

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**ANDRESSA SILVA DE OLIVEIRA**

**GLOMALINA E ENZIMAS EM SOLOS DE ÁREAS DE USO  
FORRAGEIRO NO BIOMA CAATINGA**

**RECIFE**

**2022**

Andressa Silva de Oliveira

Bióloga

**Glomalina e enzimas em solos de áreas de uso forrageiro no bioma caatinga**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora:

Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Coorientadores:

Dra. Érika Valente de Medeiros

Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio

Dr. Josimar Gurgel Fernandes

**Recife  
2022**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação  
na Publicação Universidade Federal  
Rural de Pernambuco  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a)

O45g OLIVEIRA, ANDRESSA SILVA DE OLIVEIRA  
GLOMALINA E ENZIMAS EM SOLOS DE ÁREAS DE USO FORRAGEIRO NO  
BIOMA CAATINGA: Dissertação / ANDRESSA SILVA DE OLIVEIRA OLIVEIRA. - 2022.  
85 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas.  
Coorientador: Dra. Erika Valente de Medeiros, Dr. Everardo Valadares de Sa Barretto  
Sampaio e Dr. Josimar Gurgel. Fernandes..  
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2022.

1. Semiárido. 2. pastagem. 3. qualidade do solo. 4. mudança de uso do solo. I. Freitas, Profa.  
Dra. Ana Dolores Santiago de, orient. II. Fernandes., Dra. Erika Valente de Medeiros, Dr. Everardo  
Valadares de Sa Barretto Sampaio e Dr. Josimar Gurgel., coorient. III. Título

CDD 631.4

ANDRESSA SILVA DE OLIVEIRA

**Glomalina e enzimas em solos de áreas de uso forrageiro no bioma caatinga**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2022

---

Prof. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas  
Orientadora  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior  
Embrapa Semiárido

---

Dr. Uemerson José dos Santos  
Instituto Federal do Pará

À memória da minha avó Marieta,  
que me inspirou, através do nosso  
eterno laço de afeto.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigada por me permitir errar, aprender e crescer. E por me manter firme na busca dos meus sonhos.

Ao meu filho Heitor, que é o amor da minha vida. É dele que vem a minha força diária para seguir em frente, buscando sempre por dias melhores. Obrigada por ter me escolhido como mãe, eu te amo meu filho.

À minha mãe Verônica, por tudo. Não tenho palavras para expressar minha eterna gratidão a você, mãe. Mesmo assim, resumidamente, obrigada por sonhar junto comigo o meu sonho, por toda dedicação na minha educação, por me oferecer mais do que podia, por toda dificuldade enfrentada de peito aberto que nos fortaleceu e unificou ainda mais, por dar sem querer nada em troca, por este amor incondicional de mãe.

À minha amada avó Marieta, a quem dedico esta dissertação, a maior amiga que esta vida me deu, pelo apoio incondicional e pelos valores que sempre me transmitiu, entre os quais a força para nunca desistir de lutar. Infelizmente a vida não permitiu que me visse chegar até aqui, mas decerto estaria orgulhosa por me ver concluir este trabalho.

Ao meu companheiro e amigo Gleybson, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada.

Agradeço à minha orientadora Ana Dolores, pela confiança depositada em mim, por toda sensibilidade demonstrada nos momentos difíceis, pelo incansável apoio, orientação, sabedoria, experiência e disponibilidade. Sem a sua colaboração, paciência e persistência, nunca teria sido possível concluir esta dissertação. Você foi e está sendo muito mais que orientadora: para mim será sempre uma amiga. Obrigada por tanto!

A Carolina Etienne, por todo apoio durante o meu mestrado, sempre com muito afeto e carinho em cada encontro. Foi um privilégio poder adquirir todos os ensinamentos que você me transmitiu.

A todos os meus amigos e companheiros de pesquisa, que fazem parte do Grupo de Fixação Biológica de Nitrogênio, por toda ajuda, contribuições e sugestões para melhoria do meu trabalho. Me orgulho de fazer parte dessa família.

Aos meus colegas de Mestrado, pelos bons momentos e partilha de vivências. Jamais esquecerei tudo aquilo que vivi com todos vocês, foram, com certeza, momentos inesquecíveis. Um especial agradecimento a Pablo Acácio, pelo companheirismo, apoio e amizade incondicional. Obrigada por ser um porto seguro nos momentos de aflição e por toda a ajuda durante o meu trabalho. E obrigada a Maryana Vital, pela companhia leve e alegre na volta pra casa. Obrigada por sua ajuda, disponibilidade e amizade durante esse período.

A José Ribeiro Neto, quero, de uma forma imensa, expressar o meu muito obrigada por tudo. Pela amizade demonstrada e pela ajuda preciosa dada no desenvolvimento do meu trabalho.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, por toda minha formação acadêmica.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudo, auxílio-maternidade e prorrogação extra durante o período da pandemia.

Aos meus co-orientadores Everardo Sampaio, Josimar Gurgel e Erika Medeiros, por toda ajuda, orientação, disponibilidade e contribuição inestimáveis.

A George Lambais, pela sua disponibilidade e colaborações para a concretização deste trabalho.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

## **Glomalina e enzimas em solos de áreas de uso forrageiro no bioma caatinga.**

### **RESUMO**

A conversão de ecossistemas naturais em pastagens pode provocar alterações nas propriedades e na qualidade do solo. O monitoramento da atividade enzimática e de proteínas do solo relacionadas à glomalina são parâmetros microbianos do solo sensíveis para detectar alterações ambientais. Devido a sua abundância e capacidade de fornecer respostas rápidas a perturbações ambientais, podem ser considerados indicadores biológicos capazes de fornecer informações integradas sobre a ciclagem biogeoquímica dos elementos no solo. Assim, o presente estudo teve por objetivo compreender a recuperação da qualidade do solo, após interrupção da presença de animais, em diferentes áreas do uso forrageiro no bioma Caatinga, por meio de estimativas da atividade enzimática e das quantidades de proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG). O estudo foi desenvolvido em unidades de pesquisas implantadas em estações experimentais do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizadas em cinco municípios pernambucanos. Cada unidade consiste de parcelas de 625m<sup>2</sup> com exclusão de animais há três anos, alocadas em áreas com os três principais tipos de cobertura vegetal utilizadas para fins pecuários no bioma: caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem. Foram coletadas amostras simples, em seis pontos aleatórios, na profundidade de 0-20 cm. As amostragens e as determinações das atividades das enzimas foram feitas na estação chuvosa e na estação seca para compreender as dinâmicas sazonais das atividades desses atributos biológicos. Nas amostras, foram determinados atributos químicos e físicos, foram estimadas as atividades da  $\beta$ -glucosidase, da urease e da fosfatase ácida e as quantidades de proteínas do solo relacionadas à glomalina. A conversão da vegetação nativa da Caatinga em pastagem reduziu a atividade da  $\beta$ -glucosidase e da urease no solo, mas não afetou a atividade da fosfatase ácida, que apresentou maior atividade nas parcelas de pastagem com herbácea. Com relação às diferenças espaciais entre os locais de coleta, a atividade da fosfatase ácida foi maior em Araripina e menor em Sertânia. A  $\beta$ -glucosidase apresentou maior atividade em Sertânia e menor em Araripina, enquanto que a urease apresentou maior atividade nas parcelas de Arcoverde. Com a exclusão de animais, a vegetação nativa pouco antropizada (caatinga densa) apresenta maiores quantidades de PSRG facilmente extraível e total no solo que as pastagem com herbáceas. Com relação às diferenças espaciais, as quantidades de PSRG facilmente extraível e total apresentaram maiores teores no município de Sertânia e menor em Araripina. O presente trabalho demonstrou que o manejo de exclusão do pastoreio pode recuperar a atividade enzimática e teores PSRG em solos de áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga.

Palavras-chave: Semiárido. Pastagem. Qualidade do solo. Mudança de uso do solo.

## Glomalin and enzymes in soils in forage areas in the Caatinga biome

### ABSTRACT

The conversion of natural ecosystems into pastures can cause changes in soil properties and quality. Monitoring enzymatic activity and glo-related soil proteins are microbial parameters of the individual defect to detect environmental changes. Due to its abundance and ability to provide quick answers, environmental information can provide biological solutions to provide biological solutions to the elements in the soil. Thus, it had to understand a recovery of the presence of animals, in different areas of use for the classification of animals, the method of estimation of enzymatic activity and the study of estimates of the enzymatic activity of the quality without study of the soil proteins referring to glolin (PSRG). The study was developed in research units located in experimental stations of the Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), located in five municipalities. Each unit consists of plots of 625m<sup>2</sup> excluding animals for three years, allocated in areas with the three main types of vegetation cover used for livestock purposes in the biome: closed caatinga, open caatinga and pasture. Single samples were collected at six random points at a depth of 0-20 cm. As samples and as determinations of enzyme activities were made in the wet season and in the dry season to understand the dynamic activities of these biological activities. In the samples, chemical and physical determinations were determined, they were estimated as urease and acid phosphatase activities and as amounts of soil proteins related to glomalin. The conversion of Caatinga vegetation into activity of the activity of the activity of the  $\beta$ glucidase activity and of the activity of the glucosidase activity did not affect the portion of phosphatase á, which presents a greater amount of pasture with herbaceous in the activities. With the exclusion of animals, the native vegetation with little anthropization (dense caatinga) presents greater amounts of easily extractable and total PSRG in the soil than the pastures with herbaceous plants. Regarding spatial differences, the amounts of easily extractable and total PSRG showed higher levels in Sertânia and lower in Araripina. The present work demonstrated that the grazing exclusion management can recover the enzymatic activity and PSRG contents in soils of forage use areas in the Caatinga biome.

Keywords: Semi-arid. Pasture. Soil quality. Land use change.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> – Localização das áreas de estudo em Arcoverde e Sertânia .....   | 28 |
| <b>Figura 2</b> – Localização das áreas de estudo em São Bento do Una e Araripina .....   | 29 |
| <b>Figura 3</b> – Área de caatinga fechada no município de Araripina no estado de Pernambuco .....  | 30 |
| <b>Figura 4</b> – Área de caatinga aberta no município de Sertânia no estado de Pernambuco ..   | 30 |
| <b>Figura 5</b> – Área de pastagem com herbácea no município de Arcoverde no estado de Pernambuco .....   | 31 |
| <b>Figura 6</b> – Análise de componentes principais (PCA) das características químicas e físicas dos solos amostrados em quatro pontos no Semiárido de Pernambuco ..... | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> – Características dos municípios onde estão localizadas as parcelas permanentes .....  | 29 |
| <b>Tabela 2</b> – Atributos químicos dos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e herbáceas nas parcelas permanentes .....  | 33 |
| <b>Tabela 3</b> – Atributos físicos dos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e herbáceas nas parcelas permanentes .....   | 34 |
| <b>Tabela 4</b> – Estimativas das atividade de enzimas e PSRG envolvidas na ciclagem de P, N e C nos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem com herbácea, no período seco e no período úmido ..... | 39 |
| <b>Tabela 5</b> – Estimativas das atividade de enzimas envolvidas na ciclagem de P, N e C nos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem com herbácea, no período seco e no período úmido .....        | 46 |
| <b>Tabela 6</b> – Estimativas das proteínas do solo relacionadas à glomalina nos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem com herbácea, no período seco e no período úmido .....                     | 53 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....  | 13 |
| 1.1 Hipóteses.....  | 14 |
| 1.2 Objetivos.....  | 15 |
| 1.2.1 <i>Objetivo geral</i> .....   | 15 |
| 1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....  | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 16 |
| 2.1 Região semiárida brasileira: bioma Caatinga .....   | 16 |
| 2.2 Impacto do pastejo sobre a qualidade do solo .....  | 17 |
| 2.3 Bioanálise do solo: indicadores biológicos da qualidade do solo.....                                      | 18 |
| 2.4 Atividade de enzimas do solo .....  | 19 |
| 2.4.1 <i>Fosfatase ácida e ciclo do fósforo</i> .....   | 21 |
| 2.4.2 <i>Urease e ciclo do nitrogênio</i> .....   | 23 |
| 2.4.3 <i><math>\beta</math>-glucosidase e ciclo do carbono</i> .....  | 23 |
| 2.5 Proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG).....  | 25 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 27 |
| 3.1 Áreas de estudo e protocolo de instalação das parcelas.....   | 27 |
| 3.2 Amostragem e caracterização do solo.....  | 31 |
| 3.3 Atividade das enzimas do solo.....  | 35 |
| 3.3.1 <i>Quantificação da fosfatase ácida</i> .....   | 35 |
| 3.3.2 <i>Quantificação da urease</i> .....  | 35 |
| 3.3.3 <i>Quantificação da <math>\beta</math>-glucosidase</i> .....  | 36 |
| 3.4 Quantificação das proteínas do solo relacionadas à glomalina.....   | 36 |
| 3.5 Análise estatística.....  | 37 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 38 |
| 4.1 Efeitos gerais da sazonalidade e das coberturas do solo sobre a atividade das enzimas do solo e PSRG..... | 38 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2 Efeitos da sazonalidade e das coberturas do solo sobre a atividade das enzimas do solo em cada área de estudo .....  | 44 |
| 4.3 eEeitos da sazonalidade e das coberturas do solo sobre as proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) em cada área de estudo .....                         | 52 |
| 4.4 Análises multivariadas .....   | 57 |
| 6 CONCLUSÕES .....   | 58 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 58 |
| Apêndice 1: análise de redundância (RDA) das atividades enzimáticas e das quantidades de glomalina em áreas de uso forrageiro em pousio há 3 anos.....               | 74 |
| Apêndice 2: Correlação de pearson dos atributos dos solos e das variáveis biológicas em solos de áreas de uso forrageiro em pousio há 3 anos no bioma Caatinga. .... | 75 |

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais secas estão entre as florestas mais ameaçadas, com poucas áreas sob status legal de proteção. No Brasil, o bioma Caatinga abriga uma das mais extensas formações de florestas tropicais secas, que apresentam alta diversidade de espécies, alto grau de endemismo e heterogeneidade de condições edafoclimáticas. Apesar de sua grande extensão e riqueza, ainda é um dos biomas brasileiros menos estudados. Parte dessa carência de informações é derivada da grande variedade de cenários edafoclimáticos e de usos da terra presentes nesse bioma, fazendo com que a caatinga forme um verdadeiro mosaico de paisagens, difícil de ser compreendido do ponto de vista ecológico.

A vegetação da Caatinga tem sido a principal fonte de alimentação para os animais no Semiárido brasileiro, sendo muito utilizada como pastagem. O uso impróprio e insustentável da vegetação natural da Caatinga, seja as matas nativas ou as compostas por espécies introduzidas, e das pastagens cultivadas como suporte forrageiro, acarreta grande vulnerabilidade alimentar do rebanho pecuário e a condição das áreas de uso forrageiro no bioma é preocupante.

O sobrepastejo, comum da região, impede o ciclo anual das plantas herbáceas, afetando a população das espécies forrageiras, reduzindo a produção de serapilheira e a entrada de nutrientes no sistema, deteriora progressivamente os recursos do solo e da vegetação; acentua os efeitos da seca e aumenta a extensão de áreas em processo de desertificação. Essas diversas transformações conjugam-se e provocam redução na ciclagem de nutrientes, composição botânica e acúmulo de fitomassa total e forrageira, diminuindo a capacidade de regeneração do ecossistema. A conversão de ecossistemas naturais em pastagens provoca alterações profundas nas propriedades e na qualidade do solo, que muitas vezes obriga que as áreas com uso forrageiro sejam abandonadas (pousio) até recuperação de seu potencial produtivo, antes de novo ciclo de exploração.

Estudos da avaliação da atividade biológica são essenciais no entendimento da funcionalidade e sustentabilidade de solos em diferentes condições de uso da terra. Nas últimas décadas, a avaliação da qualidade do solo e a quantificação de alterações nos seus atributos biológicos têm sido frequentemente realizadas para monitorar a produção sustentável, os efeitos causados pelo uso da terra e, conseqüentemente, a conservação desse recurso natural tão importante que é o solo.

Os indicadores biológicos têm um papel relevante na avaliação precoce dos efeitos do manejo sobre a qualidade do solo, contribuindo assim para a tomada de medidas de prevenção ou de controle de danos, além de permitir identificar o que está ocorrendo no ambiente, contribuindo para garantir a qualidade ambiental. Neste sentido, a atividade enzimática do solo é um aspecto de grande importância a se considerar, uma vez que as enzimas têm participação essencial nos ciclos biogeoquímicos dos elementos. A atividade enzimática está diretamente ligada aos ciclos biogeoquímicos, pois as enzimas participam do catabolismo biológico dos componentes orgânicos e mineral do solo, sendo sua atividade relacionada com a matéria orgânica do solo.

Análises de atividades da  $\beta$ -glucosidade, fosfatases e urease podem ser usadas para avaliar a atividade dos micro-organismos e também a mineralização de substratos específicos, podendo indicar como está o equilíbrio no sistema solo-planta, através da avaliação de ciclagem de nutrientes, nitrificação e oxidação, dentre outros processos.

Além de influenciar a nutrição das plantas, fungos micorrízicos arbusculares secretam glicoproteínas que agregam as partículas do solo (glomalina), exercendo papel importante na estabilidade dos agregados e contribuindo, diretamente e indiretamente, para o acúmulo de carbono no solo. Por este motivo, proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) também são consideradas importantes indicadores da qualidade do solo.

Diante disto, o conhecimento da atividade enzimática e das proteínas do solo relacionadas à glomalina, em diferentes situações de uso e condições edafoclimáticas, pode contribuir para a compreensão dos processos de restabelecimento do solo em pousio após exploração agropecuária e, assim, para o estabelecimento de práticas que garantam maior sustentabilidade dos sistemas.

## **1.1 Hipóteses**

As atividades de enzimas envolvidas na ciclagem biogeoquímica e as quantidades de PSRG no solo de áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga sofrem influência da sazonalidade.

A conversão da vegetação nativa da Caatinga em pastagem reduz a atividade enzimática do solo, promovendo efeitos negativos.

A regeneração da vegetação nativa com a suspensão da atividade pastoril resulta em aumento da atividade enzimática e das quantidades de PSRG do solo.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo geral***

Compreender a recuperação da qualidade do solo, após interrupção da presença de animais, em diferentes áreas do uso forrageiro no bioma Caatinga, por meio de estimativas da atividade enzimática e das quantidades de PSRG.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

Estimar as diferenças sazonais (estação seca e estação chuvosa) das atividades de enzimas do solo ligadas à ciclagem biogeoquímica ( $\beta$ -glucosidade, fosfatase ácida e urease) em parcelas permanentes estabelecidas em áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga;

Estimar as diferenças espaciais (locais com diferentes características edafoclimáticas) da atividade de enzimas do solo ligadas à ciclagem biogeoquímica ( $\beta$ -glucosidade, fosfatase ácida e urease), em parcelas permanentes estabelecidas em áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga.

Estimar as diferenças sazonais (estação seca e estação chuvosa) das atividades de enzimas do solo ligadas à ciclagem biogeoquímica ( $\beta$ -glucosidade, fosfatase ácida e urease), em parcelas permanentes estabelecidas em áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga;

Estimar as diferenças espaciais e sazonais das quantidades de PSRG, em parcelas permanentes estabelecidas em áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Região semiárida brasileira: bioma Caatinga

A vegetação que cobre a maior parte do semiárido da região Nordeste do Brasil recebeu o nome de caatinga desde os tempos antes da chegada dos portugueses e assim continua sendo denominada na literatura científica até hoje. O nome caatinga tem origem tupi-guarani e significa “mata branca”, que faz referência ao aspecto da vegetação em época de seca, quando as plantas perdem as folhas e os galhos ficam acinzentados (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017).

