UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CHRISTIAN MATHEUS ALVES REIS

ATIVIDADE BIOLÓGICA EM UM LATOSSOLO SOB PASTAGEM DE *Brachiaria brizantha* ADUBADA COM CINZA VEGETAL

Rondonópolis, MT – 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CHRISTIAN MATHEUS ALVES REIS

ATIVIDADE BIOLÓGICA EM UM LATOSSOLO SOB PASTAGEM DE *Brachiaria brizantha* ADUBADA COM CINZA VEGETAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães

Rondonópolis, Mato Grosso – Brasil
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R375a Reis, Christian Matheus Alves.
Atividade biológica em um Latossolo sob pastagem de Brachiaria brizantha adubada com cinza vegetal / Christian Matheus Alves Reis. -- 2021
94 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Qualidade biológica do solo. 2. atividade enzimática. 3. capim Paiaguás. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATIVIDADE BIOLÓGICA EM UM LATOSSOLO SOB PASTAGEM DE *Brachiaria brizantha* ADUBADA COM CINZA VEGETAL

AUTOR: MESTRANDO CHRISTIAN MATHEUS ALVES REIS

Dissertação defendida e aprovada em 26 de agosto de 2021.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Salomão Lima Guimarães (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutora Edna Maria Bonfim da Silva (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutora Daniela Tiago da Silva Campos (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

4. Doutor Tonny José Araújo da Silva (Examinador Suplente)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

RONDONÓPOLIS,26/08/2021.

Documento assinado eletronicamente por **EDNA MARIA BONFIM DA SILVA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/08/2021, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **SALOMAO LIMA GUIMARAES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/08/2021, às 18:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 27/08/2021, às 15:13, conforme horário oficial de

Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3848310** e o código CRC **4FCBCC8E**.

Referência: Processo nº 23108.065859/2021-02 SEI nº 3848310

Aos meus amados pais Olinda e Ricardo, minha irmã Leticia, a minha avó maria e minhas tias Olimaria e Luzia.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido a capacidade de apresentar e defender essa dissertação.

Em segundo lugar a minha mãe Olinda A. Velasco e meu Pai Ricardo P. dos Reis por sempre me apoiarem e me darem todo suporte e condições de focar nos estudos.

A minha irmã Leticia A. dos Reis que sempre me manteve positivo e me dava apoio sempre que eu precisava.

Aos meus familiares que sempre buscaram me incentivar e me apoiar durante toda a caminhada da Pós-graduação, em especial minha vó Maria A. de Lima, minha tia Olimaria A. Velasco e minha madrinha Luzia A. Velasco.

Ao meu orientador Dr. Salomão Lima Guimarães, pois além de me ensinar, auxiliar, guiar e incentivar durante todo o mestrado, foi um grande amigo e me ajudou a superar adversidades e me tornar alguém mais preparado para enfrentar os desafios.

Aos técnicos dos laboratórios de solo, química e do Meio Ambiente que ajudaram na execução da parte prática desse projeto.

Aos meus colegas e amigos do Grupo de Microbiologia, Caio Garcia, Amanda Garcia, Mariza Noberto, Henrique Tínel e Phellype Ormay por me ajudarem e me auxiliarem ao longo de todas as análises.

A minha amiga e companheira de laboratório Wlly Cristiny que me ensinou e ajudou em todo o trabalho, tanto nas análises desenvolvidas no laboratório quanto na parte escrita dessa dissertação.

Aos meus colegas, Rackel, Thiago, Maria Isabel, Nahyara, Jucielly, Elisa, João Gabriel, Ivan, Werlen, Julio, Bency, Melkzedeque, Hederson, Carolina, Juan, Wellington e Aline pelo companheirismo e por me ajudarem durante as etapas do mestrado.

À Universidade Federal de Rondonópolis-MT, em especial ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

À professora Dr.ª Edna Maria Bonfim-Silva, pela disponibilidade em auxiliar e de ceder a área do experimento para realização das coletas de solo.

Ao Grupo de Práticas em Água e Solo (GPAS) da UFR, uma vez que o solo coletado foi retirado da área de projeto do grupo.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola professor Dr. Tonny José Araújo da Silva pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Prof. Dr. Márcio Koetz, Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco, Prof. Dr. Heinstein, Prof. Dr. Carlos Caneppele, Prof. Dr.ª Analy Castilho, Prof. Dr.ª Niedja Marizze Cezar Alves, Prof. Dr. Thiago Franco Duarte e Prof. Dr. Everton Aves Rodrigues Pinheiro pela ajuda e pelo conhecimento repassado durante as matérias.

À CAPES pelo apoio financeiro para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Por fim, agradecer a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a chegar até o final e contribuíram para que eu alcançasse essa conquista.

“Nada é impossível. Se puder ser sonhado, então pode ser feito.”

(Theodore Roosevelt)

ATIVIDADE BIOLÓGICA EM UM LATOSSOLO SOB PASTAGEM DE *Brachiaria brizantha* ADUBADA COM CINZA VEGETAL

Resumo: No estado de Mato Grosso, a agropecuária é a principal atividade econômica, pois contribui de forma contundente para o desenvolvimento da região. O setor agropecuário continua em crescente expansão e o uso de novas tecnologias para promover o equilíbrio entre a produção e a qualidade do solo se tornam cada vez mais necessárias. Dessa maneira, objetivou-se avaliar a atividade biológica e enzimática em um solo sob área de pastagem em processo de implantação e adubado com cinza vegetal. O experimento foi instalado no campo experimental da Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis-MT, sob pastagem que foi implantada em 2018, com delineamento de blocos casualizados, esquema fatorial 5x2, composto por 5 doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24 e 32 t ha^{-1}), duas formas de aplicação da cinza vegetal (incorporada e não incorporada), dispostas no arranjo em faixas, totalizando 10 tratamentos, com quatro repetições. As amostras de solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico, foram coletadas na profundidade de 0-0,10 m e em dois períodos (seco e chuvoso), do primeiro ano de implantação da pastagem. Foram coletadas quatro amostras de solo referentes à mata nativa para utilizar como referência, por ser um ambiente preservado. A avaliação da atividade microbiana e a qualidade do solo foram mensuradas por meio dos atributos biológicos como: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico, bactérias diazotróficas e a enzima fosfatase ácida. Os dados foram submetidos à análise estatística usando o programa computacional R, com teste F para análise de variância, teste de regressão para as doses de cinza e teste Tukey para o manejo de aplicação ao nível de 1%, 5% e 10% de significância. Os resultados mostraram interação significativa para o quociente metabólico em ambos os períodos, apresentado melhores resultados com as doses de cinza correspondentes a 0 e 8 t ha^{-1} com manejo não incorporado, e bactérias diazotróficas, especificamente os meios NFb e JNFb para o período seco, com a dose de 8 t ha^{-1} de cinza incorporada ao solo. A fosfatase ácida apresentou melhores resultados para o manejo da cinza vegetal não incorporado, com doses abaixo de 24 t ha^{-1} de cinza. O carbono da biomassa e bactérias diazotróficas presentes no meio de cultura JMV apresentaram efeito isolado para as doses de cinza vegetal, enquanto que o nitrogênio da biomassa e a respiração basal apresentaram efeito isolado para o manejo aplicado. A utilização da cinza vegetal mostrou efeito positivo na qualidade do solo, aumentando a biomassa microbiana do solo e a atividade da enzima fosfatase ácida.

Palavras-chave: Qualidade biológica do solo, atividade enzimática, capim Paiaguás

BIOLOGICAL ACTIVITY IN AN OXISOL UNDER PASTURE OF *Brachiaria brizantha* FERTILIZED WITH WOOD ASH

Abstract: In the state of Mato Grosso, agriculture is the main economic activity, as it contributes strongly to the development of the region. The agricultural sector continues to expand and the use of new technologies to promote a balance between production and soil quality becomes increasingly necessary. Thus, the objective was to evaluate the biological and enzymatic activity in a soil under a pasture area in the process of implantation and fertilized with wood ash. The experiment was installed in the experimental field of the Federal University of Rondonópolis, Rondonópolis-MT, under pasture that was established in 2018, with a randomized block design, 5x2 factorial scheme, consisting of 5 doses of wood ash (0, 8, 16, 24 and 32 t ha^{-1}), two forms of application of wood ash (incorporated and non-incorporated), arranged in strips, totaling 10 treatments, with four replications. Soil samples, classified as Dystrophic Red Latosol, were collected at a depth of 0-0,10 m and in two periods (dry and rainy), in the first year of pasture implantation. Four soil samples referring to the native forest were collected to use as a reference, as it is a preserved environment. The evaluation of microbial activity and soil quality were measured using biological attributes such as: carbon and nitrogen from microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient, diazotrophic bacteria and the enzyme acid phosphatase. Data were subjected to statistical analysis using the R computer program, with F test for analysis of variance, regression test for gray doses and Tukey test for application management at 1%, 5% and 10% significance levels. The results showed a significant interaction for the metabolic quotient in both periods, showing better results with the doses of ash corresponding to 0 and 8 t ha^{-1} with non-incorporated management, and diazotrophic bacteria, specifically the NFb and JNFb mediums for the dry period, with the dose of 8 t ha^{-1} of ash incorporated into the soil. The acid phosphatase showed better results for non-incorporated management, with doses below 24 t ha^{-1} of ash. Biomass carbon and diazotrophic bacteria present in the the JMV culture medium showed an isolated effect for the doses of wood ash, while biomass nitrogen and basal respiration showed an isolated effect for the applied management. The use of wood ash showed a positive effect on soil quality, increasing soil microbial biomass and acid phosphatase enzyme activity.

Keywords: Soil biological quality, enzymatic activity, Paiaguas grass

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **20**

2. REFERENCIAL TEÓRICO **22**

2.1 Manejo de pastagens **22**

2.2 Latossolos **24**

2.3 Cinza Vegetal **26**

2.4 Qualidade do solo **28**

2.4.1 Qualidade Biológica do solo 30

2.5 Atividade Microbiana no solo **31**

2.6 Atividade enzimática do solo **33**

3. MATERIAL E MÉTODOS **34**

3.1 Localização e caracterização do experimento **34**

3.2 Delineamento experimental **36**

3.3 Coleta de solo **36**

3.4 Variáveis Analisadas **40**

3.4.1 pH do solo 40

3.4.2 Umidade do solo 41

3.4.3 Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana 42

3.4.4 Respiração basal 48

3.4.5 Quociente Metabólico 50

3.4.6 Bactérias Diazotróficas 50

3.4.7 Enzima Fosfatase Ácida 53

3.5 Análise estatística **56**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO **56**

4.1 Carbono da biomassa microbiana **60**

4.2 Nitrogênio da biomassa microbiana **62**

4.3 Respiração Basal 64

4.4 Quociente metabólico 66

4.5 Bactérias Diazotróficas 72

4.6 Enzima Fosfatase Ácida 78

5. CONCLUSÃO 82

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação mensal da cidade de Rondonópolis-MT no ano de 2019. 34

Figura 2. Localização da área experimental onde foram coletadas as amostras de solo (Google Earth, 2021). 35

Figura 3.(A) Coleta das amostras de solo da área experimental na profundidade de 0 -0,10 m (B) Acondicionamento das amostras de solo em saco plástico para armazenamento. 37

Figura 4. Umidade (%) das amostras de solo coletadas da área experimental no período seco em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa..... 38

Figura 5. Umidade (%) das amostras de solo coletadas da área experimental no período chuvoso em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa..... 39

Figura 6. pH das amostras de solo referente ao período seco de coleta feito em solução de $CaCl_2$, em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa..... 39

Figura 7. pH das amostras de solo referente ao período chuvoso de coleta feito em solução de $CaCl_2$, em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa..... 40

Figura 8. Leitura do pH das amostras de solo provenientes da área experimental feita em solução de $CaCl_2$, em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. 41

Figura 9. (A) Amostras de solo coletadas da área experimental com adição de clorofórmio para o processo de fumigação em tubos Falcon (B) Filtragem do extrato das amostras de solo após adição de clorofórmio e solução de potássio. 43

Figura 10. Amostras da análise colorimétrica do nitrogênio referentes a cada tratamento prontas para a leitura em espectrofotômetro na faixa de 660 nm de absorbância. 44

Figura 11. Amostras referentes a curva de calibração do nitrogênio com concentrações conhecidas de NH_4 0 - 25mg. 45

Figura 12. Equação da concentração de nitrogênio a partir da Absorbância versus concentração de NH_4^+ L^{-1}. 45

Figura 13. Amostras da análise colorimétrica do carbono referentes a cada tratamento antes da leitura em espectrofotômetro na faixa de 495 nm de absorbância. 46

Figura 14. Equação da concentração de carbono a partir da Absorbância versus concentração de carbono. 47

Figura 15. Amostra de solo coletada da área experimental pronta para ser incubada, juntamente com os tubos contendo solução de NaOH. 49

Figura 16. Diluição seriada para realização do processo de inoculação das bactérias. 51

Figura 17. Meio semissólido para crescimento e quantificação de bactérias diazotróficas após 10 dias de inoculação. 53

Figura 18. (A) Amostras de solo com adição do extrato da enzima fosfatase ácida antes da filtragem (B) Filtragem das soluções antes da leitura em espectrofotômetro na faixa de 400 nm de absorbância. 54

Figura 19. Amostras referentes a curva de calibração da enzima fosfatase ácida com concentração conhecida de p-nitrofenol. 55

Figura 20. Equação da concentração de p-nitrofenol a partir da Absorbância versus concentração de p-nitrofenol. 55

Figura 21. Efeito das doses de cinza vegetal sobre o carbono da biomassa microbiana do solo sob área de pastagem em dois manejos de aplicação, incorporado (I) e não incorporado (NI) no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (1.292,654 µg de C g^{-1} de solo). 61

Figura 22. Efeito dos manejos de aplicação das doses de cinza vegetal sobre o Nitrogênio da biomassa microbiana do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (6,04 µg de N-NH4+ g^{-1} de solo). 63

Figura 23. Efeito dos manejos de aplicação das doses de cinza vegetal sobre a Respiração basal do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (7.238,92 µg de C-CO_2 kg^{-1} de solo hora-^{1}). 65

Figura 24. Efeito das doses de cinza vegetal dentro do manejo de aplicação não incorporado sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (4,61 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia-^{1})..... 67

