Enzymes related to the cycles of the nutrients Carbon (C), Sulfur (S), Phosphorus (P) and Nitrogen (N) were analyzed, being: β -glucosidase, arylsulfatase, acid phosphatase and urease, respectively. Soils from 4 distinct areas were studied: 1. Unmanaged and flooded carnauba area (A1), 2. Unmanaged and unflooded area (A2), 3. Managed and flooded carnauba areas (A3), and 4. Managed and unflooded area (A4). In each of the areas, soil samples (bulk soil) were collected, about 15 cm from the base of the stem, from 6 carnaubas of similar size, being evaluated 24 samples (4 treatments x 6 repetitions). The enzymatic determinations followed the methods based on colorimetric measurement after the release of NH_4^+ (for Urease) and p -nitrophenol for the other enzymes, when they were previously incubated in specific buffers and corresponding temperatures. The activity of β -glucosidase was significantly lower in A1, when compared to the other treatments. For arylsulfatase, treatment A2 was significantly higher than treatments A1 and A4, which did not differ significantly from each other, but mainly from A3. The activity of acid phosphatase was significantly higher in A2 compared to the other treatments. As a conclusion, it was demonstrated that: the palm trees in the A2 area due to the ecological preservation and, mainly, the non-flooding of the soil, are able to potentiate enzyme activity, overcoming the plants of Treatment 1; the adequate management of carnauba, regardless of soil conditions, for A3 and A4 did not cause major differences related to the enzyme of the C cycle. This study reinforces the importance of adequate soil management and native species of the Caatinga to sustain their ecological functions, such as the cycling of C, S, P and N, given the participation of these enzymes in the mineralization of organic material of each associated with these cycles.

Keywords: Microbial activity; K-strategist palm; semiarid; Nutrient cycling; extractive management.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1	– Mapa de ocupação do bioma Caatinga	19
Figura 2	– Área de carnaubal manejado com fogo e derrubada no município de Caucaia – CE	22
Figura 3	– Ocorrência do gênero <i>Copernicia</i> na América do Sul	23
Figura 4	– Diagrama do uso múltiplo da planta de carnaúba	25
Figura 5	– Indicadores de qualidade do solo	27
Figura 6	– Processo da catálise enzimática	30
Figura 7	– Localização geográfica da área de estudo, Caucaia-CE	36
Figura 8	– Caracterização visual das áreas experimentais	37
Figura 9	– Procedimento para determinação da atividade da β -glicosidase	39
Figura 10	– Procedimento para determinação da atividade da Arilsulfatase	41
Figura 11	– Procedimento para determinação da atividade da Fosfatase	42
Figura 12	– Hidrólise da ureia catalisada pela enzima urease e formação de NH_4 e hidroxila	43
Figura 13	– Procedimento para determinação da atividade da Urease	44
Figura 14	– Determinação da atividade da enzima B-glicosidase em sistemas de manejo da Carnaúba sob bioma Caatinga	46
Figura 15	– Determinação da atividade da enzima Arilsulfatase em sistemas de manejo da Carnaúba sob bioma Caatinga	48
Figura 16	– Determinação da atividade da enzima Fosfatase ácida em sistemas de manejo da Carnaúba sob bioma Caatinga	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Enzimas indicadoras de qualidade do solo	32
Tabela 2 – Caracterização das áreas de experimentais	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Bioma Caatinga: aspectos gerais	17
2.1.1 <i>Produto florestal não madeireiro</i>	20
2.2 Carnaúba: aspectos gerais.....	22
2.2.1 Carnaúba: uso e aspectos econômicos.....	23
2.3 Indicadores de qualidade do solo	26
2.4 Atividades enzimáticas do solo: aspectos gerais	29
3 HIPÓTESE	33
4 OBJETIVOS	34
4.1 Objetivo geral	34
4.2 Objetivos específicos:.....	34
5 MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1 Caracterização da área experimental	35
5.2 Projeto experimental e amostragens	36
5.3 Determinação da atividade da Beta-glicosidase	37
5.4 Determinação da atividade da Arilsulfatase	39
5.5 Determinação da atividade da Fosfatase ácida.....	40
5.6 Determinação da atividade da Urease	41
5.7 Análise estatística	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6.1 Atividade potencial da β -glicosidase	45
6.2 Atividade potencial da Arilsulfatase	46
6.3 Atividade potencial da Fosfatase ácida.....	48
6.4 Atividade potencial da Urease	50
7 CONCLUSÕES	51

APÊNDICE A - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA β-GLICOSIDASE.	57
APÊNDICE B - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA ARILSULFATASE.	58
APÊNDICE C - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA.	59
APÊNDICE D - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA UREASE.....	60

1 INTRODUÇÃO

A eliminação de vegetação nativa, decorrente do crescimento econômico e populacional, é um problema que compromete a qualidade de vida, provoca mudanças climáticas e reduz os benefícios obtidos por meio desses recursos naturais (Cerqueira e Gomes, 2017). Com o aumento da escala da economia, impulsionado pela expansão da população e da renda per capita, observa-se um aumento na extração de recursos naturais e na geração de resíduos nocivos ao meio ambiente (Mueller, 2004). Projeções indicam um aumento na população mundial, alcançando 9,2 bilhões até 2050, com 60% concentrados em centros urbanos (Almeida et al., 2020).

O Nordeste brasileiro compreende uma área aproximada de 1,5 milhões de km², sob predomínio da Caatinga, o terceiro bioma brasileiro mais desmatado, apresentando precipitação média pluviométrica inferior a 800 mm e composição da vegetação predominantemente do tipo mata seca e caducifólia. Dentro dos diversos elementos característicos do semiárido, a vegetação é um dos componentes de grande potencialidade para o desenvolvimento da região (Abílio de Queiroz, 2011; Da Silva, 2023). De modo geral, as plantas do bioma Caatinga podem ser divididas em oito grupos distintos (plantas produtoras de cera, óleos e taninos; forrageiras, frutíferas, apícolas, ornamentais, produtoras de fibras, medicinais e madeiras). Dentre as diferentes espécies, a carnaúba (*Copernicia prunifera*) é endêmica do Brasil, com presença no semiárido nordestino no domínio das caatingas e no domínio do cerrado, sobretudo, nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (Nascimento et al., 2020).

A carnaúba é uma palmeira xerófila extrativa, adaptável a temperaturas elevadas e a climas seco, bem como, aos ambientes com solos argilosos, alagados durante o período de chuvas e com alto teor de salinidade. Possui largo uso social tanto por conta da variedade de usos de suas partes (tronco, frutos, folhas, palmito, raízes e as sementes, inclusive para alimentação, artesanato, cosméticos e produtos farmacêuticos) e da palmeira como um todo para fins de projetos paisagístico urbanos (Gonzaga e Gomes, 2018; Nascimento et al., 2020).

O manejo de Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM), como ceras e folhas, tem sido considerado uma alternativa para a conservação da biodiversidade, pois ao explorá-los não há necessidade de derrubar a árvore, constituindo uma alternativa para conservar a floresta em pé e também com reflexos positivos nos aspectos sociais e econômicos (Guedes e da Silva, 2012; Scoles e Gribel, 2011).

Nesse contexto, o manejo racional dos produtos oriundos da *C. prunifera* estão diretamente relacionados à conservação dos ambientes de ocorrência da espécie. Contudo,

apesar da importância da Carnaúba, os graves danos provocados por constantes desmatamentos, assoreamento, aplicação de agrotóxicos, resíduos tóxicos, garimpo e outras atividades contribuem para processos de degradação do ambiente, ameaçando a resiliência do ambiente, a redução da atividade extrativista e, portanto, comprometendo áreas de palmeiras silvestres (de Sousa et al., 2015; R. M. da Silva et al., 2019).

Os processos biológicos são a base da saúde do solo, e para tal, as determinações de atividades enzimáticas são uma das vias de acesso à memória do solo. Uma das formas de monitorar áreas que passam por um ou mais tipos de perturbação é por meio de indicadores de qualidade do solo, por exemplo a atividade enzimática do solo. A mensuração desta atividade em solos com elevado grau de degradação no semiárido brasileiro, ainda é pouco explorada pela comunidade científica (Silva, 2021).

Enzimas presentes no solo desempenham um papel crucial nos ciclos biogeoquímicos, contribuindo para a mineralização da matéria orgânica e a formação da estrutura do solo. Essa ação resulta na ciclagem de nutrientes e na diversidade de organismos edáficos. Além disso, são consideradas eficientes indicadoras de qualidade do solo devido à sua rápida resposta às variações ambientais no sistema solo-planta-micro-organismos.

Enzimas específicas, como β -glicosidase, arilsulfatase, fosfatases e urease, estão associadas aos ciclos de nutrientes essenciais, como carbono, enxofre, fósforo e nitrogênio, respectivamente. Elas desempenham um papel fundamental na transformação desses elementos em formas assimiláveis pelas plantas. A ação dessas enzimas ocorre na mineralização do material orgânico depositado, principalmente pelas plantas, e por meio de excreções dos micro-organismos, tornando-as fundamentais para o estabelecimento de um ecossistema sustentável.

Neste sentido, dada a natureza dinâmica do solo e sua rica diversidade biológica, é essencial conduzir pesquisas que visem quantificar sua atividade biológica. Além disso, não se sabe como o metabolismo microbiano do solo se comporta frente ao manejo extrativista da carnaúba e em situações de solos que passam por oscilações de alagamento durante o ano.

Esse trabalho buscou avaliar a atividade das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e urease, em áreas manejadas e não manejadas, que passam ou não por situações de alagamento, localizadas no município de Caucaia-CE, na propriedade da Pontes Indústria de Cera Ltda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bioma Caatinga: aspectos gerais

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, que ocupa 826,411 km² e está distribuída em todos os estados do Nordeste, ocupando um décimo do território nacional e quase todo o Nordeste. Neste bioma o clima é semiárido, com altas temperaturas, baixa umidade, precipitação de 800 mm por ano, com períodos de chuva e seca (Lima e Campos, 2023).

Devido à variedade de solos e relevos, encontramos diversidade de paisagens e vegetação, cada um com seu próprio conjunto de espécies e requisitos de solo únicos. Essa extraordinária heterogeneidade ambiental é possivelmente a principal razão pela qual a região da Caatinga é uma das terras áridas tropicais com maior biodiversidade do mundo e mantém milhares de espécies, muitas das quais não são encontradas em nenhum outro lugar (da Silva et al., 2018; de Araujo et al., 2022). Desta forma, a biodiversidade nesta área é bastante elevada, porém pouco conhecida.

A vegetação da Caatinga apresenta uma dinâmica complexa e fisionomias variadas regidas, majoritariamente, por fatores climáticos e hidrológicos, que forneceram sua disjunção fitogeográfica ao longo do processo evolutivo, caracterizando a Caatinga como uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca. Apresenta uma fitofisionomia vegetal caracterizada por espécies caducifólias com estrutura predominantemente arbustiva-arbórea do tipo xerófila, com espinhos, microfilia e, às vezes, suculência (J. Oliveira et al., 2023).

A precipitação é uma variável de forte interferência sobre a cobertura vegetal do semiárido e que, somada a outros fatores abióticos como solo e relevo, contribuem de forma significativa para a variação encontrada na vegetação do bioma. Em resposta às variáveis descritas, os elementos da vegetação da Caatinga apresentam adaptações morfofisiológicas para sobreviverem ao período de adversidade ambiental, além de contribuírem para as diferenças na estrutura e composição florística, elevando o grau de endemismo e conservação (Pinheiro et al., 2020).

Outra característica intrínseca da Caatinga é a frequente ocorrência das secas, que são fenômenos de ocorrência esporádica ou repetida. Este fenômeno torna a região susceptível a processos de degradação do solo, desta forma, áreas com frequente ocorrência de atividades humanas acabam se tornando vulneráveis. Isso pois atividades que não possuem adoção de práticas de conservacionistas do solo e de recursos hídricos somadas ao desmatamento apresentam grande contribuição para o processo de desertificação (Silva, 2021).

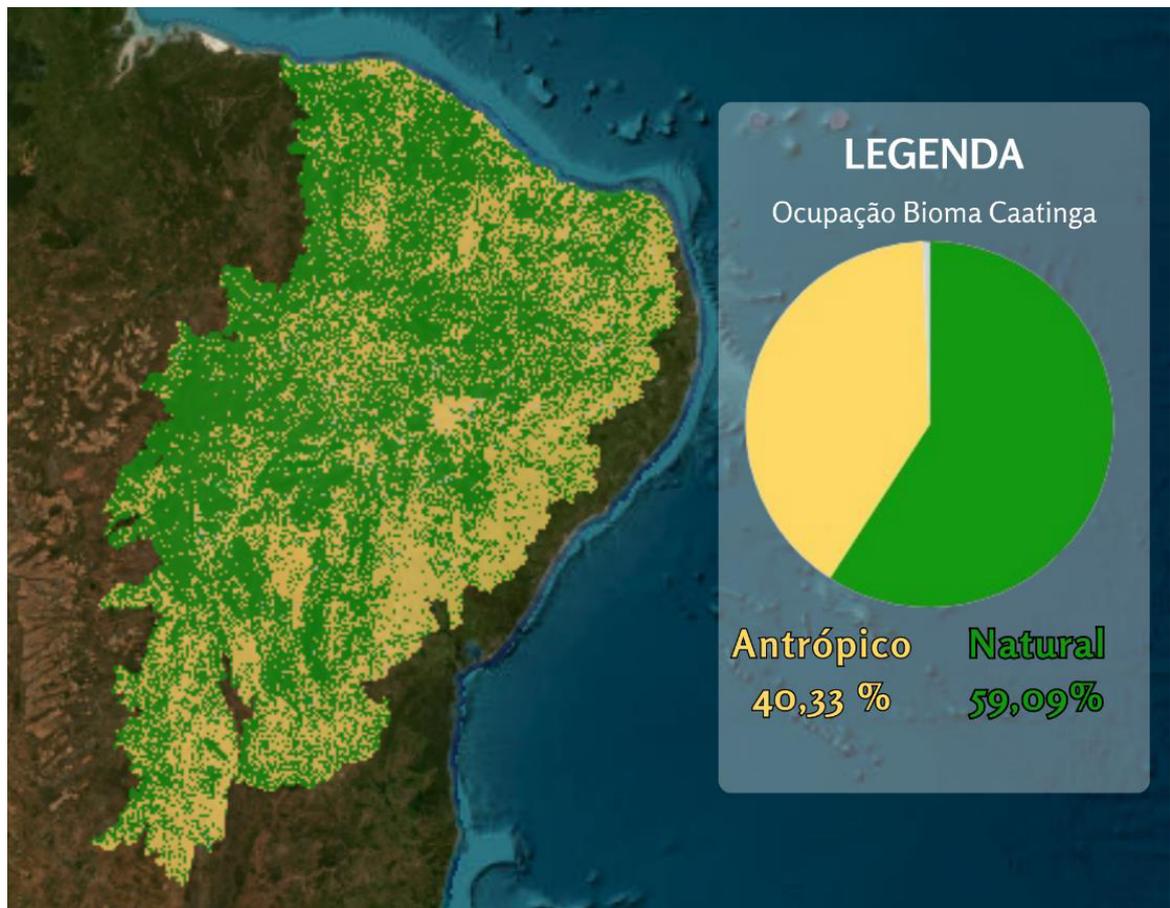
As secas têm aumentado a situação de deterioração das terras no Semiárido brasileiro, sendo todo esse processo agravado pela mudança climática. E não apenas as grandes secas convencionais, como ocorreu no período 2011-2017, mas também as chamadas secas repentinas (Letras Ambientais, 2023).

Grande parte do bioma já apresenta elevado grau de modificação. Estas interferências, oriundas de atividades humanas, muitas vezes exaurem o solo por meio de atividade agropecuária, suprimem a vegetação nativa, fazem uso de queimadas e estimulam assoreamento de rios. Em muitas dessas áreas, cerca de 80% da sua cobertura original já foi modificada ou sofreu alguma alteração de cunho antrópico (Oliveira et al., 2023; Pinheiro et al., 2020).

