



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

DANILO FERREIRA DA SILVA

**A EXCLUSÃO DO PASTOREIO E SUA INFLUÊNCIA NA ATIVIDADE
ENZIMÁTICA DE SOLOS DA CAATINGA EM PROCESSO DE
DESERTIFICAÇÃO**

FORTALEZA

2021

DANILO FERREIRA DA SILVA

**A EXCLUSÃO DO PASTOREIO E SUA INFLUÊNCIA NA ATIVIDADE
ENZIMÁTICA DE SOLOS DA CAATINGA EM PROCESSO DE
DESERTIFICAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S579e Silva, Danilo Ferreira.
A exclusão do pastoreio e sua influência na atividade enzimática de solos da caatinga em processo de desertificação / Danilo Ferreira Silva. – 2021.
34 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará,
Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira.

1. Microbiologia do solo. 2. Atividade enzimática. 3. Desertificação. I. Título.

CDD 630

DANILO FERREIRA DA SILVA

**A EXCLUSÃO DO PASTOREIO E SUA INFLUÊNCIA NA ATIVIDADE
ENZIMÁTICA DE SOLOS DA CAATINGA EM PROCESSO DE
DESERTIFICAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia do Departamento de Ciências
do Solo da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 06/04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira (Orientador)

Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho

Prof.^a Dr.^a. Vânia Maria Maciel Melo

Ms. Antonio Marcos Miranda Silva

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Antonilda e Pedro, meus irmãos, Vanessa, Daniel e Marcos, meus avós, Graça e Antonio e minha madrinha Terezinha, por todo o suporte, educação, amor e carinho. Em especial à minha mãe, que sempre questiona minhas ideias, mas está ao meu lado em todos os momentos.

Aos grandes amigos que conquistei na Universidade, Aglaísio, Cintia, Jarlane, Israel, Leolete e Mariana, por todo carinho, companheirismo e suporte diário.

Aos meus amigos dos grupos de estudos GEMBioS, GERMS e Lembotec, em especial à Jarlane, Israel, Ericka, Arlene, Lara e Kaio, por todas as contribuições neste trabalho e para meu desenvolvimento acadêmico.

Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a. Vânia Maria Maciel Melo, Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho e ao Ms. Antonio Marcos Miranda Silva, pelas avaliações e contribuições para esta monografia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira, pela confiança, conhecimentos repassados, dedicação, amizade e incentivo, tendo fundamental importância para a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho, por ter me recebido de braços abertos em seu grupo de estudos, sua orientação foi um grande divisor de águas no meu processo de formação, agradeço imensamente por toda a confiança e incentivo.

Meus agradecimentos ao CNPq e PROGRAD-UFC, pelo financiamento de bolsas de Iniciação Científica e Iniciação a Docência, respectivamente.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), na qual me proporcionou uma grande experiência para o meu desenvolvimento, além de contribuições laboratoriais. Agradeço em especial a saudosa Prof. Dr. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso, por ter aceitado me receber e por todo o suporte fornecido pelo seu grupo de estudos.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), na qual estou me formando com o título de Eng. Agrônomo. Agradeço por todo o suporte estudantil e laboratorial fornecido, tornando possível a realização deste sonho.

E, por fim, agradeço a Deus pela vida e por transformar coisas que na minha cabeça eram impossíveis, em realidade.

“A vida imita a arte.”

L.D. Rey.

RESUMO

A exploração não sustentável dos recursos naturais, culminou no uso indiscriminado do bioma Caatinga. As atividades de pecuária extensiva e a agricultura rudimentar, que ocorrem há décadas, em conjunto com as características únicas de clima, solo e vegetação, favorecem para a degradação de grandes áreas. Esse fato favoreceu o surgimento das áreas suscetíveis a desertificação, que se intensificam por vários processos naturais e antrópicos. Considerando o solo um reservatório de grande diversidade biológica, é prioritário a realização de estudos que busquem mensurar sua saúde e/ou qualidade. Neste sentido, a atividade enzimática do solo de áreas em processo de desertificação é pouco compreendida. Além disso, sabe-se pouco como a exclusão do pastoreio pode recuperar o metabolismo microbiano de solos em avançado processo de degradação na Caatinga. O estudo teve como objetivo analisar a atividade das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e alcalina de solos inseridos no núcleo de desertificação de Irauçuba (CE), utilizando como tratamentos, solos de 3 subáreas distintas: 1. vegetação natural da Caatinga (VN), 2. recuperação natural da Caatinga (RN – exclusão de pastoreio por 19 anos) e 3. áreas em processo avançado de degradação pelo sobrepastejo (AD). Essas amostras de solos, foram coletadas em 3 áreas diferentes, sendo avaliados 27 amostras (3 tratamentos x 3 áreas x 3 repetições). As determinações enzimáticas seguiram os métodos baseadas na mensuração colorimétrica após a liberação do p -nitrofenol, previamente incubado em tampões e temperaturas específicas. O tratamento AD apresentou, de maneira geral, valores inferiores para as enzimas analisadas. A atividade da β -glicosidase foi significativamente superior nos tratamentos RN e VN, quando comparado a AD. Para fosfatase ácida, o tratamento RN foi significativamente superior ao AD. Neste caso, o tratamento VN apresentou resultados intermediários. Para a arilsulfatase e fosfatase alcalina, de forma geral, não apresentaram efeito significativo, com pequenas variações entre as áreas. Como conclusão, demonstrou-se que as áreas em RN conseguiram recuperar o potencial enzimático do solo, em alguns casos superando a atividade das subáreas VN. Este estudo destaca a importância do manejo do solo para sustentar funções ecológicas essenciais no ecossistema da Caatinga, como a ciclagem de C, P e S, dada a participação dessas enzimas na mineralização de material orgânico associado a estes ciclos e a disponibilização de nutrientes para as plantas.

Palavras-chave: Indicador de qualidade, atividade enzimática, semiárido, desertificação.

ABSTRACT

The unsustainable exploitation of natural resources, culminated in the indiscriminate use of the Caatinga biome. Extensive livestock activities and rudimentary agriculture, which have been occurring for decades, together with the unique characteristics of climate, soil and vegetation, favor the degradation of large areas. This fact favored the emergence of areas susceptible to desertification, which was intensified by several natural and man-made processes. Considering the soil as a reservoir of great biological diversity, it is a priority to carry out studies that seek to measure its health and / or quality. In this sense, the enzyme activity of the soil in areas undergoing desertification is poorly understood. Furthermore, little is known about how grazing exclusion can recover microbial metabolism of soils in an advanced degradation process in the Caatinga. The study aimed to analyze an activity of the enzymes β -glycosidase, arylsulfatase, acid and alkaline phosphatase of soils inserted in the desertification nucleus of Irauçuba (CE), using soils from 3 different subareas as treatments: 1. Caatinga natural vegetation (VN), 2. natural recovery of Caatinga (RN - exclusion of grazing for 19 years) and 3. areas in an advanced process of degradation by overgrazing (AD). These soil people were collected in 3 different areas, being evaluated by 27 (3 treatments x 3 areas x 3 repetitions). The enzymatic determinations followed the methods based on the colorimetric measurement after the release of p -nitrophenol, previously incubated in buffers and specific specifications. The AD treatment presents, in general, lower values for the analyzed enzymes. B-glycosidase activity was superior in the RN and VN treatments, when compared to AD. For acid phosphatase, the RN treatment for complication superior to AD. In this case, the VN treatment showed intermediate results. For arylsulfatase and alkaline phosphatase, in general, there is no significant effect, with small variations between areas. As a conclusion, it is updated that the areas in RN managed to recover the enzymatic potential of the soil, in some cases surpassing the activity of the VN subareas. This study highlights the importance of soil management for essential sustainable ecological functions in the Caatinga ecosystem, such as the cycling of C, P and S, given the participation of these enzymes in the mineralization of organic material associated with these cycles and the availability of nutrients for plants.