Figura 25. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (4,61 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}). 68

Figura 26. Efeito das doses de cinza vegetal dentro do manejo de aplicação incorporado sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (17,53 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}). 69

Figura 27. Efeito das doses de cinza vegetal dentro do manejo de aplicação não incorporado sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (17,53 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}). 69

Figura 28. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (17,53 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia-^{1}). 70

Figura 29. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio NFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (3,00). 72

Figura 30. Efeito das doses de cinza vegetal em relação ao manejo de aplicação incorporado sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio NFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (3,00). 73

Figura 31. Efeito das doses de cinza vegetal em relação ao manejo de aplicação não incorporado sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio NFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (3,00). 73

Figura 32. Efeito das doses de cinza vegetal em relação ao manejo de aplicação não incorporado sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio JNFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (0,00). 74

Figura 33. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio JNFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (0,00). 75

Figura 34. Efeito das doses de cinza vegetal sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio JMV) sob área de pastagem em dois manejos de aplicação, incorporado (I) e não incorporado (NI) no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (6,47). 76

Figura 35. Efeito das doses de cinza vegetal sobre a enzima fosfatase ácida do solo sob área de pastagem em dois manejos de aplicação, incorporado (I) e não incorporado (NI) no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (419, 94 µg p-nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1})..... 79

Figura 36. Efeito dos manejos de aplicação das doses de cinza vegetal sobre a fosfatase ácida do solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (419, 94 µg p-nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1})..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química e granulométrica do Latossolo Vermelho Distrófico coletado da área experimental. 35

Tabela 2. Análise de variância do solo sob área de pastagem de Brachiaria brizantha cv. Paiaguás no período seco referente as variáveis Carbono da biomassa microbiana (CBM), Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), Respiração Basal (RBS), Quociente Metabólico (QCO_2) e Fosfatase ácida (FOS). 57

Tabela 3. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período seco referente a variável bactérias diazotróficas (meios de cultura NFb, JNFb e JMV). 58

Tabela 4. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período chuvoso referente as variáveis Carbono da biomassa microbiana (CBM), Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), Respiração Basal (RBS), Quociente Metabólico (QCO_2) e Fosfatase ácida (FOS). 59

Tabela 5. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período chuvoso referente a variável bactérias diazotróficas (meios de cultura NFb, JNFb e JMV). 60

1. INTRODUÇÃO

O Brasil além de ser um país rico em recursos naturais, também se destaca pela sua forte economia devido aos setores industriais e principalmente, pelos setores primários de produção. Entre todos esses setores, o que mais se destaca atualmente é o setor agropecuário, que é a principal atividade econômica do país, contribuindo com o desenvolvimento e crescimento do Brasil (TECNOLOGIA NO CAMPO, 2021).

A agropecuária brasileira vem crescendo cada vez mais e se tornando a principal atividade econômica do Produto Interno Bruto. De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA), o valor bruto da produção (VBP) da safra de 2020 chegou R$ 921bilhões, sendo R$ 613 bilhões referentes a agricultura e R$ 308 bilhões da pecuária.

Dentre os estados do Brasil, Mato Grosso é o que mais se destaca no setor agropecuário, sendo responsável por grande parte da produção. Quando se refere a pecuária, a implantação e manutenção das pastagens é de grande importância, tanto para o solo, como para o animal, pois além de influenciar nas características do solo, serve como fonte de nutriente para o gado (PEREIRA; POLIZEL, 2016).

Para que esse setor continue se desenvolvendo, se faz necessário utilizar de forma mais eficiente os recursos naturais e as áreas de cultivo, já que ambos são fatores limitantes de produção (Flores, 2020). A utilização mais eficiente e mais sustentável desses recursos depende de estudos, pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias capazes de auxiliar e até mesmo aprimorar as técnicas utilizadas nos dias atuais (ÉDER et al., 2015).

As novas práticas de manejo de solo estão crescendo e se destacando, pois visam melhorar a produção, utilizando o solo de maneira eficiente, sem prejudicar suas propriedades químicas, físicas e biológicas (SANTOS et al., 2020).

Dentre as várias práticas de manejo de solo existentes, a aplicação de cinza vegetal vem se destacando como uma técnica eficiente pois além de fornecer nutrientes e contribuir a corrigir a acidez do solo, possui custo menor quando comparada com outras práticas (BONFIM-SILVA et al., 2020).

Comumente, os manejos de solo podem ser avaliados pela atividade biológica, por ser um fator limitante do uso do mesmo, pois auxilia na manutenção do sistema, além de colaborar com o crescimento e desenvolvimento das culturas a serem instaladas (Sobucki et al., 2019). Outro bioindicador utilizado é a atividade enzimática, pois influencia principalmente na decomposição e mineralização de elementos e compostos presentes no solo, sendo um componente fundamental no fluxo de energia do meio (FRANCO et al., 2020).

Com base na composição mineralógica da cinza vegetal e sua correlação positiva com os atributos químicos e físicos do solo, existe a hipótese de que suas propriedades desencadeiam reações, de maneira a favorecer o aumento da biomassa microbiana e da atividade enzimática do solo.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a atividade biológica e enzimática em um solo sob área de pastagem em processo de implantação e adubado com cinza vegetal.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo de pastagens

A pecuária brasileira além de possuir um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, conta também com uma produção mais econômica em relação a outros países do mundo, por causa que a maioria desse rebanho é criado em pasto (DIAS-FILHO, 2014). Segundo a Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de carne (ABIEC), a pecuária de corte no Brasil em 2018 atingiu o PIB de 597,22 bilhões de reais, representando 8,7% de todo o PIB nacional (ABIEC, 2019).

No Cerrado brasileiro, cerca de 53 milhões de hectares são cultivadas com pastagem, correspondendo a 55% da produção de carne bovina do país (ANDRADE et al., 2016). Para se determinar qual a pastagem ideal a ser implantada, deve ser levar em conta atributos como o clima e o solo da região, a sua resistência a condições de adversidade além de pragas e doenças, tolerância ao pastejo e elevado teor de nutrientes (PEREIRA; POLIZEL, 2016).

O manejo da pastagem implantada deve ser adequado a ponto de manter a vegetação produtiva e persistente, tendo como principais características a diminuição da degradação das pastagens e o fornecimento eficiente e continuo de nutrientes para o gado, além de visar a diminuição de impactos ambientais causados pela atividade desenvolvida (EUCLIDES et al., 2014).

Áreas de pastagens onde ocorrem intenso pisoteio animal ou áreas de produção agrícola com intenso tráfego de máquinas tendem a ter um nível maior de compactação do que áreas de mata nativas, aumentando a resistência à penetração das raízes devido à mudança na porosidade do solo. Segundo Lima et al. (2015), a produção de fitomassa seca é prejudicada por causa que em solos compactados as raízes não conseguem ter acesso a água e nutrientes de maneira adequada.

A pastagem pode ser utilizada de diversas formas, como por exemplo numa integração lavoura-pecuária, pois pode auxiliar na descompactação e

diminuição da erosão do solo, além de ajudar no controle de plantas daninhas, conferindo grandes ganhos ao sistema (JUNIOR; FRANCHINI; DEBIASI, 2016).

A utilização de forrageiras perenes como é o caso da *Uruchloa brizantha*, possui grande vantagem em relação as culturas anuais, devido a sua implantação ocorrer apenas uma vez, ficando dependente apenas de um manejo de boa qualidade para a sua manutenção. Essas características trazem um grande custo benefício para a área pois o solo fica coberto durante todo o tempo, contribuindo para o aumento da matéria orgânica e manutenção no ciclo dos nutrientes, o que também desencadeia uma maior atividade biológica no solo (PERES FARIAS et al., 2019).

A utilização de pastagem permanente ou quando sua utilização é feita em rotação de culturas no sistema de semeadura direta, fez com que os agregados se organizassem de maneira mais estável quando comparado com outros sistemas de produção (EMBRAPA, 2018).

O solo cultivado com pastagem deve possuir um manejo e uso adequados, pois em muitos casos a resistência do solo à penetração aumenta devido ao pastejo e pisoteio animal, por causa da pressão exercida sobre o mesmo (MATIAS et al., 2009). Nesse sentido, deve se tomar cuidado com o manejo da pastagem e com a lotação de bovinos, pois pode influenciar diretamente no desenvolvimento e qualidade da pastagem.

Em um estudo realizado por Lima et al. (2015), onde se testou diferentes cultivares com diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho no Cerrado, notou-se que a *U. brizantha* apresentou um bom desenvolvimento da parte área e de raiz até o limite de 1,65 Mg m^{-3}, além de se ter confirmado como uma boa alternativa para solos compactados ou em processo de compactação.

A cultivar BRS Paiaguás foi lançada pela Embrapa em 2013 e apesar da necessidade de mais estudos, ela se apresenta eficiente em sistema Integração Lavoura Pecuária, pois contribui na diminuição do escoamento superficial e no aumento do aproveitamento de água pelo solo, além de melhorar na agregação do solo devido ao seu sistema radicular (MONTAGNER et al., 2018).

2.2 Latossolos

Os Latossolos são solos de grande ocorrência no Brasil, e segundo a EMBRAPA (2011), possuem ocorrência em mais de 30% de todo o território. Caracterizam-se por serem de grande aptidão agrícola devido a sua textura, estrutura e capacidade de armazenar água e nutrientes (NETO; LOPER, 2009).

Essa classe de solo sofreu avançado processo de intemperização e são muito evoluídos com base nas transformações a partir do seu material mineral de origem. São caracterizados por possuir um horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, além de serem considerados solos profundos (EMBRAPA, 2018).

Segundo EMBRAPA (2018), o Latossolo Vermelho se caracteriza pela grande presença de óxidos de ferro e alumínio, que lhe conferem a sua coloração avermelhada, além de apresentar baixa saturação por bases, fazendo com que seja um solo de baixa fertilidade natural. Esse tipo de solo ainda possui uma boa permeabilidade devido a sua grande quantidade de poros e sua estrutura bem desenvolvida.

A suscetibilidade do solo a aptidão agrícola está relacionado com a sua qualidade, ou seja, sua capacidade de desempenhar bons aspectos de produtividade, diversidade biológica, a sustentabilidade do ambiente e a manutenção das reações que ocorrem no meio (SANTOS et al., 2017).

Um solo com aptidão agrícola é resultado de diversas reações químicas, físicas e biológicas, devido ao intemperismo que lhe foi submetido e geralmente possuem um relevo plano ou com suaves ondulações, e confere boa produtividade as culturas que estão instaladas sobre ele (FONTANA et al., 2016).

Devido a sua grande porosidade e suas particularidades físicas, é um tipo de solo que se for mal manejado ou mal utilizado, pode sofrer com a compactação, aumentando a resistência a penetração de raízes e alterando a sua dinâmica na capacidade de retenção de água (LIMA; PETTER; LEANDRO, 2015).

As práticas de manejo empregadas nas atividades agrícolas geralmente causam interferências nos atributos físicos do solo, modificando a sua qualidade.

O manejo utilizado pode modificar atributos físicos como a densidade e a porosidade do solo, principalmente em áreas de pastagem devido ao pisoteio animal, que por sua vez irão influenciar diretamente na condutividade hidráulica do solo (BORTOLINI et al., 2016).

A condutividade hidráulica é essencial para o desenvolvimento das culturas e para as reações que ocorrem no solo, por isso áreas com alto nível de degradação e compactação do solo, aumentam o processo de perda de solo devido a diminuição da infiltração de água, causando processos de erosão impactando diretamente na qualidade do solo e desenvolvimento das culturas (KLEIN et al., 2015).

Embora sejam solos de alta aptidão agrícola, podem apresentar limitações no desenvolvimento das culturas, por causa da sua suscetibilidade a compactação e a baixa fertilidade natural, além de possuir em geral um pH ácido devida a grande presença de alumínio ao longo do seu perfil (FREITAS et al., 2014).

O Latossolo em função do seu material de origem e devido aos processos de intemperismo, possui uma acidez natural, que pode ser maximizada pela extração de cátions das culturas ou a perca dos mesmo por causa de processos de erosão e lixiviação, sendo necessária a sua correção com práticas de manejo do solo (SANTOS et al., 2017).

A técnica de manejo mais utilizada na correção do solo nos dias atuais é a calagem, pois o calcário é um produto com ocorrência natural e abundante. A sua resposta a neutralização da acidez no solo depende do contato e do teor de água do solo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

2.3 Cinza Vegetal

As cinzas vegetais são resíduos orgânicos gerados nas indústrias por meio da queima de biomassa. Apresentam diversos micronutrientes contendo altos teores de matéria orgânica total, fósforo, cálcio e uma alta relação C/N (SANTOS, 2012).

As cinzas vegetais apresentam substancias solúveis e insolúveis, como por exemplo carbonatos, sulfatos, fosfatos e elevados níveis de óxidos, podendo servir tanto para correção da acidez do solo, assim como fertilizante para o mesmo (MEDEIROS et al., 2015).

O Latossolo Vermelho como é de conhecimento, se caracteriza pela baixa fertilidade natural e pelo alto nível de acidez, que também influencia na disponibilidade de nutrientes. A correção da acidez do solo é extremamente necessária para o uso sustentável do solo, além de aumentar o desenvolvimento e a produtividade das culturas de interesse (BAMBOLIM et al., 2015).

Contudo a utilização de fertilizantes e corretivos de solo químicos além de poder causar um desequilíbrio ambiental, ainda são práticas com um alto custo, e por meio disso, os subprodutos da indústria surgem como alternativa para a redução de gastos e como consequência diminui a necessidade de utilização dos mesmos (BONFIM-SILVA et al., 2015a).

A cinza vegetal que pode ser empregada na agricultura e possui muitos nutrientes que são essenciais para as plantas, como o fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além disso, contribui diretamente para o aumento da fertilidade natural do solo, fornecendo cátions básicos e diminuindo a acidez devido as suas propriedades (BONFIM-SILVA et al., 2015b).

Estudos mostram que a utilização de resíduos orgânicos em conjunto com práticas de manejo com pouco ou nenhum revolvimento do solo, promovem melhorias na fertilidade das camadas superficiais, correção da acidez do solo, favorecendo o aumento e a atividade dos micro-organismos no solo (CHERUBIN et al., 2015).