O bioma Caatinga cobre uma extensão de 912.529 km<sup>2</sup> e é uma das seis grandes regiões ecológicas brasileiras. Entre essas regiões, ela é a única restrita ao Brasil, ou seja, não é compartilhada com nenhum outro país (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017). O bioma distribui-se por quase todos os estados do nordeste brasileiro, excetuando-se o Maranhão, abrangendo ainda uma parte do norte do estado de Minas Gerais (PINHEIRO; NAIR, 2018; CASTRO; CAVALCANTE, 2011). Sua área corresponde a 54% da região Nordeste e a 11% do território brasileiro (IBGE, 2017).

Embora esteja localizada no Semiárido nordestino, com clima quente e seco e uma evapotranspiração potencial que pode alcançar os 2700 mm anuais (CARVALHO-NETO et al., 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). A Caatinga apresenta grande variedade de paisagens e relativa riqueza biológica (GARIGLIO et al., 2010), com uma imensa variedade de flora e fauna, com um elevado número de espécies endêmicas (GIULIETTI et al., 2013).

De forma geral, a cobertura vegetal é formada, principalmente, por formações xerófilas que, via de regra, em estágio clímax de sucessão ecológica, apresenta três estratos (herbáceo, arbustivo e arbóreo), de composição botânica muito diversificada por razões climáticas, edáficas, topográficas e antrópicas (RODAL; SAMPAIO; FIGUEIREDO, 2013).

A Caatinga possui grande riqueza de espécies. Embora vastas áreas permaneçam inexploradas (MORO et al., 2014), o conhecimento atual possibilita afirmar que ocorrem no mínimo 3.150 espécies de plantas, distribuídas em 950 gêneros e 152 famílias de angiospermas. As famílias mais diversas são Leguminosae e Euphorbiaceas (QUEIROZ et al., 2017).

Na região semiárida brasileira, a atividade pecuária segue o modelo de exploração misto, com cerca de 90% das propriedades criando bovinos, caprinos, abelhas, aves e ovinos, produzindo simultaneamente carne, ovos, mel, gordura, couros e peles. O regime de criação é predominantemente extensivo, baseado em condições de sobrepastejo, constituindo a vegetação da caatinga a principal ou, em muitos casos, a única fonte de alimento para os rebanhos (ARAÚJO FILHO, 2013). A utilização inadequada dos recursos da caatinga, como a exploração animal e o extrativismo insustentável, pode levar ao desaparecimento de algumas espécies e à consequente perda da biodiversidade (EMBRAPA, 2007).

## **2.2 Impacto do pastejo sobre a qualidade do solo**

As pastagens representam 67% de todas as terras agrícolas em todo o mundo (FAO, 2016), com a pecuária se destacando como um dos principais componentes do sistema alimentar global. A terra sob produção animal ocupa 22-26% da terra livre de gelo da Terra (ELLIS et al., 2010).

As pastagens contribuem de maneiras importantes para a subsistência e os serviços ecossistêmicos (DEFRIES; ROSENZWEIG, 2010). Devido a isso, é crescente o interesse para intensificação do uso sustentável das pastagens (BOGAERTS et al., 2017) e potencial relacionado para preservação e diversificação do uso da terra (LATAWIEC et al., 2014).

No Brasil, as pastagens são um dos principais sistemas produtivos, sejam cultivadas ou nativas, ocupam cerca de 190 milhões de hectares (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010), o que compreende cerca de 17% do território nacional com pastagens naturais e 31% com pastagens plantadas. Os solos de pastagens no Brasil frequentemente apresentam problemas de fertilidade ou física do solo, enquanto os solos de melhor aptidão agrícola são usados para culturas de maior valor, como grãos (MACEDO, 2008). Cada vez mais áreas menores e menos produtivas permanecem disponíveis para os agricultores e, sem opções sustentáveis, o desmatamento tem sido usado cada vez mais intensamente para prover as necessidades de forragem (MENDES et al., 2013).

Segundo a FAO (2016), em termos globais, um dos principais impactos das pastagens na qualidade do solo, de influência antrópica direta, é o manejo inadequado, em particular o uso sistemático de taxas de lotação que excedam a capacidade do pasto de se recuperar do pastejo e do pisoteio.

Em regiões de clima tropical e subtropical, as práticas inadequadas de manejo do pastejo também são apontadas como uma das principais causas de degradação das

pastagens (DIAS-FILHO, 2011). O sobrepastoreio excessivo leva à degradação do solo, o que pode prejudicar a sustentabilidade a longo prazo da produção de gado e podem ser prejudiciais para estrutura do solo (VASQUES et al., 2019).

Na Caatinga, o manejo pastoril é geralmente extensivo e, praticamente, nenhum cuidado é exercido com relação às pastagens, constituindo a atividade mais um exemplo de extrativismo predatório. Na maioria dos casos, não se conhece o conceito de sobrepastejo e, assim, o desempenho produtivo dos rebanhos apresenta índices extremamente baixos e sem a necessária resiliência para absorver os impactos das variações climáticas rotineiras das regiões semiáridas (ARAÚJO FILHO, 2013).

De fato, décadas de agricultura extrativista de baixa tecnologia (sem reposição de nutrientes e manejo conservacionista do solo), aliada à pressão de pastejo e à extração contínua de produtos florestais, têm resultado em modificações intensas da Caatinga, inclusive a desertificação e o desaparecimento da vegetação de porte florestal (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017). As transformações da vegetação resultam em perda de produtos e serviços ecossistêmicos, como, por exemplo, a restauração da fertilidade, proteção do solo, produção de água e de produtos florestais como lenha, madeira e forragem.

Essas diversas transformações conjugam-se e provocam redução na ciclagem de nutrientes, composição botânica e acúmulo de fitomassa total e forrageira, diminuindo a capacidade de regeneração do ecossistema. No entanto, a maioria dos produtores segue mantendo carga animal alta por anos seguidos, o que, eventualmente, leva à exaustão do ecossistema e causa impactos negativos na qualidade do solo (ARAÚJO; NÓBREGA DE SOUSA, 2011).

### **2.3 Bioanálise do solo: indicadores biológicos da qualidade do solo**

A qualidade do solo é definida como a capacidade do solo de cumprir funções ecológicas e fornecer serviços ecossistêmicos para manter a produtividade biológica e ambiental e melhorar a saúde vegetal e animal (BUNEMANN et al. 2018).

Os solos são um recurso valioso porque estão ligados à saúde humana, economias baseadas na agricultura, qualidade do ar e da água e segurança alimentar. No entanto, a saúde do solo está ameaçada. Essas ameaças incluem: mudanças climáticas, salinização, erosão, compactação, esgotamento de nutrientes, contaminação com metais pesados tóxicos ou pesticidas e sobrepastoreio (FAO, 2015).

Tem havido muitos esforços para descrever o que torna um solo "bom". O conceito de "saúde do solo" é a tentativa mais recente de definir e medir um solo que suporte resultados agrícolas e ambientais positivos (LEHMANN et al., 2020). Doran (1996) definiu a saúde do solo como "a capacidade do solo de funcionar como um sistema de vida vital, dentro de um ecossistema e limites de uso da terra, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e promover a planta e saúde animal".

Fundamental para o conceito de saúde do solo é a ideia de que o solo é um ecossistema vivo e o bem-estar de solo é essencial para a obtenção de serviços ecossistêmicos, incluindo ar e água de alta qualidade, promovendo um estrutura de comunidade biótica e microbiana diversa, apoiando um alto nível de produtividade agrícola e promoção da saúde humana (MAHARJAN; ACHARYA 2020).

A avaliação do solo pode ser fornecida pela integração de vários fatores como atividade física, química e biológica (LIAO et al. 2014). A avaliação da qualidade do solo não pode ser definida medindo características únicas do solo e seria impossível usar todas as características do solo para avaliar a qualidade do solo; assim, um conjunto mínimo de dados é necessário, que consiste em um conjunto básico de características, incluindo físicas, químicas e biológicas, propriedades do solo que ajudam a monitorar a fertilidade do solo, saúde e sua qualidade (SEYBOLD et al. 1998; YU et al. 2018).

A avaliação da atividade biológica é um aspecto de grande importância no solo, pois pode ajudar a avaliar a sua qualidade, uma vez que os organismos têm a capacidade de mediar processos relacionados com o manejo do mesmo. Os micro-organismos edáficos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo. Geralmente, alterações na população microbiana e na atividade enzimática do solo podem anteceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, e refletir a melhoria ou a degradação de um solo (TÓTOLA; CHAER, 2002). É necessário compreender os recursos do solo como um sistema vivo dinâmico que emerge do equilíbrio e da interação entre componentes biológicos, químicos e físicos do solo (PAZ-FERREIRO E FU, 2016).

#### **2.4 Atividade de enzimas do solo**

As enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo. Assim, o estudo das enzimas é de fundamental importância como indicador nas alterações no solo causadas pelos diversos usos e manejos do solo (PANETTIERI et al,

2014). Sabe-se que as enzimas presentes no solo participam do funcionamento bioquímico e da reciclagem de nutrientes (MAKOI E NDAKIDEMI 2008; BAKSHI E VARMA 2011).

Enzimas são proteínas especiais que têm ação catalisadora e são produzidas pelas células, estimulando ou desencadeando reações químicas importantes para a vida. São moléculas de natureza normalmente proteicas ou constituídas de RNA (riboenzimas) que catalisam reações diversas, reduzindo a energia de ativação da reação (SHIJIE, 2017).

Todas as transformações bioquímicas do planeta são dependentes ou relacionadas à presença das enzimas, e o solo, como um sistema biológico, é um sistema bioquímico altamente regulado por reações enzimáticas que mediam as principais transformações, principalmente, os processos de decomposição dos materiais orgânicos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Enzimas são importantes para catalisar reações necessárias para os processos de vida dos organismos no solo, como a decomposição de resíduos orgânicos, a ciclagem de nutrientes, formação da matéria orgânica e a estrutura do solo (MENDES & VIVALDI, 2001). As enzimas do solo podem ser originárias de fungos e bactérias do solo, de raízes das plantas, de células microbianas, de resíduos de plantas e animais, etc. (YANG, et al., 2008).

Os micro-organismos do solo liberam enzimas extracelulares para transformar a matéria orgânica em formas assimiláveis, quebrando suas ligações estruturais (VERES et al., 2015).

As enzimas participam da ciclagem de nutrientes ao catalisar a mineralização de moléculas complexas em nutrientes que serão assimilados por outros organismos (MATSUOKA, 2006). As enzimas mais analisadas são as que estão envolvidas nos ciclos dos principais elementos do solo: C, N, P e S. Essas enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo.

Assim, o seu estudo é de fundamental importância como indicadores nas alterações no solo causadas pelos diversos usos e manejos (PANETTIERI et al, 2014). A atividade de enzimas do solo tem sido sugerida como potencial indicador da qualidade e da fertilidade do solo, devido à relação dessas enzimas com a biologia do solo, por serem de fácil medição em laboratório e por fornecerem respostas rápidas às alterações ocorridas no solo (VERES et al., 2015).

A análise da atividade de enzimas presentes no solo, como as  $\beta$ -glucosidade, fosfatases e urease, podem ser utilizadas para ajudar a entender a atividade dos micro-

organismos e também a mineralização de substratos no solo, podendo indicar como está a qualidade do solo (DICK et al., 1996).

As enzimas extracelulares do solo (produzidas principalmente por microrganismos) também desempenham um papel importante na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (BURNS et al., 2013). Essas enzimas extracelulares podem ser agrupados em duas categorias amplas; enzimas hidrolíticas (hidrolisar composto orgânico complexo) e enzimas oxidativas (catalisar a oxidação reação) (GERMAN et al., 2011; BURNS et al., 2013; SINGH et al., 2017). Ambos os grupos de enzimas, junto com atividades microbianas, são frequentemente usados para avaliar a saúde e produtividade do solo.

#### ***2.4.1 Fosfatase ácida e ciclo do fósforo***

O Fósforo é um elemento importante, pois participa na constituição de moléculas de DNA, na síntese de ATP, na respiração e em todo o funcionamento do metabolismo microbiano e vegetal (LOPEZ et al., 2016). A mineralização do P é catalisada predominantemente por meio de enzimas chamadas de fosfatases, secretadas por plantas e micro-organismos (NANNIPIERI et al., 2011).

As fosfatases são um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres e anidridos de  $H_3PO_4$ . São classificadas em fosfomonoesterase (Enzyme Commission- EC 3.1.3), fosfodiesterase (EC 3.1.4) e fosfotriesterase (EC 3.1.5) (ACOSTA- MARTÍNEZ; TABATABAI, 2011).

A classe da fosfomonoesterase é subdividida de acordo com o pH ótimo das enzimas que a compõe, sendo estas denominadas de fosfatase ácida (aquelas com pH ótimo de 6,5) ou fosfatase alcalina (aquelas com pH ótimo de 11). A fosfatase ácida é sintetizada por plantas e micro-organismos e a fosfatase alcalina é, predominantemente, de origem microbiana. (NANNIPIERI et al., 2011).

As enzimas fosfatases desempenham um papel muito importante no ciclo do fósforo nos solos, podendo ser correlacionada à deficiência de fósforo e ao crescimento das plantas (BALOTA et al., 2013; MELO, 2017). As fosfatases são responsáveis por hidrolisar o fósforo orgânico, fazendo com que esse seja transformado em diferentes formas inorgânicas, sendo essas utilizadas pelas plantas (SANTOS et al., 2019). Sendo assim, a demanda de fósforo por plantas e micro-organismos podem estar ligados à produção e atividade da fosfatase do solo (CONDRON et al., 2005). A atividade da fosfatase pode, portanto, ser usada como um indicador da disponibilidade de fósforo inorgânico para

plantas e micro-organismos presentes no solo (PIOTROWSKA-DLUGOSZ; CHARZYNSKI, 2015).

A sintetização da enzima ocorre em determinadas situações, mais especificamente, ocorre quando se tem condições de baixa disponibilidade de fósforo inorgânico no solo (SANTOS et al., 2019). Sendo assim, nota-se que ocorre uma liberação maior das fosfatases, visando o incremento na mineralização e remobilização do fosfato (BALOTA et al., 2013). Em contrapartida, quando ocorre a situação contrária, ou seja, quando há alta disponibilidade de fósforo no solo, percebe-se a redução da atividade da enzima fosfatase (SANTOS et al., 2019).

A enzima fosfatase ácida apresenta a tendência de ser mais utilizada em estudos e pesquisas, pelo fato que os solos presentes em nossos ecossistemas, em um contexto geral, não apresentarem faixas de pH elevadas. Nesse sentido, os solos utilizados para a agricultura apresentam tendências de faixas de pH baixo, se caracterizando como solo ácidos, dando ênfase a utilização da fosfatase ácida, ao invés da alcalina (BALOTA et al., 2013).

Entre os fatores que podem influenciar a atividade da fosfatase ácida no solo, pode-se citar o pH do solo que influencia a atividade da fosfatase ácida atuando na taxa de síntese, liberação e estabilidade, ocorrendo diminuição de sua atividade conforme o pH aumenta. 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). Outros fatores que influenciam negativamente a atividade da fosfatase ácida são os incêndios, assim como a diminuição da umidade do solo e a presença de chumbo e outros metais pesados (ADETUNJI et al., 2017). O efeito da seca também foi relatado quando a umidade do solo foi reduzida em 21%, houve uma redução de 31-40% da atividade da fosfatase ácida (SARDANS; PENUELAS, 2005).

A atividade da fosfatase pode ser considerada um bom índice de qualidade e quantidade de matéria orgânica nos solos. Vários estudos têm relatado que a atividade de fosfatases aumentam em solos suplementados com matéria orgânica e inoculados com espécies micorrízicas (VAN AARLE; PLASSARD, 2010).

As funções da atividade da fosfatase e sua capacidade de detectar rapidamente as mudanças de gerenciamento, indicam a importância desta enzima como indicador biológico da qualidade do solo (ADETUNJI et al., 2017).

#### **2.4.2 Urease e ciclo do nitrogênio**

A enzima urease é indicadora da transformação do nitrogênio orgânico em mineral, processo denominado de mineralização (SILVA et al., 2018). É uma enzima que atua na hidrólise da ureia, formando amônia e dióxido de carbono (KHAN et al., 2010). É uma enzima extracelular que é amplamente distribuída na natureza e é originária de bactérias, leveduras, fungos, algas, resíduos animais e plantas (FOLLMER, 2008). Embora a urease possa ser sintetizada por alguns organismos, sua expressão está geralmente sob regulação Nitrogênio no ambiente (MACHUCA et al., 2015). A síntese da enzima é prevenida quando se adicionam fertilizantes nitrogenados no solo e as células crescem na presença de  $\text{NH}_4^+$  como fonte de Nitrogênio preferida (GEIS SELER et al., 2010).

No solo, essa enzima encontra-se estabilizada por adsorção aos colóides, principalmente argilas e matéria orgânica ou dentro das células dos micro-organismos. (KRAJEWSKA, 2009).

Estudos da atividade da urease do solo têm sido de grande interesse ao longo dos anos sendo utilizada como um bom índice de qualidade do solo, devido ao seu papel na regulação do suprimento de Nitrogênio para plantas após adubação com uréia (PIOTROWSKA-DLUGOSZ; CHARZYNSKI, 2015).

A estabilidade da urease depende de vários fatores, incluindo umidade e temperatura do solo. Alguns trabalhos mostram que a redução da umidade do solo em 10% e 21% levou a reduções de 10-67% e 42-62% na atividade da urease, respectivamente, o que explica a ligação entre a seca e uma renovação mais lenta de nutrientes (SARDANS E PENUELAS, 2005). Segundo Blonska e Lasota (2014), a maior atividade de urease foi registrado sob pH da água do solo 5,8 e o menor atividade na água do solo pH 4,2. Logo a resposta da atividade da urease à seca, contaminação e o pH podem ser usados para avaliar a qualidade do solo.

Alguns estudos demonstram que a atividade da urease aumenta com a fertilização orgânica, como lodo de esgoto e palha e diminui com o preparo do solo (KIZILKAYA; BAYRAKLI, 2005; MEYER et al., 2015). Por outro lado, houve uma diminuição na atividade da urease em solos com fertilização nitrogenada de longa duração, em comparação com solos não fertilizados (MOHAMMADI, 2011).

#### **2.4.3 $\beta$ -glucosidase e ciclo do carbono**

A  $\beta$ -glucosidase é uma enzima extracelular, presente no solo, que desempenha um papel importante na degradação da matéria orgânica (TABATABAI, 1994). A atividade

dessa enzima está correlacionada positivamente com os teores de C no solo (MATSUOKA, 2003) e ela é encontrada predominantemente entre as plantas, animais, fungos, bactérias e leveduras. Seu papel nos solos é crucial, pois está envolvido em catalisar a hidrólise e a biodegradação de vários  $\beta$ -glicosídeos que estão presentes em restos de plantas (VEENA et al., 2011).