Keywords: Quality indicator, enzyme activity, semiarid, desertification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização geográfica das áreas de estudo	21
Figura 2	– Representação do processo de degradação por sobrepastejo em uma área de vegetação nativa	22
Figura 3	– Atividade potencial de enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatases (ácida e alcalina) em solos da Caatinga em recuperação natural (RN), vegetação nativa (VN) e áreas degradadas (AD) em três áreas de estudo distintas (1, 2 e 3)	26
Figura 4	– Atividade potencial de enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatases (ácida e alcalina) em solos da Caatinga em recuperação natural (RN), vegetação nativa (VN) e áreas degradadas (AD)	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD – Área Degradada

AE – Área de estudo

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

RN – Recuperação Natural

UFC - Universidade Federal do Ceará

VN – Vegetação Natural

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3	HIPÓTESE	20
4	OBJETIVO	20
5	MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1	Caracterização da área experimental.....	21
5.2	Projeto experimental e amostragem.....	22
5.3	Quantificação da atividade da arilsulfatase.....	23
5.4	Quantificação da atividade da β -glicosidase	24
5.5	Quantificação da atividade da fosfatase ácida e alcalina	24
5.6	Análise estatística	24
6	RESULTADOS	25
7	DISCUSSÃO	27
8	CONCLUSÃO	30
9	REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga, presente nas regiões de clima semiárido do Brasil, representa cerca de 11% do território nacional, compreendendo grande parte do Nordeste do país e uma pequena área do estado de Minas Gerais (PINHEIRO; NAIR, 2018). A Caatinga é responsável pela manutenção das condições de vida da região, pois oferece grande capacidade de adaptação as variações climáticas, sendo uma mata de grande biomassa no período chuvoso e perda total das folhas no período seco (CARVALHO-NETO *et al.*, 2017). A irregularidade no regime pluviométrico, os anos seguidos de seca e a concentração de chuvas em apenas um período curto do ano (janeiro a maio), torna o bioma extremamente vulnerável a processos de degradação do solo (IPECE, 2007; MENEZES *et al.*, 2012).

A exploração não sustentável da Caatinga e a falta de preocupação com as peculiaridades climáticas que o bioma apresenta, culminou na exploração indiscriminada de seus recursos naturais (OLIVEIRA *et al.*, 2019). As atividades de pecuária extensiva, uma agricultura rudimentar e o extrativismo vegetal, que ocorrem desde o progresso da marcha de ocupação da Caatinga, resultaram no aumento dos índices de desmatamento do bioma. Além do mais, as características únicas de solo, vegetação e irregularidades climáticas ocorrentes na região, favorecem para o surgimento de áreas suscetíveis a desertificação, que se intensificam por vários processos naturais e antrópicos, afetando todos os nichos ecológicos no sistema (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A desertificação é um fenômeno recorrente em áreas de clima seco. Aliado a isso, aspectos como o desmatamento descontrolado, utilização intensiva do solo por culturas agrícolas, animais e o manejo inadequado do solo e da água, podem iniciar o processo de degradação e perda de funções ecológicas no solo e contribuir para o surgimento de áreas em processo de desertificação (MENEZES *et al.*, 2012). Uma das maneiras de monitorar áreas em processo de desertificação é por meio do acompanhamento de indicadores de qualidade de solo, por exemplo a atividade enzimática no solo. A mensuração desta atividade em solos com elevado grau de degradação no semiárido brasileiro, ainda é pouco explorada pela comunidade científica. Dentre as principais contribuições da atividade enzimática no solo, destaca-se a mineralização da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes.

As enzimas do solo são fundamentais para o estabelecimento e funcionamento de um ecossistema em equilíbrio biológico, sendo necessárias para a sustentação de vida nesse ambiente. As contribuições relacionadas às enzimas do solo já são estudadas por anos, visto o grande interesse que a comunidade científica demonstra sobre a ecologia microbiana ambiental. Neste sentido, a atividade enzimática se relaciona com vários processos metabólicos, atuando

como catalisador de reações em diferentes ciclos de nutrientes, transformando estes para formas que são facilmente absorvidas pelas plantas. Além desse ponto, a atividade enzimática é considerada como um excelente indicador de qualidade do solo, dada sua rápida resposta frente às variações ambientais que ocorrem no sistema solo-planta-microorganismos, como as práticas de manejo. Assim, a partir da atividade enzimática, pode-se constatar se o manejo implantado em determinado local está favorecendo as funções essenciais que o solo pode desempenhar, como a ciclagem biogeoquímica dos elementos.

Enzimas como arilsulfatase, β -glicosidase e as fosfatases, estão relacionadas com os ciclos de nutrientes essenciais, como o enxofre, carbono e fósforo, respectivamente, tendo papel fundamental nas transformações destes para formas assimiláveis pelas plantas. A participação dessas enzimas se dá na mineralização do material orgânico depositado, principalmente, pelas plantas, fazendo com que estas sejam fundamentais para o estabelecimento de qualquer ecossistema sustentável.

Neste sentido, considerando o solo um sistema dinâmico e um reservatório de grande diversidade biológica, é prioritário a realização de estudos que busquem mensurar sua atividade biológica. Estudos relacionados à atividade enzimática em solos de áreas em processo de desertificação no semiárido brasileiro ainda são pouco conhecidos. Além disso, não se sabe como a exclusão do pastoreio pode recuperar o metabolismo microbiano de solos em avançado processo de desertificação na Caatinga. O estudo teve como objetivo analisar a atividade das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida e alcalina de solos do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE). Testando a hipótese que o uso da exclusão do pastoreio é capaz de recuperar a atividade enzimática do solo reduzida pela ação do sobrepastejo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O bioma Caatinga: aspectos gerais

O bioma Caatinga representa uma parte considerável do território brasileiro, tendo uma extensão aproximada de 735.000 km² e seu território perimétrico cercado pelas regiões de Mata Atlântica, floresta Amazônica e savanas do Cerrado (LEAL *et al.*, 2005). Nesta região, considera-se apenas duas estações bem definidas, conhecidas como “período de seca” e “período de chuva” (SANTOS *et al.*, 2019). Regiões centrais da Caatinga têm precipitação média anual inferiores a 500 mm, dependendo da localização geográfica. Essa precipitação pode variar de 240 a 1500 mm, sendo a maior parte dessas chuvas concentrada em 3 meses do ano (IPECE, 2017). Além da baixa precipitação, esta região é afetada por altas temperaturas, solos pouco intemperizados e uma grande vulnerabilidade socioeconômica da população (MATTAR *et al.*, 2018).

Grande parte do bioma apresenta algum nível de degradação. Por exemplo, cerca de 46% da área que originalmente apresentava vegetação nativa já foi desmatada (SANTOS *et al.*, 2019). Esse desmatamento tem grande contribuição para o processo de desertificação e suas causas estão relacionadas a fatores antrópicos. Por outro lado, as secas são processos extremamente impactantes, mas elas são fenômenos naturais reversíveis e de ocorrência esporádica ou repetida, não explicando, sozinha, o desencadeamento do processo de desertificação do solo (TAVARES *et al.*, 2019). No entanto, o fenômeno da seca, é um dos fatores naturais que tornam a região mais susceptível a processos de degradação do solo, tornando as áreas afetadas por fatores antrópicos extremamente vulneráveis (TAVARES *et al.*, 2019).

Em contraponto à vulnerabilidade dessa região, existem algumas estratégias que podem conservar as características intrínsecas dos solos da Caatinga. Em áreas onde o sobrepastejo é uma prática comum, o processo de exclusão de áreas tem mostrado bons resultados, com aumentos significativos na restauração da fertilidade do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2019) e modulações positivas na comunidade bacteriana (PEREIRA *et al.*, 2021). Dentre os efeitos da adaptação de métodos mais conservacionistas em solos degradados da Caatinga, sistemas agroflorestais, por exemplo, já mostraram aumento significativo na atividade enzimática (MIGUEL *et al.*, 2020), melhorando a qualidade dos mesmos.