Em um trabalho realizado por Bonfim-Silva et al., 2015c, avaliando os efeitos de seis doses de cinza vegetal (0, 3, 6 ,9, 12 e 15 g dm^{-3}) em gramíneas

forrageiras (Marandu e Xaraes), em casa de vegetação cultivado em Latossolo Vermelho, notou-se que as doses entre 9 e 10 g dm^{-3} de cinza vegetal promoveram um incremento na altura de plantas, número de folhas e número de perfilhos devido os nutrientes presentes na cinza, contribuindo para o vigor e persistência da pastagem.

A cinza vegetal é um resíduo secundário da indústria e é gerada a partir da queima da madeira que é utilizada para a produção de energia. Os nutrientes contidos nela depende do material de origem, mas em geral apresenta altas concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de alguns micronutrientes essenciais para o bom crescimento e desempenho das plantas, como exemplo, o zinco, cobre, ferro e boro (BEZERRA et al., 2016).

Segundo ARRUDA et al. (2016), a aplicação de cinza vegetal proporciona o aumento da atividade biológica no solo, principalmente por parte das bactérias. As cinzas contribuem para o aumento do carbono da biomassa microbiana, respiração basal e influencia diretamente no acréscimo das atividades das enzimas protease e urease.

Alguns micro-organismos do solo assim como algumas enzimas são muito sensíveis a determinados intervalos de pH do solo, em alguns casos não sendo capazes de exercer suas funções ou até mesmo de sobreviver devido ao pH ácido. A cinza vegetal por meio da sua função corretiva faz com que alguns desses organismos fundamentais para o sistema de produção consigam desempenhar suas funções corretamente (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008).

A aplicação de cinza vegetal favorece o aumento de bactérias e beneficia a atividade de decomposição de fungos do solo, devido a presença de nutrientes como potássio, fósforo, cálcio e magnésio e ao aumento de material orgânico no solo, respectivamente (OLIVEIRA, 2019).

2.4 Qualidade do solo

Existem conceitos que tentam definir o que é qualidade do solo, contudo a definição que melhor explica esse tópico, é a descrita por KARLEN et al. (1997), onde a qualidade é descrita como a capacidade de funcionamento do solo de modo a sustentar a produtividade animal e vegetal, mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar, além de prover moradia e saúde humana.

A qualidade em que o solo se encontra influencia em vários fatores, como na produtividade de culturas, equilíbrio dos ecossistemas, na atividade a ser explorada sobre ele, além de influenciar em outros ambientes próximos. Porém segundo Cândido et al. (2015), é mais difícil determinar indicadores de qualidade do solo quando se compara ao ar e a água, devido a ação de outros fatores externos que nem sempre são fáceis de avaliar, por exemplo o manejo de solo empregado, o uso da terra, interações entre os meios, assim como interesses políticos e socioeconômicos.

A qualidade e sustentabilidade do solo pode ser mensurada e alcançada respectivamente por meio de parâmetros, pois além de nos mostrar em que situação se encontra o solo, nos direciona os manejos necessários de correção para poder prover melhores rendimentos por parte das culturas (SILVA et al., 2020).

Segundo Lisbôa et al. (2016), os indicadores de qualidade do solo dependem do tipo e manejo do solo, do clima e das particularidades de cada região. Esses indicadores devem ser capazes de mensurar a capacidade do solo em manter e promover sua qualidade ambiental.

Os indicadores de qualidade do solo, mais conhecidos como IQS, devem ser escolhidos e utilizados devido a sua facilidade e flexibilidade, além da sua capacidade de fornecer subsidio para avaliação do manejo do solo, pois ele leva em conta as alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em resposta as variações que ocorrem no meio. Por meio do exposto, os IQS

servem como ferramenta para avaliar os impactos agrícolas em diferentes sistemas (CÂNDIDO et al., 2015).

Os principais fatores que podem ser utilizados como indicadores de qualidade física do solo são estabilidade dos agregados, densidade e condutividade hidráulica pois além de nos fornecer dados diretos sobre a qualidade do solo, eles estão relacionados com outros fatores inerentes ao solo (SILVA et al., 2020).

Os atributos químicos do solo devido as várias combinações e reações químicas que ocorrem ao longo do perfil, possuem maior variação do que os atributos físicos (CAVALCANTE et al., 2007). Dentre eles os que mais se destacam como indicadores são o pH, a matéria orgânica do solo, capacidade de troca catiônica e disponibilidade de nutrientes.

Alguns indicadores de qualidade do solo são mais complexos, pois combinam e integram características específicas do solo, permitindo o uso de várias funções e o levantamento de várias informações capazes de nos explicar e nos mostrar de forma mais real como o solo está reagindo perante aos impactos gerados nele (STEFANOSKI et al., 2016).

Um dos fatores no meio agrícola que pode influenciar negativamente a qualidade do solo é o sistema implantado na base da monocultura juntamente com práticas de manejo inadequadas pois acelera o processo de degradação do solo. Freitas et al. (2017), estudando as alterações causadas pelo monocultivo de cana-de-açúcar, mostraram que esse sistema de cultivo provoca o desequilíbrio do meio, influenciando os processos químicos, físicos e biológicos, afetando de forma negativa os atributos do solo.

A compactação é um dos processos que mais atinge a qualidade do solo, pois com a diminuição dos poros e aumento da densidade, tanto a permeabilidade, como a disponibilidade de água e nutrientes fica comprometida, bem como a atividade biológica que ocorre no meio (FREITAS et al., 2017).

2.4.1 Qualidade Biológica do solo

A qualidade biológica do solo se refere a quantidade e biodiversidade dos micro-organismos presentes nesse ecossistema e se estão desempenhando suas funções ou atividades de modo a manter o equilíbrio ecológico promovendo a saúde e sustentabilidade do solo (CARDOSO et al., 2013).

Os indicadores de qualidade biológica do solo são os que proporciona resposta mais rápida e eficiente em decorrência de mudanças no sistema, devido a abundância e as atividades exercidas pelos micro-organismos. Os principais indicadores desse grupo são a biomassa microbiana, a respiração, a nodulação por rizóbio, o quociente metabólico e a atividade enzimática do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os bioindicadores são definidos como processos ou propriedades biológicas que ocorrem no solo e podem ser utilizados para monitoramento da qualidade ambiental já que os micro-organismos reagem a mudanças súbitas causadas pelo manejo aplicado (PRESTES; KELIN, 2019).

As práticas de manejo causam alteração nos atributos do solo, desde a estrutura até o pH do solo, o que influencia diretamente a atividade biológica e fertilidade, causando prejuízos na qualidade do solo e no desenvolvimento das culturas instaladas (SILVA et al., 2015).

Quando se pretende avaliar a dinâmica de matéria orgânica e os efeitos do manejo empregado, como por exemplo a aplicação de resíduos vegetais no solo, atributos como atividade microbiana e o carbono orgânico do solo são utilizados como indicadores por serem sensíveis as mudanças decorridas das práticas utilizadas (ALMEIDA et al., 2016).

Em geral, os parâmetros utilizados nos bioindicadores são retirados de áreas nativas, com o mínimo de interferência humana, para que na áreas que se almeja implantar manejos agrícolas possa ser feita a comparação e avaliar os benefícios e malefícios, comumente utilizando níveis críticos para direcionar melhor a atividade empregada (MENDES; SOUSA; REIS JUNIOR, 2015).

2.5 Atividade Microbiana no solo

O manejo e as técnicas empregadas na utilização do solo afetam diretamente na biota do solo, interferindo nos processos biológicos e bioquímicos do meio. Segundo estudos realizado por Guimarães et al. (2017), quanto maior a diversidade vegetal, melhor será o desenvolvimento da biomassa microbiana e maior será o teor de C-orgânico no solo, o que favorece a produtividade agrícola em conjunto com a sustentabilidade do sistema.

A atividade microbiana do solo é influenciada pelo tipo de preparo do solo, pois a disponibilidade e a qualidade dos nutrientes estão relacionadas diretamente. O sistema de plantio direto favorece a atividade microbiana pois a perca de nutrientes por erosão ou lixiviação são menores, além do conteúdo de matéria orgânica e a umidade serem maiores ao longo do perfil do solo (DADALTO et al., 2015a).

Algumas das principais mudanças que ocorrem em solos cultivados são referentes ao pH e o ciclo de nutrientes, por causa das culturas instaladas e dos manejos de solo necessários. Essas mudanças afetam o ecossistema causando impactos a atividade biológica do solo, pois alguns micro-organismos são sensíveis a mudança de pH e a disponibilidade de nutrientes (FREITAS et al., 2017).

Segundo Freitas et al. (2017), solos com camadas compactadas diminuem a atividade biológica, isso porque devido as alterações na porosidade, a dinâmica de água e ar do solo muda, afetando os micro-organismos aeróbios e anaeróbios. Além do mais, com a limitação do desenvolvimento radicular, a rizosfera que é onde se concentra a maior parte da atividade biológica diminui consideravelmente.

Em um experimento utilizando a aplicação de lodo proveniente das estações de tratamento (ANDRADE; ANDREAZZA; CAMARGO, 2016), mostraram que esse resíduo orgânico além de ter um potencial corretivo e de fertilizante, teve efeitos positivos na atividade microbiana do solo pois a mineralização do carbono foi proporcional as doses aplicadas.

A adubação verde é outra técnica de manejo que contribui para a atividade microbiológica, devido a sua capacidade de diminuir a acidez do solo e estabelecer uma relação C/N da matéria orgânica do solo favorável ao aumento da biomassa microbiana e a disponibilidade de nutrientes (PINHEIRO et al., 2018).

A matéria orgânica do solo é um dos principais indicadores de qualidade do solo pois possuí grande suscetibilidade a alterações devido ao manejo empregado. A Matéria Orgânica do Solo além de relacionar com várias propriedades do solo influência nos processos de funcionamento do sistema, impactando diretamente a comunidade microbiana (ARAÚJO et al., 2012).

Matos et al. (2020), avaliando a atividade microbiana em um Neossolo Quartzarênico sob pastagem em três estados de conservação (ótimo, regular e marginal), mostraram que pastagens bem conservadas proporcionaram um aumento do Carbono da biomassa microbiana devido a maior produção de matéria seca e contribuição de substrato orgânico ao solo, aumentando os teores de Carbono.

CUNHA et al.(2016), realizaram um estudo com diferentes sistemas de manejo em Latossolo no cerrado, e concluíram que o sistema integrado pecuária-floresta apresentou melhor desempenho na atividade microbiana em vista que a cobertura do solo e a ciclagem de nutrientes proporcionaram melhorias nos atributos biológicos do solo.

Além do pH, outro fator que diminui a atividade microbiana é a salinidade do solo. Segundo (FREITAS, 2016), a salinidade no solo influencia a dinâmica da matéria orgânica, tornando-a de difícil extração e decomposição para os micro-organismos, além de inibir a taxa de respiração e a atividade metabólica deles.

As técnicas de manejo geralmente modificam as características das camadas superficiais do solo, onde se concentra a maior atividade biológica. Dessa forma funções essenciais para a sustentabilidade solo como decomposição de matéria orgânica, fornecimento de nutrientes para as plantas e a degradação de substâncias tóxicas estão diretamente relacionadas com a

forma e com o manejo agrícola escolhido para o solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

A integração de pastagens em sistema de rotação de culturas introduz substratos ricos em Carbono aumentando a decomposição microbiana, além de estimular a imobilização de nitrogênio por parte dos micro-organismos diminuindo as perdas desse elemento no solo via lixiviação (WALKUP et al., 2020).

2.6 Atividade enzimática do solo

A atividade enzimática é outro fator importante a ser considerado, já que as enzimas são responsáveis pela ciclagem de elementos, participam de processos biológicos referentes a parte orgânica e mineral do solo, tendo impacto direto nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA et al., 2012).

Da mesma forma que outros indicadores biológicos, a atividade enzimática é utilizada para identificar e mensurar perturbações no ecossistema devido as ações antrópicas de maneira até mais rápida do que indicadores físicos e químicos, isso porque o desempenho das funções essenciais das enzimas é influenciado perante ao manejo (PASSOS et al., 2008).

As mudanças inerentes à utilização de resíduos vegetais na agricultura podem ser avaliadas por meio de aspectos bioquímicos, como é o caso da atividade enzimática. Decorre-se ao fato de que as práticas de manejo podem alterar a variedade de micro-organismos do solo, que são a principal fonte de enzimas, influenciando na catalisação a hidrólise de constituintes da matéria orgânica do solo (EVANGELISTA et al., 2012).

A aplicação de resíduos orgânicos no solo como é o caso da cinza vegetal, além de fornecer nutrientes para as plantas, também fornece alimentos para os micro-organismos, aumentando a produção de enzimas extracelulares. Isso decorre pelo fato de que a produção de enzimas está diretamente ligada com a disponibilidade de nutrientes como o carbono, nitrogênio e potássio (CHEVIRON et al., 2021).

A qualidade ambiental do solo e o funcionamento sustentável do ecossistema podem ser avaliados por meio das enzimas, uma vez que os processos bioquímicos como decomposição e reposição de nutrientes essenciais para o solo e para as culturas são uma das principais funções desempenhadas pela atividade enzimática (LILI et al., 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização do experimento

O experimento foi instalado e conduzido no campo experimental da Universidade Federal de Rondonópolis, em Rondonópolis-MT, com coordenadas geográficas de 16°27'47" S, 54°34'44" W e altitude de 284 m (Figura 2). O clima na cidade de Rondonópolis é tropical, sendo classificado como Aw, de acordo com Köppen e Geiger. Essa classificação é caracterizada por um verão chuvoso e úmido e um inverno quente e seco (CLIMATE-DATE.ORG, 2021).

A pluviosidade média anual da cidade foi de 1436 mm em 2019, ano que foram realizadas as coletas (Figura 1).