Um traço característico do antropismo na Caatinga é a fragmentação da paisagem por atividades agrícolas. Historicamente, a degradação do bioma pode ser explicada pelo processo de ocupação do Nordeste brasileiro, que se iniciou no litoral e avançou para o interior com a intensificação da extração de recursos naturais e produção agrícola para fins de exportação. A partir do século XVII, a criação de gado se iniciou nas fazendas e os primeiros núcleos urbanos começaram a surgir (Ganem et al., 2020). A ocupação do bioma Caatinga se deu, principalmente, através da formação de currais de gado em torno das margens do rio São Francisco e seus afluentes. O gado era criado à solta, com a água dos mananciais e lagoas. Junto aos currais e próximo às fontes de água, desenvolveram-se comunidades que faziam roçados destinados aos plantios de feijão, arroz, milho, cana-de-açúcar, mandioca e algodão (Drumond et al., 2004).

O bioma Caatinga consta com 40% da sua área já degradada e 42% está preservado (Figura 1), visto que 8% do solo é exposto e propenso a desertificação, devido ao desmatamento de forma acelerada ocasionado a redução das chuvas, e com isso vem as alterações nos fatores climáticos que podendo alcançar um ponto crítico de irreversibilidade refletindo no empobrecimento da flora e da fauna devido a exploração e ao consumo de lenha nativa de forma ilegal e insustentável para fins domésticos e industriais, e a substituição da flora para o cultivo de pastagens e atividades econômicas diversas (Demartelaere et al., 2022). De acordo com a segunda atualização de áreas consideradas, como prioritárias para conservação da Caatinga, em 2007 já haviam perdido, em média, cerca de 40% de sua cobertura original (Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2023);

Figura 1: Mapa ocupação do bioma Caatinga.



Fonte: Adaptado pelo autor, MapBiomias (2022).

O manejo sustentável do bioma é uma forma de exploração da floresta que possibilita a recuperação, regeneração e recomposição, visando à obtenção de benefícios econômicos e sociais, como geração de renda para os produtores, com a devida conservação da riqueza das espécies. É uma maneira de utilizar os recursos florestais respeitando à capacidade de carga do bioma, retirando dele apenas o que pode oferecer (Letras Ambientais, 2019). E além disso, a capacidade que as plantas possuem de absorver e armazenar carbono tornou-se estratégia mitigatória aos efeitos das mudanças climáticas (Giongo et al., 2011).

Atualmente, a pecuária é a principal atividade econômica da Caatinga. Contudo o modelo atual de pecuária na região não é sustentável, pois exerce uma grande pressão sobre a vegetação nativa, acelerando, por conseguinte, a perda da biodiversidade regional (Drumond et al., 2004; Ganem et al., 2020).

Segundo o IBGE (2005 e 2007), as espécies na Caatinga que oferecem produtos florestais não-madeireiros mais importantes, tanto em termos de produtividade quanto em

termos de valor financeiro são: carnaúba (espécie da qual se extraem óleo, cera e palha-fibra); umbu (fruto para fabricação de polpa e doces), licurí (do qual se extraem óleo e cera) e buriti (espécie da qual se utiliza o fruto como alimento e para fabricação de doces e a fibra) (Gariglio, Brazil. Ministério do Meio Ambiente., et al., 2010).

Muitas espécies da Caatinga são reconhecidas pela capacidade de crescimento e pela qualidade da madeira. Semear estas espécies nas áreas abandonadas é uma prática que contribui para aumento da produtividade, no entanto, ainda é pouco seguida. Em 2021, foi realizado um levantamento pelo Projeto ArticulaFito, executado pela Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) em parceria com o Ministério da Agricultura, onde 26 produtos com potencial de mercado que têm como matéria-prima espécies vegetais da flora brasileira. Entre os destaques ‘caatingueiros’ estão o extrato de melão de São Caetano, extrato de arnica e cera de carnaúba.

A carnaúba (*Copernicia prunifera*) é uma palmeira nativa que se destaca quanto a adaptabilidade às condições climáticas do semiárido e resiliência tanto aos períodos de estiagem quanto às inundações, duas constantes determinadas pelo regime de chuvas da região. Em seu processo adaptativo ao clima, esta palmeira desenvolveu mecanismos de estratégia para redução da transpiração foliar, o aumento da secreção de cera no limbo foliar é principalmente estimulado por altas temperaturas e presença de salinidade dos solos (d’Alva, 2004).

2.1.1 Produto florestal não madeireiro

As florestas desempenham importantes serviços ecossistêmicos/ambientais, tais como os serviços de provimento, a regulação hídrica e climática e a manutenção de habitats necessários à biodiversidade. Entre os serviços de provimento, destacam-se os produtos florestais, pelo fornecimento de madeiras, alimentos, fibras, combustível, entre outros, assim como pelo potencial econômico às comunidades tradicionais, agricultores familiares e empreendedorismo pioneiro no manejo desses produtos (Miura e Sousa, 2022). De maneira geral, os produtos florestais são associados à silvicultura (florestas plantadas) e, quando em áreas naturais (florestas nativas), ao extrativismo.

O manejo de recursos florestais, dadas as características e potencialidades de cada região, se coloca como um dos principais caminhos para se alcançar um desenvolvimento com bases realmente sustentáveis. Os produtos florestais, obtidos através da silvicultura ou da extração vegetal podem ser classificados em madeireiros ou não madeireiros. No ano de 2018, os estados que mais contribuíram com o valor bruto de produção (VBP) dos produtos

madeireiros a partir da extração vegetal foram: Maranhão (R\$163,41 milhões), Bahia (R\$123,62 milhões) e Ceará (R\$72,44 milhões) (Coelho Junior et al., 2023)

Os produtos florestais madeireiros (PFM) se referem ao uso direto de madeiras para serrarias, construção civil, móveis, bioenergia (lenha, combustível), papel e embalagens, dentre outros, em diferentes graus de beneficiamento e industrialização. Já os produtos florestais não madeireiros (PFNM) compreendem a todo material biológico obtido em ecossistema florestal através do extrativismo vegetal ou silvicultural, exceto a madeira, como: látex, gomas não elásticas, produtos alimentícios, aromáticos, resinas, óleos, fibras, ceras e outros subprodutos (Coelho Junior et al., 2023; Miura e Sousa, 2022).

Em 2006, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) realizou, em nível nacional, a atualização das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, contemplando o bioma Caatinga e incorporando o aspecto do uso sustentável com suas respectivas espécies e áreas prioritárias. Entre as 20 espécies priorizadas com respectivas áreas e nível de prioridade, com ênfase na necessidade do uso sustentável de espécies nativas dentro de uma estratégia de conservação, contemplando espécies de ocorrência restrita e ameaçadas bem como espécies de ampla dispersão, registra-se a carnaúba, com alvos delimitados nos estados: Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Bahia; e com nível de prioridade extremamente alto. O nível de prioridade foi definido a partir da análise acumulativa de três critérios: importância social, importância econômica e importância ambiental (Gariglio, Sampaio, et al., 2010).

Os PFNM são alternativas para conservação de espécies adaptadas às condições ambientais da região Semiárida e de diferentes potenciais econômicos (frutífero, medicinal, forrageiro, ornamental, apícola, entre outros). A exploração extrativista pode comprometer a manutenção das populações naturais (Figura 2). Além disso, a falta de informações limita o uso dessas espécies de forma adequada, na geração dos PFNM. Por isso a importância de caracterizar e avaliar espécies vegetais nativas da Caatinga, sob óticas de potenciais econômicos, a fim de viabilizar alternativas de propagação, utilização e aproveitamento de forma sustentável (Kiill et al., 2019).

Figura 2 – Área de carnaubal manejado com fogo e derrubada no município de Caucaia – CE.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

2.2 Carnaúba: aspectos gerais

A família das Arecaceae, popularmente conhecidas como palmeiras, são parte integrante da vegetação de muitos países. A carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore) é uma espécie de palmeira xerófita, que é nativa do Brasil e endêmica da região Nordeste, somente a região nordeste é a produtora do pó cerífero, visto que as características intrínsecas da região, forçaram a *C. prunifera* desenvolver estratégias mitigadoras contra o estresse hídrico. O pó, atua como uma das estratégias adaptativas da planta, atuando como proteção contra a seca e o excesso de chuvas (Queiroga et al., 2017).

As espécies que compõem o gênero *Copernicia* possuem troncos retos não ramificados, tendo pecíolos alongados ou ausentes, espinhosos em sua base, de lâminas foliares em forma de leque apresentando ou não camadas de cera. O gênero *Copernicia* contém cerca de 13 espécies, cujo centro de dispersão é a ilha de Cuba, no Caribe. No Brasil, esse gênero é representado por duas espécies nativas, *C. prunifera* e *C. alba*, palmeiras solitárias, raramente cespitosas, desprovidas de palmito visível e com copa sutilmente arredondada. Em meio a tantas

espécies semelhantes, características que diferenciam a carnaúba das outras Copernicias, são: as flores em cachos, ramos floridos e frutíferos de até 12 cm, e, principalmente, a presença abundante de cera na superfície das “lâminas foliares (Masetto et al., 2012; Moreira, 2023).

Nenhuma das outras espécies produz cera como a *Copernicia prunifera*, encontrada na Caatinga e Cerrado brasileiro (Figura 3), pois os outros indivíduos encontram-se em condições de alta umidade nas regiões de ocorrência (Fernandes et al., 2019).

Figura 3 – Ocorrência do gênero *Copernicia* na América do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023; adaptado: Associação Caatinga e (d’Alva, 2004).

A *C. prunifera* é encontrada na vegetação de Caatinga, preferindo ambientes com terrenos baixos de várzea, principalmente na beira de rios e lagos, periodicamente inundados. Constitui recurso vegetal bastante utilizado por diferentes comunidades estabelecidas no semiárido nordestino, ajudando nas necessidades diárias, principalmente daquelas pessoas que vivem no ambiente rural (Rodrigues et al., 2013).

2.2.1 Carnaúba: uso e aspectos econômicos

A cera de carnaúba, que é extraída das folhas dessa planta, é largamente utilizada em vários segmentos industriais, passando por lubrificantes, cosméticos, a cera é utilizada até mesmo na fabricação de chips de computador, devido a sua boa propriedade como isolante elétrico. O Brasil é o único produtor desta cera e desde o século 18 têm-se conhecimento que a cera era levada nas caravelas, junto com o ouro, desde esta época já era utilizada na produção de velas que iluminavam as casas da nobreza europeia (Queiroga et al., 2017). As plantas, de uma maneira geral, produzem o pó cerífero para evitar a perda de água por transpiração. De maneira geral, a cera é um produto resultante da síntese clorofiliana, formado no interior das células vegetais da folha da carnaúba, composto por uma combinação de ácidos e álcoois (d'Alva, 2004).

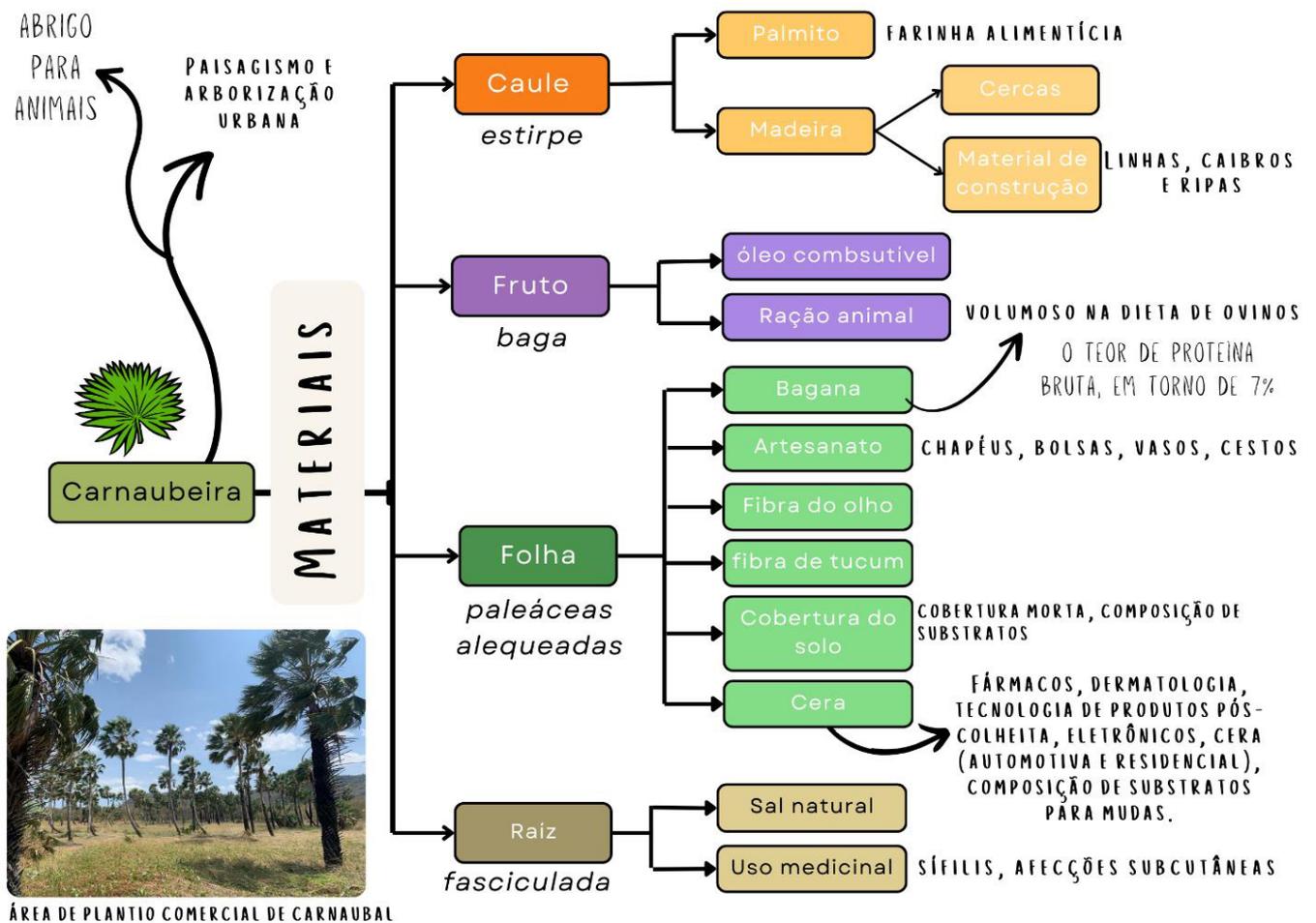
Em regiões secas, como no Nordeste brasileiro, esse mecanismo funciona como uma proteção das folhas para os longos períodos de insolação, além de proteger contra o eventual ataque de fungos (Fernandes et al., 2019).

Atualmente, entre as múltiplas aplicações comuns da carnaubeira (Figura 4), ressalta-se a extração do pó para a produção de cera, isso pois o material atóxico possibilita a aplicação em produtos direcionados para ingestão humana, como medicamentos e alimentos. Por exemplo, a cera de carnaúba é aplicada em certas frutas atuando revestimento, evitando a perda de água e mantendo sua qualidade por mais tempo, e formulação de biofilmes para frutos pós-colheita. Na cultura do pessegueiro, atua contra a germinação de esporos como da *Monilinia fructicola*, agente causal da podridão parda do pessegueiro. Além disso, a aplicação de cera em frutas promove a formação de uma barreira física nos frutos que dificulta a perda de água e trocas gasosas, características interessantes para manutenção da qualidade dos produtos pós-colheita. Na indústria farmacêutica, a cera de carnaúba tem sido utilizada no revestimento de comprimidos, contribuindo para sua conservação por maior tempo (d'Alva, 2004; Fernandes et al., 2019; N. M. de S. Pinheiro, 2012; Velho et al., 2019).

Quando se trata de economia é possível realizar o aproveitamento integral da palmeira (Figura 4). Suas as folhas, além de produzirem o pó cerífero, que é a maior matéria-prima da cera de carnaúba. O fruto pode ter seu epicarpo destinado à alimentação animal e as suas amêndoas podem ser utilizadas na alimentação humana e na produção de biodiesel. As palhas são frequentemente utilizadas na confecção de artesanatos, quanto adubo orgânico na agricultura e também na confecção de papel, visto que apresenta celulose de excelente qualidade. O talo da carnaúba é utilizado na construção civil. Em comunidades do Nordeste, a raiz da carnaúba é empregada na forma de elixir para o tratamento de sífilis e afecções cutâneas, utilizada no tratamento de úlceras, erupções cutâneas e reumatismo, além de ser mencionado

apenas uma citação de uso medicinal, indicando a raiz da carnaúba para tratamento de dores na coluna. Os materiais residuais de carnaúba combinados com casca de arroz, bem como resíduos de carnaúba semi-decomposto podem ser usados como substratos na produção de mudas de tomateiro (d’Alva, 2004; Rodrigues et al., 2013; Júnior et al., 2014; Queiroga et al., 2017). Outras aplicações quanto aos resíduos, oriundos dos processos de produção, são confeccionados brinquedos, também conhecidos por lenha ecológica, como também adubo orgânico.