Esta enzima atua diretamente na etapa final do processo de decomposição da celulose. Desempenhando um papel de grande importância na degradação de carboidratos presentes nos solos e os produtos da hidrólise dessas enzimas são importantes fontes de energia para os micro-organismos presentes no solo (ALVARENGA, et al., 2016).

A repartição da celulose inclui três enzimas, das quais a  $\beta$ -glucosidase está envolvida na degradação da celulose e serve como indicador sensível para monitorar a saúde do solo, uma vez que está abundantemente presente no solo (TURNER et al. 2002; MAKOI E NDAKIDEMI 2008; DAS E VARMA 2011). A  $\beta$ -glucosidase pode detectar perturbações, como contaminação por metais pesados, salinidade do solo, pH, etc. rapidamente, pois as enzimas são mais sensíveis do que qualquer outros parâmetros físicos e químicos (STOTT et al. 2010; BAKSHI E VARMA 2011; TIWARI et al. 2019).

A atividade da  $\beta$ -glucosidase depende significativamente do pH, teor de nitrogênio total, carbono orgânico, solo profundidade, textura do solo, tipo de solo, umidade do solo, espécies de plantas (WANG E LU 2006; PIOTROWSKA E KOPER 2010; WYSZKOWSKA et al. 2010; VEVERKA et al. 2019).

Estudos realizados por Eivazi e Tabatabai, 1990 demonstraram que a atividade da  $\beta$ -glucosidase diminuiu à medida que o pH do solo aumentou de 4,5 para 8,5. Já Xiao-Chang e Qin, 2006 observaram o mesmo no pH de 4,3 a 7,4 em um solo de arroz. A sensibilidade da  $\beta$ -glucosidase às mudanças de pH pode servir como um indicador bioquímico confiável para avaliar as mudanças ambientais causadas pela acidificação do solo (ACOSTA-MARTINEZ, 2000).

A umidade do solo pode influenciar os processos bioquímicos de transformação do carbono do solo que é catalisado pela  $\beta$ -glucosidase (ZHANG et al., 2011). Sardans e Penuelas, 2005 observaram que a atividade da  $\beta$ -glucosidase diminuiu em 10-80% e 35-83% quando a umidade do solo foi reduzida em 10% e 21%, respectivamente. Assim, a seca influencia a atividade da  $\beta$ -glucosidase e suas características catalíticas, fazendo com que ocorra um fornecimento reduzido de nutrientes para as plantas. Outros trabalhos como o de Rietz e Haynes (2003), demonstram que o aumento da salinidade no solo levou a um

declínio na atividade da  $\beta$ -glicosidase. A resposta da  $\beta$ -glicosidase atividade à salinidade do solo pode servir como um bom indicador do estado da qualidade do solo.

Vários estudos revelaram que a atividade da  $\beta$ -glicosidase diminui com a profundidade do solo (ACOSTA-MARTINEZ et al., 2003; XIAO-CHANG; QIN, 2006). Isto é porque a atividade da  $\beta$ -glicosidase depende muito do abastecimento de substratos e os micro-organismos que produzem estão ativos na camada mais superficial do solo (XIAO-CHANG; QIN, 2006).

A redução da intensidade do preparo do solo favorece e aumenta a atividade da  $\beta$ -glicosidase devido à melhoria na biomassa microbiana, maior disponibilidade de substrato e redução da perturbação do solo (SINSABAUGH et al., 2008).

## **2.5 Proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG)**

Além das enzimas do solo, os fungos micorrízicos arbusculares FMAs também são considerados importantes indicadores da qualidade do solo (DOBO et al., 2018), em grande parte devido aos diversos processos nos quais esses micro-organismos estão envolvidos no solo (FOLLI-PEREIRA et al., 2012).

Além de influenciar a nutrição de plantas por meio de suas hifas, FMAs são responsáveis pela produção de glomalina (uma glicoproteína que agrega as partículas do solo), estando diretamente envolvidos na agregação do solo (WU et al., 2014). Por causa de sua composição (36-59% de carbono) e seu papel na estabilidade do solo, a glomalina contribui diretamente e indiretamente para o acúmulo de carbono no solo (KOIDE; PEOPLES, 2013). As PSRG respondem a mudanças no uso da terra e práticas de cultivo no solo, sendo consideradas um bom indicador de qualidade do solo (SILVA et al., 2014).

As primeiras descobertas da proteína glomalina remetem a trabalhos com anticorpos em fungos micorrízicos arbusculares (FMA) iniciados pela Dra. Sara Wright (USDA-ARS, Beltsville, EUA), em 1987 (PURIN & KLAUBERG, 2010). Wright et al. (1996) denominaram esta glicoproteína como glomalina em referência a ordem Glomales, que abrangia os FMA na época. Descreveram um material orgânico produzido nas hifas de FMAs (filo Glomaleromycota) que eles chamaram de glomalin.

Os FMAs podem se associar com grande parte das raízes de plantas, formando a micorriza arbuscular. Essa associação pode ser detectada em raízes na maioria dos ambientes terrestres naturais, como também em agroecossistemas e áreas degradadas. Esses fungos são importantes para a manutenção da estrutura do solo além de servirem de reserva de nutrientes (GONZÁLEZ-CHAVEZ et al., 2004). Além de favorecerem a absorção de

nutrientes, aumentam a resistência das plantas ao estresse hídrico, exercem controle sobre patógenos e influenciam a agregação do solo (PENG; GUO; LIU, 2013).

Esta proteína, além de contribuir para estabilidade dos agregados, tem sido apontada como um importante meio de armazenamento do carbono e nitrogênio no solo (FOKOM et al., 2012). Estima-se que, em solos, entre 28 a 45% da molécula de glomalina é carbono (NICHOLS; WRIGHT, 2006). A glomalina também é relativamente rica em nitrogênio (0,9 a 7,3% de peso seco; (NICHOLS; WRIGHT, 2005), portanto servindo como fonte deste elemento para os micro- organismos nos solos.

Os FMAs exsudam compostos orgânicos que irão formar uma trama pegajosa que une as partículas individuais (minerais e orgânicas) do solo e microagregados dando origem a macroagregados que contribuem para a formação e estabilidade da estrutura do solo (BORIE et al., 2008).

No que se refere à atividade dos FMAs nos solos, estudos relatam que durante o ano, a mesma encontra-se sujeita a variações dependendo das condições de temperatura, umidade, matéria orgânica do solo, fósforo, nitrogênio, pH e aeração do solo (HENTZ et al., 2006). Além disso, existem relatos de que o manejo do solo ou as práticas agrícolas podem alterar a população e a diversidade de FMAs (ANGELINI al., 2012).

Após sua descoberta, a glomalina tem sido detectada em grandes quantidades em numerosos solos, o que tem sido atribuído ao fato dos FMA colonizarem 80% das plantas vasculares e apresentarem uma distribuição global (VODNIK et al., 2008).

As quantidades relativamente altas da glomalina no solo podem também ser resultado do comportamento recalcitrante desta biomolécula no solo, conseqüentemente, com reduzida taxa de decomposição (STEINBERG; RILLING, 2003).

Os mecanismos que regulam a produção de glomalina pelos FMA ainda não estão bem compreendidos, contudo fatores que afetam a simbiose micorrízica possivelmente devem também influenciar na produção desta proteína pelos FMA (RILLIG et al., 2003). Alguns autores observaram correlação negativa entre concentrações de glomalina e pH do solo.

Fungos tendem a predominar em solos ácidos, pois em solos alcalinos existe maior concorrência de bactérias e outros organismos. Como a glomalina é produzida por FMA, é de se esperar que haja maior produção desta proteína em solos ácidos em virtude de maior atividade fúngica nestas condições (HADDAD; SARKAR, 2003).

A glomalina pode ser encontrada em duas frações: a glomalina facilmente extraível (GFE), que representa a glicoproteína formada mais recentemente, localizada

principalmente na superfície dos agregados, por isso mais propensa à degradação; e a glomalina total (GT), que representa a fração total da glomalina no solo, presente no interior e na superfície dos agregados, fortemente ligada às partículas minerais e de difícil remoção (WRIGHT et al., 2007).

Dentre as principais funções desta proteína estão o auxílio na proteção das hifas fúngicas à dessecação e na agregação das partículas minerais e orgânicas presentes no solo. A natureza da glomalina (resistência ao calor, insolubilidade e hidrofobicidade) garantem sua função cimentante, sendo usualmente utilizada em estudos de agregação devido à forte correlação com a estabilidade de agregados (PENG et al., 2013).

A glomalina participa da agregação de partículas do solo (RILLIG et al., 2002), através da secreção que as hifas liberam nas raízes colonizadas e no solo e protegendo os agregados contra processos de secagem e umedecimento excessivos, devido ao caráter hidrofóbico da substância (GONZÁLEZ-CHAVEZ et al., 2004).

Silva et al. (2018), ao estudar proteínas do solo relacionadas à glomalina em área degradada por sobrepastoreio, área em processo de revegetação natural manejada com exclusão de animais domésticos e área de mata nativa, caracterizada por vegetação arbustiva de caatinga, observaram que apenas a mata nativa apresentou diferenças significativas com relação a ambas as frações das proteínas do solo relacionadas à glomalina. Os teores de glomalina da floresta nativa foram maiores do que aquelas encontradas nas áreas de exclusão e sobrepastoreio, comprovando que a intensa degradação dessas áreas contribuiu para a diminuição do conteúdo de PSRG tanto total quanto facilmente extraível.

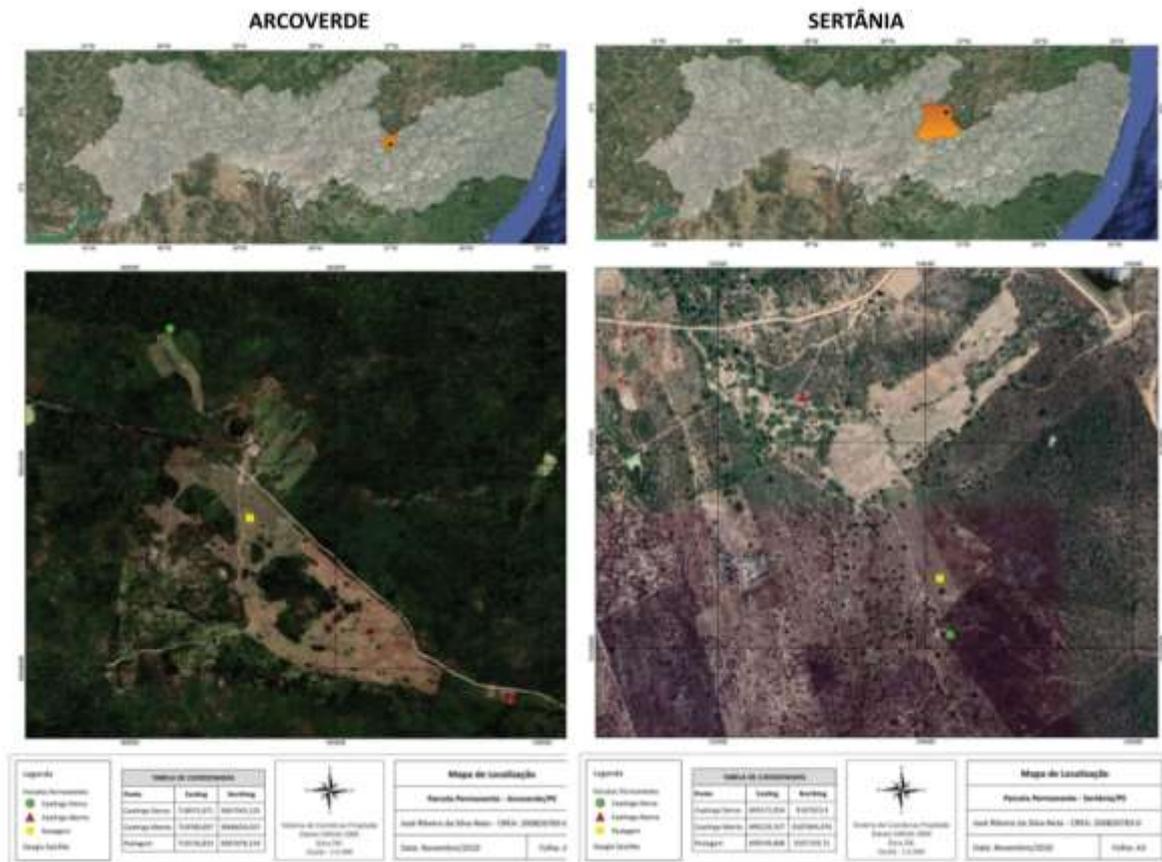
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Áreas de estudo e protocolo de instalação das parcelas**

A partir do ano de 2017, foi criada a Rede de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Nordeste Semiárido (PereNE), no âmbito do INCT-Observatório Nacional da Dinâmica da água e do Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC), em que são avaliados, ao longo do tempo, os impactos das mudanças de cobertura e uso da terra, do pastejo e da variabilidade climática sobre o funcionamento dos ecossistemas e a biodiversidade no Bioma Caatinga. Ao longo do ano de 2017, foram implantadas unidades de pesquisas na região semiárida, englobando geograficamente as mesorregiões do Sertão e Agreste do estado de Pernambuco. Para o presente estudo, foram amostradas parcelas implantadas em

Estações Experimentais do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizadas nos municípios de São Bento do Una, Arcoverde, Sertânia e Araripina (Figura 1), cujas características edafoclimáticas estão descritas na Tabela 1.

**Figura 1** – Localização das áreas de estudo nos municípios de Arcoverde e Sertânia.



**Figura 2** – Localização das áreas de estudo nos municípios de São Bento do Una e Araripina.



**Tabela 1** - Características dos municípios em que estão localizadas as parcelas

| Município        | Coordenadas                                    | Temperatura média anual (°C) | Precipitação média (mm) | Altitude (m) | Tipo de solo        |
|------------------|--|------------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|
| São Bento do Una | 8° 31' 22" S<br>36° 26' 38" O                  | 23,8                         | 655                     | 614          | Planossolo Háplico  |
| Arcoverde        | 8° 25' 15" S                                   | 23.5                         | 332                     | 663          | Neossolo Regolítico |
| Sertânia         | 37° 03' 41" O<br>8° 04' 14" S<br>37° 15' 57" O | 25                           | 635                     | 558          | Luvissolo Crômico   |
| Araripina        | 7° 34' 33" S<br>40° 29' 52" O                  | 24.6                         | 800                     | 639          | Latossolo Amarelo   |

Fonte: Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC e IPA

As parcelas foram desenhadas com o intuito de serem unidades de estudo de baixa manutenção e de acompanhamento rápido e prático. Cada área de parcelas permanentes inclui os seguintes tipos de cobertura vegetal com uso da terra para fins pecuários no Bioma Caatinga: Caatinga fechada – caatinga em avançado estado de crescimento e regeneração

e, em vários casos, de sucessão ecológica, com dossel que intercepta mais de 80% da luz solar radiante e que pode ser reconhecido visualmente em imagens de satélite de alta resolução como área com alta densidade de árvores e poucos pontos de solo nu (Figura 3).

**Figura 3** – Área de caatinga fechada no município de Araripina no estado de Pernambuco.



Caatinga aberta – caatinga com menor densidade de árvores e arbustos e maior cobertura de estrato herbáceo, em estágio inicial/intermediário de regeneração e sucessão ecológica. Esse tipo de formação pode ser derivado de dois cenários: por limitação edafoclimática, e por ação antrópica, que modificou o equilíbrio biológico, mantendo o sistema em estádios iniciais de sucessão. É difícil distingui-los, mas ambos têm menor biomassa vegetal que a caatinga fechada (Figura 4).

**Figura 4** – Área de caatinga aberta no município de Sertânia, no estado de Pernambuco.



Pastagem herbácea – área antropizada formada por herbáceas, com poucos arbustos e árvores em regeneração, com diâmetros de caule menores que 6 cm. Essas áreas geralmente são impedidas do avanço na sucessão ecológica pela ação do homem (roço e queima) e pelo excesso de pastejo (Figura 5).

**Figura 5** – Área de pastagem herbácea no município de São Bento do Una no estado de Pernambuco.



Em cada um dos sistemas de uso da terra, foram delimitadas duas parcelas de 25 x 25 m (625 m<sup>2</sup>). Em uma das parcelas é permitido o pastejo e na outra parcela não, sendo ela cercada para impedir a entrada dos animais. Dentro de cada parcela foi separada uma bordadura de 5 m de largura em todo o perímetro, ficando a área útil para estudos com 20 x 20 m (400 m<sup>2</sup>). Em uma das parcelas é permitido o pastejo e na outra parcela não, sendo ela cercada para impedir a entrada dos animais. Dentro de cada uma foi separada uma bordadura de 5 m de largura em todo o perímetro, ficando a área útil para estudos de longa duração com 20 x 20 m.

### 3.2 Amostragem e caracterização do solo

Para o presente estudo, as coletas de solo foram realizadas em duas ocasiões, sendo uma na estação seca (novembro de 2020) e outra na estação chuvosa (maio de 2021), nas parcelas cercadas, com exclusão de animais há três anos (tempo após o cercamento das parcelas, realizado em 2017). Em cada parcela foram coletadas amostras simples, em seis pontos aleatórios, na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração durante o transporte e o armazenamento no laboratório.

Parte das amostras foram secas ao ar, homogêneas e peneiradas em peneira de malha de 2 mm (terra fina seca ao ar, TFSA), para determinação dos atributos químicos (Tabela 3) e físicos dos solos (Tabela 4). Os atributos químicos analisados foram: condutividade elétrica (CE), determinada após preparo da pasta de saturação; pH em água (proporção solo:água de 1:2,5); carbono (C) e nitrogênio (N) totais determinados pelo método da combustão seca, utilizando analisador elementar LECO, TruSpec CHN-900); sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>) e fósforo (P), extraídos com Mehlich-1, sendo Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> dosados

por fotometria de emissão de chama e P por colorimetria; cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), extraídos com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e dosados por titulometria; acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), com extração com acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e dosagem por titulometria. A granulometria do solo (proporções de areia, silte e argila) foi determinada pelo método da pipeta, permitindo definir a classe textural de cada amostra. Todas as análises foram feitas seguindo as metodologias estabelecidas pela Embrapa (2017).