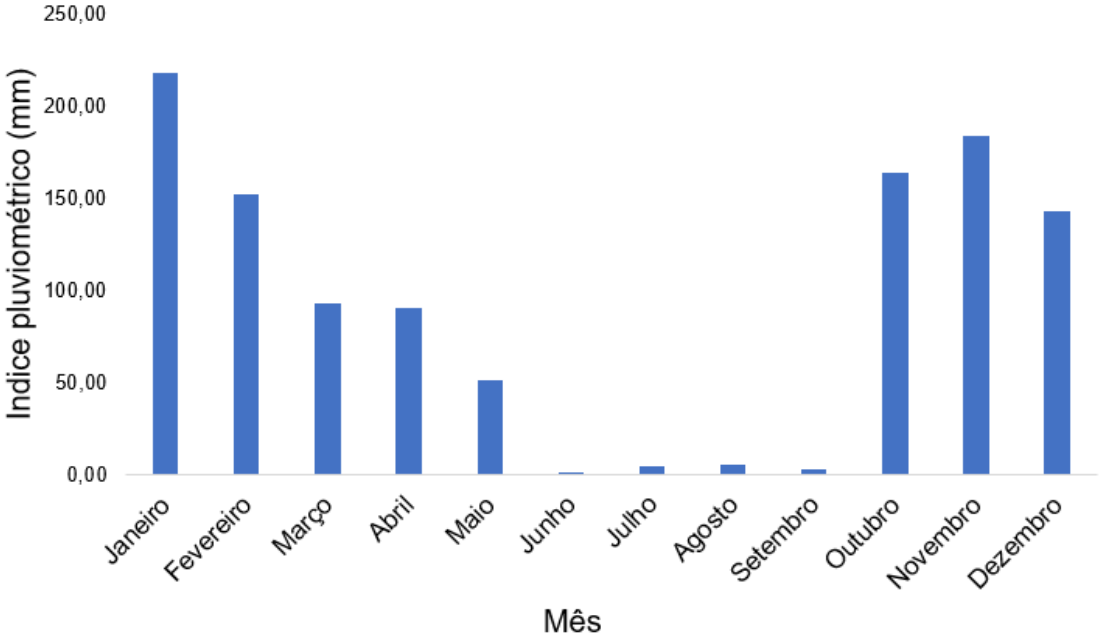

Figura 1. Precipitação mensal da cidade de Rondonópolis-MT no ano de 2019. **Fonte:** Agritempo.

Figura 2. Localização da área experimental onde foram coletadas as amostras de solo (Google Earth, 2021).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018). A cultura utilizada no experimento foi a *Uruchloa brizantha* cv. Paiaguás, que foi implantada em dezembro de 2018. O solo foi caracterizado por meio da sua composição química e granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química e granulométrica do Latossolo Vermelho Distrófico coletado da área experimental.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	MO	V	M	Areia	Silte	Argila
$CaCl_2$	mg dm^{-3}		$cmol_c$ dm^{-3}				$cmol_c$ dm^{-3}		g kg^{-1}	%		g kg^{-1}		
3,7	9,8	104,6	0,42	0,38	0,93	5,84	6,92	1,1	18,4	15,8	45,8	395	175	430

P- Fósforo; K- Potássio; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; Al- Alumínio; H- Hidrogênio; CTC- Capacidade de troca catiônica; SB- Soma de bases; M.O- Matéria orgânica; V- Saturação por bases; M- Saturação por alumínio. **Fonte:** SIMEON, 2020.

A quantidade de cinza vegetal aplicada obedeceu às doses conforme a necessidade de cada tratamento, além de ter sido utilizado duas formas de aplicação, a incorporada e a não incorporada. Nas subparcelas onde era necessária a incorporação da cinza vegetal ao solo, utilizou-se o trator com grade leve, revolvendo o solo até a profundidade de 15 cm, enquanto nas subparcelas onde foi aplicado o manejo não incorporado, a cinza foi distribuída a lanço sobre o solo com auxílio de baldes, sem o revolvimento do solo.

Além da cinza vegetal foi aplicado 100 kg de ureia ha^{-1} em todas as subparcelas da área experimental. A aplicação da ureia se fez necessária para satisfazer a necessidade da cultura, ao fato de que o teor de nitrogênio da cinza vegetal é baixo.

A semeadura do capim foi feita a lanço 30 dias após a aplicação da cinza vegetal, para que alcançasse o tempo necessário de reação. Para maximizar o contato do solo com a semente foi utilizado um escarificador de pequeno porte.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, esquema fatorial 5x2, composto por 5 doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24 e 32 t ha^{-1}), duas formas de aplicação da cinza vegetal (I- incorporada e NI- não incorporada), dispostas no arranjo em faixas.

O experimento foi composto de 10 tratamentos, sendo que cada um apresentou quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Cada unidade experimental correspondia ao tamanho de 72 m^2, com subparcelas de 36 m^2, e área total do experimento de 2176 m^2.

3.3 Coleta de solo

As amostras de solo foram coletadas em dois períodos, correspondentes ao período seco (agosto de 2019) e período chuvoso (dezembro de 2019). As amostras de solo foram submetidas a análise de pH e umidade em cada período

para a devida caracterização, além das análises de caráter biológico e enzimático para avaliar a qualidade do solo.

O solo foi coletado na profundidade de 0 a 0,10 m, com auxílio de trado holandês, pá reta, picareta e enxada. Para a amostragem de solo, foram coletadas 4 amostras simples em cada subparcela para poder formar uma amostra composta. Além das 40 amostras referentes ao experimento, foram coletadas 4 amostras compostas de uma área de mata nativa para servir de referência aos dados, pois trata-se de uma área preservada sem interferência antrópica (Figura 3).

Figura 3.(A) Coleta das amostras de solo da área experimental na profundidade de 0 -0,10 m (B) Acondicionamento das amostras de solo em saco plástico para armazenamento.

Depois de coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, que permitiam o contato com gases como O_2 e CO_2. Posteriormente, foram transportadas para o laboratório em caixas térmicas com gelo, e depois acondicionadas em freezer a 4 º C para se manter a qualidade do solo e atividade microbiana até a realização das análises (FILIZOLA; GOMES; SOUZA, 2006).

Após a coleta das amostras, todas as unidades experimentais foram submetidas a análise de umidade e pH para a devida caracterização. A umidade das amostras estava em média de 6% e 20% nos períodos seco (Figura 4) e

chuvoso (Figura 5), respectivamente. Os dados do pH do solo estão representados na Figura 6 e 7 de acordo com os períodos.

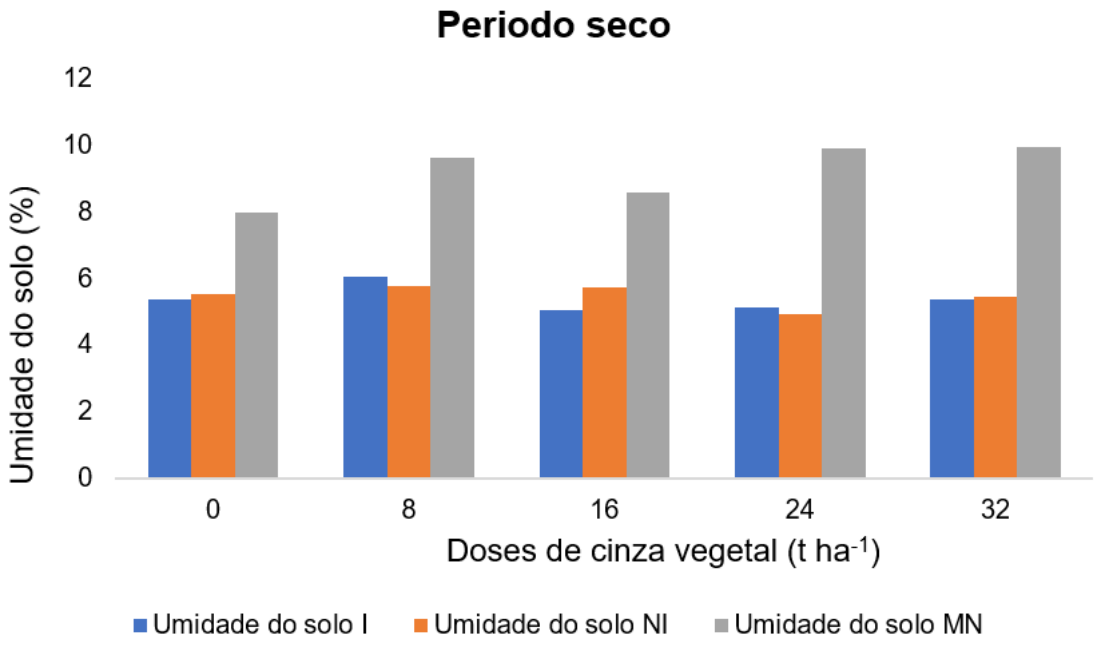

Figura 4. Umidade (%) das amostras de solo coletadas da área experimental no período seco em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa.

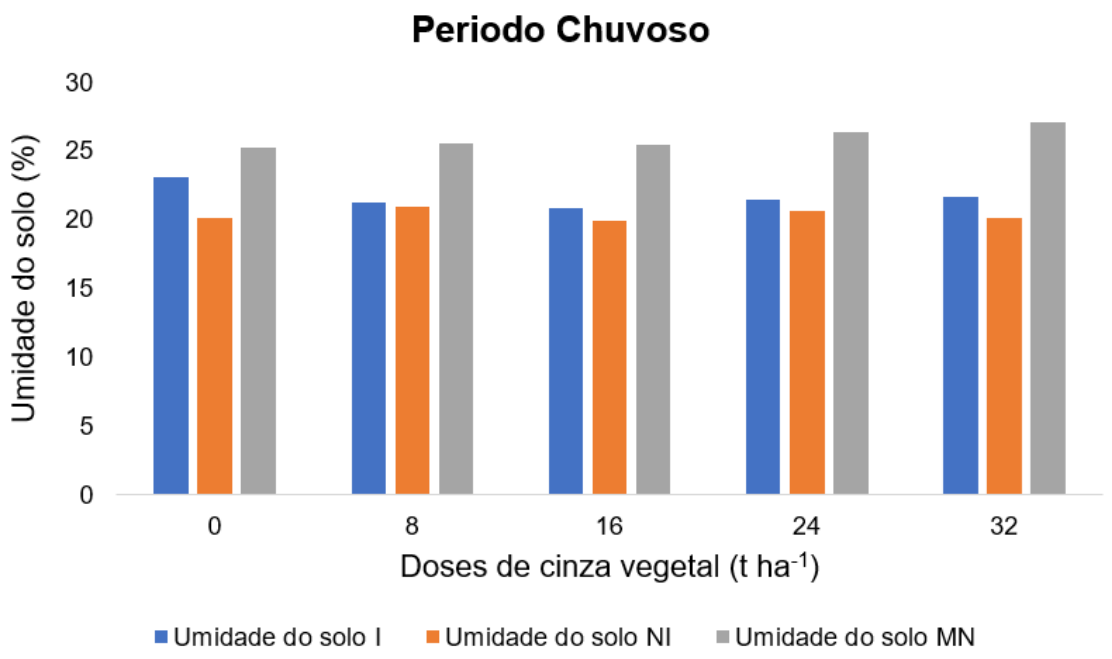

Figura 5. Umidade (%) das amostras de solo coletadas da área experimental no período chuvoso em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa.

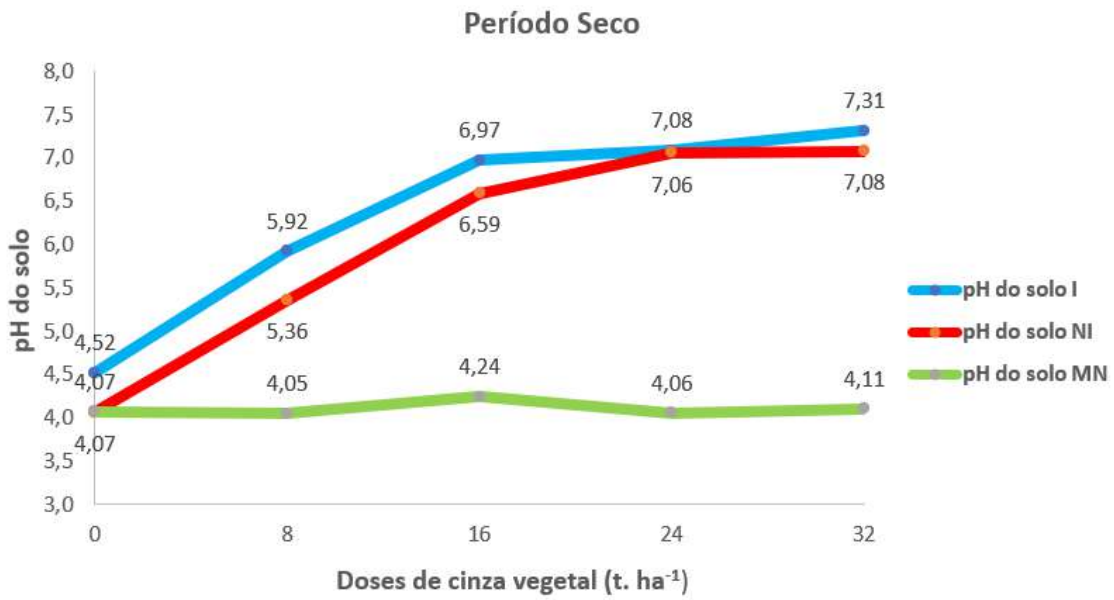

Figura 6. pH das amostras de solo referente ao período seco de coleta feito em solução de $CaCl_2$, em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa.