2.2. O processo de Desertificação

O processo de desertificação é o fenômeno provocado pela degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e biodiversidade, afetando a qualidade de vida da população (TRAVASSOS *et al.*, 2009). Esse processo é resultante das variações climáticas e a interferência da atividade humana, tendo como consequência final indesejada, a perda do potencial produtivo do solo (TRAVASSOS *et al.*, 2009). Este problema se torna preocupante, visto que as áreas com tendência a ocorrência desse processo abrigam mais de 1 bilhão de pessoas em todo o mundo, estima-se que ocorra uma perda de cinco a seis milhões de hectares por ano, devido ao processo de desertificação (TAVARES *et al.*, 2019).

A desertificação é recorrente em regiões de climas áridos e semiáridos, causando distúrbios que podem ocasionar a interrupção de ciclos biogeoquímicos no solo. Mecanismos de preservação do ambiente solo são fundamentais para a sustentação de vida na terra, visto que ele é uma fonte de renovação e transporte de nutrientes minerais (LIU *et al.*, 2021). As áreas susceptíveis a desertificação estão presentes em regiões as quais englobam cerca de 31% da superfície da terra (MARTÍNEZ-VALDERRAMA, *et al.*, 2020). Cerca de 10 a 20% das áreas dos ecossistemas áridos, semiáridos e subúmidos apresentam algum nível de degradação (WANG *et al.*, 2017). As condições naturais estabelecidas em ambientes áridos..., aliado a um sobrepastejo de animais, diminuem fortemente o potencial produtivo dessas áreas, além de prejudicar as funções ecológicas realizadas naturalmente nesses ecossistemas (GAITÁN *et al.*, 2018).

O processo de exclusão de pastoreio tem sido uma estratégia aplicada em terras do mundo inteiro, para averiguação do processo de recuperação natural, principalmente em áreas de clima semiárido (PEREIRA *et al.*, 2021). Essa estratégia de recuperação pode reverter uma série de funções ecológicas prejudicadas pelo processo de sobrepastejo. Trabalhos realizados no condado de Hongyuan (China), mostraram um maior aporte de C no solo e na planta, e uma maior fixação de nitrogênio pela associação de plantas com bactérias diazotróficas (DU; GAO, 2021). Neste mesmo sentido, estudos também realizados na China, mostraram que o processo de exclusão de áreas após 25 anos foi capaz de agregar valores com diferença significativa para todos os parâmetros químicos e físicos analisados no solo (STEFFENS *et al.*, 2008). No sobrepastejo de animais, muitas características físicas e químicas do solo são prejudicadas, mas estes distúrbios não se restringem unicamente a esses dois pontos. Nesse processo, ocorrem modulações restritivas na comunidade bacteriana do solo, podendo tornar esse ambiente

incapaz de manter os seus serviços ecossistêmicos, os quais são fundamentais para a sustentação do ecossistema (PEREIRA *et al.*, 2021).

O processo de desertificação não é ocasionado apenas pelo processo de sobrepastejo de animais, existem várias atividades antrópicas que também intensificam a degradação de áreas de forma acelerada. As principais delas são: o desmatamento indiscriminado, a agricultura rudimentar, a utilização de lenha como combustível, mineração, a indústria e o processo de urbanização (TAVARES *et al.*, 2019). Do ponto de vista microbiano, esse processo é extremamente deletério, pois removendo a vegetação, a quantidade e qualidade dos substratos orgânicos usados pelo metabolismo microbiano são sensivelmente afetados. Além disso, o estabelecimento e interações entre as comunidades microbianas são extremamente afetados, visto a forte redução de nichos/microsítios que são removidos durante o processo.

2.3. A perda de cobertura vegetal e a sua relação com os micro-organismos do solo

Com a crescente demanda por alimentos em decorrência do aumento populacional, a ocorrência de uma série de problemas relacionados a maior exploração dos recursos naturais foi intensificada, problemas estes que contribuem para a promoção de distúrbios edafoclimáticos (CARDOZO JUNIOR *et al.*, 2018). Visto que o solo é o ambiente com a maior diversidade biológica da Terra (DELGADO-BAQUERIZO *et al.*, 2017), um olhar sobre as interferências do processo de desertificação nas comunidades microbianas é necessário, mas ainda pouco conhecido. Os micro-organismos do solo representam, juntamente com as plantas, os principais organismos reguladores da ciclagem de nutrientes, processo fundamental para formação da matéria orgânica, atribuindo melhores aspectos físicos, químicos e biológicos ao solo (LIU *et al.*, 2021).

Efeitos abióticos têm causado alterações nas comunidades microbianas do solo, por meio de uma série de atividades, prejudicando funções ecológicas no solo que tem caráter essencial para a sustentabilidade desse ambiente (HOOPER *et al.*, 2005). A perda da cobertura vegetal de grandes áreas ao redor do globo, principalmente em regiões de clima seco, tem efeitos preocupantes em vários aspectos. Por exemplo, os reflexos dessas atividades nas comunidades microbianas que estavam associadas à rizosfera de cada planta, visto que especialmente em ambientes áridos, os processos microbianos são fortemente influenciados por fatores edafoclimáticos (VÁSQUEZ-DEAN *et al.*, 2020). Devido aos processos de formação de comunidades microbianas do solo serem, por grande parte, sustentadas através de exsudatos radiculares liberados pelas plantas, o processo de retirada da cobertura vegetal, seja por fatores

bióticos ou abióticos, interfere na sustentação dessas comunidades microbianas e, conseqüentemente, na sua funcionalidade no solo (ANDREOTE; SILVA, 2017).

Os micro-organismos são responsáveis pela assimilação de resíduos orgânicos que são adicionados ao solo, sintetizando e formando novos subprodutos a partir do seu metabolismo. Desta forma, eles contribuem para a decomposição da matéria orgânica e a mineralização de nutrientes (ZHOU *et al.*, 2020). Em condições de sobrepastejo, como é recorrente em Irauçuba-CE, a ação dos bovinos (que se alimentam da parte mais elevada das forrageiras de crescimento espontâneo) e dos ovinos e caprinos (que se alimentam dos restos vegetais deixados, incluindo troncos e raízes destas plantas), culmina em um baixo depósito de biomassa sobre o solo (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Além disso, estresses ocasionados pelo fenômeno de secas severas, que acarretam no aceleração do processo de decomposição, devido a intensa atividade microbiana em decorrência do re-umedecimento do solo, que associados a elevadas temperaturas, ocorrem de forma muito mais acelerada (LIU *et al.*, 2021), intensificando o processo de degradação do solo em Irauçuba-CE. A perda de cobertura vegetal, como visto, tem contribuições diretas na qualidade do solo e nas comunidades microbianas, além de interromper o aporte de serrapilheira, que auxilia na quantidade e qualidade da matéria orgânica, que agrega qualidades físicas e químicas aos solos (LIU *et al.*, 2021).

2.3. Processos enzimáticos no solo: aspectos gerais

A atividade enzimática é considerada um dos mais importantes aspectos que indicam a qualidade do solo (WYSZKOWSKA *et al.*, 2016). Grande parte das enzimas encontradas nesse ambiente são originárias de micro-organismos, mas também existem aquelas de origem animal e vegetal (BALOTA *et al.*, 2013). Algumas enzimas são denominadas de biônicas ou endoenzimas, por sua atividade ser realizada no interior das células (BURNS *et al.*, 2013). Em condições onde o conteúdo intracelular é liberado para o solo pelo processo de lise celular, enzimas podem continuar a realizar sua atividade quando complexadas em coloides orgânicos que agregam proteção contra a ação de proteases (SINSABAUGH *et al.*, 2008). Estas enzimas são denominadas de abiônicas ou extracelulares, podendo ficar ativas no solo por até 5000 anos (BALOTA *et al.*, 2013).