**Tabela 2.** Atributos químicos dos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e herbáceas nas parcelas permanentes.

| Local/cobertura do solo | P<br>mg/dm <sup>3</sup> (H <sub>2</sub> O) | pH  | Ca                    | Mg   | Na   | K    | Al   | H    | S     | CTC   | V     | m     |
|-------------------------|--|-----|-----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                         |  |     | Cmolc/dm <sup>3</sup> |      |      |      |      |      |       |       |       | %     |
| <b>Arcoverde</b>        |  |     |                       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Caatinga fechada        | 9,33                                       | 4,1 | 4,58                  | 2,08 | 0,03 | 0,46 | 0,17 | 5,12 | 7,15  | 12,45 | 57,67 | 2,33  |
| Caatinga aberta         | 18   | 5,1 | 2,62                  | 1,45 | 0,01 | 0,41 | 0,16 | 2,97 | 4,48  | 7,63  | 59,83 | 3,5   |
| Pastagem herbácea       | 15,67                                      | 5,1 | 3,43                  | 1,48 | 0,02 | 0,46 | 0,18 | 3,05 | 5,37  | 8,52  | 64,83 | 3,33  |
| <b>Araripina</b>        |  |     |                       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Caatinga fechada        | 3,83                                       | 4,1 | 0,7                   | 0,84 | 0,01 | 0,12 | 1,09 | 4,49 | 1,68  | 7,23  | 22    | 42    |
| Caatinga aberta         | 2,67                                       | 4,1 | 0,38                  | 0,73 | 0,01 | 0,05 | 0,79 | 3,95 | 1,17  | 5,9   | 19    | 41,83 |
| Pastagem herbácea       | 3  | 4,1 | 0,58                  | 0,54 | 0,01 | 0,07 | 0,63 | 3,68 | 1,22  | 5,49  | 21,83 | 35,55 |
| <b>São Bento do Una</b> |  |     |                       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Caatinga fechada        | 9  | 5,1 | 4,23                  | 1,77 | 0,04 | 0,38 | 0,14 | 2,4  | 6,42  | 8,97  | 69,67 | 2,83  |
| Caatinga aberta         | 8,5  | 5,1 | 2,88                  | 1,9  | 0,03 | 0,23 | 0,27 | 3,22 | 5,03  | 8,53  | 59    | 5,33  |
| Pastagem herbácea       | 32   | 4,1 | 3,88                  | 2,15 | 0,1  | 0,57 | 0,36 | 4,34 | 6,72  | 11,42 | 56,17 | 9     |
| <b>Sertânia</b>         |  |     |                       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Caatinga fechada        | 90,5                                       | 6,1 | 13,86                 | 2,28 | 0,04 | 0,64 | 0    | 1,99 | 16,82 | 18,81 | 88,67 | 0     |
| Caatinga aberta         | 67,83                                      | 6,1 | 6,89                  | 2,22 | 0,04 | 0,63 | 0    | 0,79 | 10,53 | 11,34 | 93    | 0     |
| Pastagem herbácea       | 41,83                                      | 5,1 | 7,58                  | 1,71 | 0,05 | 0,54 | 0,05 | 1,28 | 10,14 | 11,48 | 88,4  | 0,6   |

**Tabela 3.** Atributos físicos dos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e herbáceas nas parcelas permanentes.

| Local/cobertura do solo | Densidade (g cm <sup>3</sup> ) |      | Composição granulométrica (%) |            |       |        | Argila natural (%) | Grau flocculação (%) | Classe textural* |
|-------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------------|-------|--------|--------------------|----------------------|------------------|
|                         | Dap                            | Dr   | Areia grossa                  | Areia fina | Silte | Argila |                    |                      |                  |
| <b>Arcoverde</b>        |                                |      |                               |            |       |        |                    |                      |                  |
| Caatinga fechada        | 1,20                           | 2,46 | 41,83                         | 18,70      | 24,00 | 16,00  | 3,33               | 80,17                | FA               |
| Caatinga aberta         | 1,35                           | 2,47 | 43,17                         | 24,00      | 19,83 | 14,67  | 1,33               | 90,17                | FA               |
| Pastagem herbácea       | 1,34                           | 2,47 | 46,5                          | 21,00      | 19,50 | 13,00  | 1,33               | 91,17                | FA               |
| <b>Araripina</b>        |                                |      |                               |            |       |        |                    |                      |                  |
| Caatinga fechada        | 1,33                           | 2,53 | 54,33                         | 20,83      | 4,50  | 20,33  | 5,33               | 75,17                | FA               |
| Caatinga aberta         | 1,40                           | 2,55 | 56,00                         | 21,00      | 3,33  | 16,67  | 4,00               | 80,00                | FA               |
| Pastagem herbácea       | 1,39                           | 2,57 | 58,17                         | 20,17      | 4,00  | 17,67  | 2,00               | 88,83                | FA               |
| <b>São Bento do Una</b> |                                |      |                               |            |       |        |                    |                      |                  |
| Caatinga fechada        | 1,43                           | 2,46 | 38,00                         | 22,00      | 28,5  | 11,67  | 0,33               | 98,17                | FA               |
| Caatinga aberta         | 1,44                           | 2,47 | 40,67                         | 23,33      | 26,00 | 8,67   | 1,00               | 92,83                | FA               |
| Pastagem herbácea       | 1,37                           | 2,45 | 23,33                         | 14,83      | 44,00 | 17,83  | 4,67               | 81,17                | FA               |
| <b>Sertânia</b>         |                                |      |                               |            |       |        |                    |                      |                  |
| Caatinga fechada        | 1,20                           | 2,46 | 44,00                         | 18,33      | 19,17 | 18,5   | 3,67               | 80,17                | FA               |
| Caatinga aberta         | 1,35                           | 2,47 | 46,83                         | 22,67      | 19,50 | 11,00  | 0,00               | 100,00               | FA               |
| Pastagem herbácea       | 1,26                           | 2,46 | 46,33                         | 17,83      | 22,50 | 13,33  | 3,30               | 75,83                | FA               |

\* FA = franco arenoso

### 3.3 Atividade das enzimas do solo

As atividades enzimáticas nas amostras dos solos foram realizadas no Laboratório de Enzimologia e Microbiologia Ambiental (LEMA) da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE.

#### 3.3.1 *Quantificação da fosfatase ácida*

A atividade das fosfatases ácidas (FAC) (EC 3.1.3) foi efetuada segundo método preconizado por Eivazi e Tabatabai (1977). O substrato utilizado na reação desta enzima é o p-nitrofenil fosfato 0,05 M (PNF 0,05 M). Foram colocadas amostras de solo seco (1,0 g) em erlenmeyer de 50 ml, utilizando um controle onde só foi adicionado o substrato após a incubação. As amostras de solo foram incubadas com tolueno, tampão universal modificado (MUB) (pH 6,5 para FAC) e solução de p-nitrofenil fosfato de sódio (0,025 M). Os erlenmeyers foram fechados com rolhas de borracha e incubados a 37° C por 1 h. Em seguida, adicionou-se CaCl (0,5 M) e NaOH (0,5 M). Por fim, as amostras foram filtradas, e a leitura foi realizada em espectrofotômetro (Libra S22, Biochrom, Cambridge, England) a 400 nm para quantificação do p-nitrofenol, que é resultante da hidrólise enzimática de p-nitrofenil fosfato. Foi utilizada a curva padrão de p-nitrofenol para determinação da concentração enzimática nas amostras. A quantidade de p-nitrofenol formada em cada amostra foi determinada com base numa curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p-nitrofenol (0, 10, 20, 30, 40, 50 mg de p-nitrofenol ml<sup>-1</sup>). Os valores de atividade foram expressos em µg de p-nitrofenol g<sup>-1</sup> de solo h<sup>-1</sup>.

#### 3.3.2 *Quantificação da urease*

A atividade da urease (EC 3.5.1.5) foi determinada segundo método descrito por Kandeler e Gerber (1988). O substrato utilizado na reação desta enzima é uma solução de uréia 0,2 M. Foram colocadas amostras de solo (5,0 g) em frascos volumétricos de 50 ml, utilizando um controle onde só foi adicionado o substrato após a incubação. Adicionou-se solução 75 mmol L<sup>-1</sup> de tampão borato (pH 10) e solução 80 mmol L<sup>-1</sup> de ureia e incubou-se por 2 horas em banho-maria à 37 °C. Em seguida, foi adicionado solução de cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e agitou-se por mais 30 minutos. Centrifugou-se por 10 minutos a 3500 rpm e, ao sobrenadante, adicionou-se água destilada, solução de salicilato de sódio e solução 0,1% de ácido dicloroisocianúrico. A leitura foi feita em espectrofotômetro (Libra S22, Biochrom, Cambridge, England) a 690 nm. Foi utilizada a curva padrão de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

para determinação da concentração enzimática nas amostras. Os valores de atividade foram expressos em  $\mu\text{g}$  de  $\text{N-NH}_4^+$   $\text{g}^{-1}$  de solo  $\text{h}^{-1}$ .

### 3.3.3 Quantificação da $\beta$ -glucosidase

A atividade da  $\beta$ -glucosidase (EC 3.2.1.21) foi determinada utilizando na reação o substrato p-nitrofenil- $\beta$ -D-Glucopyranosídeo 0,05 M (PNG 0,05 M). Amostras de solo (1,0 g) foram colocadas em erlenmeyer de 50 ml, sendo utilizado um controle onde só foi adicionado o substrato após a incubação. Em seguida, foram adicionados 250  $\mu\text{L}$  de Tolueno, 4,0 ml da solução MUB pH 6 a todas as amostras e 1,0 ml de PNG 0,05 M, com exceção dos controles. Os erlenmeyers foram fechados com rolhas de borracha e incubados a 37 °C por uma hora. Após a incubação, foram adicionados 1,0 ml de  $\text{CaCl}_2$  0,5 M, 4,0 ml de Tris-Hydroxymetyl-Amino-Metano (THAM pH 12) e 1,0 ml de PNG 0,05 M (somente aos controles). Procedeu-se em seguida à filtração em papel de filtro número 2. A intensidade da coloração amarela do filtrado foi determinada num espectrofotômetro a 410 nm. A quantidade de p-nitrofenol formada em cada amostra foi determinada com base numa curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p-nitrofenol (0, 10, 20, 30, 40, 50 mg de p-nitrofenol  $\text{ml}^{-1}$ ). A atividade enzimática é expressa em  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol liberado por hora por grama de solo ( $\mu\text{g}$  p-nitrofenol  $\text{h}^{-1}$   $\text{g}^{-1}$  solo seco).

### 3.4 Quantificação das proteínas do solo relacionadas à glomalina

A extração e quantificação da PSRG presente na TFSA foi realizada em subamostras de cada amostra utilizada para determinação da atividade das enzima (3 amostras), de acordo com Wrigth e Upadhyaya (1996) e Wrigth e Upadhyaya (1998), utilizando o método de Bradford. A glomalina facilmente extraível (GFE) foi obtida a partir de 1 g de TFSA em 8 mL de tampão citrato de sódio [20 mM (pH 7,0)], com digestão única em autoclave à 121 °C por 30 min. A solução foi centrifugada a 4000 rpm por 15 minutos e o sobrenadante armazenado para quantificação da proteína. A determinação foi realizada por colorimetria usando como padrão o soro albumina bovina (BSA), e foram obtidos os teores. Já a fração glomalina total (GT) foi obtida por meio de 10 digestões consecutivas, utilizando o tampão citrato de sódio [50 mM (pH 8,0)], com a primeira digestão em autoclave a 121 °C por 90 minutos e as demais por 60 minutos, seguidas de centrifugação como descrito acima, após cada autoclavagem. A determinação também foi realizada por ensaio colorimétrico de Bradford (BRADFORD, 1976) com BSA. As concentrações de

ambas as glomalinas foram corrigidas considerando o volume total do sobrenadante. Essas determinações foram realizadas no Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

### **3.5 Análise estatística**

As variáveis estimadas foram submetidas a teste de distribuição normal e homoscedasticidade e, quando necessário, foram realizadas transformações dos dados para que atendesse às premissas da análise de variância (ANOVA).

Para estimar os efeitos gerais da sazonalidade (período chuvoso e período seco) e dos tipos cobertura (caatinga densa, caatinga aberta e pastagem com herbácea) sobre a atividade microbiana dos solos no Bioma Caatinga, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando um desenho experimental em parcelas sub divididas, em que as parcelas foram os períodos de amostragem (período seco e período úmido) e as subparcelas, os tipos de cobertura (caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem). Os locais (4 municípios) onde as parcelas foram instaladas foram considerados como repetições experimentais. Para comparação das médias foi utilizado o teste t de Student (Bonferroni) ( $p < 0,05$ ), teste mais indicado para trabalhos em que não se tem um delineamento experimental propriamente dito (VIEIRA, 1997).

Para estimar os efeitos da sazonalidade e das coberturas do solo sobre a atividade microbiana do solo de cada área de estudo, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando um experimento fatorial  $4 * 3 * 2$  com delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições, em que os fatores foram as 4 áreas em que as parcelas foram instaladas, os 3 tipos de cobertura do solo e os 2 períodos de amostragem. Para comparação das médias foi utilizado o teste t de Student (Bonferroni) ( $p < 0,05$ ), teste mais indicado para trabalhos em que não se tem um delineamento experimental propriamente dito (VIEIRA, 1997).

Os dados dos atributos dos solo foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) para observar diferenças edáficas entre as 4 áreas estudadas. Os dados das variáveis estimadas foram submetidos à análise de redundância (RDA) para observar as diferenças entre os tipos de cobertura vegetal do solo, ou manejo praticado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Efeitos gerais da sazonalidade e das coberturas do solo sobre a atividade das enzimas do solo e PSRG

A atividade da fosfatase ácida foi significativamente influenciada pelos sistemas de uso do solo no período chuvoso, variando entre 118,66 e 204,38  $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ . Porém, no período seco não houve diferença significativa entre os sistemas de uso do solo avaliados (Tabela 4). De acordo com Fekete et al. (2012), a atividade enzimática é muito sensível às variações sazonais, no entanto no presente estudo não foi possível observar uma tendência temporal significativamente clara entre os períodos do ano.

Com relação a atividade da fosfatase ácida os resultados foram significativamente maiores nas parcelas de pastagem com herbáceas (204,38  $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) do que nas de caatinga fechada (118,66  $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ), sem diferença entre ambas e as áreas com cobertura de caatinga aberta (150,15  $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ), demonstrando que o sistema de uso do solo tem grande influência na atividade enzimática da fosfatase ácida nos solos do Semiárido. Este resultado pode está associado as diferenças na decomposição de materiais vegetais entre as parcelas. Essa diferença pode ter sido causada devido à influência de espécies ou tipos de materiais vegetais presentes no solo (LUCAS-BORJA et al., 2010).

Lucas-Borja et al. (2010) encontraram atividade enzimática significativamente maior em parcelas com vegetação herbácea do que em parcelas com vegetação florestal. Os resultados encontrados neste estudo para atividade da fosfatase ácida diferem do estudo de Medeiros et al. (2017) que registraram a maior atividade dessa enzima em área de regeneração tardia, atribuindo este resultado à maior diversidade e ao maior tempo de regeneração da vegetação, que proporcionaram maior aporte de resíduos orgânicos, estimulando a biomassa microbiana. Provavelmente em razão dos maiores teores de matéria orgânica, P orgânico, P imobilizado na biomassa microbiana e tipo de vegetação desses solos.

**Tabela 4.** Estimativas das atividade de enzimas e PSRG nos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem com herbácea.

| Cobertura do solo                     | Período do ano |            |
|---------------------------------------|----------------|------------|
|                                       | Chuvoso        | Seco       |
| <b>Fosfatase ácida</b>                |                |            |
| Caatinga Fechada                      | 118.66 aA      | 142.18 Aa  |
| Caatinga Aberta                       | 150.15 abA     | 190.28 Aa  |
| Caatinga Herbácea                     | 204.38 bA      | 178.93 Aa  |
| CV (%)                                | 33,81          |            |
| <b><math>\beta</math>-glucosidase</b> |                |            |
| Caatinga Fechada                      | 1176.65 aA     | 746.97 aA  |
| Caatinga Aberta                       | 693.39 bA      | 1048.05 aA |
| Caatinga Herbácea                     | 733.26 bA      | 991.81 aA  |
| CV (%)                                | 73,41          |            |
| <b>Urease</b>                         |                |            |
| Caatinga Fechada                      | 7.19 abA       | 5.87 bA    |
| Caatinga Aberta                       | 8.40 bA        | 9.44 aA    |
| Caatinga Herbácea                     | 6.38 aA        | 8.81 aA    |
| CV (%)                                | 28,49          |            |
| <b>PSRG facilmente extraível*</b>     |                |            |
| Caatinga Fechada                      | 2.54 aA        | 2.10 aA    |
| Caatinga Aberta                       | 1.58 bA        | 1.52 aA    |
| Caatinga Herbácea                     | 1.79 bA        | 1.81 aA    |
| CV (%)                                | 14,61          |            |
| <b>PSRG total</b>                     |                |            |
| Caatinga Fechada                      | 5.56 aA        | 3.90 aB    |
| Caatinga Aberta                       | 3.11 bA        | 2.88 bA    |
| Caatinga Herbácea                     | 2.85 bA        | 3.08 abA   |
| CV (%)                                | 10,40          |            |

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de teste t de Student (Bonferroni) a 5% de probabilidade, para cada enzima, PSRG facilmente extraível e total. CV= coeficiente de variação. \*PSRG = proteínas do solo relacionadas à glomalina.

Esperava-se que as áreas de caatinga fechada apresentassem atividade de fosfatase ácida elevada, uma vez que esta mineraliza o P a partir da matéria orgânica, e nesses sistemas o aporte de resíduos é maior do que nas áreas de herbáceas e tende a apresentar maior quantidade de P orgânico imobilizado na biomassa microbiana (BALOTA et al., 2014). Os resultados obtidos sugerem que a atividade da fosfatase pode ter sido mais influenciada por outros fatores além da disponibilidade de fósforo, como a composição da matéria orgânica, estrutura da comunidade microbiana, fisiologia da biomassa microbiana, exsudados radiculares, umidade e temperatura (HENDRIKSEN et al., 2016). Essa enzima é produzida quando o solo tem um baixo nível de P, que é essencial para as plantas e micro-organismos (BALOTA et al., 2014). De acordo com Yada et al. (2015), reduções nos níveis da atividade da fosfatase ácida no solo podem ocorrer devido ao aumento de P na solução do solo. Isso pode explicar a menor atividade encontrada nas áreas preservadas no período chuvoso. Da mesma forma, Jakelaitis et al. (2008) observaram que os maiores valores para a enzima fosfatase também não ocorreram em área de mata nativa, quando comparadas com áreas de pastagem e culturas.

A atividade da  $\beta$ -glucosidase foi influenciada significativamente pelos sistemas de uso do solo e variou de 693,63 a 1176,65  $\mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ . No período chuvoso, as áreas de com caatinga fechada apresentou a maior atividade enzimática da  $\beta$ -glucosidase (1176,65  $\mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e a áreas de caatinga aberta e pastagem herbácea menores valores (693.39 e 733.26  $\mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente). No período seco não houve diferença significativa entre os manejos, o que pode estar relacionado à diminuição da biomassa microbiana e, conseqüentemente, menor produção de enzimas. Porém, os efeitos da sazonalidade não foram significativamente aparentes no presente estudo. Essa redução pode estar relacionada à menor concentração de C, comum em áreas que passaram pelo processo de conversão, causando assim uma menor atividade microbiana e conseqüentemente uma menor atividade enzimática do solo (VINHAL-FREITAS et al. 2017). Áreas de caatinga fechada possivelmente possuem maior diversidade e densidade de matéria orgânica em seus solos, devido à maior diversidade florística, formada, em grande parte, por plantas do gênero Fabaceae (FABRICANTE et al., 2015). Espécies de plantas deste gênero têm maior capacidade de fixar N e maior potencial para adicionar nutrientes aos sistemas, promovendo condições mais favoráveis aos micro-organismos do solo, devido à diminuição da relação C:N (TAVARES et al, 2015).

Em diferentes locais, a cobertura vegetal pode influenciar as comunidades microbianas, que por sua vez são responsáveis pelos diferentes padrões de enzimas extracelulares presentes em solos (GIANFREDA, 2015).

A retirada da cobertura vegetal nativa para uso pecuário tem relação direta com a redução da quantidade e qualidade da matéria orgânica, que é um dos principais atributos para a manutenção do equilíbrio biológico no solo. Em ambientes de caatinga fechada, 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 et al., 2017).