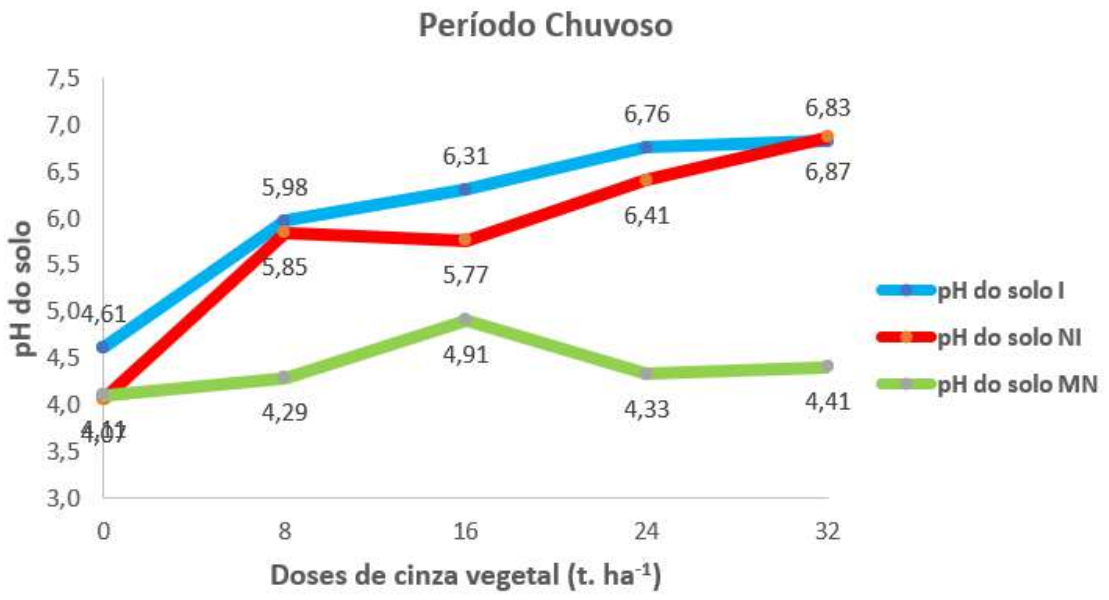

Figura 7. pH das amostras de solo referente ao período chuvoso de coleta feito em solução de $CaCl_2$, em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação. I- Cinza vegetal incorporada, NI- Cinza vegetal não incorporada e MN- Mata nativa.

3.4 Variáveis Analisadas

As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Meio Ambiente, na Universidade Federal de Rondonópolis. O pH e a umidade do solo foram determinadas para efeito de cálculos e caracterização das amostras. Para se avaliar a atividade microbiana e a qualidade do solo, os atributos bioquímicos do solo mensurados foram o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico, bactérias diazotróficas e a enzima fosfatase ácida.

3.4.1 pH do solo

O pH é uma medida do grau de acidez ou de alcalinidade que se encontra determinada solução. No solo os níveis de pH determinam e controlam processos químicos, influenciando principalmente a disponibilidade de nutrientes

no meio. Por isso para entender as reações e mudanças que ocorrem no meio se faz necessário saber em que nível de pH se encontra o solo estudado.

Na análise de pH das amostras foram utilizadas 44 amostras referentes ao solo coletado, utilizando o cachimbo com volume conhecido de 10 cm^3. Posteriormente, houve adição de uma solução de $CaCl_2$ que foi preparada segundo as especificações do fabricante. Em cada amostra foram pipetados 25 mL dessa solução, em seguida postas em repouso por uma hora (Figura 8).

Após o período de uma hora, cada amostra foi misturada com um bastão de vidro e logo em seguida seu valor de pH foi determinado por meio do peagâmetro (EMBRAPA, 2017).

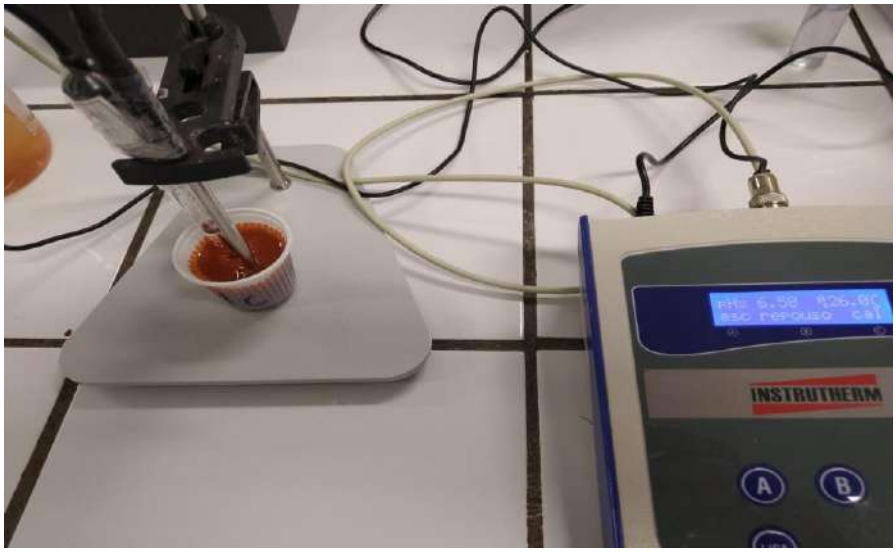

Figura 8. Leitura do pH das amostras de solo provenientes da área experimental feita em solução de $CaCl_2$, em função das doses de cinza vegetal e dos manejos de aplicação.

3.4.2 Umidade do solo

A umidade do solo é a quantidade de água que uma determinada porção conhecida de solo possui. A umidade pode ser expressa em porcentagem, água pelo peso ou volume do solo.

Para a realização da análise de umidade do solo, a amostra de solo deformada foi posta em um recipiente numerado e de massa conhecida. A amostra foi pesada (amostra úmida + recipiente) e transferida para estufa a 105

°C, deixando-a secar por um período de 24h. Posteriormente foi retirada da estufa e colocada em dessecador, após o recipiente esfriar se pesa a amostra seca + recipiente (EMBRAPA, 2017).

A umidade do solo é calculada por meio da seguinte equação:

$$U(\%) = \frac{(massa\ do\ solo\ umido) - (massa\ do\ solo\ seco)}{(massa\ do\ solo\ seco)} * 100$$

3.4.3 Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana

A análise de carbono e nitrogênio são determinadas pelo método da colorimetria (KEENEY e NELSON, 1982). A determinação baseia-se em dois processos: o de fumigação, que consiste na adição de 0,25 mL de clorofórmio em 5 g solo, em seguida leva se a incubação por um período de 24 horas em local sem luz e com temperatura controlada de 25 a 28 °C, finalizando com a evaporação do clorofórmio. O processo de não fumigação, você tem o mesmo número de amostras, porém sem a adição do clorofórmio.

Posteriormente, adiciona-se 20 mL da solução de K_2SO_4 (0,5M) no solo e depois coloca no agitador orbital a 220 rpm por 30 minutos, passa-se a solução na centrífuga por 5 minutos a 2500 rpm, filtrando o produto final obtido depois desses processos (Figura 9).

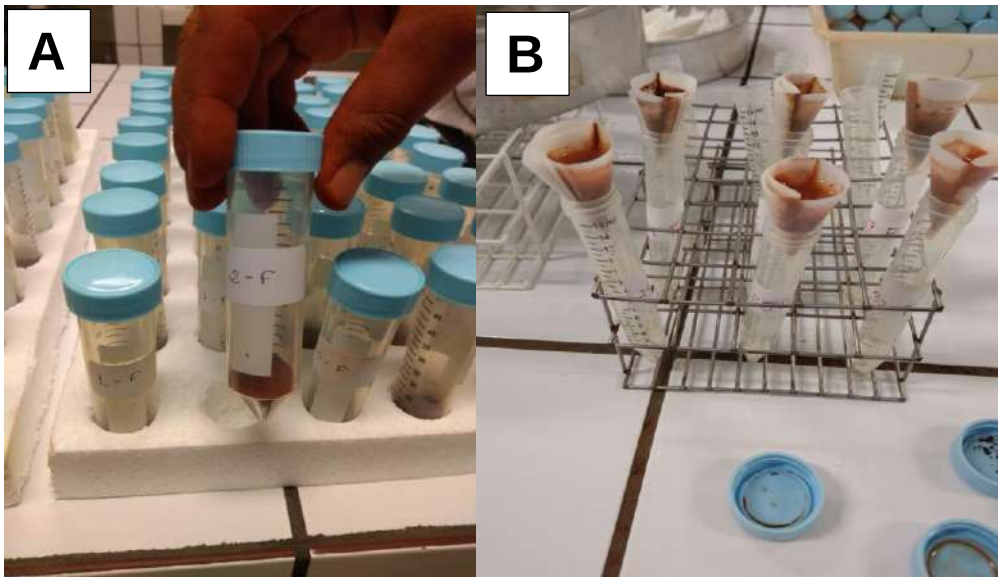

Figura 9. (A) Amostras de solo coletadas da área experimental com adição de clorofórmio para o processo de fumigação em tubos Falcon (B) Filtragem do extrato das amostras de solo após adição de clorofórmio e solução de potássio.

O extrato final resultante da filtragem pode ser usado para ambas as análises, tanto de carbono da biomassa microbiana, quanto para o nitrogênio da biomassa microbiana, mudando apenas a analise colorimétrica utilizada em cada uma.

A análise colorimétrica do nitrogênio se inicia transferindo 1 mL do extrato para tubos de ensaio, acrescentando 5 mL de solução de colorimetria, e após 15 minutos de repouso, adicionou-se 5 mL da solução de hipoclorito de sódio, levando-a para o agitador orbital por 1 hora, finalizando com a leitura da absorbância à 660 nm em espectrofotômetro (Figura 10).

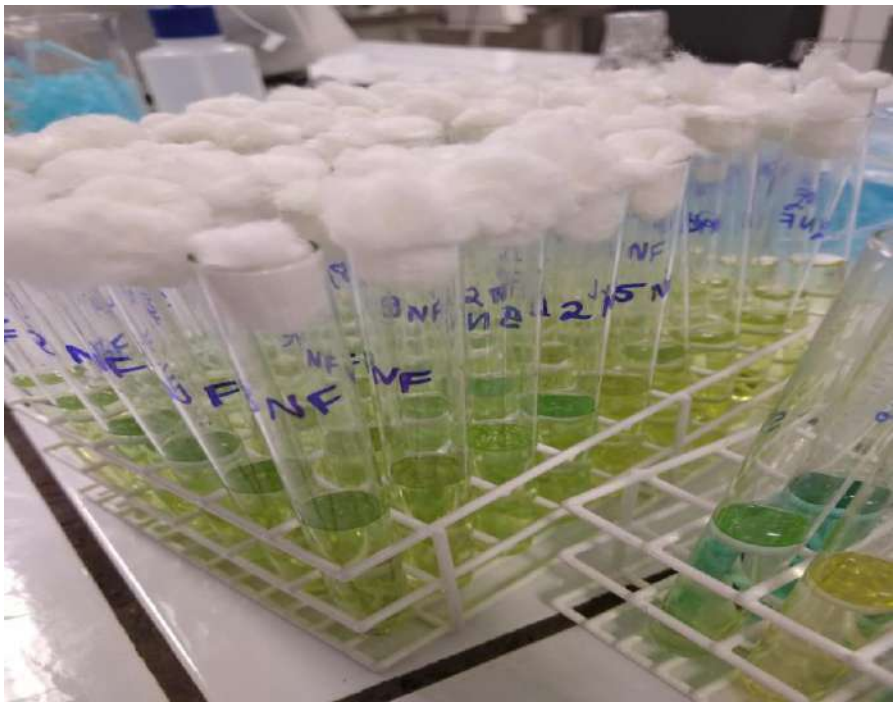

Figura 10. Amostras da análise colorimétrica do nitrogênio referentes a cada tratamento prontas para a leitura em espectrofotômetro na faixa de 660 nm de absorbância.

A concentração de NH_4^+-N L^{-1} presente nas amostras foi obtida por meio de uma curva de calibração, fazendo-se a diluição de uma solução de sulfato de amônio. Por meio da solução de amónio pipetou-se 0- 0,5- 1,0- 1,5- 2.0- 2,5 mL em balão volumétrico de 100 mL para alcançar as concentrações de 0- 5- 10- 15- 20- 25 mg de NH_4^+-N L^{-1}. Assim como os extratos retirados das amostras, as diluições passaram por todos os processos, inclusive pela solução de Colorimetria (Figura 11). A curva foi criada a partir dessas diluições utilizando o programa Excel, comparando leituras de absorbância versus concentração de NH_4^+-N L^{-1} (Figura 12).

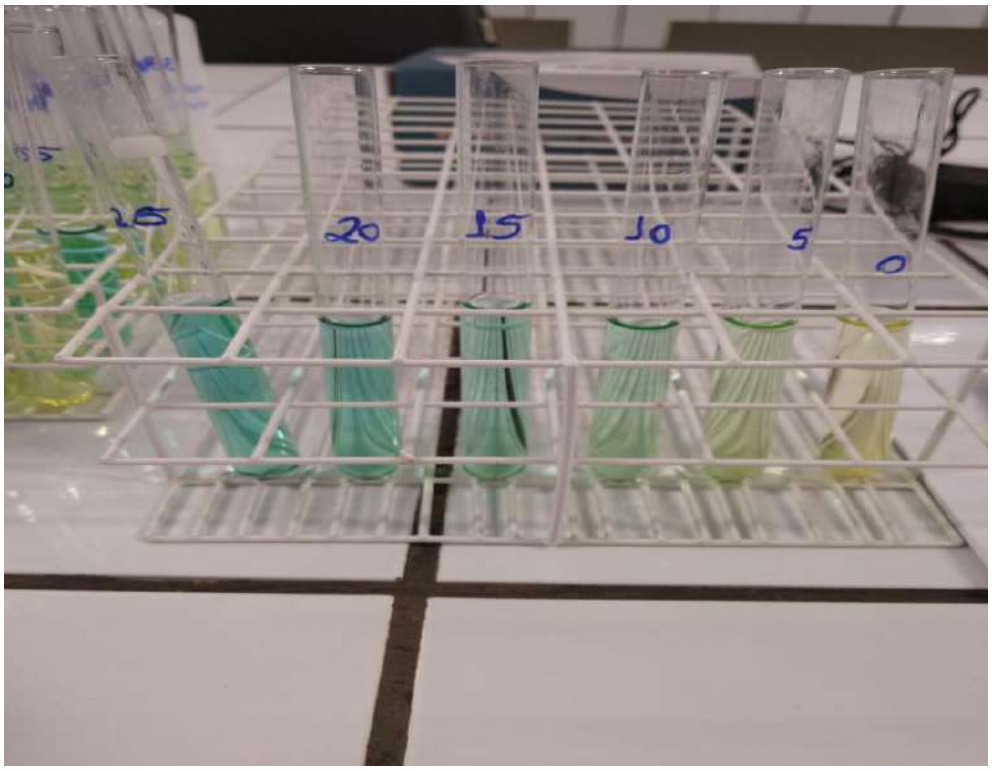

Figura 11. Amostras referentes a curva de calibração do nitrogênio com concentrações conhecidas de NH_4 0 - 25mg.