Uma das maiores contribuições das enzimas no solo se relaciona com o potencial efeito catalizador de uma série de reações específicas que são estritamente únicas, com objetivos distintos, grande parte relacionadas com a decomposição da matéria orgânica (LIU *et al.*, 2021). O processo de metabolização de substratos ocorre em função do seu peso molecular. Substratos de baixo peso molecular são absorvidos para o interior da célula, onde são metabolizados. Já os

substratos de peso molecular elevado, não adentram as células, são metabolizados em ambiente externo, por reações catalisadas por enzimas abiômicas, resultando em elementos de menor massa molecular, que adentram o interior da célula para que assim, sejam metabolizados (BALOTA *et al.*, 2013).

A transformação de nutrientes para formas assimiláveis pelas plantas é uma das principais funções atribuídas as enzimas do solo (BALOTA *et al.*, 2013). A enzima arilsulfatase, presente no ciclo do enxofre, tem sua importância pela sua participação como catalisadora da hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos, atuando na mineralização do S orgânico para SO_4^{2-} , forma absorvida pelas plantas (WYSZKOWSKA *et al.*, 2016). Dentre as enzimas mais comuns e predominantes em todos os solos está a β -glicosidase, relacionada à hidrólise e biodegradação de uma série de resíduos nos ecossistemas, apresentando a glicose como o produto de suas reações, sendo uma importante fonte de carbono para as plantas (BALOTA *et al.*, 2013). As enzimas fosfatases estão relacionadas com o grupo catalizador da hidrólise de ésteres e anidridos de fosfato e possuem papel fundamental no ciclo do fósforo no solo, tendo relação direta com a disponibilidade desse nutriente e o crescimento vegetal (CABUGAO *et al.*, 2021). Estudos relacionados às fosfatases costumam relatar a sua atividade em condições ácidas, devido à maioria dos sistemas de manejos na agricultura contribuírem para a acidificação do solo (BALOTA *et al.*, 2013). Além disso, em ambientes com alta quantidade de fósforo disponível, a atividade das fosfatases é diminuída devido a estequiometria elementar da biomassa microbiana (CABUGAO *et al.*, 2021).

No contexto de produção agrícola, o parâmetro de fertilidade do solo é visto como um excelente indicador de qualidade e, conseqüentemente, de produtividade. No entanto, aspectos relacionados à atividade enzimática não eram considerados na avaliação de desempenho como um indicador de rendimento. Visto sua participação nas transformações dos nutrientes no solo, a avaliação conjunta desses parâmetros se torna mais efetiva para uma tomada de decisão, além de ser um excelente mecanismo para observações preventivas, visto que a resposta de algumas enzimas é rápida às mudanças no manejo (BHADURI *et al.*, 2017). Aspectos biológicos, geralmente apresentam maior sensibilidade às mudanças na qualidade do solo. Porém, apresentam maior complexibilidade na sua interpretação, visto que os parâmetros de comparação são extremamente variáveis e complexos (com mudanças no tempo e no espaço) (LOPES *et al.*, 2013).

Segundo Lopes *et al.* (2013), a atividade das enzimas arilsulfatase, β -glicosidase e fosfatase ácida podem ser calculadas de forma a apresentar níveis críticos adequados com base

na produtividade das culturas. Com essa mesma proposta, se inseriu as Bioanálises de solo nos laboratórios da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). As bioanálises buscam quantificar os níveis adequados para a atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase nos cultivos do Cerrado, inferindo na produtividade e na qualidade do solo, visando prevenir distúrbios futuros para a agricultura. A obtenção de valores críticos para essas enzimas ainda é considerada uma utopia para os solos do semiárido Nordeste. Porém, a mensuração da atividade enzimática em áreas extremamente degradadas, podem fornecer indicativos importantes sobre a saúde do solo e balizar trabalhos futuros nesse ambiente.

3. HIPÓTESE

O manejo de exclusão de áreas degradadas pelo sobrepastejo tem potencial para recuperação da atividade enzimática nesses solos.

4. OBJETIVO

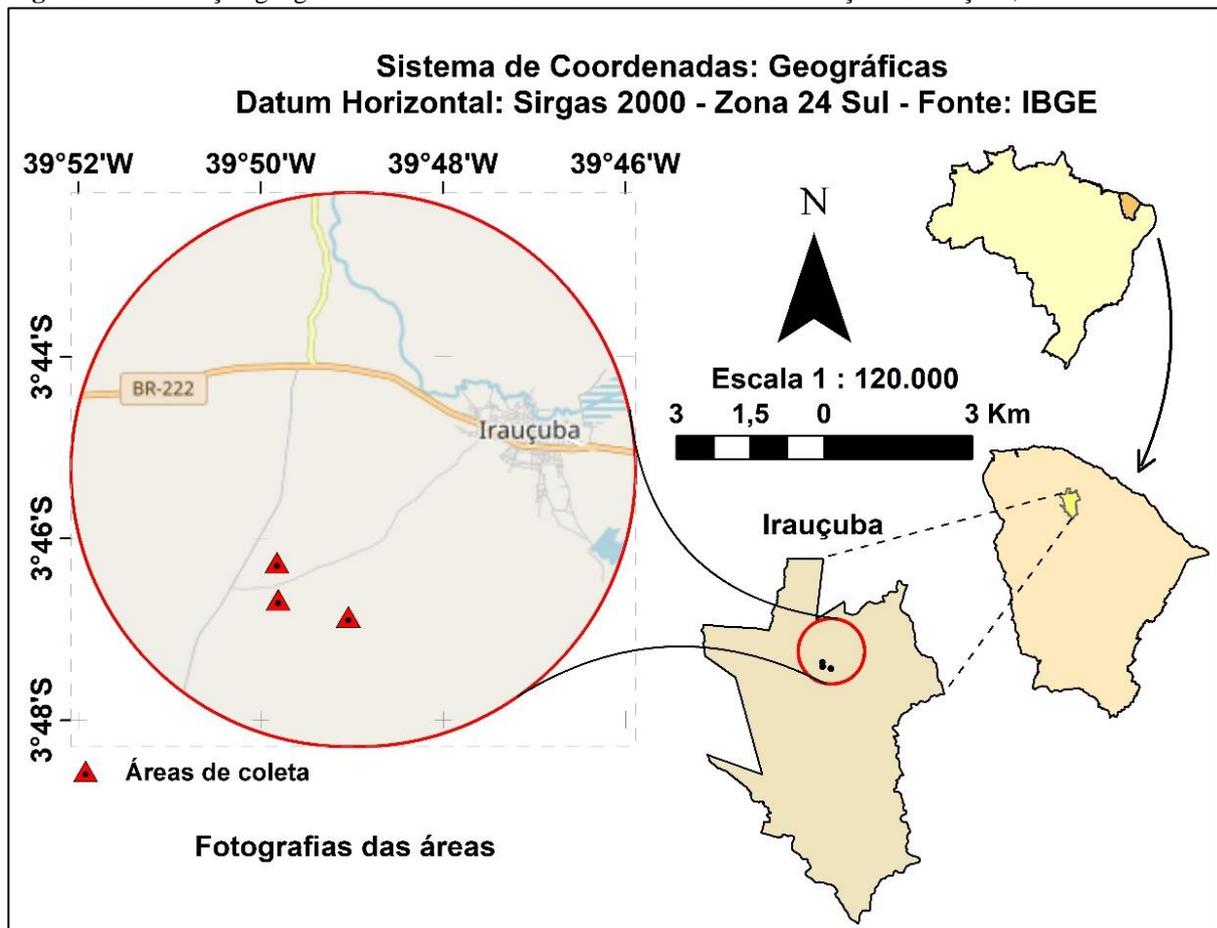
Analisar a atividade enzimática em solos no núcleo de desertificação de Irauçuba-CE, comparando áreas de mata nativa, áreas em processo de recuperação natural (exclusão de pastoreio) e áreas em estágio avançado de degradação.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área experimental