Estudos realizados por Cardozo et al. (2018), no Nordeste do Brasil, mostraram maiores taxas de atividade da  $\beta$ -glucosidase em solos de mata nativa, quando comparado a sistemas de pastagem. Neste caso, é importante considerar o fato desta enzima apresentar características de sensibilidade a uma série de fatores. Por exemplo, temperatura, umidade, quantidade e qualidade do carbono orgânico no solo, que influenciam diretamente o entendimento de sua atividade. A atividade da  $\beta$ -glucosidase é estimulada pelo maior conteúdo de matéria orgânica e carbono orgânico presente no solo, sendo estes, responsáveis pelas modulações nas taxas de sintetização desta enzima (MA et al., 2010).

Resultados semelhantes também foram encontrados por Ferreira et al. (2017), ao avaliar os efeitos dos sistemas de manejo sobre atributos de biomassa microbiana, atividade enzimática e população de micro-organismos, sendo que os valores de  $\beta$ -glucosidase foram maiores no solo da floresta nativa.

A atividade da urease foi influenciada significativamente pelos sistemas de uso do solo, variando de 6,38 a 7,19  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ , no período chuvoso, e 5,87 a 9,44  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$  no período seco (tabela 5). No período chuvoso, as áreas de caatinga aberta apresentaram a maior atividade da urease (8,40  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ ), seguidas das áreas de caatinga fechada (7,19  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ ) e das áreas de pastagem com herbáceas (6,38  $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ ).

A atividade da urease aumenta com a elevação da umidade, da temperatura e do pH do solo, sendo diretamente influenciada pelo tipo de vegetação e pela quantidade de material orgânico incorporado ao solo (TASCA et al., 2011). É provável que esses resultados sejam reflexo da contribuição da matéria orgânica para o solo, principalmente em relação à qualidade desse material, que pode ser mais rico em N na parcela de caatinga aberta, tanto no período chuvoso quanto seco (TAVARES-JÚNIOR et al., 2015).

Tais condições, podem favorecer a síntese da urease pois pode estar relacionada a uma maior disponibilidade de N-orgânico, oriundo de exsudatos das raízes e dos próprios resíduos radiculares (LANNA et al., 2010). A microbiota do solo também pode ser favorecida pela cobertura vegetal, que propicia maior acúmulo de matéria orgânica, fornecendo mais nutrientes contribuindo para o crescimento da comunidade microbiana (LISBOA et al., 2012).

No período seco, as parcelas de caatinga aberta e pastagem com herbácea apresentaram maiores valores de atividade da urease ( $9.44$  e  $8.81 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ , respectivamente). As parcelas com caatinga fechada apresentaram menor atividade. O sombreamento promovido pela copa das árvores e arbustos na caatinga fechada pode ter influenciado na redução da atividade da urease, uma vez que a radiação solar tem influência direta na quantidade dessa enzima no solo. Menezes et al. (2019), ao estudar o efeito do sombreamento sobre as propriedades biológicas do solo, observaram que a atividade da urease foi maior sob condições de plena radiação solar. A maior atividade da urease nas parcelas de pastagem com herbácea pode ser atribuída à contínua adição de ureia por meio das excreções dos animais em pastejo, o que estimula a produção da urease. Além disso, na pastagem há contínuo aporte de resíduos vegetais. Esses fatores podem estimular o aumento da diversidade dos micro-organismos e da atividade enzimática no solo (ACEDO et al., 2007).

As quantidades de proteínas do solo relacionadas à glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) foram influenciadas significativamente pelos sistemas de uso do solo no período chuvoso, variando de  $1,58$  a  $2,54 \text{ mg g}^{-1}$ . No período seco não houve diferença significativa entre os manejos. Já no período chuvoso as áreas de caatinga fechada apresentaram a maior atividade de PSRG-FE ( $2,54 \text{ mg g}^{-1}$ ), enquanto que as áreas de caatinga aberta e de pastagem com herbáceas apresentaram valores menores que  $1,80 \text{ mg g}^{-1}$ . Nossos resultados indicam que a presença de vegetação em todos os tratamentos favoreceu a produção de glomalina, independentemente do tipo de uso da terra, uma vez que o acúmulo de glomalina no solo depende de vários fatores, incluindo a riqueza dos fungos micorrízicos, a composição da comunidade vegetal, os sistemas de uso da terra e as propriedades do solo (SINGH et al., 2016). A presença de vegetação em todos os tratamentos avaliados favoreceu a produção de glomalina, independentemente do tipo de uso da terra. O aumento na concentração de glomalina facilmente extraível PSRGFE na estação chuvosa é decorrente da influência da maior umidade na atividade fúngica e,

consequentemente, a produção de glomalina que está diretamente ligada à presença de hifas de fungos micorrízicos (GISPERT et al., 2018).

Os resultados do presente estudo corroboram os resultados obtidos por Rillig et al. (2003), de que os maiores teores de PSRGFE foram encontrados em vegetação nativa, possivelmente pelo fato de que a ausência de intervenções antrópicas promove condições favoráveis ao crescimento fúngico e, consequentemente, à produção de glomalina (SOUSA et al., 2012).

Alguns autores afirmam que as atividades humanas como a retirada da vegetação natural para uso pecuário e o uso de forma inadequado do solo, associadas aos fatores climáticos, como a intensidade luminosa e aumento de temperatura, prejudicam o desenvolvimento das hifas e esporos que são responsáveis pela produção da glomalina (CARDOZO, 2011). Esse motivo pode ter contribuído para os menores valores de PSRGFE nas áreas de caatinga aberta e pastagem com herbáceas, no período chuvoso.

Sistemas florestais tendem a propiciar uma eficiência maior nos processos de aporte de resíduos vegetais, decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, o que favorece a proliferação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), levando, consequentemente, a um maior desenvolvimento e decomposição das hifas (AUER et al., 2007). Considerando esse processo de produção e observando a relação direta da decomposição das hifas com o aumento da glomalina no solo é que se pode explicar esse resultado: os solos e coberturas vegetais florestais propiciaram uma maior produção de GFE em relação a pastagem com herbáceas.

A quantidade de proteínas do solo relacionadas à glomalina total (PSRG-T) foi influenciada significativamente pelos sistemas de uso do solo e variou de 2,85 a 5,56 mg g<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 2,88 a 3,90 mg g<sup>-1</sup> no período seco.

No período chuvoso as áreas de caatinga fechada apresentaram a maior atividade de PSRG (5,56 mg g<sup>-1</sup>) quando comparadas às áreas de caatinga aberta e pastagens com herbáceas (3,11 e 2,85 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Esses resultados mostram que a colonização micorrízica no período chuvoso foi estimulada pela condição de maior umidade do solo, o que pode ter favorecido a produção de novas raízes, aumentando, consequentemente, a disponibilidade de sítios livres para o estabelecimento da associação (REQUENA et al., 1996).

As raízes das plantas podem crescer continuamente ao longo de todo o ano, porém, a disponibilidade de nutrientes e as condições de umidade do solo interferem na proliferação das mesmas. As condições de deficiência hídrica podem diminuir essa

proliferação (TAIZ; ZEIGER, 2004), o que pode dificultar a produção de glomalina pelos FMAs. Desta forma, características de semiaridez mais acentuadas, juntamente com a condição do solo, podem ter contribuído para menores valores de PSRG-T no período seco. No período seco, as áreas de caatinga fechada apresentaram a maior atividade de PSRG-T ( $3,90 \text{ mg g}^{-1}$ ), seguida pela área de pastagem herbácea ( $3,08 \text{ mg g}^{-1}$ ) e área de caatinga aberta ( $2,88 \text{ mg g}^{-1}$ ).

Os resultados do presente estudo diferem dos encontrados por Ermran et al. (2012), que observaram que houve um aumento nos teores de PSRG-T no período seco, o que pode ser uma resposta dos fungos a situações de estresse. Durante períodos de estresse as hifas dos fungos micorrízicos são estimuladas a buscar nutrientes e água para manter o simbiote até que as condições ambientais se tornem favoráveis e produzem glomalina para aumentar a proteção de hifas frente a processos de dessecação (PENG et al., 2013). Porém, no Bioma Caatinga as plantas estão adaptadas às condições de deficiência hídrica severa durante a estação seca, restringindo seu crescimento, sendo que muitas espécies são decíduas.

Uma maior quantidade de PSRG-T nas áreas nativas no período seco pode estar relacionada ao acúmulo dessa proteína ao longo do tempo. A glomalina apresenta alta estabilidade no solo podendo permanecer 42 anos até sua mineralização completa (RILLIG et al., 2004). Nas áreas de pastagem, a influência da atividade pecuária pode estar contribuindo para o menor acúmulo dessa proteína no solo, uma vez que esta é considerada um dos atributos biológicos mais sensíveis a práticas de manejo do solo (BEDINI et al., 2007).

#### **4.2 Efeitos da sazonalidade e das coberturas do solo sobre a atividade das enzimas do solo em cada área de estudo**

Nas parcelas localizadas no município de Araripina, a atividade enzimática foi significativamente influenciada pelos sistemas de uso do solo, exceto a urease que não mostrou diferença significativa entre os períodos de coleta, nem entre os diferentes usos do solo nas parcelas estudadas. Com relação à atividade enzimática da fosfatase ácida, não houve diferença significativa entre os períodos do ano, nem entre as coberturas vegetais, no período seco. Já período chuvoso, os maiores valores foram encontrados na pastagem com herbácea ( $414,04 \text{ } \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e menores na Caatinga aberta ( $177,95 \text{ } \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e fechada ( $143,69 \text{ } \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ). Provavelmente devido a diferenças na decomposição de materiais vegetais entre as parcelas. Essa diferença pode ter sido causada

devido a influência de espécies ou tipos de materiais vegetais presentes no solo (LUCAS-BORJA et al. 2010).

**Tabela 5:** Estimativas das atividades de enzimas envolvidas na ciclagem de P, N e C nos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem com herbácea, no período seco e no período úmido.

| Município/cobertura do solo | Enzimas/Período (chuvoso ou seco) |             |                 |             |          |          |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|-------------|----------|----------|
|                             | Fosfatase ácida                   |             | β-glucosidase   |             | Urease   |          |
|                             | Chuvoso                           | Seco        | Chuvoso         | Seco        | Chuvoso  | Seco     |
| <b>Araripina</b>            |                                   |             |                 |             |          |          |
| Caatinga fechada            | 143,69<br>bAαβ                    | 250,92 aAα  | 1235,65aAα<br>β | 396,12aBβ   | 5,98aAα  | 5,28aAα  |
| Caatinga aberta             | 177,95<br>bAαβ                    | 254,29 aAα  | 342,39bAα       | 446,14aAβ   | 5,11aAβ  | 6,01aAβ  |
| Pastagem com herbáceas      | 414,04 aAα                        | 140,07 aBβ  | 812,36bAα       | 674,50aAβ   | 7,30aAα  | 8,51aAα  |
| Média geral período         | 245,25 A                          | 215,09 A    | 796,80 A        | 505,59 B    | 6,13A    | 6,60A    |
| Média geral (município)     | 230,16 α                          |             | 651,19 β        |             | 6,36 β   |          |
| <b>Arcoverde</b>            |                                   |             |                 |             |          |          |
| Caatinga fechada            | 71,65 bAβγ                        | 152,52 aAαβ | 346,01bBγ       | 1153,17aAα  | 8,46aAα  | 5,78bAα  |
| Caatinga aberta             | 162,43<br>abAαβ                   | 224,05 aAα  | 842,85aBbα      | 1387,80aAα  | 10,89aAα | 14,36aAα |
| Pastagem com herbáceas      | 184,11 aAβ                        | 127,34 aAβ  | 589,93aAα       | 1002,35aAαβ | 7,45aBα  | 14,75aAβ |
| Média geral período         | 139,40 A                          | 167,97 A    | 592,93B         | 1181,11A    | 8,93A    | 11,63A   |
| Média geral (município)     | 153,66 β                          |             | 887,02 α        |             | 10,28 α  |          |

**São Bento do  
uma**

|                         |                      |                    |                   |                    |                      |                 |
|-------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| Caatinga fechada        | 235,21aA $\alpha$    | 63,67 bB $\beta$   | 1050,95aA $\beta$ | 1097,39bA $\alpha$ | 7,58aA $\alpha$      | 5,87aA $\alpha$ |
| Caatinga aberta         | 200,31 aA $\alpha$   | 168,85 bA $\alpha$ | 841,29aA $\alpha$ | 1376,89bA $\alpha$ | 8,77aA $\alpha\beta$ | 6,13aA $\beta$  |
| Pastagem com herbáceas  | 130,08 aA $\beta$    | 384,62 aA $\alpha$ | 867,13aA $\alpha$ | 690,65aA $\beta$   | 5,69aA $\alpha$      | 5,11aA $\beta$  |
| Média geral período     | 188,53 A             | 205,71 A           | 919,79A           | 1054,98A           | 7,35A                | 5,71A           |
| Média geral (município) | 197,12 $\alpha\beta$ |                    | 987,38 $\alpha$   |                    | 6,53 $\beta$         |                 |

**Sertânia**

|                         |                   |                         |                    |                        |                      |                  |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| Caatinga fechada        | 24,08 aB $\gamma$ | 101,60 aA $\alpha\beta$ | 2074,00aA $\alpha$ | 341,21aB $\beta$       | 6,72abA $\alpha$     | 6,56bA $\alpha$  |
| Caatinga aberta         | 59,90 aA $\beta$  | 113,93 aA $\alpha$      | 747,03aA $\alpha$  | 981,35aA $\alpha\beta$ | 8,84aA $\alpha\beta$ | 11,26aA $\alpha$ |
| Pastagem com herbáceas  | 89,27 aA $\beta$  | 63,67 aA $\beta$        | 663,63aB $\alpha$  | 1599,76aA $\alpha$     | 5,07bA $\alpha$      | 6,88bA $\beta$   |
| Média geral período     | 57,75 B           | 93,07A                  | 1161,55A           | 974,11A                | 6,88B                | 8,23A            |
| Média geral (município) | 75,41 $\gamma$    |                         | 1067,83 $\alpha$   |                        | 7,55 $\beta$         |                  |
| CV (%)                  | 28,76             |                         | 25.91%             |                        | 15.23%               |                  |

Letras minúsculas comparam as diferentes coberturas do solo, dentro de cada área e período de estudo; letras maiúsculas comparam os períodos (seco ou chuvoso), dentro de cada manejo e de cada áreas; letras gregas comparam as médias gerais dos locais assim como as médias para o mesmo período e mesma cobertura do solo de cada local, utilizando o teste de teste t de Student (Bonferroni) a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação.

Para essas áreas de Araripina, a atividade enzimática da  $\beta$ -glucosidase, mostrou diferença significativa entre os períodos de coleta, apresentando maiores valores no período chuvoso ( $796,80 \mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e menores no período seco ( $505,59 \mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ), o que pode estar relacionado com diminuição da umidade do solo e aumento da temperatura, que influenciam diretamente a atividade da biomassa microbiana e consequentemente a produção de enzimas. Sardans e Penuelas (2005) observaram em seus estudos que a atividade da  $\beta$ -glicosidase diminuiu em 10-80% e 35-83% quando a umidade do solo foi reduzida em 10% e 21%, respectivamente, demonstrando que a seca influencia a atividade da  $\beta$ -glicosidase e suas características catalíticas. No período chuvoso a atividade da  $\beta$ -glucosidase foi maior na Caatinga fechada ( $1235,65 \mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e menor na Caatinga aberta ( $342,39 \mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ). A atividade dessa enzima é influenciada pela cultura, qualidade dos resíduos e uma série de manejos do solo. A redução da intensidade do preparo do solo e menor atividade antrópica na caatinga fechada favorece a atividade enzimática devido à melhoria na biomassa microbiana que é maior quando há um aporte permanente de matéria orgânica, como é o caso de florestas preservadas, gerando uma maior disponibilidade de substrato (SINSABAUGH et al., 2008).

Nas parcelas permanentes localizadas no município de Arcoverde, a atividade enzimática foi significativamente influenciada pelos períodos de coleta e sistemas de uso do solo. A atividade enzimática da fosfatase ácida, não apresentou diferença significativa entre os períodos do ano. No período chuvoso os maiores valores foram encontrados na parcela de pastagem com herbácea ( $184,11 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e menores na parcela de caatinga fechada ( $71,65 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ).

Com relação à atividade enzimática da  $\beta$ -glucosidase, nas áreas de Arcoverde houve diferença significativa entre os períodos de coleta, sendo observado maiores valores no período seco ( $1181,11 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ), quando comparado com o chuvoso ( $592,93 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) que apresentou maiores valores na parcela de caatinga aberta ( $842,85 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e menores na parcela de Caatinga fechada  $346,01 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ . Essa diferença pode ser explicada pela influência das condições climáticas sobre o metabolismo dos organismos que estão sintetizando essa enzima no solo. Evangelista et al. (2012), em estudos realizados em solos de clima tropical, também observaram variação sazonal semelhante na atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase. Com relação a maiores valores encontrados na caatinga aberta pode ser devido a maior abertura na copa das árvores nessas parcelas, que podem acabar permitindo com que haja uma maior incidência solar nesse

solo, resultando em aumento da temperatura e maior atividade da  $\beta$ -glucosidase (RODRIGUES et al., 2011).

A atividade enzimática da urease, não mostrou diferença significativa entre os períodos, nem entre os manejos no período seco. No período chuvoso foi maior na parcela de pastagem com herbácea ( $14,75 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ ) e menor na caatinga fechada ( $5,78 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ ). Solos de caatinga fechada tendem a ter naturalmente uma maior umidade devido ao tipo de vegetação e sombreamento das árvores. Ciabotti (2013) ao estudar diferentes usos da terra sob áreas de floresta, cultivo e pastagem degradada, observou uma correlação negativa entre a atividade da urease com a umidade do solo. O autor mostrou que a taxa na atividade da urease foi menor quanto maior foi o teor de umidade do solo. Sendo assim, a atividade da urease provavelmente sofreu influência de fatores como temperatura, pH e umidade.

Nas parcelas localizadas no município de São Bento do Una, a atividade enzimática foi significativamente influenciada pelos sistemas de uso do solo, exceto a urease que não mostrou diferença significativa entre os períodos e sistemas de uso do solo nas parcelas estudadas. A atividade enzimática da fosfatase ácida, não demonstrou diferença significativa entre os períodos do ano. No período seco a atividade da fosfatase ácida foi maior na parcela de pastagem com herbácea ( $384,62 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{solo h}^{-1}$ ) e menor na Caatinga aberta e fechada, ( $168,85$  e  $63,67 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{solo h}^{-1}$ ), respectivamente.

A atividade enzimática da  $\beta$ -glucosidase, não demonstrou diferença significativa entre os períodos de coleta. No período seco a atividade desta enzima foi maior na parcela de caatinga aberta ( $1376,89 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{solo h}^{-1}$ ) e fechada ( $1097,39 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{solo h}^{-1}$ ) e menor na parcela de pastagem com herbácea ( $690,65 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{solo h}^{-1}$ ).

As áreas de caatinga fechada e aberta apresentam relação direta com o maior acúmulo de serapilheira, que pode influenciar diretamente na qualidade do solo. Entre os principais benefícios, pode elevar os teores de C no solo, assim como a atividade dos microorganismos que sintetizam a  $\beta$ -glucosidase (PEREIRA et al., 2021).