Figura 4 - Diagrama do uso múltiplo da planta de carnaúba.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Apesar da espécie ocorrer em vários estados brasileiros, apenas algumas regiões se destacam na produção de pó e cera. Os estados que mais produzem são Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. Depois da cera, o produto de maior importância econômica derivado da carnaubeira é a palha, que pode ser utilizada como adubo e cobertura vegetal, na confecção de artesanato e para produção de papel (Fernandes et al., 2019). Foi a partir da valorização da cera

de carnaúba que se verificou a formação do extrativismo da palmeira como atividade econômica direcionada ao mercado externo (d'Alva, 2004).

2.3 Indicadores de qualidade do solo

Atualmente, existem dois grandes desafios mundiais onde o setor agrícola, é protagonista: aumentar a produção de alimentos para suprir as demandas de uma população em crescimento e ao mesmo tempo adotar práticas sustentáveis de manejo, que consigam reverter/ou mitigar os danos causados por alguns manejos atuais, mesmo em sistemas intensivos (Maróstica, 2023).

As mudanças no uso da terra afetam o armazenamento de carbono do solo e provocam alterações quantitativas e qualitativas na matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, nas características físicas e químicas que afetam diretamente os microrganismos do solo, como umidade, porosidade, densidade, entre outras (Cardoso et al., 2023).

Um solo saudável é um solo biologicamente ativo, produtivo, capaz de armazenar água, sequestrar carbono e promover a degradação de pesticidas, entre outros importantes serviços ambientais. A biologia é a base da saúde do solo e uma das aliadas para reverter os processos de degradação, que ocorrem em escala mundial (Mendes et al., 2022).

O solo é um recurso natural vivo e dinâmico que condiciona e sustenta a produção de alimentos e fibras, e regula o balanço global do ecossistema. A qualidade do solo (QS) é definida como a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais, sendo avaliada pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos (de Araújo e Monteiro, 2007).

Nesse contexto, QS trata da integração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude (Machado Vezzani e Mielniczuk, 2009). Entre os indicadores físicos, têm sido utilizados textura do solo, agregação, umidade, porosidade e densidade do solo, enquanto entre os indicadores químicos estão bem estabelecidos C e N totais, nutrientes minerais, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, entre outros. Porém, a maioria deles geralmente apresenta resposta lenta, quando comparada aos biológicos, como biomassa microbiana C e N da biomassa microbiana, biodiversidade, enzimas do solo, respiração do solo, etc., além da macro e mesofauna. Assim, uma abordagem sistêmica baseada em diferentes tipos de indicadores (físicos, químicos e biológicos) na

avaliação da saúde do solo (Figura 5) seria mais segura do que utilizar apenas um tipo de atributo (Cardoso et al., 2023).

Figura 5 – Indicadores de qualidade do solo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A QS pode ser mensurada por meio do uso de indicadores. Indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade de um ecossistema. E avaliá-la é uma importante estratégia para definir práticas e sistemas de manejo capazes de manter ou melhorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A necessidade de entender e avaliar os indicadores (QS) tem sido apontada como um dos principais compromissos da ciência do solo (Cardoso et al., 2023; de Araújo e Monteiro, 2007).

Os micro-organismos edáficos são constantemente citados como bioindicadores de qualidade por serem bastante sensíveis a perturbações no sistema. Bioindicadores são processos ou propriedades biológicas dentro do solo que indicam a condição deste ecossistema, podendo ser utilizado no biomonitoramento da qualidade do solo (de Araújo e Monteiro, 2007).

A capacidade que o solo tem de guardar em sua “memória”, o tipo de manejo ao qual ele é submetido, está intimamente relacionada à sua parte viva, ao seu componente biológico. Assim, além dos aspectos relacionados à saúde do solo, as determinações de atividade enzimática são uma das vias de acesso à memória do solo (Mendes et al., 2022).

As enzimas são catalisadoras em diferentes reações durante a ciclagem de carbono e nutrientes no solo, e também representam o nível metabólico da comunidade microbiana do solo. Podem estar livres no solo como exoenzimas excretadas por plantas, animais e principalmente microrganismos, ligadas a estruturas celulares ou internamente nas células, mas posteriormente liberadas ao solo após lise e morte celular. Assim, quando a comunidade microbiana do solo é afetada devido ao uso e manejo do solo, também são esperadas mudanças nas atividades enzimáticas do solo (Cardoso et al., 2023).

O acesso à memória do solo, por meio de determinações da atividade enzimática, é possível devido ao fato de que a atividade enzimática de um solo é a somatória da atividade de enzimas dos organismos vivos (microrganismos, plantas e animais) e de gerações passadas de organismos que estiveram presentes no solo (componente abiótico). As enzimas abióticas estão associadas à fração não viva e se acumulam no solo protegidas da ação de proteases por meio de sua adsorção em partículas de argila e na matéria orgânica (Mendes et al., 2022).

A capacidade do solo de estabilizar e proteger enzimas está relacionada à sua capacidade de armazenar e estabilizar a matéria orgânica (MO) (afinal a enzima é uma molécula orgânica) e outras propriedades estruturais associadas (agregação e porosidade). Entretanto, alterações na MO ou de propriedades estruturais do solo podem levar anos para serem detectadas, diferentemente da atividade enzimática. Por essa razão, o aumento da atividade enzimática (refletindo o aumento na atividade biológica), ao longo do tempo, pode ser um prenúncio de que o sistema está favorecendo o acúmulo de Matéria Orgânica do Solo (MOS) e, por isso, nem sempre está acoplado, nos estágios iniciais, a aumentos nos teores de MOS (Mendes et al., 2022).

Os microrganismos do solo podem ser classificados em grupos funcionais de acordo com o processo biológico que desempenham num ecossistema. Todos os microrganismos que atuam no ciclo N (por exemplo, bactérias diazotróficas, nitrificantes, desnitrificantes, amonificantes e proteolíticas, etc.) e no ciclo C (por exemplo, celulolíticos, amilolíticos,

proteolíticos, etc.) são exemplos de grupos funcionais. Neste caso, as espécies individuais não são o foco, mas a função que desempenham coletivamente num ambiente (Cardoso et al., 2023).

2.4 Atividades enzimáticas do solo: aspectos gerais

Todos os seres vivos utilizam a energia dos nutrientes (carboidratos, lipídios e proteínas) para manter os seus processos vitais. A produção de energia na célula requer a participação de muitas enzimas, num processo denominado metabolismo energético. Muitas dessas reações ocorrem lentamente na ausência de um catalisador (substância que acelera velocidade de reações químicas). Para resolver esse problema, as células desenvolveram um modo de acelerar a velocidade das reações. Neste contexto, surgem as enzimas que são os catalisadores biológicos (Leopoldo, 2009).

Os micro-organismos do solo possuem a capacidade de produzir enzimas extracelulares que desempenham um papel crucial na degradação de biomoléculas de alto peso molecular, as quais não podem ser diretamente absorvidas por eles. Esses micro-organismos atuam como catalisadores de reações químicas, muitas das quais são específicas. Isso possibilita que os micro-organismos decomponham compostos orgânicos complexos, como proteínas, carboidratos e lipídios, em componentes menores. Esses componentes menores podem então ser absorvidos e utilizados pelos microrganismos para promover seu crescimento e reprodução.

As enzimas são mediadoras do catabolismo biológico dos componentes orgânicos e mineral do solo. Podem ser utilizadas como medida de atividade microbiana, produtividade e efeito de poluentes o solo. As enzimas estão presentes no solo tanto associadas às células microbianas (enzimas intracelulares), quanto não associadas (enzimas extracelulares) (de Araújo e Monteiro, 2007).

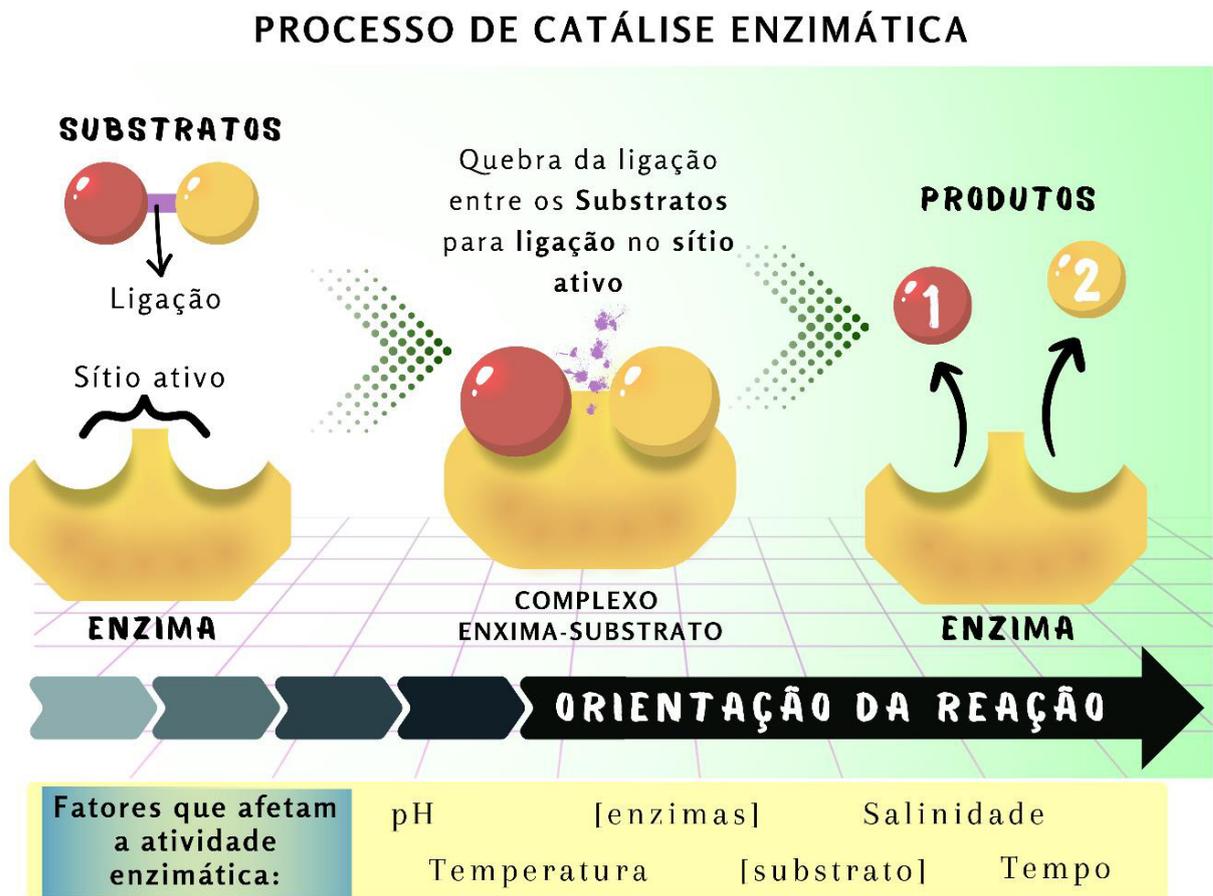
Os fisiologistas vegetais têm evidenciado que raízes de plantas excretam enzimas para a rizosfera com finalidades nutricionais e outras não conhecidas, ou por destruição da membrana celular. As raízes de plantas são citadas como fontes de catalase, tirosinase, asparaginase, urease, amilase, invertase, protease, lipase, dentre outras. (SILVA, 2009).

As transformações microbianas envolvem a oxidação de compostos orgânicos pela introdução de um grupo carboxílico derivado do oxigênio molecular, sendo reações catalisadas por enzimas como monooxigenases e dioxigenase que inserem um ou ambos os átomos de oxigênio molecular no substrato. Por exemplo, enzimas oxigenases podem catalisar a remoção de ampla variedade de subconstituintes como: carboxil, nitro, cloro, éter e frações sulfônicas.

Essa redução pode ocorrer sob condições aeróbias e anaeróbias e, frequentemente, produzem metabólitos resistentes para futura degradação (Mattos, 2015).

A especificidade das enzimas é uma característica fundamental que permite que elas catalisem reações bioquímicas específicas. Cada enzima é projetada para se ligar a um determinado substrato (ou grupo de substratos semelhantes) e catalisar uma reação específica. Essa especificidade é possível graças a estrutura da enzima, que é formada por aminoácidos. A parte da enzima que se liga ao substrato e catalisa a reação é chamada de sítio ativo. O sítio ativo tem uma forma que complementa a forma do substrato, permitindo que a enzima se ligue ao substrato como uma chave em uma fechadura (Figura 6), possibilitando então, o produto da reação.

Figura 6 – Processo de catálise enzimática.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Durante a reação, as enzimas não mudam sua composição e não são consumidas, o que significa que podem participar várias vezes do mesmo tipo de reação em um determinado intervalo de tempo. As enzimas são capazes de acelerar velocidades de reações nas condições

do ambiente celular, ou seja, a uma temperatura de 37°C e pH de 7,4 (valor do pH do plasma sanguíneo). As enzimas podem acelerar velocidade de reações químicas multiplicando-a por fatores de 10^{17} , isso significa que as enzimas podem tornar as reações químicas muito mais rápidas do que se elas não estivessem presentes. Na ausência de enzimas, a maioria das reações biológicas seria tão lenta, que essas reações não ocorreriam nas condições de temperatura e pH das células (Leopoldo, 2009).

Além disso, alguns fatores podem afetar a realização da atividade enzimática, principalmente fatores como: o substrato, o pH, a temperatura e moléculas inibidoras.

A concentração do substrato é um importante parâmetro, principalmente em ensaios laboratoriais, para comparar a atividade e o tipo de reação das enzimas.

O pH e a temperatura estão relacionados com a estrutura ativa das enzimas, de forma que: O pH pode influenciar na desnaturação proteica, além de interferir no padrão de cargas de um determinado sítio ativo ou catalítico, ou ainda, alterando a conformação geral da proteína. Com relação a temperatura, ao ocorrer o aumento térmico também ocorre o aumento da taxa de reação enzimática. Isso ocorre por conta do aumento da energia cinética das moléculas participantes da reação. Dessa forma, a temperatura pode interferir nas interações que mantêm as estruturas secundárias e terciárias, podendo levar à desnaturação proteica.

Os inibidores enzimáticos são moléculas que interferem com a catálise, diminuindo ou interrompendo, a reação enzimática. Essas moléculas podem ser classificadas como: reversíveis, onde a inibição pode ser competitiva, incompetitiva, mista ou não competitiva; e irreversíveis, na qual o inibidor se liga de maneira estável ou covalente com o grupo funcional importante para a atividade enzimática.

Os processos de humificação dos restos orgânicos também ocorrem sob ação de enzimas específicas que são encontradas no solo, liberadas por animais, raízes de plantas e micro-organismos ou ainda, estão presentes nas células mortas de restos orgânicos, sendo denominadas exoenzimas (Mattos, 2015). As enzimas de interesse na ciclagem de nutrientes são aquelas que catalisam a hidrólise de constituintes da matéria orgânica do solo (Evangelista et al., 2012). As principais enzimas comumente utilizadas em ensaios para avaliação da qualidade do solo estão sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Enzimas indicadoras da qualidade do solo.

Enzimas	Reação	Atividade
Amidase	Mineralização do N	Ciclagem do nitrogênio
Arilsulfatase	Liberação de SO_4^-	Ciclagem de enxofre

β -glicosidase	Hidrólise da celobiose	Ciclagem de carbono
Celulase	Hidrólise da celulose	Ciclagem de carbono
Desidrogenase	Sistema de transporte de elétrons	Atividade microbiana
Fosfatase	Liberação de PO_4^-	Ciclagem do fósforo
Urease	Hidrólise da ureia	Ciclagem de nitrogênio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As atividades enzimáticas, correspondem a um processo dinâmico que respondem tanto às atividades das raízes das plantas quanto às atividades microbianas. As plantas regulam a disponibilidade de enzimas no solo através da liberação de mucilagem radicular e da exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Manzoor et al., 2022).

A enzima arilsulfatase desempenha um papel crucial no ciclo do enxofre (S), facilitando a liberação de enxofre no solo, que pode ser absorvido por plantas e outros organismos. A enzima que atua na hidrólise de ésteres de ácido sulfúrico, liberando ácido sulfúrico e um fenol.