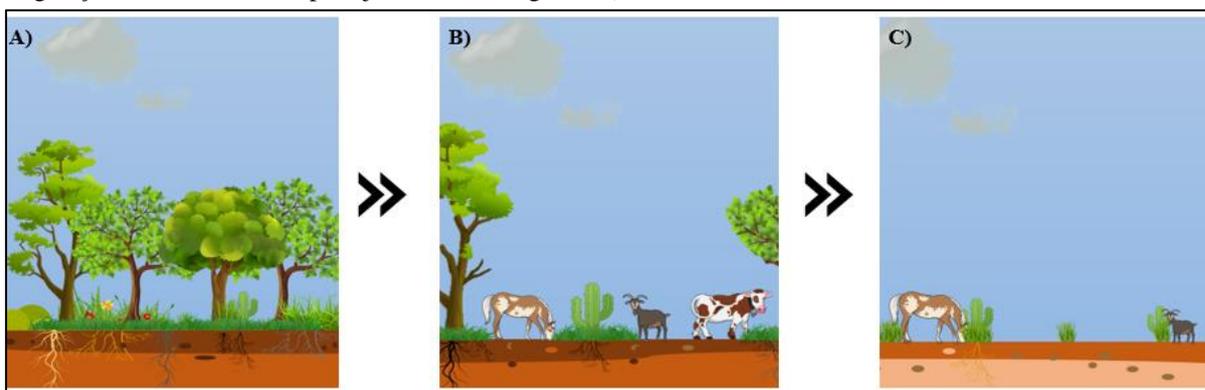
A pesquisa foi realizada em uma área experimental de estudos relacionados a processos de desertificação no estado do Ceará, localizada no município de Irauçuba, zona norte do estado do Ceará ($3^{\circ}44'46''\text{S}$ e $39^{\circ}47'00''\text{W}$) (Figura 1). A precipitação média anual em Irauçuba nos últimos 18 anos foi de 320 mm (OLIVEIRA *et al.*, 2019), distribuídas, principalmente, nos primeiros cinco meses do ano. O clima da região é classificado como tropical quente semiárido, com temperaturas médias variando de 26 a 28°C e altitude de 152 m (IPECE, 2017). Quanto a classificação dos solos dessa região, eles são predominantemente classificados como Vertissolo, Neossolo Litólico, Planossolo Háplico e Planossolo Nátrico (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Figura 1. Localização geográfica das áreas de estudo no núcleo de desertificação de Irauçuba, Ceará.



Esta área foi bastante afetada pelo pastejo inadequado de bovinos, ovinos e caprinos durante muitas décadas, tendo sua origem há mais de 50 anos. A estratégia realizada pelos fazendeiros da região admitia uma rotação dos animais nas áreas. Inseria-se primeiramente os bovinos no pasto, os quais se alimentavam da parte mais elevada das forrageiras de crescimento espontâneo e, logo em seguida, eram inseridos os ovinos e caprinos na área, que se alimentavam dos restos vegetais deixados, incluindo troncos e raízes destas plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Essa prática consistia na retirada por completo da vegetação que cobria a superfície do solo (Figura 2). Além do mais, a compactação superficial promovida pelo pisoteio animal passou a desencadear uma condição de inteira suscetibilidade a vários tipos de processos erosivos, tanto devido à desagregação das partículas do solo como pelo aumento das fragilidades a agentes climáticos, como as gotas de chuva e a forte incidência de radiação solar (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Figura 2 – Representação do processo de degradação por sobrepastejo em uma área de vegetação nativa. (A – Vegetação nativa; B – Sobrepastejo; C – Área degradada).



5.2. Projeto experimental e amostragem

O estudo foi realizado em três diferentes áreas, denominados de Áreas de Estudo 1, 2 e 3 (AE1, AE2, AE3). A coleta de solo foi realizada no período chuvoso, em três diferentes paisagens: vegetação natural da caatinga (VN), recuperação natural (RN) e estágio avançado de degradação (AD). A área VN encontra-se nas proximidades de RN e AD. A área RN trata-se de um ambiente que foi isolado dos animais há 20 anos, e a área AD está localizada logo nos arredores das áreas isoladas de recuperação, onde os animais pastejam na época chuvosa.

As áreas possuem 50 x 50 m (2,500 m²). Porém, para eliminar o efeito de borda em RN, as amostras foram coletadas em uma área de 40 m x 40 m, padronização que foi mantida para VN e AD. Em cada área, foi realizada a coleta de 3 amostras compostas de solo em uma profundidade de 10 centímetros. Assim, tivemos 3 áreas (AE1, AE2 e AE3), 3 cenários distintos (VN, RN e AD) e 3 amostras compostas em cada cenário, totalizando 27 amostras de solo.

5.3. Atividade potencial da arilsulfatase

Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 2 mm e seco ao ar, em local sombreado, até obtenção de peso constante. Para isso, usamos 1 g de solo de cada amostra, livre de resíduos orgânicos, sendo pesadas 36 amostras, sendo 27 para as amostras analisadas e 9 referentes aos tratamentos controle. Esse mesmo procedimento foi realizado em todos os ensaios descritos a seguir.

A quantificação da atividade da arilsulfatase baseou-se na mensuração colorimétrica após a liberação do ρ -nitrofenol, quando o solo foi incubado com uma solução tamponada de ρ -nitrofenil sulfato de potássio (pH 5,8), metodologia baseada em Spencer (1958). Para cada amostra, utilizou-se 4 mL do tampão de acetato ajustado para pH 5,8. Após isso, foi adicionado 1 mL de ρ -nitrofenil sulfato em todos os frascos, 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 CaCl₂ e 4 mL de NaOH 0,5M, respectivamente, em todas as amostras e controles. Para padronizar a quantidade de ρ -nitrofenil na leitura do espectrofotômetro, adicionou-se 1 mL da solução 0,05M PNS aos controles. 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.

Para calcular o conteúdo do ρ -nitrofenol do filtrado, utilizou-se um gráfico de calibração previamente elaborado por uma curva padrão com valores de ρ -nitrofenol conhecidos. Para isso, foi necessário diluir 1 mL de solução padrão (0,1 g de ρ -nitrofenol sulfato de potássio em 100 mL de água estéril), onde foi pipetado 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 ρ -nitrofenol das amostras de solo, ou seja, adicionou-se 1 mL de CaCl₂ (0,5 M) e 4 mL de NaOH (0,5 M), seguindo de agitação 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 ρ -nitrofenol.

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 arilsulfatase nesses solos. 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 PNF g solo⁻¹ hora⁻¹. Esse mesmo procedimento foi realizado em todos os ensaios descritos a seguir.

5.4. Atividade potencial da β -glicosidase

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

O preparo das amostras de solo se deu de forma similar à arilsulfatase. Porém, para cada amostra, utilizou-se 4 mL de MUB ajustado para pH 6,0. Além disso, foi adicionado 1 mL de ρ -nitrofenil- β -D-glicosídeo 0,05M (PNG) em todos os frascos, com exceção dos controles. Após a incubação, foi adicionado 1 mL de solução 0,5M de CaCl_2 e 4 mL de THAM (0,1 M, pH 12) em todas as amostras e controles. Após a filtragem em papel de filtro Whatman n° 2, foi realizada a leitura da coloração amarela no espectrofotômetro a 410 nm.