Nas parcelas localizadas no município de Sertânia, a atividade enzimática foi significativamente influenciada pelos sistemas de uso do solo, exceto para a  $\beta$ -glucosidase que não mostrou diferença significativa entre os manejos e períodos de coleta. Isto mostra que após a exclusão animal a comunidade microbiana pode está se restabelecendo ao ponto da atividade enzimática na pastagem com herbácea já demonstra valores parecidos com caatinga fechada.

Em relação à atividade enzimática da fosfatase ácida, não houve diferença significativa entre os manejos. Porém entre os períodos de coleta foi quantificada maior atividade dessa enzima no período seco ( $93,07 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) quando comparados com o período chuvoso ( $57,75 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ). A mudança entre os períodos leva a variações na temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica, de nutrientes e matéria orgânica do solo. O aumento da temperatura pode ter aumentado o processo de decomposição (SAMPAIO, 1995) e favorecido a atividade enzimática da fosfatase ácida.

Ao comparar a atividade enzimática da fosfatase ácida entre os locais de coleta foi observada uma diferença significativa entre os diferentes municípios. Onde foram encontrados valores maiores para atividade desta enzima no município de Araripina ( $230,16 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ ), valores intermediário no município de São Bento do Una ( $197,12 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ ) e menores valores nos municípios de Arcoverde ( $153,66 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ ) e Sertânia ( $75,41 \mu\text{g PNP g}^{-1}$ ).

Essa diferença observada pode estar relacionada com a presença do Fósforo disponível nessas áreas. Pois as enzimas fosfatases desempenham um papel muito importante no ciclo do fósforo nos solos, podendo ser correlacionada à deficiência de fósforo e ao crescimento das plantas (MELO, 2017). Entre os locais de coleta, Sertânia apresentou maiores valores quantificados de fósforo no solo ( $66.72 \text{ mg/dm}^3$ ) e menor atividade da fosfatase ácida. Esse resultado mostra que quando há alta disponibilidade de fósforo no solo, pode ocorrer redução da atividade da enzima fosfatase ácida, pois a sintetização da fosfatase ácida ocorre em determinadas situações, mais especificamente, quando se tem condições de baixa disponibilidade de fósforo inorgânico no solo (SANTOS et al., 2019).

De modo contrário, os solos da localidade de apresentou menores quantidades de fósforo disponível no solo ( $3.23 \text{ mg/dm}^3$ ) e maior atividade da Fosfatase ácida. Outro fator que pode ter influenciado na diferença observada na atividade da fosfatase ácida entre os municípios é o tipo de solo predominante em cada área coletada. Em Araripina a atividade da fosfatase ácida foi maior. O solo presente na área foi um Latossolo Amarelo que geralmente possui uma baixa fertilidade natural, com baixa soma de bases ( $S=1.36 \text{ cmolc/dm}^3$ ), e muitas vezes apresentam teores muito baixos de fósforo assimilável ( $P=3,17 \text{ mg/dm}^3$ ). O que pode ter contribuído para o aumento na produção da fosfatase ácida pelos organismos presentes no solo.

Entre os fatores que podem influenciar a atividade da fosfatase ácida no solo, pode-se citar o pH do solo que influencia influencia a taxa de síntese, liberação e estabilidade da

fosfatase ácida (ACOSTA-MARTINEZ E TABATABAI, 2000), ocorrendo diminuição de sua atividade conforme o pH do solo aumenta (BALOTA et al., 2013). Entre as áreas de coleta o município de Araripina foi o local com menor taxa de pH em H<sub>2</sub>O (4.24), seguido por Arcoverde (4.97), (5.18) e Sertânia (6.02).

Entre os locais estudados, o município de Araripina tem uma alta taxa de precipitação anual (711,2 mm), comparado aos outros municípios. O que pode ter contribuído para os maiores valores da atividade da fosfatase ácida nesse local.

Ao comparar a atividade enzimática da  $\beta$ -glucosidase entre os locais de coleta foi observada uma diferença significativa entre os diferentes municípios. Onde foram observados maiores valores no município de Sertânia (1067,83  $\mu\text{g PNP g}^{-1}$ ), São Bento do Una (987,38  $\mu\text{g PNP g}^{-1}$ ) e Arcoverde (887,02  $\mu\text{g PNP g}^{-1}$ ) e menor valores em Araripina (651,19  $\mu\text{g PNP g}^{-1}$ ).

A atividade da  $\beta$ -glucosidase depende significativamente de fatores como o pH do solo, teor de nitrogênio total, carbono orgânico, profundidade, textura do solo, tipo de solo, umidade do solo e espécies de plantas (WANG E LU 2006; PIOTROWSKA E KOPER 2010; WYSZKOWSKA et al. 2010; VEVERKA et al. 2019). Essa enzima é sintetizada predominantemente por plantas e micro-organismos (VEENA et al., 2011). Ao observar os resultados das análises físico-química dos solos coletados (Tabela 2 e 3), podemos observar que a percentagem de saturação por alumínio (m%) é mais alta no solo coletado em Araripina (39.72%) quando comparado com os outros locais de coleta como Arcoverde (3.06%), São Bento do Una (5.56%) e Sertânia (0.21%). Em pH baixo, que é o caso do solo de Araripina, o H<sup>+</sup> atua sobre os minerais liberando íons Al<sup>3+</sup> que ficam predominantemente retidos pelas cargas negativas das partículas coloidais do solo. Assim, a quantidade de Al<sup>3+</sup> em solução aumenta (SPOSITO, 2008). Esses valores nos dão uma referência da probabilidade de ocorrer toxidez de alumínio para os organismos do solo presentes nesses solos. A forte presença de alumínio nas áreas de coleta em Araripina pode estar contribuindo para os baixos valores da atividade da  $\beta$ -glicosidase encontrados neste local.

O solo da parcela localizada em Sertânia foi classificado como um Luvisolo Crômico que é um solo naturalmente permeável e quimicamente fértil (boa saturação por bases 89.50%, alumínio baixo ou nulo (0.21%), e quantidade expressiva de argilominerais 2:1) (SANTOS et. al., 2018). O que pode ter contribuído para uma maior taxa na atividade enzimática entre os locais de coleta.

A atividade da Urease foi influenciada significativamente pelos diferentes locais de coleta, com maior atividade nas áreas de coleta no município de Arcoverde 10.28  $\mu\text{g NH}_4$ -

$\text{N g}^{-1} \text{ dwt } 2\text{h}^{-1}$  e menores em Sertânia  $7,55 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ dwt } 2\text{h}^{-1}$ , São Bento do Una  $6,53 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ dwt } 2\text{h}^{-1}$  e Araripina  $6,36 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ dwt } 2\text{h}^{-1}$  que não diferiram estatisticamente entre si.

A estabilidade da urease no solo depende de vários fatores, incluindo a umidade e temperatura do solo. Entre as áreas de coleta, Arcoverde teve uma maior precipitação média anual (798,7 mm) quando comparado com os outros locais de coleta. Os dados encontrados no presente estudo corroboram com os de Sardans e Penuelas, (2005) que observaram que a redução da umidade do solo em 10% e 21% levou a reduções de 10-67% e 42-62% da atividade enzimática da urease no solo.

### **4.3 Efeitos da sazonalidade e das coberturas do solo sobre as proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) em cada área de estudo**

Nas parcelas localizadas no município de Araripina, a atividade das proteínas do solo relacionadas à glomalina foi significativamente influenciada pela sazonalidade e sistemas de uso do solo. Em relação à atividade das PSRG facilmente extraível não houve diferença significativa entre os períodos. Em relação aos manejos, foram observados maiores valores nas parcelas de caatinga fechada ( $1.53 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menores na caatinga aberta ( $0.70 \text{ mg g}^{-1}$ ). A atividade da PSRG total demonstrou maiores valores no período chuvoso ( $2.75 \text{ mg g}^{-1}$ ) quando comparado com o seco ( $2.42 \text{ mg g}^{-1}$ ). Foram observados maiores valores na caatinga fechada ( $4.12 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menores na parcela de pastagem com herbácea ( $2.03 \text{ mg g}^{-1}$ ) no período chuvoso, seguindo a mesma tendência no período seco com ( $3.50 \text{ mg g}^{-1}$ ) na caatinga fechada e ( $1.64 \text{ mg g}^{-1}$ ) na pastagem com herbácea.

Nas parcelas localizadas no município de Arcoverde, a atividade das proteínas do solo relacionadas à glomalina foi significativamente influenciada pela sazonalidade, mas não mostrou diferença entre as coberturas do solo. Em relação à atividade das PSRG facilmente extraível foram encontrados maiores valores no período chuvoso ( $2.00 \text{ mg g}^{-1}$ ) quando comparado com o seco ( $1.31 \text{ mg g}^{-1}$ ). A atividade das PSRG total, não mostrou diferença significativa.

No município de São Bento do Una, a atividade da PSRG facilmente extraível apresentou no período chuvoso maior quantidade na caatinga fechada ( $2.43 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menor na pastagem com herbácea ( $0.95 \text{ mg g}^{-1}$ ). Com relação à atividade das PSRG total foram encontrados maiores valores no período chuvoso ( $3.00 \text{ mg g}^{-1}$ ) quando comparado com o seco ( $2.32 \text{ mg g}^{-1}$ ). No período chuvoso foram observados maiores valores na parcela de caatinga fechada ( $4.97 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menores na pastagem com herbácea ( $1.23 \text{ mg g}^{-1}$ ).

**Tabela 6:** Estimativas das proteínas do solo relacionadas à glomalina nos solos sob caatinga fechada, caatinga aberta e pastagem com herbácea, no período seco e no período úmido

| Município/cobertura do solo | Glomalina/Período (chuvoso ou seco) |                       |                       |                       |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                             | GFE                                 |                       | GT                    |                       |
|                             | Chuvoso                             | Seco                  | Chuvoso               | Seco                  |
| <b>Araripina</b>            |                                     |                       |                       |                       |
| Caatinga fechada            | 1.53 aA $\beta$                     | 1.31 aA $\beta$       | 4.12 aA $\beta$       | 3.50 aA $\beta$       |
| Caatinga aberta             | 0.70 bA $\beta$                     | 0.90 aA $\gamma$      | 2.09 bA $\beta$       | 2.10 abA $\beta$      |
| Pastagem com herbáceas      | 1.22 abA $\beta\gamma$              | 1.36 aA $\beta$       | 2.03 bA $\beta$       | 1.64 bA $\beta$       |
| Média geral período         | 1.15 A                              | 1.19 A                | 2.75 A                | 2.42 B                |
| Média geral (município)     | 1.17 $\beta$                        |                       | 2.58 $\gamma$         |                       |
| <b>Arcoverde</b>            |                                     |                       |                       |                       |
| Caatinga fechada            | 2.08 aA $\beta$                     | 1.57 aA $\beta$       | 4.43 aA $\beta$       | 3.05 aB $\beta$       |
| Caatinga aberta             | 1.92 aA $\alpha$                    | 1.04 aB $\beta\gamma$ | 3.21 aA $\alpha\beta$ | 2.24 aA $\beta$       |
| Pastagem com herbáceas      | 1.99 aA $\alpha\beta$               | 1.32 aA $\beta$       | 3.89 aA $\alpha$      | 3.15 aA $\alpha\beta$ |
| Média geral período         | 2.00 A                              | 1.31 B                | 3.84 A                | 2.81 A                |
| Média geral (município)     | 1.65 $\alpha\beta$                  |                       | 3.33 $\beta$          |                       |
| <b>São Bento do Uma</b>     |                                     |                       |                       |                       |
| Caatinga fechada            | 2.43 aA $\beta$                     | 1.20 aB $\beta$       | 4.97 aB $\beta$       | 2.61 aA $\beta$       |
| Caatinga aberta             | 1.72 abA $\alpha$                   | 1.91 aA $\alpha\beta$ | 2.81 bA $\alpha\beta$ | 1.63 aA $\beta$       |
| Pastagem com herbáceas      | 0.95 bA $\gamma$                    | 1.50 aA $\beta$       | 1.23 bB $\beta$       | 2.73 aA $\beta$       |

|                         |                    |                  |                    |                   |
|-------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Média geral período     | 1.70 A             | 1.54 A           | 3.00 A             | 2.32 B            |
| Média geral (município) | 1.62 $\alpha\beta$ |                  | 2.66 $\beta\gamma$ |                   |
| <b>Sertânia</b>         |                    |                  |                    |                   |
| Caatinga fechada        | 4.10 aA $\alpha$   | 4.34 aA $\alpha$ | 8.72 aA $\alpha$   | 6.44 aB $\alpha$  |
| Caatinga aberta         | 1.98 bA $\alpha$   | 2.24 bA $\alpha$ | 4.38 bA $\alpha$   | 5.55 abA $\alpha$ |
| Pastagem com herbáceas  | 3.00 abA $\alpha$  | 3.04 bA $\alpha$ | 4.19 bA $\alpha$   | 4.78 bA $\alpha$  |
| Média geral período     | 3.02 A             | 3.21 A           | 5.76 A             | 5.59 A            |
| Média geral (município) | 3.12 $\alpha$      |                  | 5.68 $\alpha$      |                   |
| CV (%)                  | 7.59%              |                  | 22.49%             |                   |

Letras minúsculas comparam as diferentes coberturas do solo, dentro de cada área e período de estudo; letras maiúsculas comparam os períodos (seco ou chuvoso), dentro de cada manejo e de cada áreas; letras gregas comparam as médias gerais dos locais assim como as médias para o mesmo período e mesma cobertura do solo de cada local, utilizando o teste de teste t de Student (Bonferroni) a 5% de probabilidade.

No município de Sertânia, a atividade das PSRG facilmente extraível, não mostrou diferença entre os períodos. No período chuvoso foram observados maiores valores na caatinga fechada ( $4.10 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menores na caatinga aberta ( $1.98 \text{ mg g}^{-1}$ ), seguindo a mesma tendência do período seco com ( $4.34 \text{ mg g}^{-1}$ ) na caatinga fechada e ( $2.24 \text{ mg g}^{-1}$ ) na caatinga aberta. Em relação à atividade da PSRG total, no período chuvoso foram observados maiores valores na caatinga fechada ( $8.72 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menor na pastagem com herbácea ( $4.19 \text{ mg g}^{-1}$ ). No período seco foi maior na caatinga fechada ( $6.44 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menor na pastagem com herbácea ( $4.78 \text{ mg g}^{-1}$ ).

Ao analisar os diferentes locais de coleta é possível observar uma tendência geral de maiores valores da atividade da PSRG facilmente extraível e total nas parcelas de Caatinga fechada e menores valores nas parcelas de pastagem com herbácea. Além de maiores teores encontrados no período chuvoso. Possivelmente devido às consequências do déficit hídrico no período de seca, que pode trazer consequências como à menor atividade microbiana causada pela diminuição da produção vegetal e aporte de matéria orgânica no solo (SILVA et al. (2012). No período seco há menor disponibilidade de matéria orgânica e conseqüentemente menor atividade biológica e enzimática, devido a carência de substrato.

Com relação aos sistemas de uso do solo, ambientes mais preservados, como a parcela de caatinga fechada, naturalmente tendem a apresentar maior disponibilidade de carbono no solo e maior aporte de matéria orgânica, que pode favorecer uma maior umidade e controle de temperatura entre outras características (TEMPLER et al., 2005). Diversos estudos têm relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas e de pastagem do que em solos de áreas preservadas (RILLIG et al., 2003; BIRD et al., 2002).

Ao comparar a atividade da PSRG facilmente extraível e total entre os locais de coleta foi observada uma diferença significativa entre os diferentes municípios. As PSRG facilmente extraíveis demonstraram maior valor em Sertânia ( $3.12 \text{ mg g}^{-1}$ ), valores intermediários em São Bento do Una ( $1.62 \text{ mg g}^{-1}$ ) e Arcoverde ( $1.65 \text{ mg g}^{-1}$ ) e menores valores em Araripina ( $1.17 \text{ mg g}^{-1}$ ). As PSRG total apresentaram maiores valores em Sertânia ( $5.68 \text{ mg g}^{-1}$ ), seguido por Arcoverde ( $3.33 \text{ mg g}^{-1}$ ) e São Bento do Una ( $2.66 \text{ mg g}^{-1}$ ) e Araripina ( $2.58 \text{ mg g}^{-1}$ ) com diferença significativa entre eles.

O solo presente na parcela permanente localizada no município de Sertânia, onde foi encontrado maior teor de PSRG-FE e PSRG-T, foi classificado como um luvisolo

crômico. Apresentando maior teor de P ( $66,72 \text{ mg/dm}^3$ ), maior pH (5,8), Sb ( $12,5 \text{ Cmolc/dm}^3$ ) e CTC ( $13,9 \text{ Cmolc/dm}^3$ ).

Araripina, demonstrou o menor teor de PSRG-FE e PSRG-T. O solo dessa parcela foi classificado como um latossolo amarelo, com valores de P ( $3,2 \text{ mg/dm}^3$ ), pH (4,1), SB ( $1,36 \text{ Cmolc/dm}^3$ ) e CTC ( $6,21 \text{ Cmolc/dm}^3$ ). E maior valor de saturação por alumínio -m- (39,79%). Esses resultados diferem dos encontrados por Haddad e Sarkar (2003) que observaram correlação negativa entre concentrações de glomalina e o pH do solo. Fungos tendem a predominar em solos ácidos, pois em solos alcalinos existe maior concorrência com bactérias e outros organismos (BRADY, 1990).

É de se esperar que haja maior produção desta proteína em solos ácidos em virtude de maior atividade fúngica. Nas áreas de coleta, os maiores teores de PSRG-FE e PSRG-T foram encontrados no solo de Sertânia, que entre os municípios estudados, apresentou maior pH (5,8). E menores teores encontrados em Araripina com menor pH (4,1). O que mostra que no presente estudo o pH do solo não interferiu na produção de glomalina.

A alta saturação por Alumínio no solo presente no município de Araripina pode ter contribuído para os menores teores de PSRG-FE e total observados no presente estudo. Uma vez que a toxicidade de Alumínio nos solos ácidos é um dos principais fatores de limitação para o crescimento de plantas devido a inibição do crescimento radicular (YANG et al. 2009), o que pode prejudicar o desenvolvimento das micorrizas e conseqüentemente a produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina pelos FMAs.