Por outro lado, a enzima β -glicosidase desempenha um papel fundamental no ciclo do carbono (C). A matéria orgânica presente no solo é composta por uma variedade de compostos orgânicos, incluindo a celulose, que é um polímero de glicose. A enzima catalisa a hidrólise da celobiose, um produto intermediário da hidrólise da celulose, em moléculas de glicose. Isso alivia a regulação negativa da biossíntese de exoglucanase e endoglucanase que é causada por níveis elevados de celobiose. A hidrólise pode ocorrer em ligações glicosídicas β -1,4, β -1,3 e β -1,6 a partir da extremidade não redutora de oligossacarídeos de cadeias pequenas, alquil e aril β -D-glicosídeos. Dessa forma, a β -glucosidase facilita a decomposição da celulose em glicose.

De semelhante modo, as enzimas fosfatases desempenham um papel importante no ciclo do fósforo (P). Elas agem na hidrólise de ésteres de ácido fosfórico, liberando fosfato inorgânico que pode ser absorvido pelas plantas. Característica importante em florestas tropicais, onde raízes e micro-organismos devem liberar fosfatase para quebrar o fósforo preso em material orgânico.

A urease é uma enzima que desempenha um papel vital no ciclo do nitrogênio (N), catalisando a hidrólise da ureia para produzir amônia (NH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Em contrapartida, a hidrólise excessiva da ureia pode ter um efeito prejudicial ao meio ambiente, pois pode causar perda de nitrogênio através da volatilização da amônia.

3 HIPÓTESE

Hipótese 1: A atividade das enzimas betaglicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e urease é significativamente **diferente** entre solos de áreas de carnaubais manejadas e não manejadas.

Hipótese 2: A atividade das enzimas betaglicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e urease são **menores** em solos de áreas de **carnaubais não manejadas** que passam por alagamento em comparação com as que não passam por alagamento.

Hipótese 3: A atividade das enzimas betaglicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e urease são **maiores** em solos das áreas de **carnaubais manejadas** que passam por alagamento em comparação com as que não passam por alagamento.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Investigar a influência de diferentes tipos de manejo sobre a atividade enzimática do solo em áreas de carnaubais no município de Caucaia-CE.

4.2 Objetivos específicos:

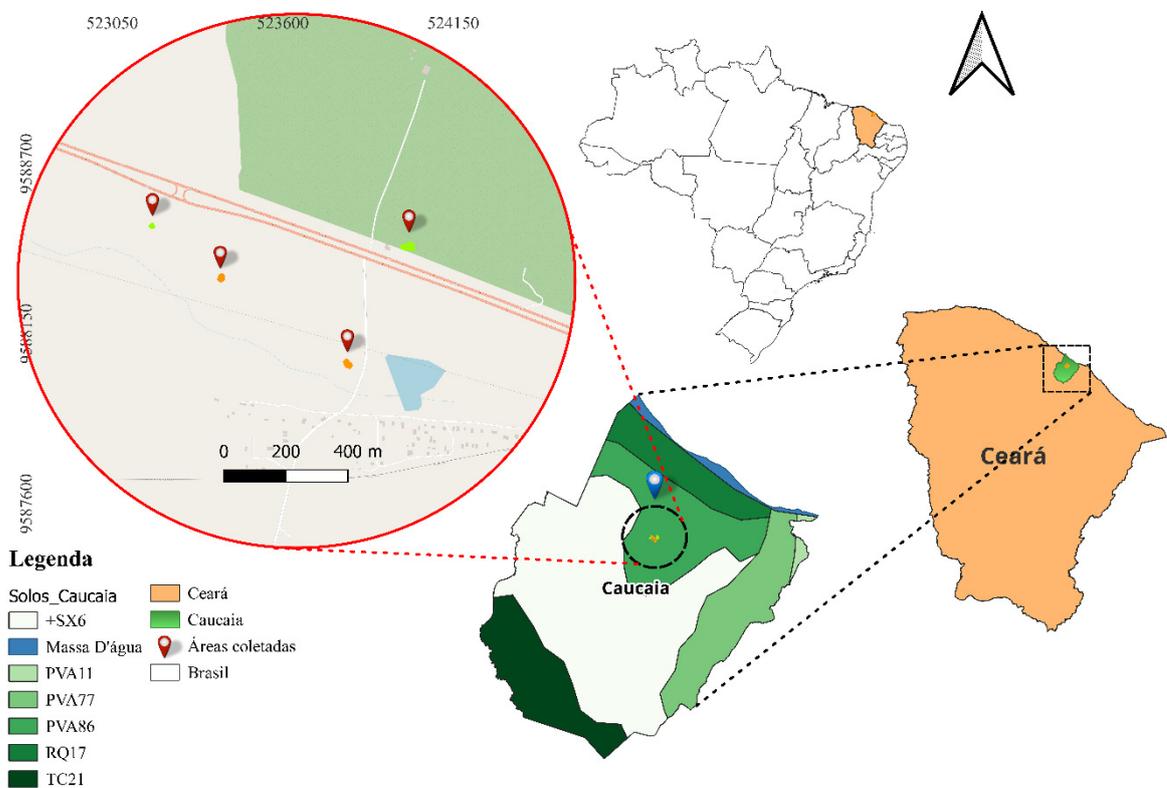
- I. Comparar a atividade das enzimas betaglicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e urease em solos de áreas de carnaubais submetidas a diferentes tipos de manejo.
- II. Avaliar a influência do alagamento nas atividades enzimáticas do solo em áreas de carnaubais manejadas e não manejadas.
- III. Correlacionar a atividade enzimática do solo com as práticas de manejo da carnaúba.
- IV. Discutir as implicações dos resultados para a saúde do solo e a produtividade da carnaúba.
- V. Interpretação dos valores estatísticos pelo teste de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5%, utilizando software RStudio.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada em propriedade privada da empresa Pontes Indústria, que trabalha na produção e comercialização de bioceras de carnaúba orgânica, localizada no município de Caucaia, no estado do Ceará (3°43'24.8"S e 38°47'03.9"W; lat: -3,7236831 e long: -38,7848047) (Figura 7).

Figura 7 – Localização geográfica da área de estudo, Caucaia-CE.



PVA (11,77 e 86) – Argissolo vermelho-amarelo; RQ – Neossolo quartzarênico; TC – Luvissoilo crômico; SX – Planossolo háplico. *Fonte: IBGE 2006 e SiBCS 2018.*

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

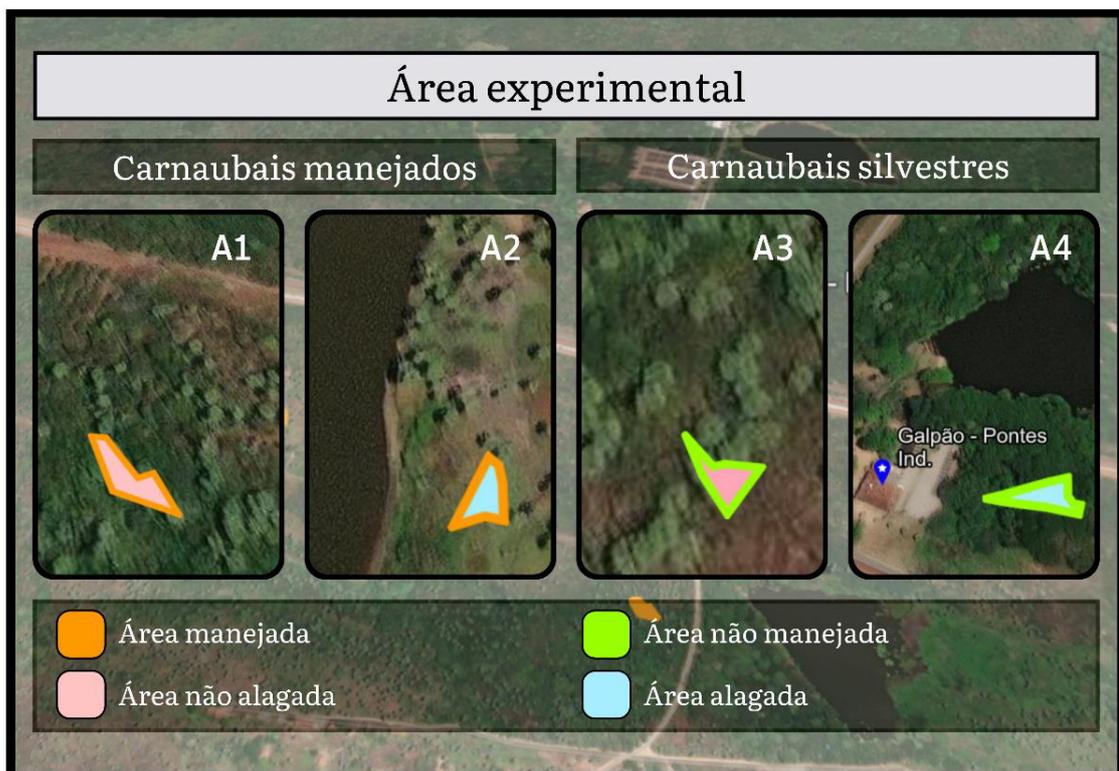
A região possui uma pluviosidade média de 1243,2 mm, com a quadra chuvosa se concentrando predominantemente no primeiro semestre do ano, de forma que: a pré-temporada das chuvas no verão (dezembro e janeiro) e a quadra chuvosa (fevereiro a maio) ocorrendo principalmente no outono, finalizando o período com chuvas no início do inverno (junho e julho) (J. R. F. de Oliveira, 2014; HIERA et al., 2019; IPECE, 2017).

Devido a sua grande extensão territorial, o município encontra-se dois diferentes tipos climáticos: o tropical quente sub-úmido e úmido nas áreas próximas ao mar (faixada norte); e tropical quente semiárido brando, para as áreas mais ao sul do município (J. R. F. de Oliveira, 2014; IPECE, 2017).

5.2 Área experimental e coleta do solo

O estudo foi conduzido em quatro áreas de carnaubais, denominadas: áreas de palmeiras manejadas (A1 e A2 – manejo extrativista, remoção da parte aérea) e palmeiras silvestres (A3 e A4 – não passam por extrativismo) de forma que, algumas dessas áreas, durante a quadra chuvosa passam por alagamento (A2 e A4) e áreas que não passam por alagamento (A1 e A3) (Figura 8).

Figura 8 – Caracterização visual das áreas experimentais. (Áreas: A1 – Manejado e Não alagado; A2 – Manejado e Alagado; A3 – Não Manejado e Não Alagado; A4 – Não Manejado e Alagado).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Em cada área foram selecionadas seis carnaúbas de porte semelhante, identificadas em campo com auxílio de fitilho de tecido, de forma que se concentrassem próximas umas das

outras, e após a identificação as coordenadas georreferenciadas foram coletadas utilizando o aplicativo Gaia GPS (versão 2023.7). Por conta do atual manejo da carnaúba a distribuição das palmeiras apresentam uma desuniformidade de distribuição espacial (Tabela 2). Com relação a coleta do solo, foi realizada a coleta do *bulk soil*, a uma distância de aproximada de 15 cm do colo do caule cada carnaúba. O material, foi tamisado no campo e em malha de 2mm, priorizando a profundidade de 10 centímetros, de forma que cada amostra foi armazenada em sacos plásticos individualizados e devidamente identificados. As amostras foram transportadas ao Laboratório de Microbiologia do Solo, da Universidade Federal do Ceará, onde foram refrigeradas até a realização das análises enzimáticas.

Tabela 2 – Caracterização das áreas de experimentais

Tratamentos	Palmeira	Área (m ²)	Perímetro (m)
A1	Carnaúbas: 19 a 24	119,45	58,30
A2	Carnaúbas: 7 a 12	97,24	46,55
A3	Carnaúbas: 13 a 18	26,02	28,40
A4	Carnaúbas: 1 a 6	280,52	92,48
Total		523,23	255,73

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização das determinações das atividades enzimáticas correspondentes a cada tratamento, em laboratório, utilizamos 1 g de cada amostra de solo para as enzimas: β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida. Com relação a determinação da atividade da urease, utilizou-se 5 g de solo de cada amostra, sendo pesadas 28 amostras, onde: 24 correspondentes a cada carnaúba e 4 amostras referentes aos tratamentos controle.

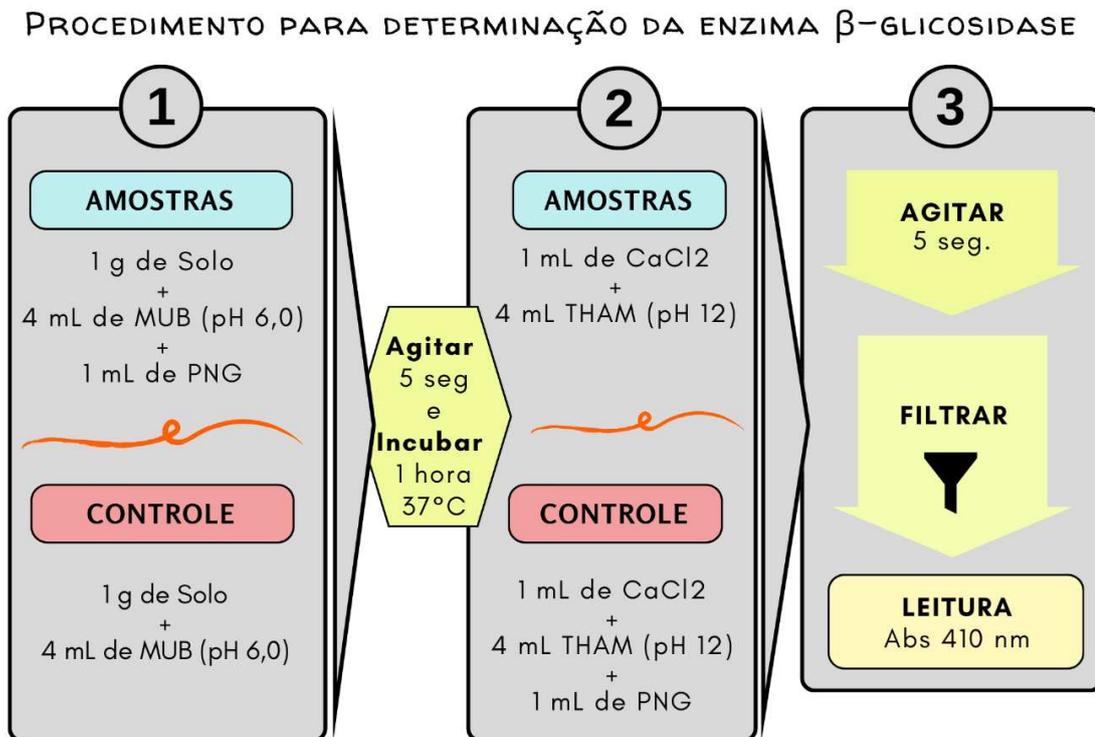
5.3 Determinação da atividade da Beta-glicosidase

A quantificação da atividade da β -glicosidase, se baseou na mensuração colorimétrica após a liberação do *p*-nitrofenol através da atividade da β -glicosidase encontrada no solo quando o foi incubado com uma solução tamponada de *p*-nitrofenil- β -D-glicosídeo. Metodologia baseada em “Methods of soil analysis” publicado pela “Soil Science Society of America” (1994).

Para cada amostra de solo, livre de resíduos orgânicos, utilizou-se 4 mL da solução Tampão MUB ajustado para pH 6,0. Além disso, foi adicionado 1 mL de *p*-nitrofenil- β -D-glicosídeo 0,05M (PNG) em todos os tubos tipo *Falcon*, com exceção dos controles. Após a

incubação, foi adicionado 1 mL de solução 0,5M de CaCl_2 e 4 mL da Solução extratora Tris (hidroximetil) aminometano – THAM (0,1 M, pH 12) em todas as amostras e controles. Nos tubos contendo amostras controle adicionou-se 1 mL da Solução de PNG 0,05 M após adição das soluções anteriores. Após a filtragem em papel de filtro Whatman nº 2, foi realizada a leitura da coloração amarela em espectrofotômetro digital da marca KASVI (com faixa visível de 325 à 1020 nm de feixe único e 4 slots), a 410 nanômetros (Figura 9, para mais detalhes consulte o Apêndice A).