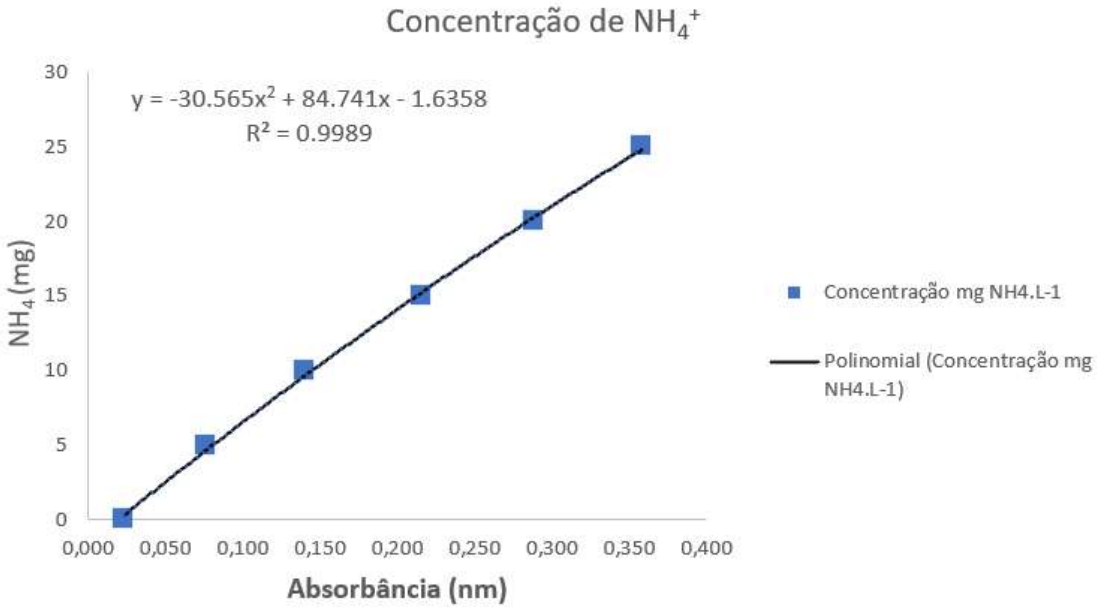

Figura 12. Equação da concentração de nitrogênio a partir da Absorbância versus concentração de NH_4^+ L^{-1}.

Para encontrar a concentração de nitrogênio das amostras, foi necessário calcular a correção, dada pela seguinte equação:

$$N\%\ Nitrogênio = \frac{C.0{,}01}{Peso\ da\ amostra}$$

C: concentração de nitrogênio das amostras.

Em relação ao carbono da biomassa microbiana, da mesma forma que o nitrogênio, a análise e adição de soluções se iniciou após o extrato proveniente das amostras de solo.

Para a análise de Colorimetria acrescentou-se ao extrato, 1 mL de pirofosfato de manganês e 1 mL de ácido sulfúrico concentrado. Em seguida, os tubos foram passados no vórtex e ficaram em estado de repouso durante um período de16 horas (Figura 13).

O branco foi feito com uma solução de sulfato de potássio 0,25M em substituição ao extrato. Depois do estado de repouso, decorre-se a leitura em espectrofotômetro a 495 nm de absorbância.

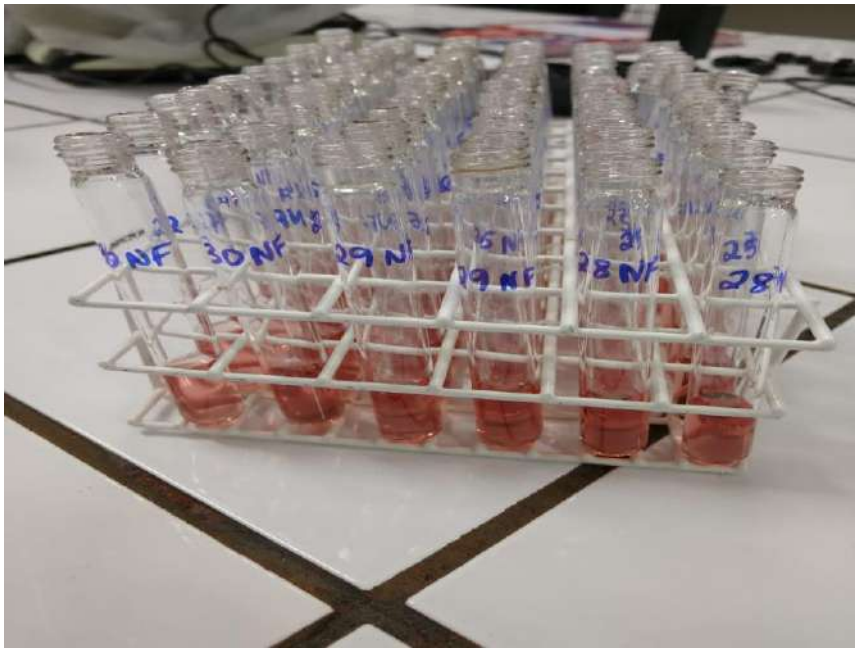

Figura 13. Amostras da análise colorimétrica do carbono referentes a cada tratamento antes da leitura em espectrofotômetro na faixa de 495 nm de absorbância.

Assim como no nitrogênio da biomassa microbiana, para encontrar as concentrações de carbono das amostras foi necessário a realização de uma curva de calibração. A curva de calibração foi feita por meio de uma solução de ácido oxálico diluída em concentrações de 0, 5, 10, 20, 50, 100, 120, 150 e 200 mg de carbono. Por meio da curva de calibração e da equação fornecida pelo Excel, as concentrações de carbono foram encontradas (Figura 14).

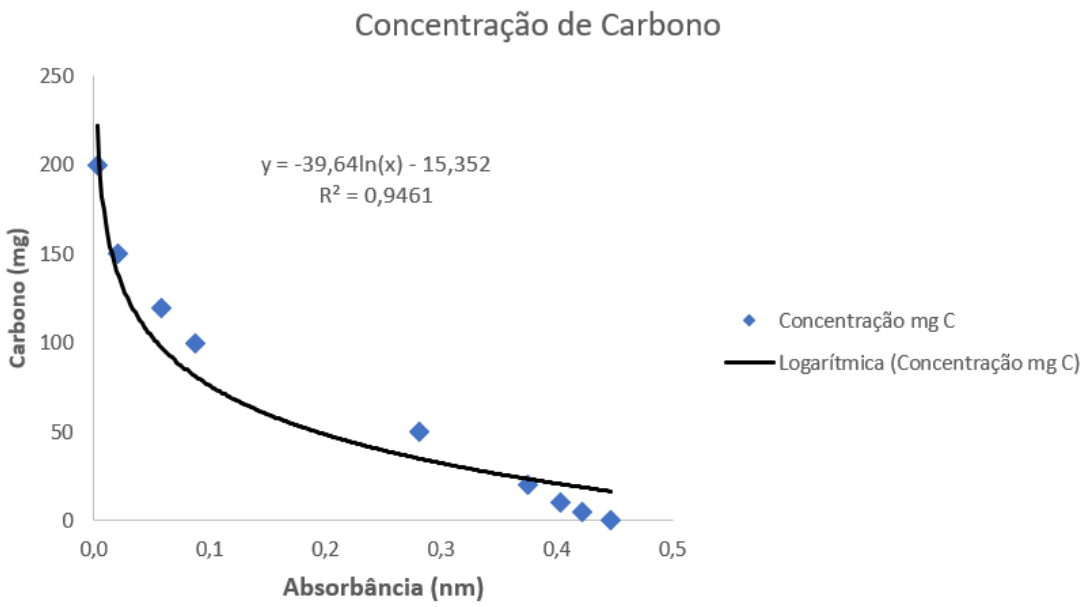

Figura 14. Equação da concentração de carbono a partir da Absorbância versus concentração de carbono.

Por meio da equação encontrada com auxílio do Excel, os valores de absorbância dados pelo espectrofotômetro foram submetidos a cálculos até resultarem em µg g^{-1} de solo.

$$\mathrm{C\ (mgCL^{-1}\ do\ extrato) = CL * fd}$$

CL= concentração de C (mg L^{-1}) na solução de leitura;
fd = fator de diluição (3,0).

$$\mathrm{CS\ (mgCg^{-1}) = (\frac{C * Vt}{1000})/MS}$$

Vt = volume total do extrato (mL);

Ms = massa de solo seco.

$$\mathrm{Vt} = \mathrm{Ve} + \mathrm{Vs}$$

V_E = volume do extrato;

V_S = volume de água na amostra de solo (mL).

$$\mathrm{CBM}\ (\mu\mathrm{g\ g}^{-1}) = \mathrm{CE}/\mathrm{Kec}$$

CE = (Carbono orgânico extraído da amostra fumigada) – (Carbono orgânico extraído da amostra não-fumigada);

K_{EC} = 0,38 (fator de recuperação do carbono das amostras de solo).

3.4.4 Respiração basal

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO_2 é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO_2 via degradação da matéria orgânica (SILVA et al., 2007).

A análise de respiração basal foi realizada com base na metodologia descrita por Silva et al. (2007), onde foram pesadas 50 g para cada amostra de solo, totalizando 44 amostras que foram colocadas em frascos de vidro. Em seguida, pipetou-se 20 mL de solução NaOH (0,5 M) em frascos de penicilina, os mesmos foram postos dentro dos frascos contendo o solo e fechados hermeticamente.

Após o fechamento, os frascos foram colocados em um local com ausência de luminosidade e com temperatura média de 25 °C durante o período de 7 dias. O branco foi feito por meio de uma amostra contendo apenas o hidróxido de sódio, sem a presença de solo (Figura 15).

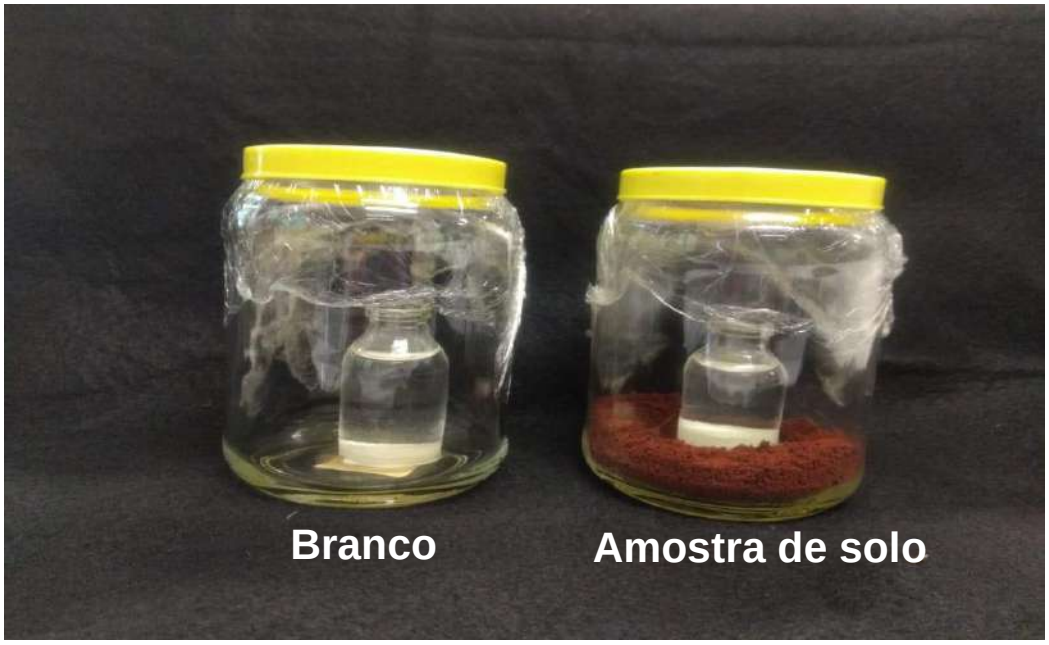

Figura 15. Amostra de solo coletada da área experimental pronta para ser incubada, juntamente com os tubos contendo solução de NaOH.

Depois do processo de incubação, realizou-se a quantificação de CO_2 respirado. Para realizar essa quantificação foram adicionados 3 mL de Cloreto de Bário ($BaCl_2$ 10% (m/v)) em cada frasco contendo a solução de NaOH, adicionando-se também 3 gotas de fenolftaleína.

A etapa final do processo se dá por meio da titulação da solução com ácido clorídrico 0,3 M, com o auxílio do agitador magnético. Por meio dessa adição, a solução passa a ficar incolor em vez da coloração rosa. Os dados referentes a quantidade de ácido clorídrico utilizado em cada amostra foram anotados e depois utilizados na equação abaixo para poder se ter os miligramas de C-CO_2 kg^{-1}solo h^{-1}.

$$\mathrm{RBS}\ (\mathrm{C-CO_2\ kg^{-1}\ solo\ h^{-1}}) = (\frac{(Vb - Va) * M * 6 * 1000}{Ps})/T$$

Vb= volume (mL) de ácido gasto na titulação do branco;
Va= volume (mL) de ácido gasto na titulação da amostra;
M= molaridade do ácido;

Ps= massa do solo seco (g);
T= tempo de incubação (h).

3.4.5 Quociente Metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) é a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo. Ele expressa quanto de CO_2 é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, representando a taxa de respiração específica da biomassa microbiana. Esse indicador mostra o quão eficiente é o processo de incorporação de carbono no solo por parte dos micro-organismos.

O quociente metabólico foi determinado a partir da respiração basal do solo e pelo carbono da biomassa microbiana, conforme a equação abaixo. Sua unidade é expressa em mg C-CO_2 kg^{-1} CO_2 dia^{-1} (DADALTO et al., 2015a).

$$qCO_2 = \frac{RBS}{CBM}$$

Sendo que,

RBS - Taxa de respiração basal do solo (mg de C-CO_2 kg^{-1} dia^{-1})
CBM - Carbono da biomassa microbiana (mg de CO_2 kg^{-1}).

3.4.6 Bactérias Diazotróficas

O crescimento e a quantificação de bactérias diazotróficas foram feitos para se verificar a presença desses micro-organismos perante o manejo do solo empregado, que se dá pela aplicação de diferentes doses de cinza vegetal. Para essa análise foram utilizados três meios de cultura diferentes para avaliar o crescimento das bactérias, sendo eles NFb (semiseletivo para *Azospirillum* spp.),

JNFb (semiseletivo para *Herbaspirillum* spp.) e JMV (semiseletivo para *Burkholderia* spp.).