5.5. Atividade potencial da Fosfatase ácida e alcalina

A determinação desta atividade baseou-se na mensuração colorimétrica após a liberação do ρ -nitrofenol pelas fosfatases encontradas no solo, quando o solo foi incubado com uma solução tamponada de ρ -nitrofenil fosfato (PNF). Para cada amostra, utilizou-se 4 mL da solução de MUB ajustada em pH= 6,5 para fosfatase ácida e pH= 11 para alcalina.

Após a inserção dos 4 mL da solução tamponada MUB, foi adicionado 1 mL de PNF 0,05M em todos os frascos, com exceção dos controles. As amostras foram levadas para incubação em banho-maria por uma hora a 37°C e, ao saírem do processo de incubação, foi adicionado 1 mL de solução 0,5M de CaCl_2 e 4 ml de NaOH 0,5M em todas as amostras e controles. A leitura e quantificação dos extratos das fosfatases foram realizadas de forma similar aos procedimentos descritos para as enzimas mencionadas acima. Porém, foi utilizado o espectrofotômetro EZ Read 400, a 410 nm, em placas de ELISA. Foram inseridas, para cada poço da placa, 250 μL e os dados foram processados pelo software Galapagos.

5.6. Análise estatística

A homogeneidade e a normalidade da variância foram examinadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilks, respectivamente. Os dados foram processados por meio de uma análise conjunta (Nested-ANOVA) e a significância das médias foram testadas pelo teste de Tukey a 5%. As análises foram realizadas no software RStudio® (Version 1.3.1093).

6. RESULTADOS

6.1 Atividade potencial da β -glicosidase

A atividade potencial da β -glicosidase foi significativamente maior nas áreas em recuperação natural (RN), com exceção da área 2, a qual não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos analisados. Na área 1, a vegetação nativa (VN) apresentou uma atividade intermediária da β -glicosidase entre a RN e a área degradada (AD). Porém, na área 3, a RN e VN apresentaram atividade da β -glicosidase superior quando comparadas com a AD (Figura 3; a, b e c). De forma global, ou seja, considerando todas as áreas ao mesmo tempo, a atividade da β -glicosidase foi significativamente superior nos tratamentos RN e VN, e AD apresentou os menores valores (Figura 4).

6.2 Atividade potencial da arilsulfatase

Atividade potencial da arilsulfatase foi significativamente superior no tratamento RN, ao passo que VN apresentou valores de atividade intermediários. As áreas degradadas (AD) apresentaram os menores valores de atividade arilsulfatase. Porém, esse efeito ocorreu apenas na área 1, ou seja, as áreas 2, 3 e a análise conjunta não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos analisados para esta enzima (Figura 3 e 4).

6.3 Atividade potencial da fosfatases ácida e alcalina

A atividade potencial da fosfatase ácida foi significativamente maior em RN, principalmente para as áreas 1 e 3. As subáreas VN e AD apresentaram as menores médias e não difeririam entre si. A área 2 não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos analisados (Figura 3; g, h e i). De forma conjunta, a atividade potencial da fosfatase ácida foi significativamente superior em RN e menor em AD. Neste último caso, o tratamento VN apresentou valores intermediários entre RN e AD (Figura 4).

A atividade potencial da fosfatase alcalina foi significativamente maior em VN na área 2 e, no mesmo local, não houve diferenças significativas entre RN e AD, os quais apresentaram os menores valores de atividade. A área 1 não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Porém, a área 3 apresentou maior atividade potencial da fosfatase alcalina em RN, e os menores valores ocorreram em VN e AD, que não diferiram entre si (Figura 3; j, l e m). Conjuntamente, a atividade da fosfatase alcalina não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos estudados (i.e., RN, VN e AD) (Figura 4).

Figura 3 - Atividade potencial de enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatases (ácida e alcalina) em solos da Caatinga em recuperação natural (RN), vegetação nativa (VN) e áreas degradadas (AD) em três áreas de estudo distintas (1, 2 e 3).

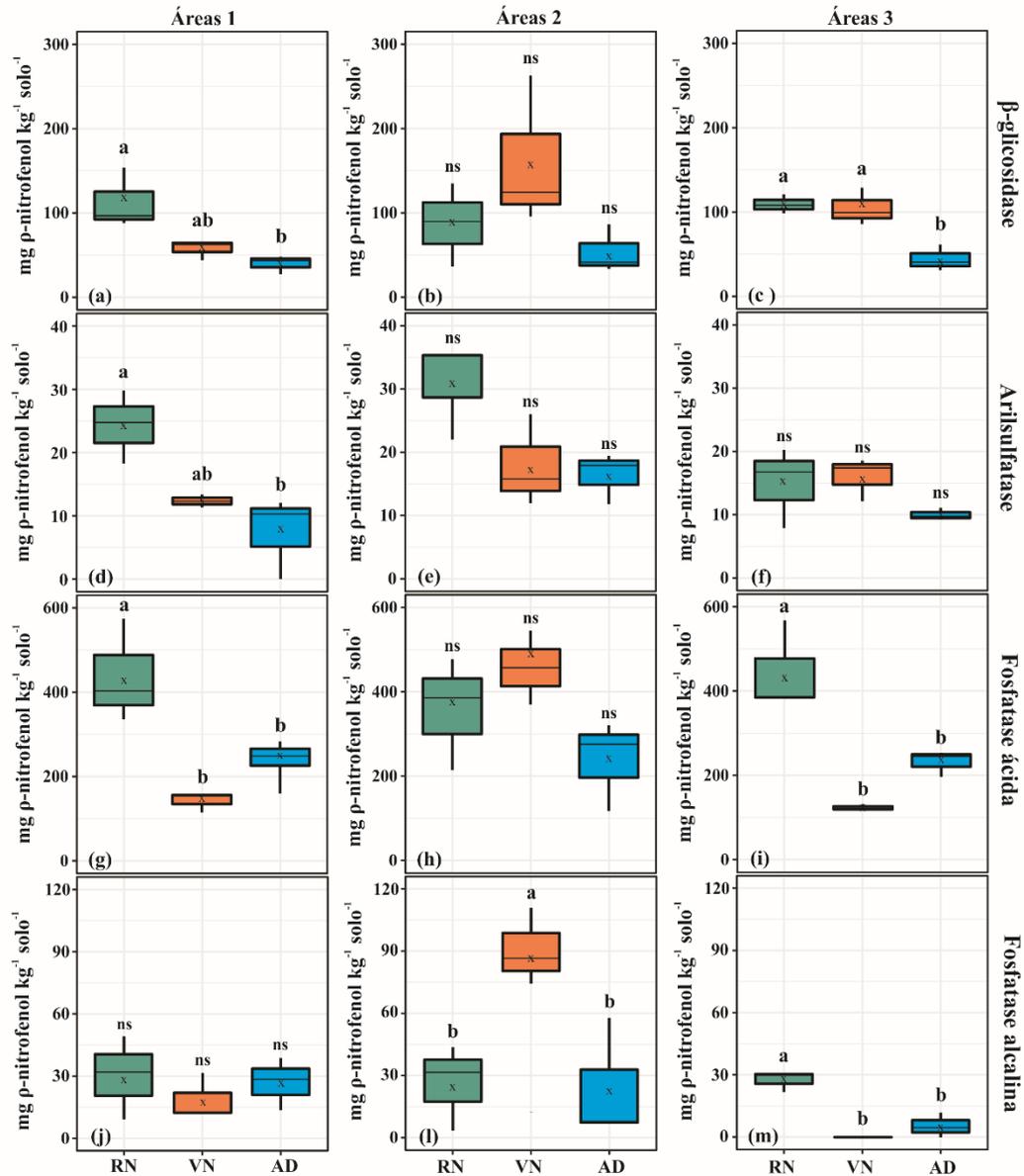
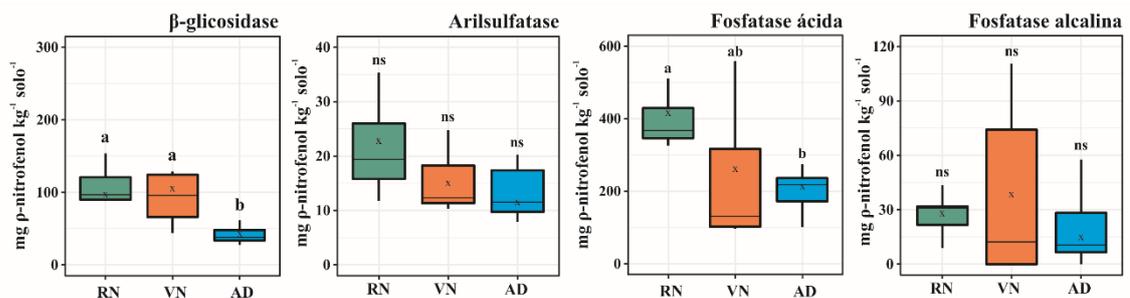


Figura 4 - Atividade potencial de enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatases (ácida e alcalina) em solos da Caatinga em recuperação natural (RN), vegetação nativa (VN) e áreas degradadas (AD).