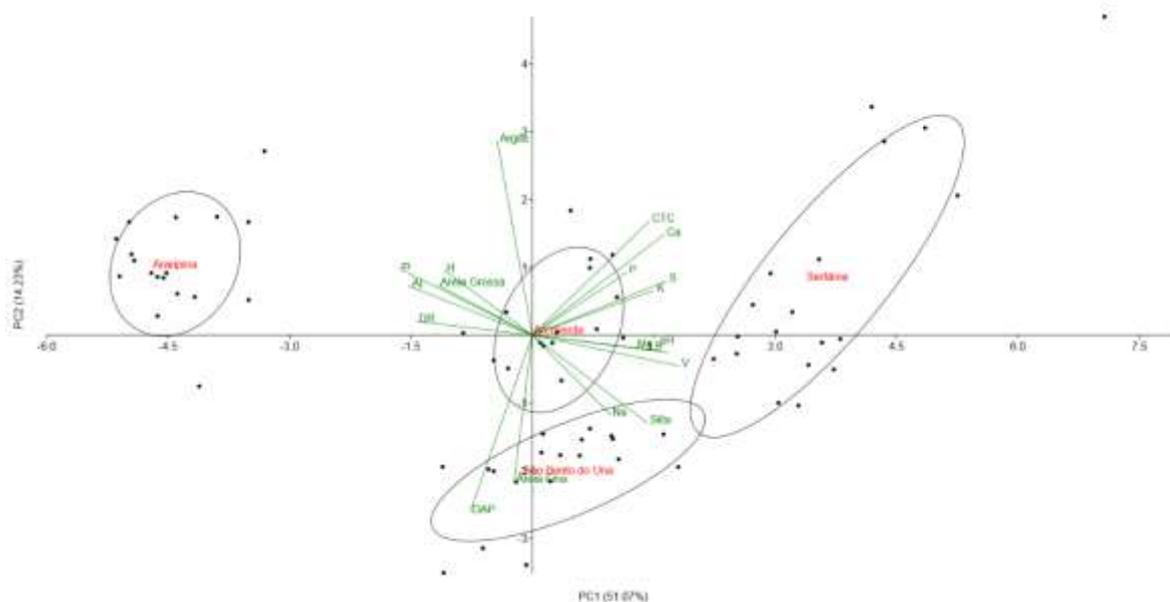
Lovelock et al. (2004) verificaram que solos com altas concentrações de P apresentaram menores concentrações de glomalina. Em condições de maior disponibilidade de nutrientes, principalmente N e P, sinais moleculares emitidos pela planta hospedeira são afetados, inibindo a associação micorrízica, e conseqüentemente, a produção de PSRG. O que difere dos resultados encontrados neste estudo onde o solo de Sertânia com maior teor de fósforo ( $66,72 \text{ mg/dm}^3$ ) apresentou maiores teores de glomalina comparados aos de Araripina ( $3,2 \text{ mg/dm}^3$ ) que apresentou menor teor de fósforo e maior teor de PSRG.

Além do pH, saturação por alumínio e disponibilidade de fósforo, os estoques de PSRG no solo podem ser indiretamente influenciados por fatores que controlam os fungos micorrízicos arbusculares FMAs.

A produção de glomalina também pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo (RILLIG et al., 2003) que pode interferir na umidade, aeração, compactação, inundação e temperatura do solo.

#### 4.4 Análises multivariadas

**Figura 6:** Análise de componentes principais (PCA) das características químicas e físicas dos solos amostrados em quatro pontos no Semiárido de Pernambuco. PC1 e PC2 correspondem aos componentes principais 1 e 2, respectivamente.



Os PC1 e PC2 respondem por 65,3% da variância observada. A análise separa as 4 áreas e mostra que a de Araripina é a mais diferente. São Bento e Arcoverde não se diferenciam no eixo 1, mas sim no eixo 2. A diferença de Araripina está relacionada principalmente ao alumínio e à acidez e a de Sertânia, no outro extremo do eixo 1 à presença de Ca, Mg e K, e, conseqüentemente à soma de bases. A diferença de São Bento e Arcoverde, no eixo 2, está relacionada à presença de Na e à textura mais fina.

Além das análises de componentes principais, foram realizadas análise de redundância (RDA) das atividades enzimáticas e das quantidades de glomalina (Apêndice 1) e correlação de Pearson, entre os atributos dos solos e as variáveis biológicas em solos de áreas de uso forrageiro em pousio há 3 anos no Bioma Caatinga (Apêndice 2). Essas análises multivariadas serão importantes para melhor compreensão do processo de regeneração da qualidade do solo durante o pousio nas áreas com diferentes tipos de cobertura vegetal inicial.

## 6 CONCLUSÕES

As atividades de enzimas envolvidas na ciclagem biogeoquímica e as quantidades de PSRG no solo de áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga sofreram influência da sazonalidade.

A regeneração da vegetação nativa com a suspensão da atividade pastoril resultou em aumento das quantidades de PSRG facilmente extraível e total no solo, que apresentaram maiores valores nas parcelas de caatinga fechada e menores nas parcelas de pastagem com herbáceas.

Com relação às diferenças espaciais das quantidades de PSRG facilmente extraível e total entre os locais de coleta com parcelas permanentes estabelecidas em áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga, apresentaram maiores teores no município de Sertânia e menor em Araripina.

O presente trabalho demonstrou que o manejo de exclusão do pastoreio pode recuperar a atividade enzimática e teores PSRG em solos com parcelas permanentes estabelecidas em áreas de uso forrageiro no bioma Caatinga.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEDO, T. S.; PAULINO, M. F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. DE C.; MORAES, E. H. B. K.; FIGUEIREDO, D. M. Níveis de uréia em suplementos para terminação de bovinos em pastejo durante a época seca. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.29, n.3, p.301-308. 2007 <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v29i3.560>

ACOSTA-MARTINEZ, V.; KLOSE, S.; ZOBECK, T. Enzyme activities in semiarid soils under conservation reserve program, native rangeland, and cropland. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v. 166, p.699-707. 2003. <https://doi.org/10.1002/jpln.200321215>

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; TABATABAI, M. A. Phosphorus cycle enzymes. **Soil Science Society of America**, p. 161–183, 2011. <https://doi.org/10.2136/sssabookser9.c8>

ACOSTA-MARTINEZ, V.; TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**. v.31, p.85-91. 2000. <https://doi.org/10.1007/s003740050628>

ADAMCZYK, B.; KILPELÄINEN, P.; KITUNEN, V.; SMOLANDER, A. Potential activities of enzymes involved in N, C, P and S cycling in boreal forest soil under different tree species. **Pedobiologia**, v. 57, n. 2, p. 97-102, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2013.12.003>

ADETUNJI, A. T.; LEWU, F. B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. The biological activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: A review. **Journal of Soil Science Plant Nutrition**, v. 17, n.3, p.794-807, 2017. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000300018>.

ALVARENGA, P.; C MOURINHA, M.; FARTO, P.; PALMA O. Quality Assessment of a Battery of Organic Wastes and Composts Using Maturity, Stability and Enzymatic Parameters. **Waste and Biomass Valorization**, v. 7, n.3, p. 455–465, 2016. <https://doi.org/10.1007 / s12649-015-9468-y>

ALMEIDA, M. C.; TRINDADE, A. V.; MAIA, I. C. S.; MARQUES, M. C. Influências dos diferentes sistemas de manejo no comportamento da microbiota do solo em áreas sob cultivo de mamão na região de Cruz das Almas, BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 1, p. 67-75, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.05.003>

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. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.03.011>

ANGELINI R.; LOSS G. A.; PEREIRA G.; RODRIGUES T. P; LUIZ J.; SAGGIN J.; ORIVALDO J.; Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33 n.1, 2012, p. 115-130 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744111011>

ARAÚJO FILHO, J. A. Manejo pastoril sustentável da caatinga. **Projeto Dom Helder Camara**, 2013. p. 200

ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MORENO, C. E.; GALÁN-ACEDO, C. La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, p. 42–51, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.004>

BAKSHI, M.; VARMA, A. Enzima do solo: o estado da arte. **Biologia do Solo**, p1-23, 2011. [http://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3\\_1](http://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3_1)

BALASUBRAMANIAN, A.; PONNURAJ, K. Estrutura cristalina da primeira urease vegetal de Jack Bean: 83 anos de jornada de seu primeiro cristal à estrutura molecular. **Journal of Molecular Biology**, v. 400 n.3, p.274-283, 2010. <http://doi.org/10.1016/j.jmb.2010.05.009>.

BALOTA E. L.; NOGUEIRA M.; MENDES I. C.; HUNGRIA M.; FAGOTTI D.S.L.; MELO G.M.P. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n.6, p. 221–278, 2013. <https://doi.org/10.1007/s003740058628>

BALOTA, E. L.; YADA, I. F.; AMARAL, H.; NAKATANI, A. S.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Long-term land use influences soil microbial biomass p and s, phosphatase and arylsulfatase activities, and s mineralization in a Brazilian Oxisol. **Land Degradation & Development**, v. 25, n. 4, p. 397-406, 2014. <https://doi.org/10.1002/ldr.2242>

ANTONINO A.C.D; HAMMECKER C. Human disturbance affects enzyme activity, microbial biomass and organic carbon in tropical dry sub-humid pasture and forest soils, **Archives of Agronomy and Soil Science**. V. 66, p. 265-274, 2019.

<http://doi.org/10.1080/03650340.2019.1622095>

BEHESHTI, A; RAIESI, F; GOLCHIN, A. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 121-133, 2012.

<http://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.001>

BLONSKA, E.; LASOTA, J. Biological and biochemical properties in evaluation of forest soil quality. **Folia Forestalia Polonica**. v.56, p.23-29, 2014.

<https://doi.org/10.2478/ffp-2014-0003>

BOGAERTS, M; LORA, C.; IAN, R.; MIKAELA, R.; REEM, H.; CINIRO, C. J.; PETER, N. Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 1539-1550, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.130>

BORIE, F.; RUBIO, R.; MORALES, A. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**. v. 8, n. 2, p. 9-18, 2008.

<https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000200003>

BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 10. ed. New York: Macmillan Publishing, 1990. p. 227-230

BUNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAIC, Z.; CREAMERB, R. E.; DEYNB, G. D.; GOEDEB, R. D.; FLESKENS, L.; GEISSEND, V.; KUYPERB, T. W.; MADERA, P.; PULLEMANB, M.; SUKKELF, W.; GROENIGENB, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – a critical review. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 120, p. 105-125, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>

BURNS, R.G.; DEFOREST, J.L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R.L.; STROMBERGER, M.E.; WALLENSTEIN, M.D.; WEINTRAUB, M.N.; ZOPPINI, A.. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry** v.58, p.216–234, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.009>

CAMPO, J.; MERINO, A. Variations in soil carbon sequestration and their determinants along a precipitation gradient in seasonally dry tropical forest ecosystems. **Global Change Biology**. v22, p. 1942–1956, 2016 . <https://doi.org/10.1111/gcb.13244>

DE CARVALHO-NETO, F. G.; DA SILVA, J. R.; SANTOS, N.; ROHDE, C.; GARCIA, A. C. L.; MONTES, M. A. The heterogeneity of Caatinga biome: an overview of the bat fauna. **Mammalia**, v. 81, n. 3, p. 257–264, 2017.

<https://doi.org/10.1515/mammalia-2015-0046>

CASTRO, A.S.; CAVALCANTE, A. Flores da caatinga. Campina Grande: **Instituto Nacional do Semiárido**, p 116, 2011.

- CAVALCANTE, W. F.; CRUZ, L. R. S; SILVA E. G; OLIVEIRA J. T. C; MOREIRA K.A; Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action Forest Science. **Revista Caatinga**, v. 33 n.1, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n116rc>
- CARDOZO JUNIOR, F. M.; ROMERO F. V. C.; SANDRA M. B. R.; LUIS A. P. L. N.; VILMA, M. S.S; LIDIANE, L. F.; ADEMIR, S. F. A. 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. <https://doi.org/10.1002/ldr.2565>
- CARDOZO JÚNIOR, F. M. Dinâmica e biodiversidade de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes áreas sob influência do processo de desertificação em Gilbués-Brasil. Universidade Federal do Piauí. Piauí- Gilbués. Dissertação (Mestrado em Agronomia), 2011.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solos com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1443-1452, 2001. <https://doi.org/10.1007/s003740058628>
- CIABOTTI, E.D.C. Atributos Microbiológicos, químicos e granulométricos de organossolo e latossolos vermelhos: efeito sazonal e uso do solo. 2013. 99 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.
- CONDON, L.M.; TURNER, B.L.; CADE-MENUN, B.J.; SIMS, J.; SHARPLEY, A. Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. **Phosphorus: Agriculture and the environment**. p. 87-121, 2005. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr46.c4>
- CORNEJO, P.; MEIER, S.; BORIE, G.; RILING, M. C.; BORIE, F. Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. **Science of the Total Environment**, v. 406, n. 1-2, p. 154-160, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.045>
- CUEVAS, R.M.; HIDALGO, C.; PAYÁN, F.; ETCHEVERS, J.D.; CAMPO, J. Precipitation influences on active fractions of soil organic matter in seasonally dry tropical forests of the Yucatan: Regional and seasonal patterns. **European Journal of Forest Research**. v.132, p.667–677, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0703-4>.
- DE OLIVEIRA S.E.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P; JUNIOR, M. A. L.; BROSSARD, M.; OLIVEIRA, J. B.; HAMMECKER, C. Seasonal effect of land use type on soil absolute and specific enzyme activities in a Brazilian semi-arid region. **Catena**, v.172, p.397–407, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.007>
- DEFRIES, R. E; ROSENZWEIG C. Rumo a uma abordagem de toda a paisagem para o uso sustentável da terra nos trópicos. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v.107 , p.19627-19632, 2010. <https://doi.org/10.1073 / pnas.1011163107>.
- DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. **Revista caatinga**. v.96. p.154-160. 2003. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c15>

DOBO, B.; ASEFA, F.; ASFAW, Z. Effect of tree-enset-coffee based agro-forestry practices on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species diversity and spore density. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 2, p. 525– 540, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0042-9>

DORAN, J.W., PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. **Soil Science Society of America Journal**. v. 35, p. 3–21, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1>

DORAN, J.W., SARRANTONIO, M., LIEBIG, M.A. Soil Health and Sustainability, **Advances in Agronomy**. v.45. p. 1–54, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60178-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60178-9)

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. Factors affecting glucosidase and galactosidase in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v.22, p.891-897. 1990. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90126-K](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90126-K)

ELLIS J.L.; KEBREAB E.; ODONGO N.E.; BEAUCHEMIN K.; MCGINN S.; NKRUMAH J.D.; MOORE S.S.; CHRISTOPHERSON R.; MURDOCH G.K.; MCBRIDE B.W.; OKINE E.K.; FRANCE J. Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. **Journal of Animal Science**. v.87 n.4, p.1334-45, 2009. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0725>

EMRAN, M.; GISPERT, M.; PARDINI, G. Patterns of soil organic carbon, glomalina and structural stability in abandoned Mediterranean terraced lands. **European Journal of Soil Science**, v.63, p.637-649, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01493.x>

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura de cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n.4, p.1251-1262, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n4p1251>

FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A. Estrutura e dinâmica de populações infestantes de *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae) em áreas de Caatinga, Brasil. **Gaia Scientia**, v.8, p.326-337, 2015. <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/19338>. Acesso em: 4 fev. 2022.

FAO. Status of the world's soil resources (SWSR)--main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy 650. Rome, Italy, 2015.

FAO—Food and Agriculture Organization. Principles for the assessment of livestock impacts on biodiversity. In *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*; Rome, Italy, 2016.

FEKETE, I.; KOTROCZÓ, Z.; VARGA, C.; HARGITAI, R.; TOWNSEND, K.; CSÁNYI, G.; VÁRBIRÓ, G. Variability of organic matter inputs affects soil moisture and soil biological parameters in a European detritus manipulation experiment. **Ecosystems**, v. 15, n. 5, p. 792-803, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9546-y>

- FERREIRA E.P.; STONE LF, MARTIN-DIDONET C.C.G. Soil microbial population and activity in agroecological production system. **Journal of Agronomy**. v.48, n.1, p.22-31, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806.6690.20170003>
- FIERER, N., WOOD, S.A., BUENO DE MESQUITA, C.P., How microbes can, and cannot, be used to assess soil health, **Soil Biology and Biochemistry**, v.15, n.3, p.108-111, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108111>.
- FOKOM, R., S; ADAMOUC, M.C; TEUGWA, A.D.; BEGOUDE BOYOGUENO, W.L.; NANA, M.E.L.; NGONKEU, N.S.; TCHAMENI, D.; NWAGA, G.; TSALA N.D.; ZOMO P.H. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil & Tillage Research**. v.120, p.69–75, 2012 <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.004>
- FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S. A.; BAZZOLLI, D. M. S; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600001>
- FOLLMER, C. Insights into the role and structure of plant ureases. **Phytochemistry**. v.69, p.18-28, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.034>
- GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; ROLDAN, A.; MARTIN, A. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under Mediterranean climate. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.34, n.5, p. 635-642, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00225-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00225-5)
- GIANFREDA L. Enzymes of importance to rhizosphere processes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.53. p.135-143. 2015. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000022>.
- GISPERT, M.; PARDINI, G.; EMRAN, M.; DONI, S.; MASCIANDARO, G. Seasonal evolution of soil organic matter, glomalin and enzymes and potential for C storage after land abandonment and renaturalization processes in soils of NE Spain. **Catena**, v. 162, p. 402-413, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.019>
- FRASER, F.C.; HALLETT, P.D.; WOOKEY, P.A.; HARTLEY, I.P.; HOPKINS, D.W. How do enzymes catalysing soil nitrogen transformations respond to changing temperatures? **Biology and Fertility of Soils**. v.49, p.99-103, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0722-1>
- GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. 2.ed. Brasília, DF: **Serviço Florestal Brasileiro**, v. 67, p.205-213, 2010.
- GEISSELER, D.; HORWATH, W.R.; JOERGENSEN, R.G.; LUDWIG, B. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms—a review. **Soil Biology and Biochemistry**. v.42, p.2058-2067, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.021>

GERMAN, D.P.; WEINTRAUB, M.N.; GRANDY, A.S.; LAUBER, C.L.; RINKES, Z.L.; ALLISON, S.D.. Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 43, p. 1387–1397, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.03.017>.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**. v.37, p. 877-887. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.003>

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; SAMPAIO, E.V.S.B; CASTRO, A. A. J.; GAMARRA-ROJAS, C. F.; VIRGÍNIO, J. F.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **Associação Plantas do Nordeste**, 2013. <https://doi.org/10.5935/1806.6690.20170005>

GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C. A.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M. C.; WRIGHT, S. Hongos micorrízicos arbusculares em la agregación del suelo y su estabilidad. **Sociedade Mexicana de la Ciencia del Suelo**. v. 22, n. 4, p. 507-5014, 2004. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311096014>

HADDAD, M. J.; SARKAR, D. Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: part II – relationship with soil properties. **Environmental Geosciences**, v. 10, n. 3, p. 99-106, 2003. <https://doi.org/10.1306/eg.05020303005>

HANSEN, M.C.; POTAPOV, P.V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S.A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S.V.; GOETZ, S.J.; LOVELAND, T.R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v.34 n.2, p. 850–853, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.

HASTINGS, A. Transients: the key to long-term ecological understanding? Trends in Ecology & Evolution, **Trends in Ecology and Evolution** v. 19, n. 1, p. 39–45, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.09.007>

HENTZ A.M.; ANTONIOELLI Z. I.; KAMINSKI J.; SOUZA E. L; OLIVEIRA V. L. Fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 293-301, 2006. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60033-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60033-7).