O processo iniciou-se distribuindo 90 mL de solução salina em Erlenmeyer de 250 mL e 9 mL em tubos de ensaio, em seguida os recipientes foram levados à autoclave a 121º C por 22 minutos para a esterilização. Após a esterilização, foram pesados 10 g de solo que foram adicionados na solução salina do Erlenmeyer, sendo levados para mesa agitadora durante o período de 1 hora a 100 rpm.

Em sequência, foram realizadas algumas diluições seriadas, sendo colocado 1 mL dessa solução concentrada em um tubo de ensaio que continha 9 mL de solução salina, tendo-se assim a diluição 10^2. Depois, retirou-se 1 mL da diluição 10^2 e colocou-se em outro tubo com os mesmos 9 mL de solução salina, e assim sucessivamente, até a obtenção da diluição 10^6 (Figura 16).

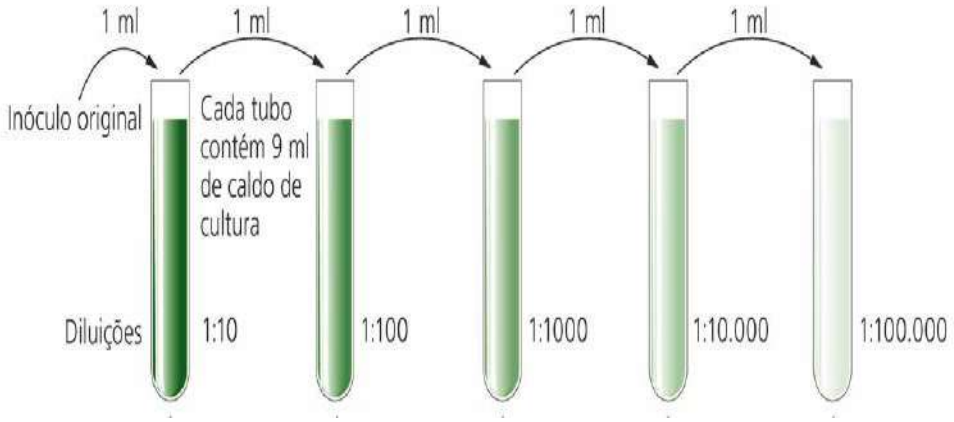

Figura 16. Diluição seriada para realização do processo de inoculação das bactérias. **Fonte:** CARVALHO, 2010.

O meio de cultura NFb foi preparado acrescendo 5 g de ácido málico, 0,5 g de K_2HPO_4, 0,2 g de $MgSO_4.7H_2O$, 0,1 g de NaCl, 0,02 g de $CaCl.2H_2O$, 2 mL de solução de micronutrientes, 2 mL de azul de bromotimol, 4 mL de FeEDTA, 1 mL de solução de vitaminas e 4,5 g de KOH por 1000 mL de solução. O meio teve seu pH ajustado para 6,5 a 6,8, posteriormente adicionou-se 1,8 g de Agar (DÖBEREINER et al., 1995).

O meio JNFb foi preparado da seguinte maneira: Adicionou-se 5 g de ácido málico, 0,6 g de K_2HPO_4, 1,8 g de KH_2PO_4, 0,2 g de $MgSO_4.7H_2O$, 0,1 g de NaCl, 0,02 g de $CaCl.2H_2O$, 2 mL de solução de micronutriente, 2 mL de azul de bromotimol, 4 mL de FeEDTA, 1 mL de solução de vitaminas e 4,5 g de KOH por litro. O meio JNFb teve o seu pH ajustado para 5,8 e em seguida foram adicionados 1,8 g de Agar (DÖBEREINER et al., 1995).

O último meio preparado foi o JMV e seu preparo se deu utilizando 5 g de manitol, 0,6 g de K_2HPO_4, 1,8 g de KH_2PO_4, 0,2 g de $MgSO_4.7H_2O$, 0,1 g de NaCl, 0,2 g de $CaCl.2H_2O$, 2 mL de solução de micronutriente, 2 mL de azul de bromotimol, 4 mL de FeEDTA, 1 mL de solução de vitaminas, isso para cada litro de meio. O pH deste foi ajustado para 4,2 a 4,5 e por fim adicionou-se 1,8 g de Agar (BALDANI et al., 2000).

Depois o meio foi distribuído em vidros de penicilina (10 mL), com conteúdo de 5 mL em cada. Após o meio esfriar, foi realizada a inoculação do meio com 0,1 mL de cada diluição seriada, sendo que cada diluição possuía 3 repetições.

Após estar pronto os meios inoculados devem ser colocados na estufa para incubação, conforme as necessidades de cada bactéria em relação ao tempo e temperatura, que variou entre 7 e 14 dias e 25 ºC e 30 ºC, respectivamente.

Após o tempo de incubação, a mudança de cor e a presença de uma lâmina ou película esbranquiçada na parte central ou superior do meio de cultura que indicam a presença de bactérias (Figura 17), o crescimento foi avaliado como positivo (+) para as amostras que resultaram em crescimento bacteriano e negativo (-) para as amostras que não tiveram crescimento bacteriano. O número mais provável (NMP) foi baseado na presença ou ausência da lâmina ou película esbranquiçada formada no meio semissólido. Os resultados encontrados foram convertidos em UFC mL^{-1} utilizando a tabela de McCrady (DÖBEREINER et al., 1995).

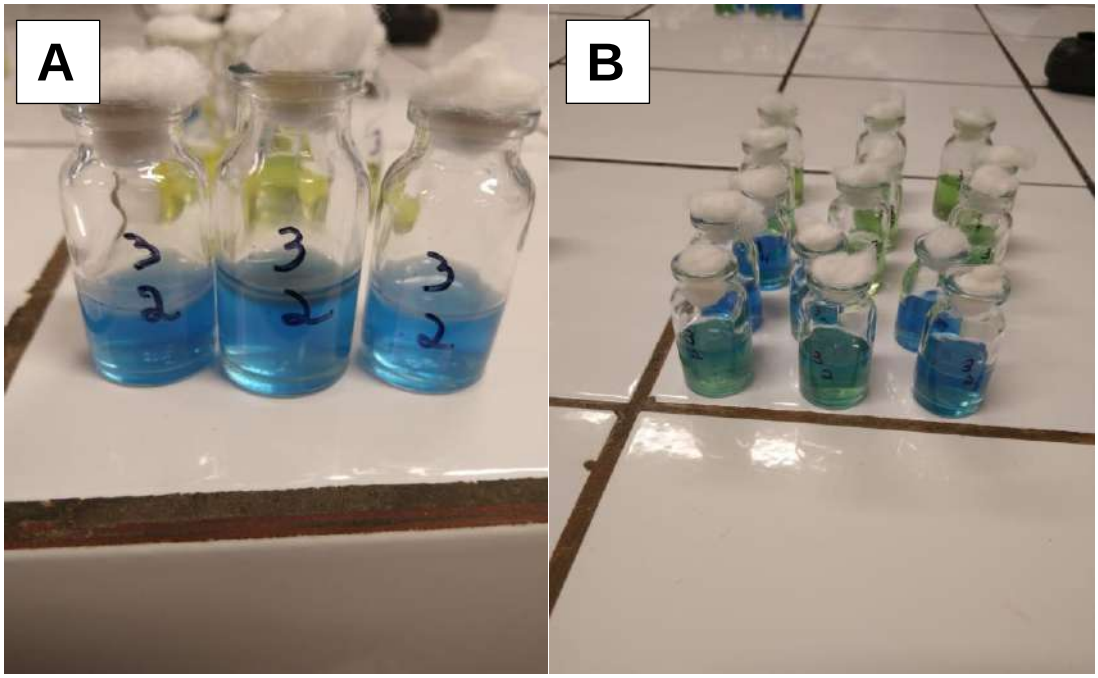

Figura 17. Meio semissólido para crescimento e quantificação de bactérias diazotróficas após 10 dias de inoculação.

3.4.7 Enzima Fosfatase Ácida

Para a análise dessa enzima foram pesados 0,5 g de solo de cada amostra com três repetições cada e depois postos em tubos de ensaio. Em seguida adiciona-se 0,120 mL de Tolueno, 2 mL de solução MUB (pH 6,5) e 0,5 mL da solução de ρ- nitrofenil (pH 6,5). Os tubos foram levados para ser agitado em vórtex, e deixados para repouso em banho-maria por 1h a 37 ºC.

Posteriormente, adicionou-se aos tubos de ensaio 0,5 mL da solução de $CaCl_2$ e 2 mL de NaOH 0.5M (Figura 18). Os tubos de ensaio foram levados ao agitador orbital por 1h, em seguida levados ao vortex. Feito isso as soluções devem ser filtradas em papel filtro 2 vezes antes de serem lidas no espectrofotômetro em 400 nm de absorbância (TABATABAI E BREMNER, 1969).

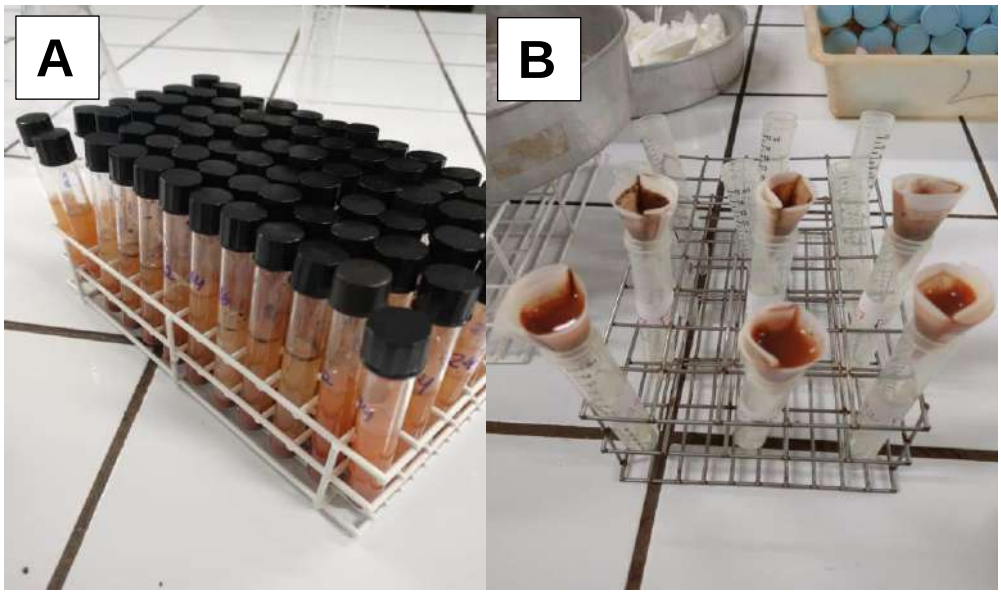

Figura 18. (A) Amostras de solo com adição do extrato da enzima fosfatase ácida antes da filtragem (B) Filtragem das soluções antes da leitura em espectrofotômetro na faixa de 400 nm de absorbância.

Assim como nas análises de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, a enzima requer uma curva de calibração que permite calcular a concentração de p-nitrofenol das amostras. A curva de calibração é obtida por meio de uma solução estoque de p-nitrofenol 0,01M, na qual 1 mL é retirado e diluído em 99 mL de água destilada. Por meio dessa solução 6 pontos de curva são estabelecidos, com as concentrações de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg p-nitrofenol (Figura 19).

Figura 19. Amostras referentes a curva de calibração da enzima fosfatase ácida com concentração conhecida de p-nitrofenol.

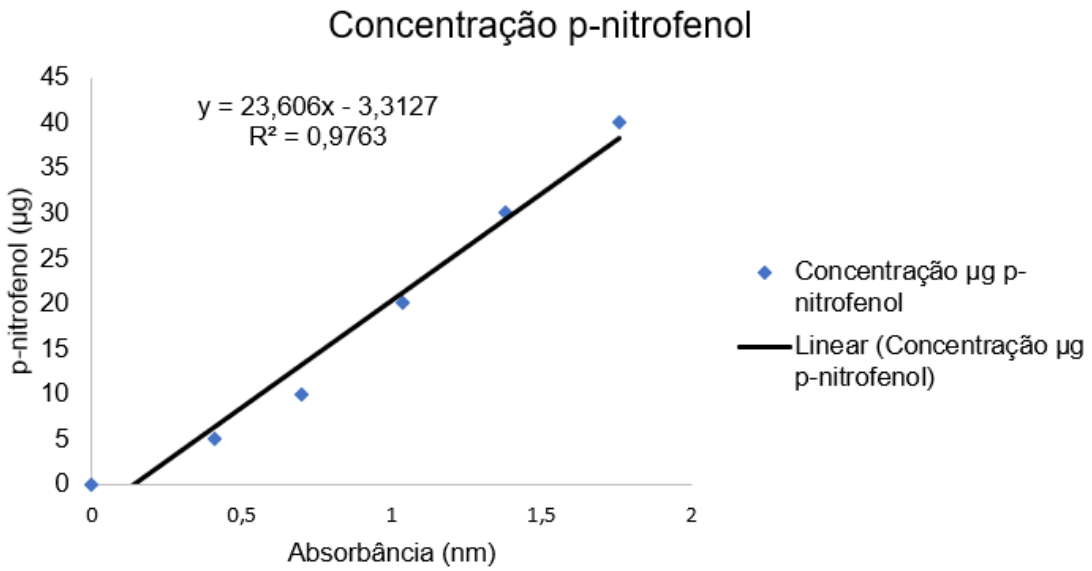

Figura 20. Equação da concentração de p-nitrofenol a partir da Absorbância versus concentração de p-nitrofenol.

Após determinar a equação da curva (figura 20), os dados encontrados foram submetidos a seguinte equação para fins de resultado final:

$$\mu g\ p - nitrofenol\ g\ de\ solo\ seco^{-1}\ h^{-1} = \frac{Equação\ da\ curva * 6{,}62}{g\ de\ solo\ seco}$$

3.5 Análise estatística

Os dados foram analisados pelo software R (R CORE TEAM, 2018), utilizando-se os pacotes ggplot2 (WICKHAM, 2009), lattice (SARKAR, 2008) e tidyverse (WICKHAM, 2017), executando análises paramétricas.