Figura 9 – Procedimento para determinação da atividade da β -glicosidase de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Para calcular o conteúdo do p -nitrofenol do filtrado, utilizou-se um gráfico de calibração previamente elaborado por uma curva padrão com valores de p -nitrofenol conhecidos. Para tal, foi necessário diluir 1 mL de Solução Padrão de p -nitrofenol (0,1 g de p -nitrofenol sulfato de potássio em 100 mL de água estéril) com auxílio de balão volumétrico, em seguida foram pipetados 0, 1, 2, 3, 4 e 5 mL desta solução padrão em *beckers*, ajustado o volume para 5 mL com adição de água estéril. Após isso, prosseguiu-se como descrito para a análise de p -nitrofenol das amostras de solo, ou seja, adicionou-se 1 mL de CaCl_2 (0,5 M) e 4 mL de NaOH (0,5 M), seguindo de agitação, com auxílio de vórtex, e filtragem do conteúdo resultante. Ao

final do processo obtivemos as soluções com as seguintes concentrações, 0, 10, 20, 30, 40 e 50 μg de p -nitrofenol. Os extratos, com coloração amarela característica, foram lidos no espectrofotômetro a 410 nm para as enzimas β -glicosidase, arilsulfatase, e a 420 nm para fosfatase ácida, respectivamente.

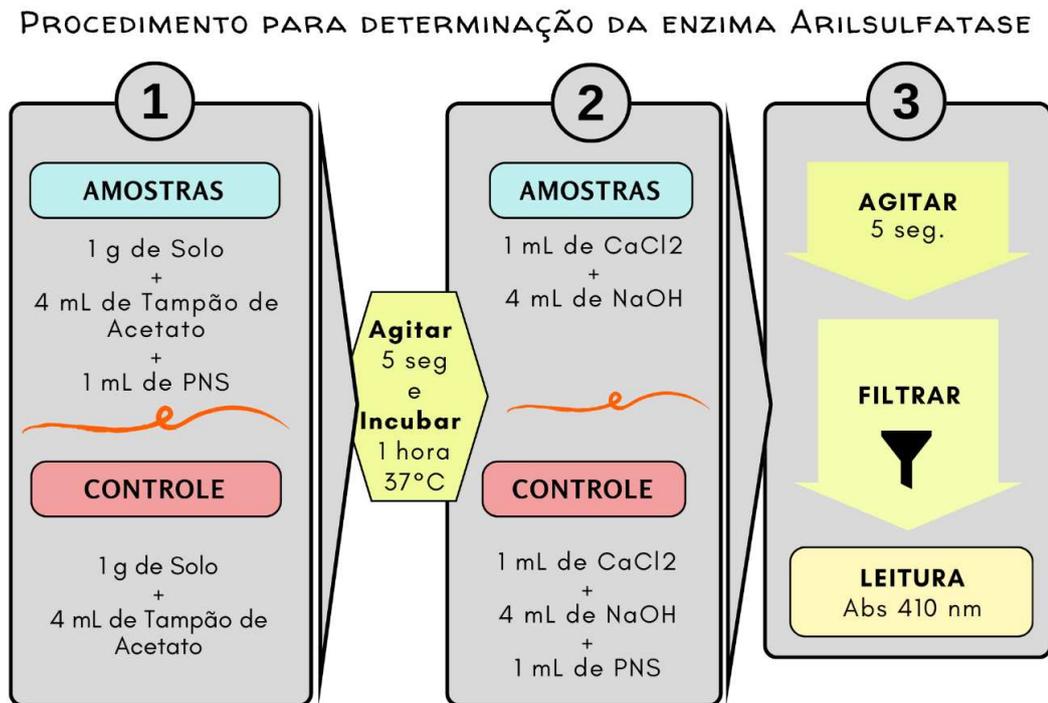
Após a obtenção dos dados de absorbância, estes foram inseridos no software Microsoft Excel, para obtenção dos padrões da curva e posterior obtenção da equação padrão. Aplicou-se todos os dados de absorbância nesta equação, para assim, obter os valores indiretos da atividade da β -glicosidase nos solos analisados nesse estudo. Em seguida, foi realizado o ajuste para todos os fatores de diluição aplicados, subtraído os valores dos controles, para obtenção dos dados em μg de PNG $\text{g solo}^{-1} \text{ hora}^{-1}$. Esse mesmo procedimento foi realizado em todos os ensaios descritos a seguir alterando apenas o substrato correspondente de cada enzima.

5.4 Determinação da atividade da Arilsulfatase

A quantificação da atividade da arilsulfatase baseou-se na mensuração colorimétrica após a liberação do p -nitrofenol, quando o solo foi incubado com uma solução tamponada de p -nitrofenil sulfato de potássio (pH 5,8), metodologia baseada em Spencer (1958).

O preparo das amostras de solo se deu de forma similar à β -glicosidase. Contudo, para cada amostra, utilizou-se 4 mL da Solução Tampão de Acetato (0,5M) ajustado para pH 5,8. Após isso, adicionou-se 1 mL de p -nitrofenil sulfato (PNS) em todos os tubos tipo *Falcon*, com exceção dos controles. As amostras foram agitadas em vórtex e levadas para incubação em banho-maria por uma hora a 37°C. Ao término da incubação, foi adicionado 1 mL de solução 0,5M de CaCl_2 e 4 mL de NaOH 0,5M, respectivamente, em todos os tubos das amostras e de controles, nos tubos contendo amostras controle adicionou-se 1 mL da Solução de PNS 0,05 M após adição das soluções anteriores. As amostras foram filtradas em papel do tipo Whatman n° 2 para a obtenção dos extratos. Os extratos, com coloração amarela característica, foram lidos em espectrofotômetro a 410 nm (Figura 10, para mais detalhes consulte o Apêndice B).

Figura 10 – Procedimento para determinação da atividade da Arilsulfatase de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

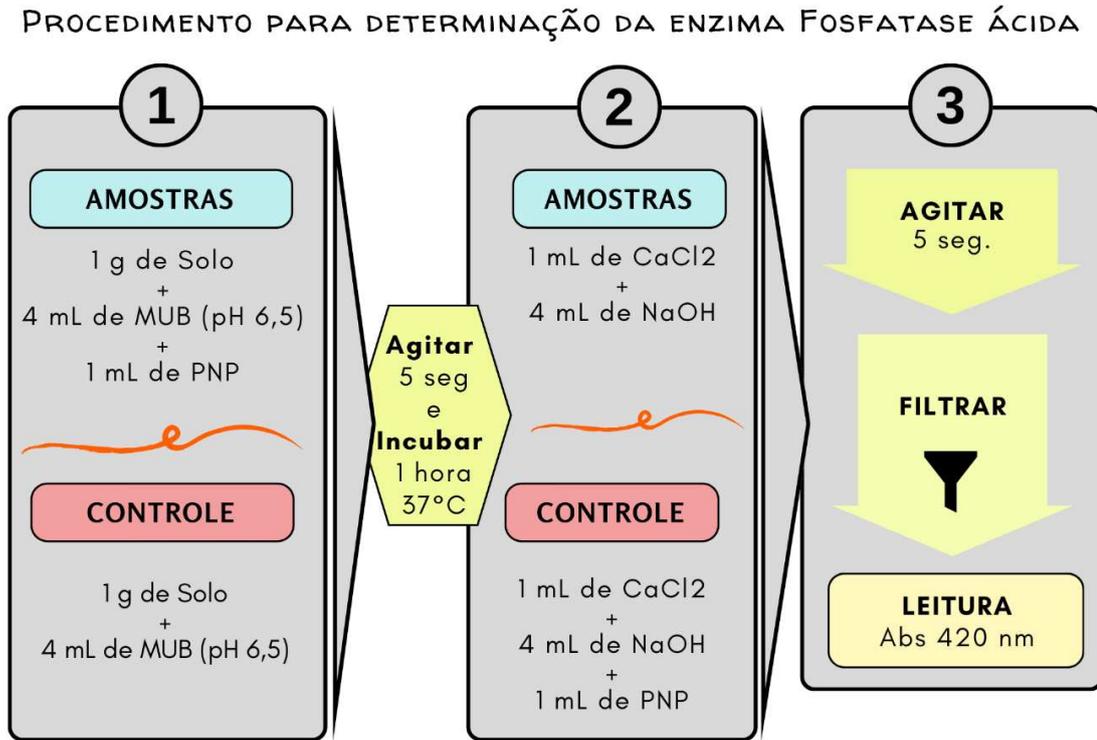
5.5 Determinação da atividade da Fosfatase ácida

A determinação desta atividade baseou-se na mensuração colorimétrica após a liberação do *p*-nitrofenol pelas fosfatases encontradas no solo, quando o solo foi incubado com uma solução tamponada de *p*-nitrofenil fosfato (PNF).

Para mensuração da fosfatase ácida, em cada amostra de solo, foram adicionados 4 mL da Solução estoque Universal Modificada – MUB, previamente ajustada para pH 6,5, em tubos tipo *Falcon*. Após isso, adicionou-se 1 mL da Solução padrão de *p*-nitrofenil fosfato (PNP) 0,05M. em todos os tubos, com exceção dos controles. As amostras passaram por agitação com auxílio de vórtex e foram levadas a incubação por uma hora a 37°C. Ao saírem do banho-maria, foram adicionados 1 mL da Solução de CaCl₂ 0,5M e 4 mL da Solução de NaOH 0,5M em todas as amostras e controles, nos tubos contendo amostras controle adicionou-se 1 mL da Solução de PNP 0,05 M após adição das soluções anteriores. A leitura e quantificação dos extratos da fosfatase ácida foram similares aos procedimentos descritos anteriormente. Porém,

após a filtragem em papel de filtro Whatman n° 2, foi realizada a leitura da coloração amarela no espectrofotômetro a 420 nm (Figura 11, para mais detalhes consulte o Apêndice C).

Figura 11 – Procedimento para determinação da atividade da Fosfatase de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

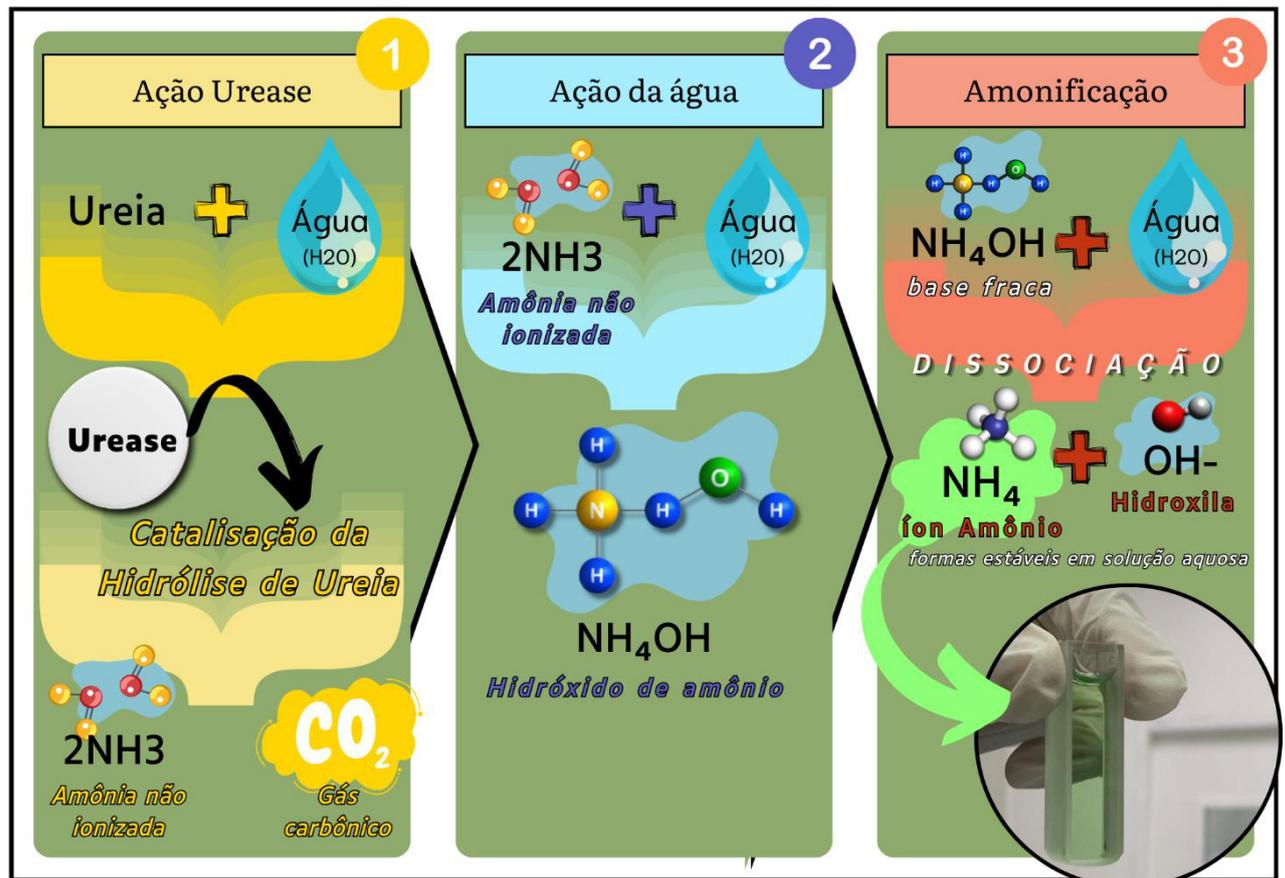
5.6 Determinação da atividade da Urease

A quantificação da atividade da urease baseou-se na determinação do NH₄ pelo método tamponado, quando o solo é incubado com Solução de Ureia. A Urease é uma enzima que catalisa a hidrólise da ureia (um composto orgânico e fonte de nitrogênio), quando a enzima urease (presente no solo) começa a atuar sobre ureia. Os ensaios se basearam na metodologia de “Kandeler e Gerber de 1988”, que utiliza faixa de pH 10, onde a amônia liberada no meio é em forma de NH₃ que ao se combinar com a água, forma o hidróxido de amônio (NH₄OH), que posteriormente tende se ionizar e produz (libera) o íon amônio (NH₄⁺) e a hidroxila (OH⁻) (Figura 6).

Além disso, durante a hidrólise da ureia, a urease também catalisa a produção de dióxido de carbono (CO₂). Este CO₂, em meio aquoso, reage com a água para formar ácido carbônico (H₂CO₃). Portanto, a formação de CO₂ é uma parte integrante do processo de quebra

da ureia ocasionada pela urease. O íon amônio (NH_4^+) é o produto final a ser lido com auxílio de espectrômetro, sendo manifesto na cor azul-verde esmeralda. Portanto, a atividade da urease é quantificada pela quantidade de íons de amônio produzido durante a reação (Figura 12).

Figura 12 – Hidrólise da ureia catalisada pela enzima urease e formação de NH_4 e hidroxila.