7. DISCUSSÃO

A degradação dos solos da Caatinga é um processo promovido por fatores climáticos naturais, potencializados pela ação antrópica. O sobrepastejo é uma atividade antrópica deletéria para as comunidades microbianas do solo. O resultado desse processo é a redução da biomassa vegetal, o que diminui a diversidade e a atividade microbiana no mesmo. Nossa hipótese inicial era que a exclusão do pastoreio favorece a atividade enzimática do solo. Esse efeito foi mais evidente para as enzimas β -glicosidase e fosfatase ácida, com pequenas variações dependendo da área estudada. Desta forma, práticas de manejo do solo, como a exclusão do pastoreio, podem favorecer uma maior qualidade para os solos deste sistema, tornando-os mais redundantes e resilientes.

As áreas de exclusão do pastoreio, ou recuperação natural (RN), apresentam relação direta com o maior acúmulo de serapilheira, a qual influencia diretamente a saúde do solo. Dentre os principais benefícios, a RN pode elevar os teores de C e N no solo, assim como a riqueza e abundância de bactérias (PEREIRA *et al.*, 2021). Grande parte das enzimas extracelulares presente no solo são advindas de células microbianas, as quais apresentam um papel fundamental nas transformações dos nutrientes para formas assimiláveis pelas plantas (ZHOU *et al.*, 2020), o que pode ter contribuído para uma maior atividade enzimática em RN.

Os distúrbios ocasionados pelo sobrepastejo podem diminuir a atividade enzimática no solo. Em condições onde se favorece a diminuição do aporte de material orgânico no solo, a atividade enzimática exibe respostas negativas (LIU *et al.*, 2021). A retirada da cobertura vegetal tem relação direta com a redução da quantidade e qualidade da matéria orgânica, sendo um dos principais atributos para a manutenção de equilíbrio biológico no solo. Em ambientes naturais, esse equilíbrio é dado, principalmente, por meio dos exsudatos radiculares, biomassa morta de raízes e serapilheira, servindo de substrato para os micro-organismos do solo, sendo estes, mais restritos em um ambiente de solo degradado (ANDREOTE; PEREIRA E SILVA, 2017).

A qualidade da MO é determinada pelas características da comunidade vegetal, relacionados principalmente a sua diversidade e quantidade (ZHANG *et al.*, 2018). A modulação das comunidades microbianas do solo é um retrato dos distúrbios sofridos pelas comunidades de plantas, visto a participação dos exsudatos radiculares na sustentação dessas comunidades (ZHANG *et al.*, 2018). Trabalhos recentes demonstraram que a atividade enzimática do solo apresenta uma associação direta com a comunidade de plantas estabelecida no local (ZHANG *et al.*, 2018). Desta forma, foi demonstrado que a atividade das enzimas do

solo é sensivelmente afetada em áreas com estágio avançado de degradação no município de Irauçuba-CE.

Este trabalho demonstra que, a longo prazo, os efeitos do sobrepastejo tornam-se deletérios a alguns processos ecológicos ocorrentes no solo, como a atividade enzimática. Estudos já realizados no Nordeste do Brasil mostraram maiores taxas de atividade enzimática em solos de sistemas agroflorestais e de mata nativa, quando comparado a sistemas de pastagem (CARDOZO *et al.*, 2018). Nesse sentido, torna-se preocupante o quanto a degradação ocorrente nos solos de Irauçuba-CE pode estar interferindo nos processos ecológicos do solo pela ação do sobrepastejo.

Houve padrões distintos da atividade potencial para β -glicosidase, principalmente entre RN e VN nas diferentes áreas estudadas. Neste caso, é importante considerar o fato desta enzima apresentar características de sensibilidade a uma série de fatores. Por exemplo, sua relação com a quantidade e a qualidade do carbono orgânico no solo, é fundamental para um detalhamento do entendimento de sua atividade. A atividade da β -glicosidase é estimulada pelo maior conteúdo de matéria orgânica e carbono orgânico presente no solo, sendo estes, responsáveis pelas modulações nas taxas de síntese desta enzima, pois sua relação com tais fatores é positiva (MA *et al.*, 2010). A atividade das fosfatases também não seguiu um padrão em todas as áreas analisadas. Encontrada apenas na forma extracelular, sua contribuição está relacionada a mineralização de P, advindo de ácidos nucleicos e fosfolipídios, além de outros fosfatos de éster (SINSABAUGH *et al.*, 2008). Por exemplo, em ambientes com alta quantidade de fósforo a atividade das fosfatases é diminuída (CABUGAO *et al.*, 2021). Além disso, os solos analisados possuem caráter ácido, o que pode explicar a baixa resposta da atividade da fosfatase alcalina. No entanto, microssítios no solo favorecem a atividade da fosfatase alcalina.

A arilsulfatase apresentou efeito significativo apenas para a área 1, onde o tratamento RN se sobressaiu dos demais. A atividade desta enzima ocorre tanto no interior quanto no exterior das células e apresenta correlação positiva com o teor de S total no solo (BALOTA *et al.*, 2013). Além desse fator, estudos já relataram uma correlação de sua atividade com a biomassa microbiana do solo (KLOSE; TABATABAI, 2000). Nesse sentido, percebe-se a relação positiva que os maiores teores de matéria orgânica ocasionam na atividade enzimática nos solos, pois contribui para maiores concentrações de substratos, dos quais a atuação da atividade enzimática é intensificada (BALOTA *et al.*, 2013).

As enzimas extracelulares são as principais mediadoras do processo de decomposição microbiana da matéria orgânica, liberando nutrientes para a solução do solo em formas assimiláveis pelas plantas. Esse processo tem relações específicas com a demanda de nutrientes pela biomassa microbiana. Esta relação que pode ser chamada de estequiometria elementar da biomassa microbiana (SINSABAUGH *et al.*, 2008). Visto que os processos enzimáticos contém associações específicas, as relações de demandas do indivíduo pela razão da disponibilidade do nutriente, devem ser consideradas, ou seja, uma avaliação das restrições nutricionais desses solos, torna-se necessário para se justificar de forma concreta os dados obtidos nesse trabalho.

A partir da análise individual das áreas, demonstramos que a atividade enzimática desses solos não seguiu um padrão para os mesmos tratamentos nas diferentes áreas de estudos. As enzimas do solo, de forma geral, são muito sensíveis às alterações no manejo, e a explicação para esses resultados, além do nível de fertilidade nutricional do solo, que ainda deverá ser avaliada, pode estar relacionado ao fato de algumas das áreas de RN não apresentarem uma proteção completamente eficiente à entrada dos animais. Além disso, as áreas de VN podem apresentar algum nível de degradação pelo acesso dos animais.