HENDRIKSEN, N. B.; CREAMER, R. E.; STONE, D.; WINDING, A. Soil exo-enzyme activities across Europe - The influence of climate, land-use and soil properties. **Applied Soil Ecology**, v. 97, p. 44-48, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.012>

HUGHES, B. B.; BEAS-LUNA, R.; BARNER, A. K.; BREWITT, K.; BRUMBAUGH, D. R.; CERNY-CHIPMAN, E. B.; CLOSE, S. L.; COBLENTZ, K. E.; DE NESNERA, K. L.; DROBNITCH, S. T.; FIGURSKI, J. D.; FOCHT, B.; FRIEDMAN, M.; FREIWALD, J.; HEADY, K. K.; HEADY, W. N.; HETTINGER, A.; JOHNSON, A.; KARR, K. A.; MAHONEY, B.; MORITSCH, M. M.; OSTERBACK, A.-M. K.; REIMER, J.; ROBINSON, J.; ROHRER, T.; ROSE, J. M.; SABAL, M.; SEGUI, L. M.; SHEN, C.; SULLIVAN, J.; ZUERCHER, R.; RAIMONDI, P. T.; MENGE, B. A.; GRORUD-COLVERT, K.; NOVAK, M.; CARR, M. H. Long-Term studies contribute

disproportionately to ecology and policy. **Biology Science**, v. 67, n. 3, p. 271–281, 2017. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw185>

IBGE. Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil - uma primeira aproximação. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2017. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf>>. Acesso em 20 de outubro de 2021.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 118–127, 2008. <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/4171>. Acesso em: 4 fev. 2022.

KARLEN, D.; RICE, C. Soil Degradation: Will Humankind Ever Learn? **Sustainability**, v.7, n.9, p.12490–12501, 2015. <https://doi.org/10.3390/su70912490>

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantificando os efeitos de diferentes usos do solo agrícola na biomassa e na atividade microbiana do solo em biomas brasileiros: inferências para melhorar a qualidade do solo. **Plant and Soil**, v.338 n.2, p.467-481, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0559-z>

KHAN, K. M.; WADOOD, A.; AALI, M.; ZIA, U.; UL-HAQ, Z.; LODHI, M. A.; KHAN, M.; PERVEEN, S.; CHOUDHARY, M. I. Identification of potent urease inhibitors via ligand- and structure-based virtual screening and in vitro assays. **Journal of Molecular Graphics and Modelling**, v.28, n.8, p.792-798, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0546>

KIVLIN, S. N.; TRESEDER, K. K.; Soil extracellular enzyme activities correspond with abiotic factors more than fungal community composition. **Biogeochemistry**, v. 117, n. 1, p. 23-37, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9852-2>

KIZILKAYA, R.; BAYRAKLI, B. Effect of n-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. **Applied Soil Ecology**. v.30, p.192-202. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.02.009>

KOIDE, R. T.; PEOPLES, M. S. Behavior of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. **Applied Soil Ecology**, v. 63, p. 8–14, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.09.015>

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 59, n.1, p.9-21, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2009.01.003>

LEBRUN, J. D.; TRINSOUTROT-GATTIN, I.; VINCESLAS-AKPA, M.; BAILLEUL, C.; BRAULT, A.; MOUGIN, C.; LAVAL, K. Assessing impacts of copper on soil enzyme activities in regard to their natural spatiotemporal variation under long-term different land uses. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 150-156, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.02.027>

LEHMANN, J., BOSSIO, D.A., KÖGEL-KNABNER, I., RILLIG, M.C.,. The concept and future Journal Pre-proof 20 prospects of soil health. **Nature Reviews Earth & Environment**. p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

LIAO, Y., MIN, X., YANG, Z., CHAI, L., ZHANG, S., & WANG, Y. Physicochemical and biological quality of soil in hexavalent chromium-contaminated soils as affected by chemical and microbial remediation. **Environmental Science and Pollution**. v.21, n.1, p.379-388,2014. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1919-z>

LOPES, C. M. Produção de biofertilizantes orgânicos e organominerais a partir dos resíduos sólidos do setor sucroenergético. Relatório (Pós Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

LUCAS-BORJA, M. E.; BASTIDA, F; NICOLÁS, C.; MORENO, J. L.; DEL CERRO, A.; ANDRÉS, M. Influence of forest cover and herbaceous vegetation on the microbiological and biochemical properties of soil under Mediterranean humid climate. **European Journal of Soil Biology**, v.46, n.5, p.273–279. 2010 <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.05.003>

MA, X. Z. 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. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912010000200001>

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H.; KICHEL, N.A. Preparo, conservação, calagem e adubação do solo para implantação de pastagens nos cerrados. **EMBRAPA-CNPQC**. p.70-83. 2008. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-2745678>

MACHUCA, A.; CUBA-DÍAZ, M.; CÓRDOVA, C. Enzymes in the rhizosphere of plants growing in the vicinity of the polish arctowski antarctic station. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.15, p.833-838, 2015 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000057>

MAEDA, R.N.; BARCELOS, C.A, ANNA, S.M.M.L.; PERERIRA JR, N. Celulase production *Penicillium funiculosum* and its application in the hydrolise of sugar cane bagasse for second generation ethanol production by fed batch operation. **Journal of Biotecnology**, v. 163, n. 1, p. 38-44, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2012.10.014>

MAHARJAN, B. S.; ACHARYA, B.S. Soil Health Gap: A concept to establish a benchmark for soil health management, **Global Ecology and Conservation**. v.78, p.136-142, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01116>.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v.7, n.3, p.181–191, 2008. <https://doi.org/103580-1-10-20100824>

MARGALEF, O.; SARDANS, J.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M.; MOLOWNY-HORAS, R.; JANSSENS, I. A.; CIAIS, P.; GOLL, D.; RICHTER, A.; OBERSTEINER, M.; ASENSIO, D.; PEÑUELAS, J. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. **Scientific Reports**. v. 7, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01418-8>

MATSUOKA, M. Atributos biológicos de solo cultivados com videira na região da Serra Gaúcha. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. <http://hdl.handle.net/10183/10089>

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n.3, p.425-433, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300004>

MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; SANTOS, L. A. R.; LIMA, J. R. S.; ALMEIDA C., J. S.; HAMMECKER, C.; CURNAC, L. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil, **Catena**, v. 151, p. 137-146, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.012>

MEDEIROS, E. V.; NOTARO, K. A.; BARROS, J. A.; MORAES, W. S.; SILVA, A. O.; MOREIRA, K. A. Absolute and specific enzymatic activities of sandy entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 208-215, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.013>

MEGNA, P. R.; CHAVES, I. de B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. de. Detecção de Mudança da Vegetação de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1473–1487, 2012. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i6.232834>

MELO, I. G. Atividade microbiana de solo de cerrado submetido a diferentes estratégias de integração Lavoura-Pecuária.(Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de São João Del Rei, p.68, 2017. 2017.

MENDES, I.C.; VIVALDI, L.A. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de galeria na região do Distrito Federal. **Embrapa Cerrados**, Brasília. p. 665-687, 2001.

MENEZES, K. M. S.; SILVA, D. K. A.; GOUVEIA, G. V.; COSTA, M. M.; QUEIROZ, M.A. A.; YANO-MELO, A. M. Shading and intercropping with buffelgrass pasture affect soil biological properties in the Brazilian semi-arid region. **Catena**, v. 175, p. 236-250, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.021>

MERINO, C.; GODOY, R.; MATUS, F. Soil enzymes and biological activity at different levels of organic matter stability. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.16, p.14-30. 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000002>

MEYER, A.H.; WOOLDRIDGE, J.; DAMES, J.F. Variation in urease and  $\beta$ -glucosidase activities with soil depth and root density in a ‘cripp’s pink’/ m7 apple orchard under conventional and organic management. **South African Journal of Plant and Soil**. v.32, p.227-234. 2015. <https://doi.org/10.1080/02571862.2015.1053155>

MNDZEBELE, B.; NCUBE, B.; FESSEHAZION, M.; MABHAUDHI, T.; AMOO, S.; DU PLOOY, C.; VENTER, S.; MODI, A. Effects of cowpea-amaranth intercropping and fertiliser application on soil phosphatase activities, available soil phosphorus, and crop growth response. **Agronomy**, v.156, p.156-162, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010079>.

MOHAMMADI, K. Soil microbial activity and biomass as influenced by tillage and fertilization in wheat production. **American-Eurasian Journal Agricultural & Environmental Sciences Deira**. v.10, p.330-337. 2011. <https://doi.org/10.3390/10010087>.

MOSCATELLI M.C.; LAGOMARSINO A.; GARZILLO A.M.V.; PIGNATARO A.; GREGO S.  $\beta$ -glucosidase kinetic parameters as indicators of soil quality under conventional and organic cropping systems applying two analytical approaches. **Ecological Indicators**. v.13, n.1. p.322-327. 2012. <https://doi.org/10.3390/1004859604>

MORO, M. F.; NIC-LUGHADHA, E.; FILER, D. L.; DE ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. A catalogue of the vascular plants of the Caatinga Phytogeographical domain: a synthesis of floristic and phytosociological surveys. **Phytotaxa**, v. 160, p.1-118. 2014 <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.160.1.1>

NANNIPIERI, P.; GIAGNONI, L.; LANDI, L.; RENELLA, G. Role of Phosphatase Enzymes in Soil. **Springer**, v.52, p. 215–243, 2011. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-15271-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15271-9_9)

NOBRE, C P.; M.L. LÁZARO, M.M.E.; SANTO, M.G.; PEREIRA, R.L.L.; BERBARA, H. Agregação, glomalina e carbono orgânico na Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, v.28, p.138-147. 2015. <https://doi.org/10.3390/1001007643>

PAJARES, S.; CAMPO, J.; BOHANNAN, B.J.M.; ETCHEVERS, J.D. Environmental controls on soil microbial communities in a seasonally dry tropical forest. **Applied and Environmental Microbiology Journal**. v. 84, p.234-240, 2018. <https://doi.org/10.1128/AEM.00342-18>.

PANETTIERI, M.; KNICKER, H.; MURILLO, J. M.; MADEJÓN, E.; HATCHER, P. G. Soil organic matter degradation in an agricultural chronosequence under different tillage regimes evaluated by organic matter pools, enzymatic activities and CPMAS, **soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 170-181, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.021>

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. Wiley. **Land Degradation & Development** v. 27, p.14–25, 2016. <https://doi.org/10.1002/ldr.2262>

PEDROTTI, A.; FERREIRA, E.P. ; ARAÚJO FILHO, R.N; GOMES, R.; OLIVEIRA, O.; HOLANDA, F.S. Atividade Biológica como Indicador da Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Cultivo no Nordeste do Brasil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.22 n.3, p.1-13. 2018. <https://doi.org/10.9734/jeai/2018/v22i31952>

- PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 411-417, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.026>
- PINHEIRO, F. M.; NAIR, P. K. R. Silvopasture in the caatinga biome of Brazil: A review of **Sistemas Florestais**, v.27, n.1, 2018 <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12267>
- PIOTROWSKA, A.; KOPER, J. (). Soil beta-glucosidase activity under winter wheat cultivated in crop rotation systems depleting and enriching the soil in organic matter. **Journal of Elementology**, v.15, n.3, p.593–600, 2010. <https://doi.org/10.5601/jelem.2010.15.3.593-600>
- PIOTROWSKA-DLUGOSZ, A.; CHARZYNSKI, P. The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physicochemical properties in the ekranic technosols of toruń (poland). **Journal of Soils and Sediments**. v.15, p.47-59, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0963-8>
- PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. **Lavras: Editora UFLA**, v. 32, p.503-524, 2010
- QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M.; MORO, M. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. **Springer**, p. 23-63, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-32>
- QUEIROZ, M. A. Recursos Genéticos Vegetais da Caatinga para o desenvolvimento do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1135-1150, 2011. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i6.232770>
- RAI, A.; SINGH, A.K.; GHOSAL, N.; SINGH, N.; Understanding the effectiveness of litter from tropical dry forests for the restoration of degraded lands. **Ecological Engineering**. v.9, n.3, p. 76–81, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.014>.
- RIETZ, D.; HAYNES, R. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**. v.35, p.845-854. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1)
- RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S; PAUL, E. A. Glomalin an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to land - use change. **Plant and Soil**, v.2, n 253, p. 293-299, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1)
- RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 84, p. 355-363, 2004. <https://doi.org/10.4141/S04-003>
- RODAL, M. J.; SAMPAIO, E.; FIGUEIREDO, A. M. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga Brasília **Sociedade Botânica do Brasil-SBB**, 2013.

RODRIGUES, H. J. B.; SÁ, L. D. A.; RUIVO, M.; DA COSTA, A. C. L.; DA SILVA, R. B.; DE MOURA, Q. L.; DE MELLO, I. F. Quantitative microbial population variability associated with the microclimate conditions observed in tropical rainforest soil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 629-638, 2011. <https://doi.org/10.4141/45688>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian Caatinga. **Cambridge**: Cambridge University Press. v.50, p. 35-58, 1995. <https://doi.org/10.4141/456884744848>

SANTOS, F. C.; VIANA, J. H. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; Caracterização química, física e microbiológica de solo arenoso do Sudoeste Baiano. **Embrapa Milho e Sorgo**, Salvador. BA, v.18, p.40, 2019.

SARDANS, J.; PENUELAS, J. Drought decreases soil enzyme activity in a mediterranean quercus ilex l. Forest. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 37, p. 455-461, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.004>

SILVA C. P.; MENDES P. F.; GOMES V. F. F.; MARTINS C.M; CUNHA C. S. M.; LOBATO M. G. R.. Glomalin-Related Soil Protein Content in Areas of Degraded and Revegetated Caatinga in the Municipality of Irauçuba **Journal of Agricultural Science**; v. 10, n1,2018 <https://doi.org/10.5539/jas.v10n1p302>

SILVA, A. E. O.; MEDEIROS, É. V. D; INÁCIO, E. D. S. B.; SALCEDO, I. H.; AMORIM, L. B. D. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from caatinga. **Revista Caatinga**, v.31, n.2, p.405-414, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n217rc>

SILVA, A. E. O; INÁCIO, E. S. B; SALCEDO, I. H; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 405-414, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n217rc>

SILVA, I. R.; MELLO, C. M. A.; FERREIRA NETO, R. A.; SILVA, D. K. A.; MELO, A. L.; OEHL, F.; MAIA, L. C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, v. 84, p. 166-175, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.07.008>

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. **Springer International Publishing**, v.28, p.159-168. 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>

SINGH, A.K.; RAI, A.; PANDEY, V.; SINGH, N. Contribution of glomalin to dissolve organic carbon under different land uses and seasonality in dry tropics. **Journal of Environmental Management**. v.192, p.142-149, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.041>.

SINGH, J.S.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, R.S.; SRIVASTAVA, S.C., Microbial biomass act as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature** v.33, n.8, p.499–500, 1989. <https://doi.org/10.1007/978-3-647-001>

SINSABAUGH, R.L.; LAUBER, C.L.; WEINTRAUB, M.N.; AHMED, B.; ALLISON, S.D.; CRENSHAW, C.; CONTOSTA, A.R.; CUSACK, D.; FREY, S.; GALLO, M.E. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. **Ecology Letters**. v.11, p.1252-1264. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01245.x>

SOUZA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, F.S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. **Semina: Ciências Agrárias**. v.33, p.3033-3044 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p3033>

SOUSA, C.S.R.S.C; MENEZES, E.V.S.B.; SAMPAIO, F.S; LIMA, L.C.; MAIA F.. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of caatinga in the semi-arid region of Brazil. **Ciência Florestal** v.24, p.137- 148, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509813331>

STEINBERG, P. D.; RILLIG, M. C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 191-194, 2003. <https://doi.org/10.590/4748484888>

STEINWEG, J. M.; DUKES, J. S.; PAUL, E. A.; WALLENSTEIN, M. D. Microbial responses to multi-factor climate change: effects on soil enzymes. **Frontiers in Microbiology**, v. 4, p. 105-118, 2014. <https://doi.org/10.345/474789000>

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of  $\beta$ -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. **Soil Science Society of America Journal**. v.56, p.45-155, 2010. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0029>.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M. C. The future of the Caatinga **Springer**, p. 461-474, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. **Soil Science Society of America**, v. 2, p. 778-835, 1994.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, 35: 493-502, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200018>

TAVARES-JUNIOR, J. B. Produção de fabaceae para adubação verde no agreste paraibano. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v.11, p.47-58, 2015 <https://doi.org/10.1590/S0100-0664747799>

TIWARI, R.; DWIVEDI, B. S.; SHARMA, Y. M.; SHARMA, A.; DWIVEDI, A. K. Activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase and dehydrogenase as soil quality indicators: a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. 2019. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.101>.

TEMPLER, P. H.; GROFFMAN, P. M.; FLECKER, A. S.; POWER, A. G. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 2, p. 215-225, 2005.

<https://doi.org/10.46478/7970>

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 02, p. 195-276. 2002.

TURNER, B. L.; HOPKINS, D. W.; HAYGARTH, P. M.; OSTLE, N.  $\beta$ -Glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**. v.80, p.128-134, 2012.

[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(02\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(02)00020-3)

VAN AARLE, I.M.; PLASSARD, C. Spatial distribution of phosphatase activity associated with ectomycorrhizal plants is related to soil type. **Soil Biology and Biochemistry**. v.42, p.324-330, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.011>

VEENA, V.; POORNIMA, P.; PARVATHAM, R.; SIVAPRIYADHARSINI KALAISELVI, K. Isolation and characterization of  $\beta$ -glucosidase producing bacteria from different sources. **African Journal of Biotechnology**. v.10, p.14907-14912. 2011.

<https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000038>

VEVERKA, J. S.; UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J. Soil health indicator responses on Missouri claypan soils affected by landscape position, depth, and management practices. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.122, p.128-134, 2019.

<https://doi.org/10.2489/jswc.74.2.126>

VINHAL-FREITAS, I. C.; CORRÊA, G. F.; WENDLING, B.; BOBULSKÁ, L.; FERREIRA, A. S. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, v.74, p.182–190, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.020>

WALTHER, G.-R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T. J. C.; FROMENTIN, J.M.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, v. 416, n. 6879, p. 389–395, 2002.

<http://doi.org/10.1038 / 416389a>

WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F. Comparison of efficiency of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. **Chemosphere**, v. 64, p. 1219-1224. 2006. <https://doi.org/10.1016 / j.chemosphere.2005.11.041>

WRIGHT, SF; GREEN, VS; CAVIGELLI, MA. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil & Tillage Research**. v.9, n.4, p.46-54, 2007;

<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.003>

WU, Q. S.; CAAO, M. Q.; ZOU, Y. N.; HE, X. H. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of Trifoliate orange.

**Scientific Reports**, v. 5823, n. 4, p. 1-8, 2014. <https://doi.org/10.1038/srep05823>

WYSZKOWSKA, J.; KUCHARSKI, M.; KUCHARSKI, J. Activity of beta-glucosidase, arylsulfatase and phosphatases in soil contaminated with copper. *Journal of Elementology*, v. 15, n.1, , p.213–226, 2010. <https://doi.org/10.1016/6780002>

XIAO-CHANG, W.; QIN, L. Beta-glucosidase activity in paddy soils of the taihu lake region, china. *Pedosphere*. v.16, p.118-124. 2006. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60033-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60033-7)

YANG ZB; YOU J.F.; XU M.Y.; YANG Z.M. Interaction between aluminum toxicity and manganese toxicity in soybean (*Glycine max*). *Plant Soil*. v.319, p.: 277-289, 2009. <https://doi.org/10.345/S0100-78000134>

YU, P.; LIU, S.; ZHANG, L.; LI, Q.; ZHOU, D. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science of The Total Environment*, v.56, p.128-134, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.301>.

ZHANG, Y.; CHEN, L.; WU, Z.; SUN, C. Kinetic parameters of soil  $\beta$ -glucosidase response to environmental temperature and moisture regimes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.35, p.1285-1291. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400022>