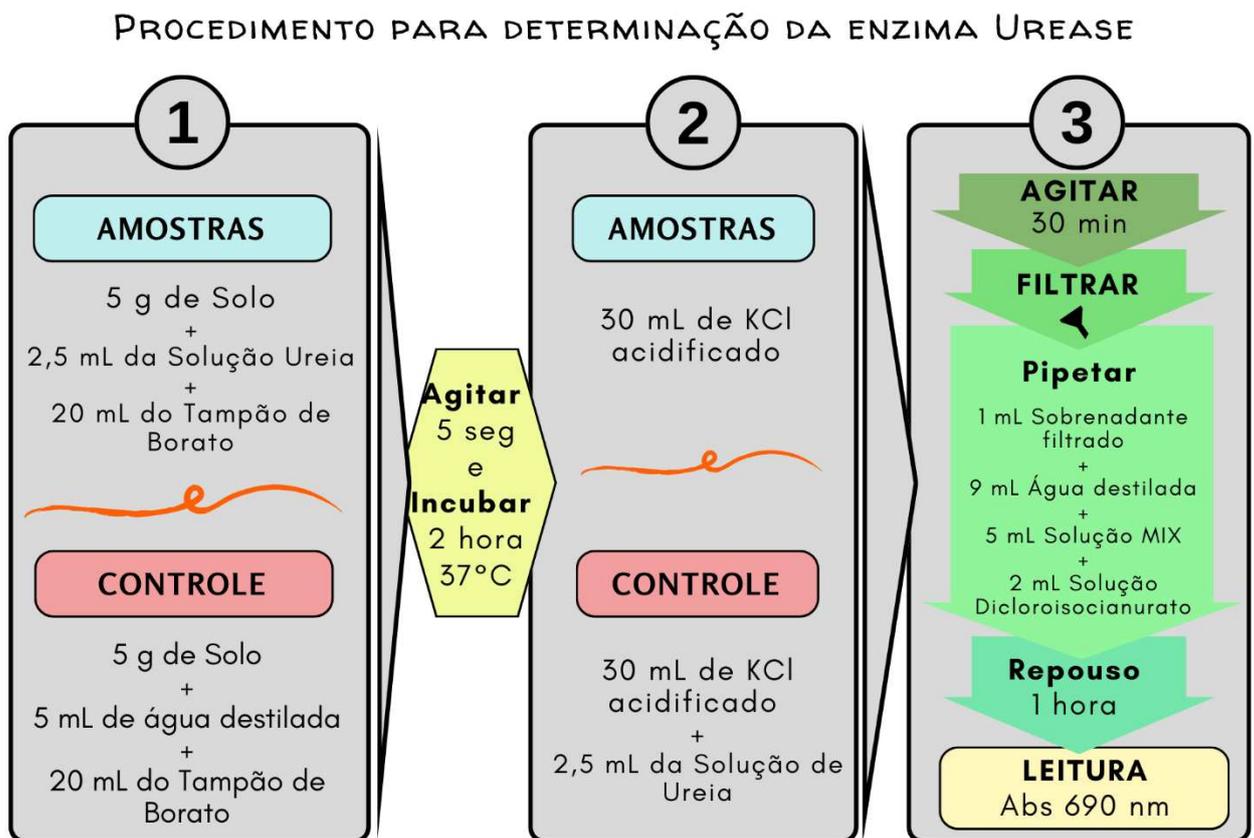


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para a determinação da urease, utilizou-se tubos tipo *Falcon* onde, para todas as amostras foram adicionados 2,5 mL de Solução de Ureia e 20 mL da Solução Tampão de Borato (pH 10) e, previamente pesadas, e para as amostras controle, a ureia foi substituída por 5 mL de água destilada. Posteriormente, as amostras foram agitadas com auxílio de vórtex e levadas a incubação a 37°C por 2 horas em banho-maria. Após o término da incubação, foram adicionados 30 mL da Solução de KCl acidificado em todas as amostras, de forma que a solução lavasse todo o conteúdo de solo transferindo-o para os *Erlenmeyer's*, e nas amostras controle adicionou-se 2,5 mL da Solução de Ureia. Todas as amostras foram levadas à agitação em mesa agitadora SOLAB (SL 180/DT) a 150 rpm, por 30 minutos. Ao fim da agitação, as amostras passaram por filtragem em papel de filtro Whatman n° 2, com auxílio de Beckers 50 mL. Após

a filtragem foi retirado 1 mL do conteúdo sobrenadante de cada amostra e adicionados em copos descartáveis brancos de 100 mL, previamente identificados e contendo 9 mL de água destilada, e adicionou-se 5 mL da Solução de MIX (que em proporção 1:1:1, contém a Solução de Salicilato de sódio 1,06M, Solução de NaOH 0,3M e Água destilada) e 2 mL da Solução de Dicloroisocianúrico de sódio 0,1%. Todas as amostras foram levemente homogeneizadas manualmente, postas em repouso por 1 hora, sob temperatura ambiente. Os extratos, com coloração azul-verde esmeralda, foram lidos em espectrofotômetro a 690 nm (Figura 13, para mais detalhes consulte o Apêndice D).

Figura 13 – Procedimento para determinação da atividade da Urease de solo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Para calcular o conteúdo da amônia do filtrado, utilizou-se um gráfico de calibração previamente elaborado por uma curva padrão com valores de amônia conhecidos. Para isso, foi necessário preparar 1 mL de Solução de Cloreto de amônio em 9 mL da Solução de KCl, correspondendo a 100 μg de $\text{NH}_4\text{-N mL}^{-1}$, desta solução diluiu-se 1 mL em 9 mL de água destilada, correspondendo a 10 μg de $\text{NH}_4\text{-N mL}^{-1}$. Em seguida, foram pipetados 0, 0,5, 1,0,

1,25, 1,50 e 1,75 desta solução padrão em *beckers*, ajustado o volume para 10 mL com adição de água estéril. Posteriormente, prosseguiu-se como descrito para a análise de amônia das amostras de solo, foi adicionado 5 mL da Solução de MIX (que em proporção 1:1:1, contém a Solução de Salicilato de sódio 1,06M, Solução de NaOH 0,3M e Água destilada) e 2 mL da Solução de Dicloroisocianúrico de sódio 0,1%. Todas as amostras foram levemente homogeneizadas manualmente, postas em repouso por 1 hora, sob temperatura ambiente. Ao final do processo foram obtidas soluções com as seguintes concentrações: 0,00, 0,50, 1,00, 1,25, 1,50 e 1,75 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de $\text{NH}_4\text{-N}$.

Para o cálculo da atividade da urease, é necessário a determinação do peso seco do solo. Para isso, foi determinada a umidade do solo, onde foram feitas barcas de papel e estas por sua vez, foram pesadas (m.b. = massa barca) e retirada a tara de forma individual para cada amostra, posteriormente buscou-se pesar 1g de solo de cada tratamento (amostras pesadas e anotado a massa, considerando 4 casas decimais), incluindo as amostras controle (m.u. = massa úmida). Adiante, as amostras foram levadas a estufa por 24 horas a 105°C . Após a secagem, as barcas contendo as amostras foram pesadas, onde foram coletadas a massa de cada barca, o valor obtido posteriormente foi subtraído da m.b. de cada amostra obtendo ao final, a massa seca de cada solo (m.s. = massa seca). Para determinação da umidade do solo foi utilizado a seguinte fórmula: **Equação 1- Determinação da umidade (%)** = $[(m.u. - m.s.) / m.s.] / 100$.

Após a obtenção dos dados de absorvância, estes foram inseridos no software Microsoft Excel, para obtenção dos padrões da curva e posterior obtenção da equação padrão. Aplicou-se todos os dados de absorvância nesta equação, para assim, obter os valores indiretos da atividade da urease nesses solos. Em seguida, para o cálculo da atividade da urease aplicou-se a seguinte fórmula: **Equação 2- Urease $\mu\text{g NH}_4^+$ g solo $^{-1}$ 2h $^{-1}$** = $[\text{NH}_4^+] \mu\text{g mL}^{-1} \times V \times 10 / (\text{PS} \times 5)$, onde:

- V: volume total de extrato (52,5 mL);
- 10: fator de diluição;
- PS: Peso seco de uma grama de solo.

5.7 Análise estatística

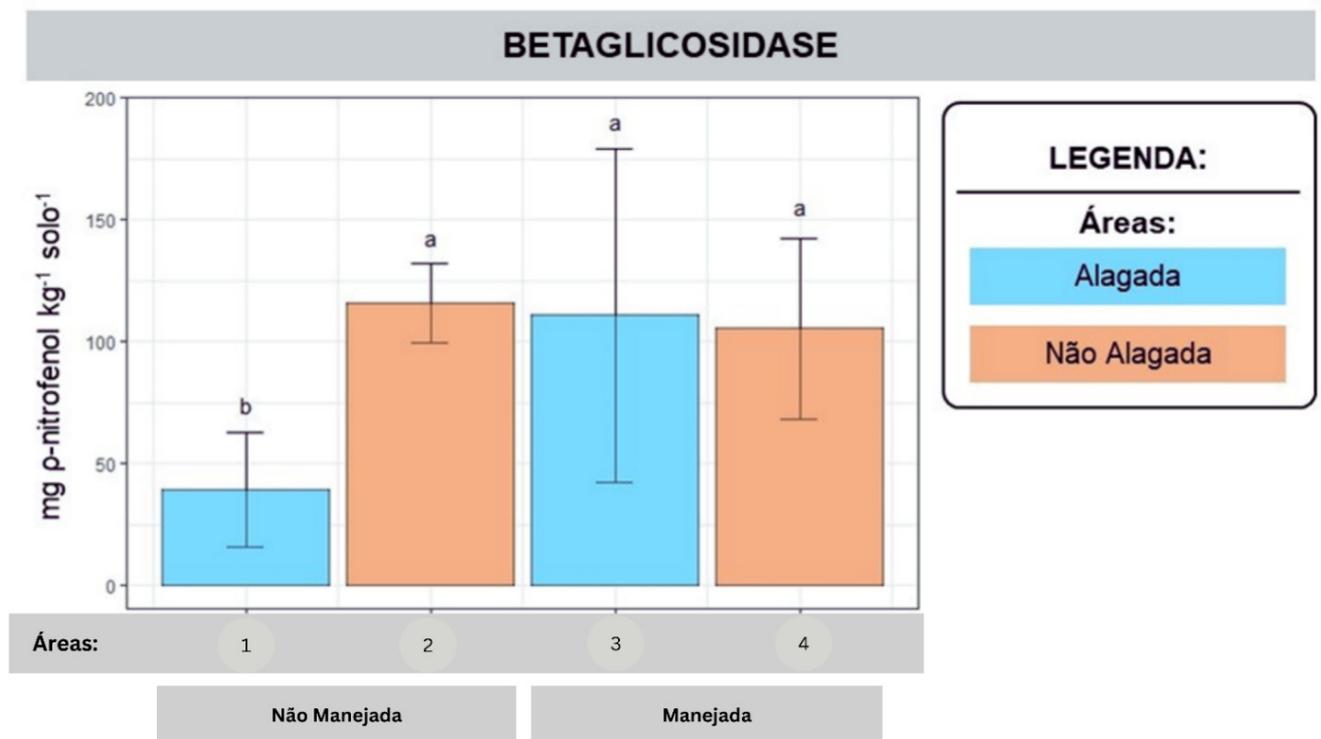
A avaliação dos dados não paramétricos, que não atendem às suposições de normalidade e homogeneidade de variâncias para ANOVA, foi realizada pelo teste de Kruskal-Wallis. As análises foram realizadas no software RStudio® (Versão 2022.12.0).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Atividade potencial da β -glicosidase

A atividade potencial da betaglicosidase foi significativamente maior em grande parte das áreas, com exceção da área 1 (Não manejada e alagada), a qual não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos analisados. (Figura 14).

Figura 14 – Determinação da atividade da enzima β -glicosidase em sistemas de manejo da Carnaúba sob bioma Caatinga.



Atividade potencial da enzima β -glicosidase em diferentes áreas de carnaubais: A1 = 39,39; A2 = 116; A3 = 111 e A4 = 106. As barras indicam a média da atividade, e a linha nas barras representam o desvio padrão (\pm). Cada média é baseada em 6 repetições. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas não alagadas, independente do manejo, apresentam relação direta com o aporte de serrapilheira, a qual influencia diretamente na qualidade do solo. A produção e decomposição da serrapilheira são processos fundamentais na ciclagem de nutrientes (de Abreu et al., 2020), possibilitando o retorno de matéria orgânica, quando, por meio do processo de decomposição, libera para o solo elementos minerais que poderão ser reabsorvidos pelas raízes das plantas (Barbosa et al., 2017). Dessa forma, nessas situações de manejo, o principal benefício é elevação dos teores de C, bem como riqueza e abundância de micro-organismos. Os

valores da atividade da B-glicosidase nas áreas 2 e 3 (A2 e A3) também pode ter sido favorecido em função da capacidade de estabilização e retenção do C no solo em decorrência das características do solo, como: textura fina e presença de óxidos (Filho et al., 2022; Neto et al., 2018).

As enzimas do solo são advindas principalmente de células microbianas, as quais participam das transformações dos nutrientes para formas assimiláveis para as plantas, para tal as transformações microbianas utilizam o oxigênio, para realização de atividades oxidativas de compostos orgânicos (Mattos, 2015). Em ambientes de solo saturado ou que, sazonalmente, passam por super saturamento, com é o caso das áreas 1 e A3, a umidade elevada pode ocasionar redução da concentração de O₂, refletindo assim numa baixa mineralização do material orgânico depositado sobre solo. Contudo, a A3 apresentou atividade potencial da enzima betaglicosidase superior a área 1 (A1).

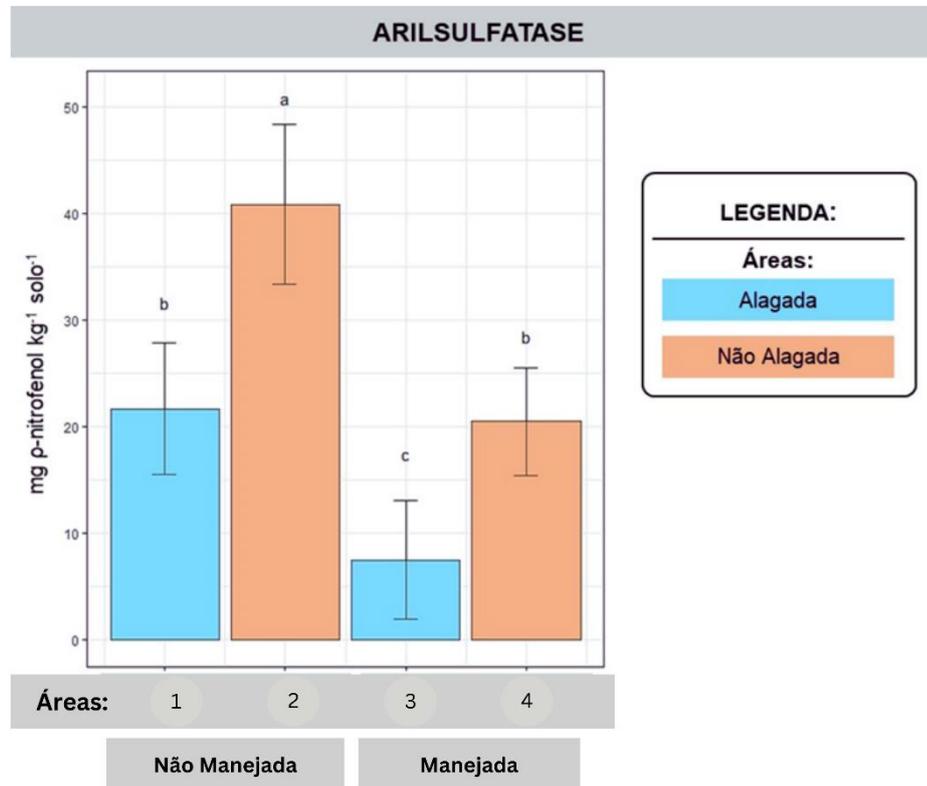
Por outro lado, a A1, que contém carnaúbas silvestres e que estão sujeitas a alagamento, apresentou atividade a potencial da enzima β -glicosidase significativamente menor quando comparada aos demais tratamentos. Esses alagamentos ocorrem tanto em decorrência de chuvas quanto do extravasamento das águas do rio, localizado próximo as palmeiras, quando este atinge a capacidade de suporte. Dessa maneira, a relação C/N inversa é esperada para esta situação. Isso ocorre pois em condições de alagamento ou de alta umidade, a disponibilidade de O₂ é limitada, isso pode ser convidativo a situações de anaerobiose (Neto et al., 2018). Nessas condições, a atividades das bactérias nitrificantes, Nitrosomonas e Nitrobacter, que requerem condições aeróbicas para realizar suas atividades metabólicas, acabam sendo inibidas e isso favorece a desnitrificação. Nesta situação, o suprimento de O₂ se encontram em baixas concentrações para atender a demanda do sistema ou se esgota, dessa forma, os micro-organismos de condições anaeróbicas utilizam o oxigênio presente no nitrato para respirar, assim convertem o nitrato (NO₃⁻) em diferentes formas de N-gasoso (óxido nítrico, óxido nitroso e/ou dinitrogênio), que conseqüentemente é perdido para a atmosfera. Por sua vez, um substrato com baixa concentração de N promovem uma alta relação C/N, refletindo na decomposição lenta dos compostos para os períodos.

6.2 Atividade potencial da Arilsulfatase

A atividade potencial da enzima arilsulfatase na área 2 (Não manejada + Não alagada) foi significativamente superior que a área 3 (Manejada + Alagada), ao passo que as

áreas 1 (Não manejado + Alagado) e 4 (Manejado + Não Alagado) apresentaram valores intermediários não diferindo estatisticamente entre si (Figura 15).

Figura 15 – Determinação da atividade da enzima Arilsulfatase em sistemas de manejo da Carnaúba sob bioma Caatinga.