Nesse sentido, apesar da necessidade de se analisar mais alguns parâmetros, este trabalho apresenta a redução da atividade enzimática ocasionada pela degradação de áreas utilizando um manejo de sobrepastejo. Este manejo ocasionou a perda quase que completa na cobertura vegetal. Assim, torna-se necessário se repensar sobre o manejo do solo com sobrepastejo dessas áreas, dado os prejuízos que esta atividade pode causar na sustentabilidade desses solos. Em contraponto, este estudo mostra que o manejo de exclusão do pastoreio é uma estratégia eficiente para a recuperação da atividade enzimática dos solos nestas áreas. Dados adicionais serão extremamente necessários para uma melhor compreensão dos resultados demonstrados neste trabalho. Por exemplo, as propriedades químicas e físicas do solo, assim como as demais análises microbiológicas, serão fundamentais para complementar nossos resultados.

8. CONCLUSÃO

Os solos de áreas com avançado processo de degradação foram os que apresentaram os menores valores de atividade enzimática. A atividade da β -glicosidase foi significativamente superior nos tratamentos RN e VN, comparado ao tratamento AD. A atividade potencial da fosfatase ácida foi significativamente superior em RN e menor em AD e, neste caso, o tratamento VN apresentou valores intermediários entre RN e AD. Com a análise conjunta, as enzimas arilsulfatase e fosfatase alcalina, não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos analisados. Em suma este estudo preliminar demonstrou que a utilização do manejo de sobrepastejo na Caatinga pode apresentar efeitos negativos na atividade enzimática desses solos. Em contraste, o manejo de exclusão do pastoreio, quando aplicado por longo prazo, pode recuperar a atividade enzimática desses solos. Porém, essa abordagem está relacionada apenas a um parâmetro ecológico isolado, necessitando maior aprofundamento científico, principalmente devido às variações observadas nas diferentes áreas de estudos. Porém, entender a atividade microbiana nos núcleos de desertificação da Caatinga, principalmente acessando parâmetros que sustentam as funções ecológicas essenciais nesse ambiente, como a ciclagem de C, P e S, serão fundamentais para melhorar a disponibilização destes para as plantas.

9. REFERÊNCIAS

ALVES DE CASTRO LOPES, A. et al. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461–472, 2013.

ANDREOTE, F. D.; PEREIRA E SILVA, M. DE C. Microbial communities associated with plants: learning from nature to apply it in agriculture. **Current Opinion in Microbiology**, v. 37, p. 29–34, 2017.

BALOTA et al. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. June, p. 221–278, 2013.

BHADURI, D. et al. Biological indicators of soil quality in a long-term rice–wheat system on the Indo-Gangetic plain: combined effect of tillage–water–nutrient management. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 5, p. 1–14, 2017.

BURNS, R. G., DeForest, J. L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R. L., Stromberger, M. E., Wallenstein, M. D., ... Zoppini, A. (2013). Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology & Biochemistry*, 58, 216–234, 2013.

CABUGAO, K. G. et al. Bringing function to structure: Root–soil interactions shaping phosphatase activity throughout a soil profile in Puerto Rico. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 3, p. 1150–1164, 2021.

CARDOZO JUNIOR, F. M. et al. The Impact of Pasture Systems on Soil Microbial Biomass and Community-level Physiological Profiles. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 2, p. 284–291, 2018.

CARVALHO-NETO, F. G. *et al.* The heterogeneity of Caatinga biome: An overview of the bat fauna. **Mammalia**, v. 81, n. 3, p. 257–264, 2017.

DE, G. M.; BISPO, P. C.; AGUIAR, C. M. L. Fluctuations in richness and abundance of social wasps during the dry and wet seasons in three phyto-physiognomies at the tropical dry forest of Brazil. **Environmental Entomology**, v. 38, n. 6, p. 1613–1617, 2009.

DELGADO-BAQUERIZO, M. et al. Microbial richness and composition independently drive soil multifunctionality. **Functional Ecology**, v. 31, n. 12, p. 2330–2343, 2017.

DU, C.; GAO, Y. Grazing exclusion alters ecological stoichiometry of plant and soil in degraded alpine grassland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 308, n. 9, p. 107256, 2021.

GAITÁN, J. J. et al. Aridity and Overgrazing Have Convergent Effects on Ecosystem Structure and Functioning in Patagonian Rangelands. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 2, p. 210–218, 2018.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil municipal (2017), Irauçuba-CE. 18 p. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Iraucuba_2017.pdf. Acesso em: 18/02/2020.

HOOPER, D. U., Chapin, F. S. III, Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ... Wardle, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning, a consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, 75, 3–35, 2005.

KLOSE, S., Tabatabai, M.A., 2000. Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. *Biol. Fert. Soils* 31, 191–199.

LEAL, I. R. et al. Changing the course of biodiversity conservation in the caatinga of northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701–706, 2005.

LIU, R. et al. Litter manipulation effects on microbial communities and enzymatic activities vary with soil depth in a subtropical Chinese fir plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 480, n. 1101, p. 118641, 2021.

MA, X. Z. et al. Soil glycosidase activities and water soluble organic carbon under different land use types. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal**, v. 10, n. 2, p. 93–101, 2010.

MARTÍNEZ-VALDERRAMA, J., Guirado, E., & Maestre, F. T. (2020). Desertifying deserts. *Nature Sustainability*, 3, 572–575, 2020.

MATTAR, E. P. L. et al. Federal Conservation Units in Brazil: The Situation of Biomes and Regions. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, 2018.

MENEZES, R. *et al.* Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3 suppl, p. 643–653, 2012.

MIGUEL, D. L. et al. Soil microbiological properties and enzyme activity in agroforestry systems compared with monoculture, natural regeneration, and native caatinga. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 1–16, 2020.

OLIVEIRA FILHO, J. DE S. et al. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in

degraded semi-arid soils: Evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal of Arid Environments**, v. 166, n. December 2018, p. 1–10, 2019.

PEREIRA, A. et al. Grazing exclusion regulates bacterial community in highly degraded semiarid soils from the Brazilian Caatinga biome Study site. n. January, p. 1–16, 2021.

PINHEIRO, F. M.; NAIR, P. K. R. Silvopasture in the caatinga biome of Brazil: A review of its ecology, management, and development opportunities. **Forest Systems**, v. 27, n. 1, 2018.

SANTOS, U. J. et al. Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil. **ARID LAND RESEARCH AND MANAGEMENT**, v. 33, n. 3, p. 255–273, 2019.

SINSABAUGH, R. L. et al. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. **Ecology Letters**, v. 11, n. 11, p. 1252–1264, 2008.

STEFFENS, M. et al. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). **Geoderma**, v. 143, n. 1–2, p. 63–72, 2008.

TAVARES, V. C.; DE ARRUDA, Í. R. P.; DA SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385–405, 2019.

TRAVASSOS, I. S. et al. Notas Sobre O Conceito De Desertificação No Brasil E No Mundo. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2009.

VÁSQUEZ-DEAN, J., Maza, F., Morel, I., Pulgar, R., & González, M. Microbial communities from arid environments on a global scale. A systematic review. *Biological Research*, 53, 29, 2020.

WANG, Y. et al. Using metro smart card data to model location choice of after-work activities: An application to Shanghai. **Journal of Transport Geography**, v. 63, n. August, p. 40–47, 2017.

WYSZKOWSKA, J.; WIECZOREK, K.; KUCHARSKI, J. Resistance of arylsulfatase to contamination of soil by heavy metals. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 1, p. 365–375, 2016.

ZHANG, C. et al. Interactions of soil bacteria and fungi with plants during long-term grazing

exclusion in semiarid grasslands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 124, n. June, p. 47–58, 2018.

ZHOU, L. et al. Soil extracellular enzyme activity and stoichiometry in China's forests. **Functional Ecology**, v. 34, n. 7, p. 1461–1471, 2020.