Atividade potencial da enzima Arilsulfatase em diferentes áreas de carnaubais: A1 = 22; A2 = 41; A3 = 8 e A4 = 20. As barras indicam a média da atividade, e a linha nas barras representam o desvio padrão (\pm). Cada média é baseada em 6 repetições. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A arilsulfatase é encontrada em plantas, fungos, bactérias e animais, mas acredita-se que os micro-organismos sejam a principal fonte dessa enzima no solo (Germida et al., 1992). Cerca de 95% do enxofre (S) no solo está na forma orgânica, o que significa que está ligado à matéria orgânica do solo, de forma que é gradualmente mineralizado, ou seja, transformado em formas inorgânicas, como o íon sulfato, que as plantas podem absorver e utilizar (Tabatabai, 1984). A atividade dessa enzima pode ser utilizada como uma indicadora indireta de presença de fungos no solo, pois entre os organismos que compõem a biomassa microbiana, apenas os fungos possuem ésteres de sulfatos em sua composição, que são substratos hidrolisados na reação dessa enzima (Bandick e Dick, 1999).

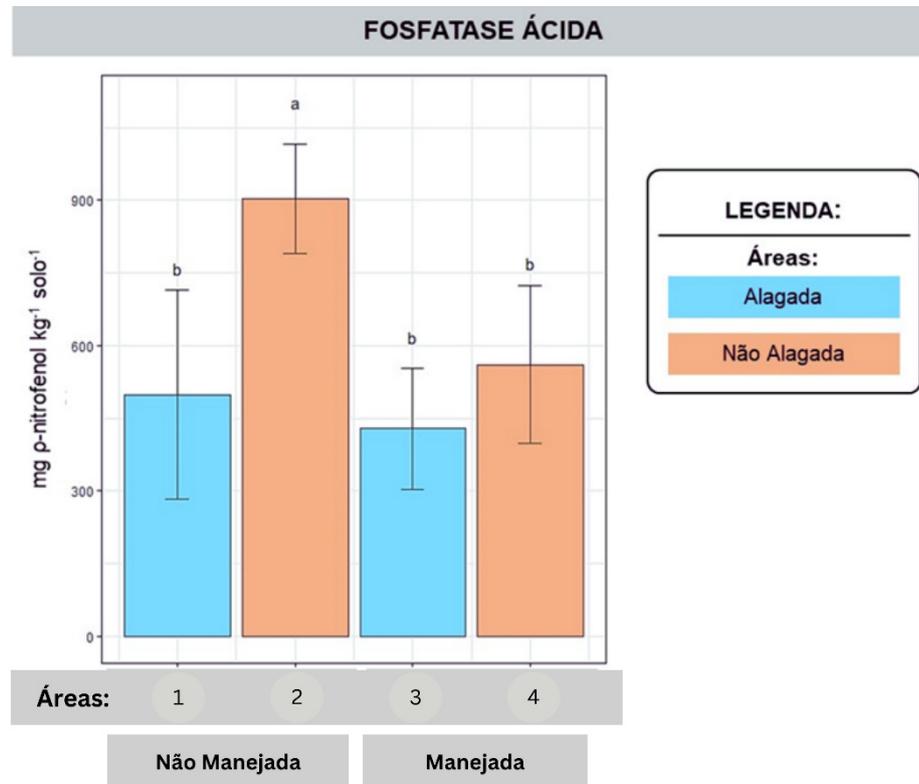
Nesse sentido, a relação positiva entre o aporte de matéria orgânica e a atividade enzimática nos solos, pois contribui para maiores concentrações de substratos, dos quais a atuação da atividade enzimática é intensificada, o que justifica que atividade potencial da arilsulfatase tenha apresentado efeito significativo para as carnaúbas silvestres e que não passam por alagamento (A2), onde o tratamento se sobressaiu dos demais.

Com relação as áreas A1 e A4 os resultados obtidos foram similares, não diferindo estatisticamente entre si. Relação inversa foi observada nas palmeiras manejadas e que se encontram em solo sujeito a alagamento (A3), apresentaram valores significativamente menor ao visto nas demais áreas. Em geral, solos com ocorrência de alagamento podem favorecer condições anaeróbicas, o que pode afetar o desempenho dos micro-organismos e, conseqüentemente, a atividade enzimática. As enzimas do solo, são produzidas por organismos edáficos e, portanto, qualquer condição que afete a atividade microbiana também pode afetar a atividade da arilsulfatase.

6.3 Atividade potencial da Fosfatase ácida

A atividade potencial da fosfatase ácida apresentou efeito significativamente maior apenas na A2 (Não manejada + Não alagada), onde o tratamento se sobressaiu em comparação aos demais. Isso pode ter ocorrido em função da não ocorrência de alagamento pode colaborar em condições mais estáveis para a atividade da fosfatase ácida, resultando em maior disponibilidade de fósforo para as plantas (Figura 16).

Figura 16 – Determinação da atividade da enzima Fosfatase ácida em sistemas de manejo da Carnaúba sob bioma Caatinga.



Atividade potencial da enzima Fosfatase ácida em diferentes áreas de carnaubais: A1 = 546; A2 = 902; A3 = 428 e A4 = 560. As barras indicam a média da atividade, e a linha nas barras representam o desvio padrão (\pm). Cada média é baseada em 6 repetições. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas 1 (Não manejada + Alagada), 3 (Manejada + Alagada) e 4 (Manejada + Não alagada) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos analisados (Figura 16).

O fenômeno sazonal de alagamento nas regiões A1 e A3 podem criar ambientes anaeróbicos, influenciando a atividade microbiana e, conseqüentemente, a funcionalidade da fosfatase ácida. Embora o alagamento inicialmente possa aumentar a disponibilidade de fósforo ao reduzir íons de fosfato, a longo prazo, pode resultar em uma diminuição na atividade da fosfatase ácida devido à progressiva condição anaeróbica do solo.

A presença de serrapilheira na A4 pode ter colaborado com a expressividade de maior atividade da fosfatase ácida, em comparação aos tratamentos de A1 e A3. Isso pois a manutenção de níveis mais elevados de P, encontrados na camada mais superficiais podem ser atribuídas à liberação do P durante a decomposição dos resíduos vegetais (E. D. S. Moreira et al., 2016).

6.4 Atividade potencial da Urease

Com relação a atividade da urease, não foram detectados resultados confiáveis, muito provavelmente pelas condições específicas das áreas dos carnaubais estudados. As áreas alagadas podem proporcionar condições anaeróbias, a ocorrência de altas temperaturas pode levar a desnaturação da proteína (Vlek et al., 1980).

A faixa de pH dessas áreas também um fator a se considerar, pois a ionização das moléculas pode afetar a estrutura e a forma das enzimas e, portanto, interromper suas atividades. Um aumento ou redução no pH altera a concentração de íons na solução, alterando a estrutura das enzimas e do substrato. Ambos os fatores podem refletir em uma baixa atividade da enzima. Além disso, os valores das amostras de controle superaram os valores obtidos nas amostras tratamento, o que contribuiu na formulação de valores negativos observados.

7 CONCLUSÕES

As palmeiras da área que não passa por manejo e não tem ocorrência de alagamento foram as que apresentaram os maiores valores de atividade enzimática. A atividade potencial da β -glicosidase apresentou maior valores para os tratamentos A2, A3 e A4 e significativamente maior da A1. Isso sugere que possivelmente o manejo da carnaúba pode aumentar a atividade enzimática, independente da ocorrência de alagamento. Com relação a atividade da arilsulfatase, o valor da atividade foi significativamente superior para o tratamento da A2 quando comparado às demais áreas. Os tratamentos das A1 e A4 apresentaram valores intermediários, onde o tratamento A3 apresentou o menor valor. Possivelmente, o manejo somando com a sazonalidade de alagamento podem ter um impacto negativo na atividade desta enzima. Com relação a atividade da fosfatase ácida, o valor foi significativamente superior no tratamento A2 quando comparado aos demais tratamentos. Isso possivelmente sugere que a ocorrência de alagamento e o manejo da palmeira colaborem reduzindo a atividade da fosfatase ácida nesses solos.

Com relação a nossa **Primeira hipótese** ela foi confirmada, pois observamos diferenças significativas na atividade enzimática entre áreas manejadas e não manejadas. Com relação a **Hipótese 2**, ela foi parcialmente confirmada. Para as enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, a atividade é inferior em áreas não manejadas alagadas, no entanto, para a fosfatase ácida, o alagamento não apresentou diferenças. Por fim, a **Hipótese 3** não foi confirmada, pois a atividade enzimática não é maior em áreas manejadas e alagadas em comparação com as não alagadas.

Este estudo preliminar sugeriu que o manejo extrativista de carnaúba e a ocorrência de alagamento podem apresentar efeitos variados sobre a atividade enzimática desses solos, dependendo da enzima específica. Além disso, outros fatores, como o tipo de solo, a vegetação e o clima, também podem influenciar na atividade enzimática. A adoção de práticas de conservação do solo e da água podem auxiliar a palmeira a tolerar níveis de estresse e os impactos que a mesma sofre em decorrência do próprio ambiente, porém essas abordagens necessitam de um maior aprofundamento científico, devido as variações observadas e pelo escasso material sobre a cultura em específico. Dessa forma, estudos que contemplem compreender mais sobre a atividade microbiana em áreas de vegetação nativa e que passam por manejo extrativista, principalmente acessando outros parâmetros que interajam com a sustentação de funções ecológicas essenciais para esse tipo de ambiente, serão necessários para melhorar o condicionamento destas plantas, bem como disponibilização dos nutrientes requisitados durante os diferentes cenários do bioma Caatinga.

REFERÊNCIAS

- Abílio De Queiroz, M. (2011). **Recursos Genéticos Vegetais da Caatinga para o Desenvolvimento do Semiárido Brasileiro Caatinga**. In *Revista Brasileira de Geografia Física* (Vol. 06).
- Almeida, L. S., Cota, A. L. S., & Rodrigues, D. F. (2020). **Saneamento, Arboviroses e Determinantes Ambientais: impactos na saúde urbana**. *SciELO Brasil*.
- Bandick, A. K., & Dick, R. P. (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*, 1472.
- Barbosa, V., Barreto-Garcia, P., Gama-Rodrigues, E., & De Paula, A. (2017). Artigo Original Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Florestas Plantadas e Nativa. *Floresta e Ambiente*, *24*, 20150243.
- Cardoso, E. J. B. N., Vasconcellos, R. L. F., Bini, D., Miyauchi, M. Y. H., do Santos, C. A., Alves, P. R. L., de Paula, A. M., Nakatani, A. S., Pereira, J. de M., & Nogueira, M. A. (2023). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*. **Scientia Agricola**, *70*, 274–284.
- Cerqueira, E. B., & Gomes, J. M. A. (2017). Desmatamento da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore) em Campo Maior-PI. **GeoTextos**, *13*(2).
- Coelho Junior, L. M., Burgos, J. V. de C., Santos Júnior, E. P., Diniz, F. F., Martins, J. M., Maurício, C. F. B., Gehrke, C. S., & Gomes, F. da S. V. (2023). Localização e especialização da produção extrativista dos produtos madeiros nas regiões imediatas de Pernambuco. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, *14*(7), 10847–10862.
- da Silva, J. M. C., Barbosa, L. C. F., Leal, I. R., & Tabarelli, M. (2018). **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**. 1–482.
- d’Alva, O. A. (2004). **O EXTRATIVISMO DA CARNAÚBA NO CEARÁ**.
- de Abreu, K. M., Ferreira, J. L. S., Vasconcelos, W. A., Calil, F. N., de Melo, C., & Neto, S. (2020). **Biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em diferentes idades**. *31*, 737.
- de Araújo, A. S. F., & Monteiro, R. T. R. (2007). Visualização de Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, *3*, 66–75.
- de Araujo, H. F. P., Garda, A. A., Girão e Silva, W. A. de, Nascimento, N. F. F. do, Mariano, E. de F., & Silva, J. M. C. da. (2022). The Caatinga region is a system and not an aggregate. **Journal of Arid Environments**, *203*, 104778.
- de Oliveira, J. R. F. (2014). **O CLIMA DA CIDADE DE CAUCAIA-CE SOB A PERSPECTIVA TERMODINÂMICA**.
- de Sousa, R. F., Silva, R. A. R., Rocha, T. G. F., Santana, J. A. da S., & Vieira, F. de A. (2015). Etnoecologia e etnobotânica da palmeira carnaúba no semiárido brasileiro. **Cerne**,

21(4), 587–594.

Demartelaere, A. C. F., Feitosa, S. dos S., Leao, F. de A. do N., Costa, B. P., De Deus, A. S., Da camara, Y. P., Silva, T. P. de P., De Souza, J. B., Da Mata, T. C., Lorenzetti, E., Silva, E. dos S., Coutinho, P. W. R., Gomes, A. R., Da Silva, L. H. P., Gomes, E. S., Do Nascimento, T. F., Candido, A. O., & Da Silva, M. C. T. Revisão bibliográfica: impactos em áreas nativas da caatinga causadas pelas atividades econômicas e as técnicas de reflorestamento. **Brazilian Journal of Development**, 8(4), 25285–25306. (2022).

Drumond, M. A., Lucia Helena Piedade Kiill Paulo César Fernandes Lima Martiniano Cavalcante de Oliveira Visêdo Ribeiro de Oliveira Severino Gonzaga de Albuquerque Clóvis Eduardo de Souza Nascimento Josias Kiill, L. H. P., Lima, P. C. F., Cavalcante de Oliveira, M. C., Ribeiro de Oliveira, Vi., Albuquerque, S. G. de, Nascimento, C. E. de S., & Cavalcanti, J. (2004). **Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da Caatinga**.

Evangelista, C. R., Partelli, F. L., Ferreira, E. P. de B., & Correchel, V. (2012). Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás (Enzymatic activity of soil under organic and conventional management in the culture of sugar cane in Goiás). **Repositório institucional EMBRAPA**. 33, 1251–1262.

Fernandes, D., Cristina, K., Ribeiro, L., Moura, L., Nascimento, M., Silva, S., Portela, S., & Queiroga, V. de P. (2019). **Cadeia produtiva da Carnaúba: Manual de Boas práticas**.

Filho, J. C. de A., Marques, F. A., do Amaral, A. J., Cunha, T. J. F., Júnior, V. S. de S., & Galvão, P. V. M. (2022). Solos do Semiárido: Características e estoque de carbono. In **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas** (p. 98).

Ganem, K. A., Dutra, A. C., de Oliveira, M. T., de Freitas, R. M., Grecchi, R. C., da Silva Pinto Vieira, R. M., Arai, E., Silva, F. B., Sampaio, C. B. V., Duarte, V., & Shimabukuro, Y. E. (2020). Mapping Caatinga vegetation using optical earth observation data – Opportunities and challenges. **Revista Brasileira de Cartografia**, 72, 829–854.

Gariglio, M. A., Sampaio, E. V. de S. B., Cestaro, L. A., & Kageyama, P. Y. (2010). Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. **Ministério Do Meio Ambiente**.

Gariglio, M. Auxiliadora., Brazil. Ministério do Meio Ambiente., & Serviço Florestal Brasileiro. (2010). Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. **Serviço Florestal Brasileiro**.

Germida, J. J., Wainwright, M., & Gupta, V. V. S. R. (1992). Biochemistry of Sulfur Cycling in Soil. **Soil biochemistry** (Vol. 7, pp. 1–38).

Giongo, V., Jarbas Ferreira Cunha, T., Salviano Monteiro Mendes, A., Alberto Tuão Gava, C., & da Embrapa Semiárido, P. (2011). Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física** (Vol. 06).

Gonzaga, L. F. M., & Gomes, I. A. S. (2018). A relevância econômica dos produtos da carnaúba (*Copernicia prunifera*) para os estados pertencentes à caatinga brasileira.

- Guedes, A. C. L., & da Silva, M. F. (2012). **Produtos Florestais Não Madeireiros.**
- HIERA, M. D., LIMA JÚNIOR, A. F., & ZANELLA, M. E. (2019). TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO CEARÁ. **Revista Brasileira de Climatologia**, 24, 1–22.
- IPECE. (2017). **Perfil Municipal - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará.**
- Júnior, J. V. da S., Beckmann-Cavalcante, M. Z., Brito, L. P. da S., Avelino, R. C., & Cavalcante, Í. H. L. (2014). Use of alternative materials in the production of tomato seedlings under foliar fertilisation. **Revista Ciência Agronômica**, 3, 528–536.
- Kiill, L. H. P., de Araújo, F. P., dos Anjos, J. B., Fernandes-Júnior, P. I., Aidar, S. de T., & de Souza, A. V. V. (2019). Biodiversidade da Caatinga como potencialidade para a agricultura familiar (EMBRAPA). **Embrapa**, 16–43.
- Leopoldo, P. de T. G. (2009). INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ENZIMAS. In **Bioquímica** (pp. 195–268).
- Letras Ambientais. (2019). **Caatinga: um dos biomas menos protegidos do Brasil.**
- Letras Ambientais, P. (2023). **Pesquisa identifica pela primeira vez regiões áridas no Nordeste brasileiro.**
- Lima, C. S., & Campos, M. A. S. (2023). **Monitoring of Nematofauna and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Caatinga Area and in the Adjacent Culture.**
- Machado Vezzani, F., & Mielniczuk, J. (2009). UMA VISÃO SOBRE QUALIDADE DO SOLO (An overview of soil quality). **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 33, 743–755.
- Manzoor, A., Dippold, M. A., Loeppmann, S., & Blagodatskaya, E. (2022). Two-Phase Conceptual Framework of Phosphatase Activity and Phosphorus Bioavailability. **Frontiers in Plant Science**, 13, 935829.
- Maróstica, M. E. M. (2023). *Saúde do solo e estoque de carbono em áreas com sistemas integrados de produção no Cerrado.* **Esalq - Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz.”**
- Masetto, T. E., Scalon, S. de P. Q., de Brito, J. Q., Moreira, F. H., Ribeiro, D. M., & Rezende, R. K. Si. (2012). Germinação e armazenamento de sementes de carandá (*Copernicia alba*). **CERNE**, 18, 542–546.
- Mattos, M. L. T. (2015). **Microbiologia do solo.** (pp. 263–268).
- Mendes, I. C., Marchão, R. L., Junior, F. B. R., Chaer, G. M., Salton, J. C., Vilela, L., de Oliveira, M. I. L., Tomazi, M., & Benites, V. M. (2022). **Saúde do solo em sistemas de integração lavoura pecuária - capítulo 7** (I. C. Mendes, R. L. Marchão, F. B. R. Junior, G. M. Chaer, J. C. Salton, L. Vilela, M. I. L. de Oliveira, M. Tomazi, & V. M. Benites, Eds.; pp. 18–19).

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2023). **Áreas prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade 2^a Atualização.**

Miura, A. K., & Sousa, L. P. de. (2022). Produtos florestais madeireiros e não madeireiros. **Portal Embrapa.**

Moreira, E. D. S., Marriel, I. E., dos Santos, C. A., de Sousa, J. C. da C., Neto, M. M. G., Lana, Â. M. Q., & Paiva, C. A. de O. (2016). **Fosfatase ácida e alcalina em solo sob manejo do sistema integração lavoura pecuária e floresta.**

Moreira, P. I. (2023). **“Brasil, terra da carnaúba”**: ciência, política e indústria no processo de comoditização da cera de carnaúba no nordeste do Brasil, *1900-1970*.

Mueller, C. C. (2004). **Os economistas e as inter-relações entre o sistema econômico e o meio-ambiente.**

Nascimento, G. V., Silva, G. M., & Costa, P. R. S. (2020). ECOLOGIA POLÍTICA DA CARNAÚBA NO CEARÁ. **Caderno de Estudos Geoambientais - CADEGEO, 11(1).**

Neto, L., Coradini, C., Junges, E., & Michelon, C. (2018). Decomposição de resíduos vegetais em ambiente alagado e sequeiro sob diferentes manejos de solo. **Scientia Plena, 13(12).**

Oliveira, J., Lima, E. R. V., Souza, B. I., Costa, D. F. da S., & Oliveira, P. J. L. (2023). Análise da estrutura espacial da paisagem em uma unidade de conservação da Caatinga. **RC, 22, 117.**

Pinheiro, K. R., Alves, E. R., Alves, M. V., & Galvíncio, J. D. (2020). Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress, 5(2), 221–231.**

Pinheiro, N. M. de S. (2012). Revestimentos com cera de carnaúba incorporados de antimicrobianos em caju (*Anacardium occidentale* L) e goiaba (*Psidium guajava*). **UFV- Universidade Federal de Viçosa.**

Queiroga, Vi. de P., Assunção, M. V., Almeida, F. de A. C., & de Albuquerque, E. M. B. (2017). **Carnaubeira: Tecnologias de plantio e aproveitamento industrial** (2nd ed.). 12/04/2017.

Rodrigues, L. C., Arruda da Silva, A., Barbosa da Silva, R., de Oliveira, A. F. M., & Andrade, L. de H. C. (2013, May 14). **Conhecimento e uso da carnaúba e da algaroba em comunidades do sertão do rio grande do norte, nordeste do Brasil.** 3, 451–457.

Scoles, R., & Gribel, R. (2011). Population Structure of Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) Stands in Two Areas with Different Occupation Histories in the **Brazilian Amazon.** *Human Ecology, 39(4), 455–464.*

Silva, Danilo Ferreira da. **A exclusão do pastoreio e sua influência na atividade enzimática de solos da caatinga em processo de desertificação fortaleza 2021.**

SILVA, J. C. da. (2009). ENZIMAS NO SOLO. **XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO** (pp. 365–378).

Silva, R. M. da, Andrade, D. de, Moreira, A. G., da Silva, A., & Stefanutti, R. **Identificação dos impactos ambientais provocados pelo desmatamento da carnaúba na comunidade de altinho no município de tabuleiro do norte-ceará.** (2019).

Tabatabai, M. A. Importance of sulphur in crop production. **Biogeochemistry**, **1**, 45–62. (1984).

Velho, A. C., Poltronieri, A. S., Stadnik, M. J., & Mondino, P. **Desenvolvimento sustentável na produção agroalimentar** (M. J. Stadnik, A. C. Velho, & S. E. Zorrilla, Eds.; 1º). 2019.

Vlek, P. L. G., Stumpe, J. M., & Byrnes, B. H. (1980). Urease activity and inhibition in flooded soil systems. **Fertilizer Research**, **1**(3), 191–202.

APÊNDICE A - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA β -GLICOSIDASE.

Determinação da atividade da β -glicosidase no solo



A β -glicosidase catalisa a hidrólise de glicosídeos liberando β -D-glicose e p-nitrofenol

PRIMEIRA ETAPA:

AMOSTRAS

4 mL de MUB (pH 6,0)
Tampão Universal Modificado

+

1 mL de PNG (0,05 M)
(p-nitrofenil- β -D-glicopiranosídeo)

CONTROLE

4 mL de MUB (pH 6,0)
Tampão Universal Modificado

1° - Agitação

\pm 5 seg

Homogeneizar as amostras
(as Soluções irão penetrar nos agregados do solo)

Vórtex

Incubação

37 °C
 1 hora

- Fase em que a β -glicosidase irá agir (hidrolisando) sobre o PNG produzindo p-nitrofenol e β -D-glicose.

Banho-maria

SEGUNDA ETAPA:

PARAR A REAÇÃO

AMOSTRAS

1 mL CaCl₂ (0,5 M)
Cloreto de Cálcio

+

4 mL THAM (0,1 M pH 12)
Tris (hidroximetil) aminometano

CONTROLE

1 mL de CaCl₂ (0,5 M)

+

4 mL de TAM (pH 12)

+

1 mL de PNG (0,05M)

2° - Agitação

\pm 5 seg

Homogeneizar as amostras
(as Soluções irão penetrar nos agregados do solo e reagir entre si)

Vórtex

TERCEIRA ETAPA:

Filtração

Leitura

Especfotômetro
410 nm

KASVI

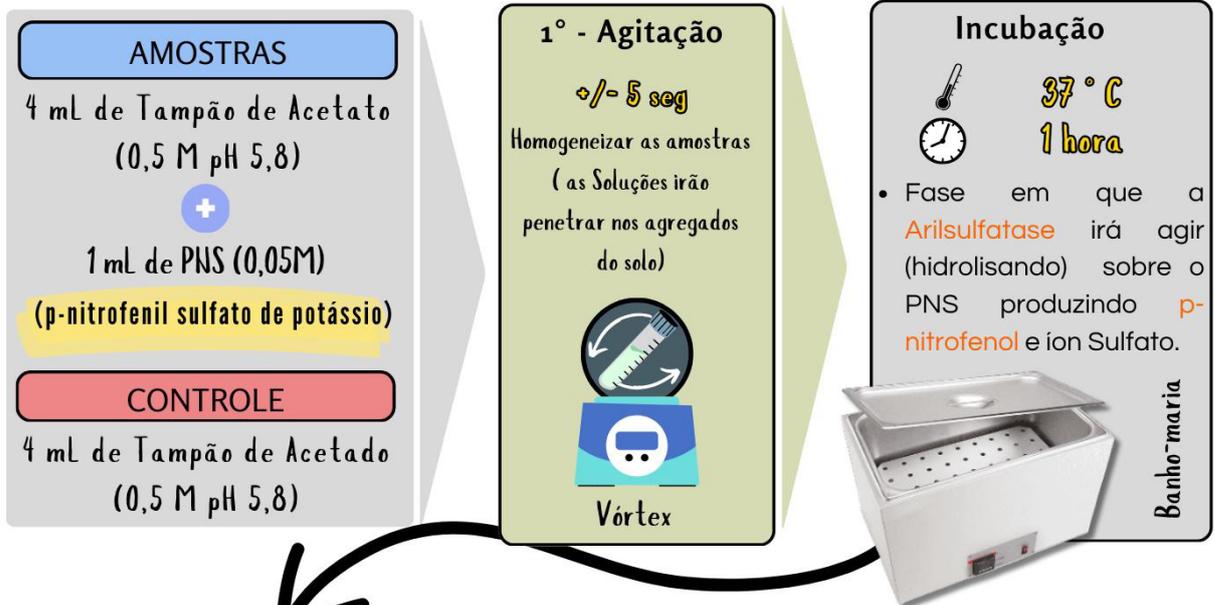
@omequeiros

APÊNDICE B - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA ARILSULFATASE.

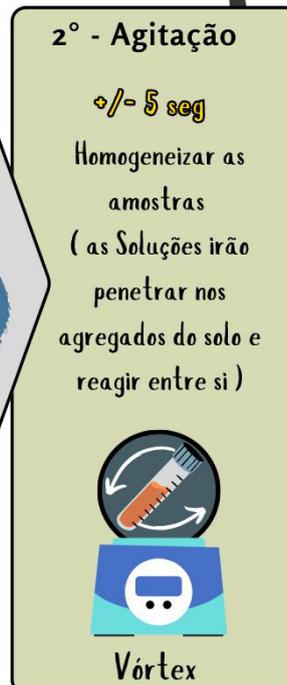
Determinação da atividade da Arilsulfatase no solo



A Arilsulfatase catalisa a hidrólise de estéres de sulfato liberando íon sulfato (SO_4^{2-}), íon potássio (K^+) e p-nitrofenol



SEGUNDA ETAPA:

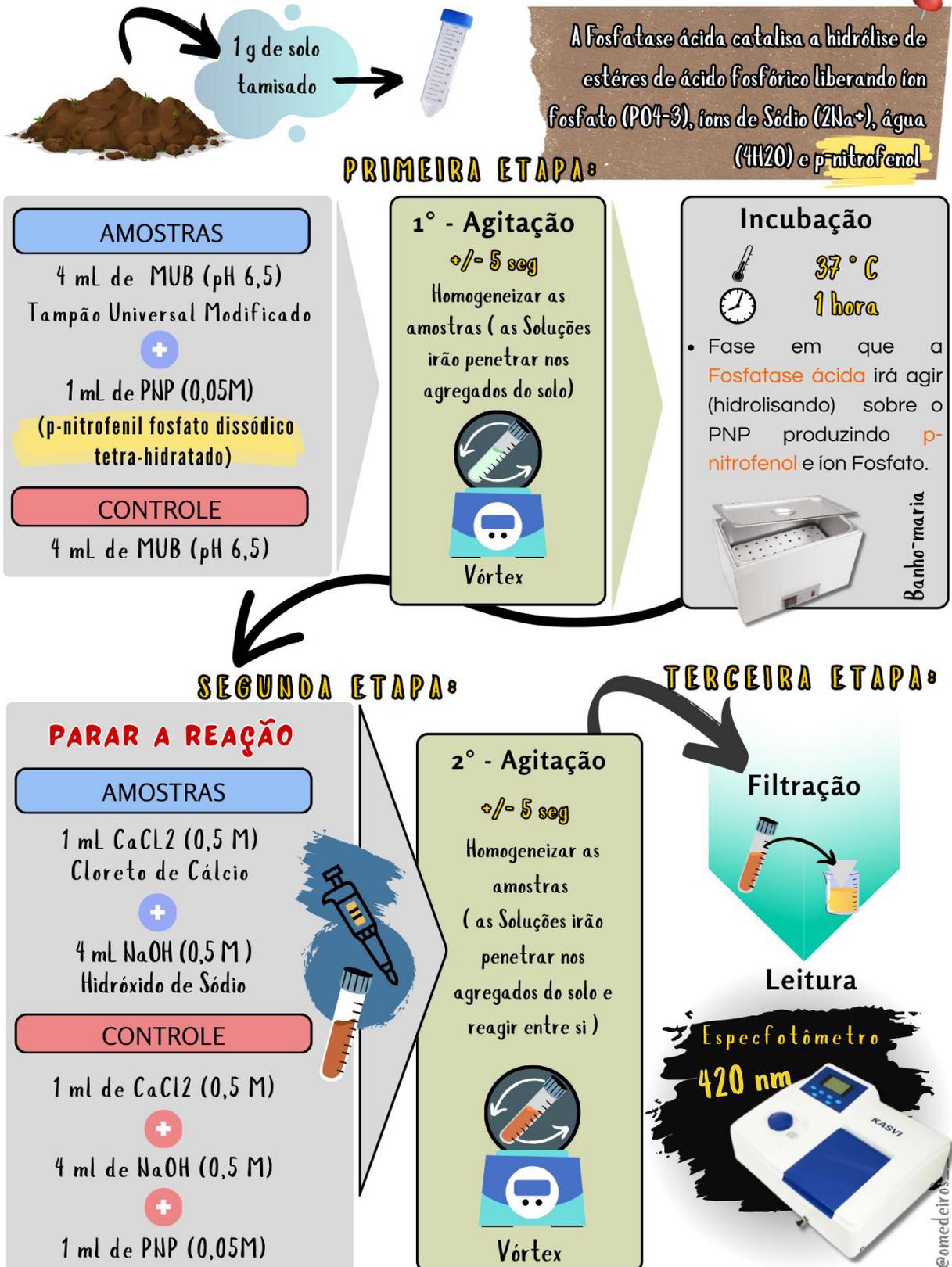


TERCEIRA ETAPA:



APÊNDICE C - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA.

Determinação da atividade da Fosfatase ácida no solo



APÊNDICE D - ESQUEMA DA MENSURAÇÃO DA ATIVIDADE DA UREASE.

Determinação da atividade da Urease no solo



Urease catalisa a hidrólise da ureia liberando Amônia e CO₂

PRIMEIRA ETAPA:

AMOSTRAS

2,5 mL de Solução de Ureia
+
20 mL de Solução de Tampão de Borato

CONTROLE

2,5 mL de Água destilada
+
20 mL de Solução de Tampão de Borato

1° - Agitação

+/- 5 seg

Homogeneizar as amostras
(as Soluções irão penetrar nos agregados do solo)

Vórtex

Incubação

37 °C
2 horas

- Fase em que a Urease irá agir (hidrolisando) sobre a Ureia produzindo 2NH₃ e CO₂
- Quanto mais amônia é produzida, maior é a atividade da urease no solo.

Banho-maria

SEGUNDA ETAPA:

STOP reaction

30 mL da Solução de KCl acidificado

Lavando toda a amostra

2,5 mL da Solução de Ureia nos brancos

2° - Agitação

30 seg

Mesa Agitadora SL-16001

Filtragem

Papel o Whatman

TERCEIRA ETAPA:

- 1 mL do Sobrenadante Filtrado

Mudança da COR

- 9 mL de Água destilada
- 5 mL da Solução MIX
- 2 mL da Solução de Dicloroisocianurato de sódio 0,1%

Copo descartável 100 mL Branco

Solução MIX, contém: Salicilato de sódio 1,06 M, Hidróxido de sódio 0,3 M e Água destilada

homogeneização manual

Repouso

1 hora

temperatura ambiente

Leitura

690 nm

@medeiros