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ($p>0{,}05$) e de Bartlett ($p>0{,}05$), para verificação da normalidade e homogeneidade dos dados, respectivamente. Após a verificação da normalidade dos dados e tendo feito transformações quando necessário, se procedeu a análise de variância pelo teste F. As doses de cinza vegetal foram submetidas a análise de regressão e o manejo de aplicação foi submetido ao teste de Tukey ao nível de significância de 1%, 5% e 10% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro período, referente a época de seca, as análises feitas para bactérias diazotróficas (meios de cultura NFb e JNFb) e o quociente metabólico, apresentaram interação significativa entre os fatores (manejo e doses de cinza) a 0,1%, 10% e 10% de probabilidade de erro, respectivamente.

As variáveis carbono da biomassa microbiana e bactérias diazotróficas (meio de cultura JMV), apresentaram respectivamente diferença significativa a 5% e 10% de probabilidade, para o efeito isolado referente as doses aplicadas de cinza vegetal. Enquanto que a fosfatase ácida apresentou efeito significativo isolado para ambos, manejo e para as doses de cinza a 0,1% e 5%, respectivamente. Entretanto, as demais variáveis não apresentaram diferença significativa por meio do teste F para análise de variância (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período seco referente as variáveis Carbono da biomassa microbiana (CBM), Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), Respiração Basal (RBS), Quociente Metabólico (QCO_2) e Fosfatase ácida (FOS).

	Variáveis				
Fator de variação	**CBM**	**NBM**	**RBS**	**QCO_2**	**FOS**
Bloco	0.0520^{ns}	0.3909^{ns}	0.01896*	0.018159*	0.2587^{ns}
Manejo	0.8245^{ns}	0.8806^{ns}	0.64227^{ns}	0.767762^{ns}	$2x10^{-5}$***
Doses de cinza	0.0430*	0.8051^{ns}	0.17123^{ns}	0.001165**	0.01516*
Manejo x Dose	0.2771^{ns}	0.4454^{ns}	0.90385^{ns}	0.048543*	0.9978^{ns}
CV 1 (%)	46.51	186.95	6.20	81.30	0.89
CV 2 (%)	35.35	192.76	19.32	71.25	15.92
CV 3 (%)	36.93	176.76	15.44	79.83	8.19
Lambda (λ)	_	0.05	-1.1	-0.15	0.30
Shapiro-Wilk (p-valor)	0.1885^{ns}	0.7745^{ns}	0.1115^{ns}	0.1684^{ns}	0.907^{ns}
Bartlett-teste (p-valor)	0.5161^{ns}	0,003*	0.8442^{ns}	0.524^{ns}	0.835^{ns}

***: Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade (0,0001 ≤ p < 0,001); **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade (0,001 ≤ p < 0,01); *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05); ‘: Significativo ao nível de 10% de probabilidade (0,05 ≤ p < 0,1), ns: não significativo ao nível (p ≥ 0,1); C.V: Coeficiente de variação; Lambda (λ): fator de transformação do modelo da família Box-Cox.

Tabela 3. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período seco referente a variável bactérias diazotróficas (meios de cultura NFb, JNFb e JMV).

	Variáveis		
Fator de variação	**NFb**	**JNFb**	**JMV**
Bloco	0.894427^{ns}	0.31891^{ns}	0.52731^{ns}
Manejo	0.029831*	0.12058^{ns}	0.70481^{ns}
Doses de cinza	0.000816***	0.17453^{ns}	0.05612’
Manejo x Dose	0.000219***	0.08405’	0.38482^{ns}
CV 1 (%)	26.45	26.32	53.62
CV 2 (%)	17.26	23.61	32.57
CV 3 (%)	26.03	22.57	35.43
Lambda (λ)	2.45	1.8	2.6
Shapiro-Wilk (p-valor)	0.09419^{ns}	0.09864^{ns}	0.3446^{ns}
Bartlett-teste (p-valor)	0.456^{ns}	0.565^{ns}	0.5962^{ns}

***: Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade (0,0001 ≤ p < 0,001); **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade (0,001 ≤ p < 0,01); *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05); ‘: Significativo ao nível de 10% de probabilidade (0,05 ≤ p < 0,1), ns: não significativo ao nível (p ≥ 0,1); C.V: Coeficiente de variação; Lambda (λ): fator de transformação do modelo da família Box-Cox.

Nas análises de solo referentes ao período de chuva, para as doses de cinza vegetal e as formas de manejo de aplicação, o quociente metabólico apresentou interação significativa entre os dois fatores, a 5% de probabilidade de erro.

As variáveis Nitrogênio da biomassa Microbiana (NBM) e a Respiração Basal (RBS) apresentaram diferença significativa a 10% e 5% de probabilidade para o efeito isolado do fator manejo utilizado, respectivamente. Entretanto, as demais variáveis analisadas não apresentaram diferença significativa para a interação e também para o efeito isolado dos fatores (Tabela 4 e 5).

Tabela 4. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período chuvoso referente as variáveis Carbono da biomassa microbiana (CBM), Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), Respiração Basal (RBS), Quociente Metabólico (QCO_2) e Fosfatase ácida (FOS).

	Variáveis				
Fator de variação	**CBM**	**NBM**	**RBS**	**QCO_2**	**FOS**
Bloco	0.442^{ns}	0.100^{ns}	0.1868^{ns}	0.13978^{ns}	0.5455^{ns}
Manejo	0.749^{ns}	0.08667’	0.01899*	0.006081**	0.9752^{ns}
Doses de cinza	0.693^{ns}	0.21156^{ns}	0.39598^{ns}	0.005303**	0.4153^{ns}
Manejo x Dose	0.430^{ns}	0.64426^{ns}	0.39955^{ns}	0.039936*	0.7131^{ns}
CV 1 (%)	43.25	32.04	1.34	10.06	2.40
CV 2 (%)	27.00	89.74	5.16	26.34	4.97
CV 3 (%)	23.53	107.62	4.10	20.45	2.24
Lambda (λ)	0.5	0.45	_	0.1	-0.1
Shapiro-Wilk (p-valor)	0.690^{ns}	0.988^{ns}	0.1508^{ns}	0.7109^{ns}	0.9152^{ns}
Bartlett-teste (p-valor)	0.107^{ns}	$0,0886^{ns}$	0.06438^{ns}	0.9839^{ns}	0.4268^{ns}

***: Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade ($0,0001 \leq p < 0,001$); **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 \leq p < 0,01$); *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ‘: Significativo ao nível de 10% de probabilidade ($0,05 \leq p < 0,1$), ns: não significativo ao nível ($p \geq 0,1$); C.V: Coeficiente de variação; Lambda (λ): fator de transformação do modelo da família Box-Cox.

Tabela 5. Análise de variância do solo sob área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás no período chuvoso referente a variável bactérias diazotróficas (meios de cultura NFb, JNFb e JMV).

	Variáveis		
Fator de variação	**NFb**	**JNFb**	**JMV**
Bloco	0.7415^{ns}	0.6719^{ns}	0.4198^{ns}
Manejo	0.5484^{ns}	0.2502^{ns}	0.7008^{ns}
Doses de cinza	0.2110^{ns}	0.1987^{ns}	0.2141^{ns}
Manejo x Dose	0.1287^{ns}	0.8761^{ns}	0.1589^{ns}
CV 1 (%)	23.35	29.16	31.30
CV 2 (%)	19.00	21.72	51.29
CV 3 (%)	21.72	22.59	14.57
Lambda (λ)	–	–	2.7
Shapiro-Wilk (p-valor)	0.08943^{ns}	0.2756^{ns}	0.1472^{ns}
Bartlett-teste (p-valor)	0.727^{ns}	0.07438^{ns}	0.7876^{ns}

***: Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade (0,0001 ≤ p < 0,001); **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade (0,001 ≤ p < 0,01); *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 ≤ p < 0,05); ‘: Significativo ao nível de 10% de probabilidade (0,05 ≤ p < 0,1), ns: não significativo ao nível (p ≥ 0,1); C.V: Coeficiente de variação; Lambda (λ): fator de transformação do modelo da família Box-Cox.

4.1 Carbono da biomassa microbiana

O carbono da Biomassa microbiana não apresentou diferença significativa no período chuvoso. Entretanto, no período seco, observou-se diferença para o efeito isolado das doses de cinza, onde na análise de regressão, a curva polinomial de segundo grau se adequou melhor aos dados.

Por meio da equação encontrada, a dose que melhor contribuiu para o carbono da biomassa microbiana é a de 6,50 t ha^{-1}, proporcionando 2222,77µg de C g^{-1} de solo. Além disso, os resultados observados nos tratamentos em sua maioria foram superiores ao observado na mata nativa, que foi utilizada como referência (Figura 21).

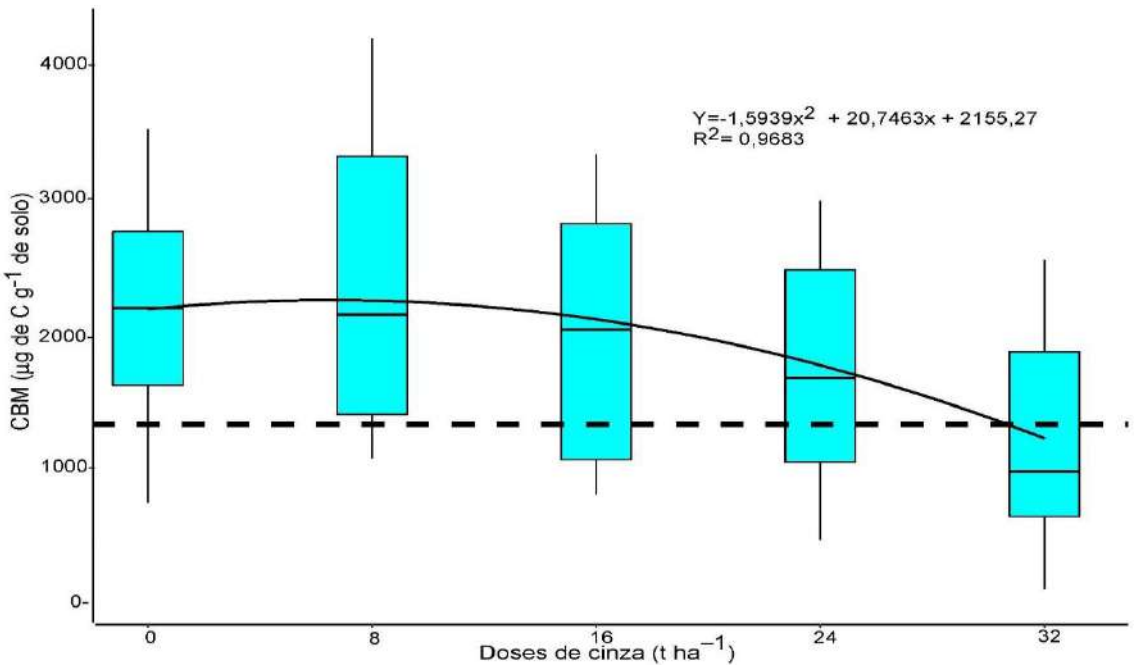

Figura 21. Efeito das doses de cinza vegetal sobre o carbono da biomassa microbiana do solo sob área de pastagem em dois manejos de aplicação, incorporado (I) e não incorporado (NI) no período seco. A linha pontilhada preta refere-se ao valor de referência baseado na mata nativa (1.292,654 µg de C g^{-1} de solo).

As doses de cinza vegetal aplicadas disponibilizaram nutrientes para o desenvolvimento da pastagem, contribuindo assim para o acumulo de carbono no solo. Segundo Alves et al. (2011), um sistema bem manejado sob braquiária, apresenta alto conteúdo de matéria orgânica e sistema radicular volumoso, favorecendo o aumento da biomassa microbiana do solo, consequentemente aumentando os valores de carbono da biomassa microbiana.

Os valores encontrados para o carbono da biomassa microbiana nesse experimento corrobora com os dados encontrados por Mazzetto et al. (2016), que estudando o comportamento da biomassa microbiana em diferentes sistemas de cultivo, encontrou valores iguais ou superiores em pastagem quando comparado com a mata nativa. Quanto mais tempo implantadas, as pastagens favorecem o acumulo de carbono no solo, se correlacionando positivamente com o aumento do carbono da biomassa.

A mata nativa além ser um ambiente sem nenhum revolvimento de solo e ter pouca interferência antrópica, apresenta alto teor de matéria orgânica,

favorecendo a microbiota do solo (ROSCOE, 2006). Contudo, nesse trabalho, os valores de carbono da biomassa nos tratamentos se mostraram superiores ao da mata nativa, mostrando que a aplicação de cinza contribuiu de forma significativa para a qualidade do solo, fornecendo nutrientes necessários para o aumento da microbiota.

Outro fator que explica esse valor inferior encontrado para mata nativa é decorrente que o Latossolo Vermelho distrófico possuir elevado teor de alumínio, aumentando a acidez natural do solo e fazendo com que alguns nutrientes essenciais para o aumento da biomassa microbiana não fique disponível no solo (MOURA et al., 2015).

A cinza vegetal atuou como fator corretivo do solo devido a sua composição química, diminuindo a acidez natural presente no solo utilizado nesse experimento. Oliveira et al. (2021) estudando os efeitos da aplicação de Biochar nos atributos biológicos do solo, demostraram que devido a mudanças em atributos químicos como o pH, houve um aumento do carbono da biomassa microbiana, pois solos com pH ácido influenciam na dinâmica dos nutrientes e consequentemente da biomassa microbiana.

A aplicação de resíduos industriais na agricultura como a cinza vegetal promove o aumento de atributos como o carbono da biomassa microbiana. Isso ocorre por que esses subprodutos são capazes de adsorver os nutrientes do solo em sua superfície e deixá-los disponíveis para a biomassa microbiana e a planta (MEDEIROS et al., 2015).

4.2 Nitrogênio da biomassa microbiana

O nitrogênio da biomassa microbiana não apresentou diferença significativa no período seco. Entretanto, no período chuvoso, a variável apresentou diferença significativa a 10% de probabilidade para o efeito isolado do manejo aplicado, destacando se o manejo incorporado, pois apresentou resultados mais consistentes (Figura 22).

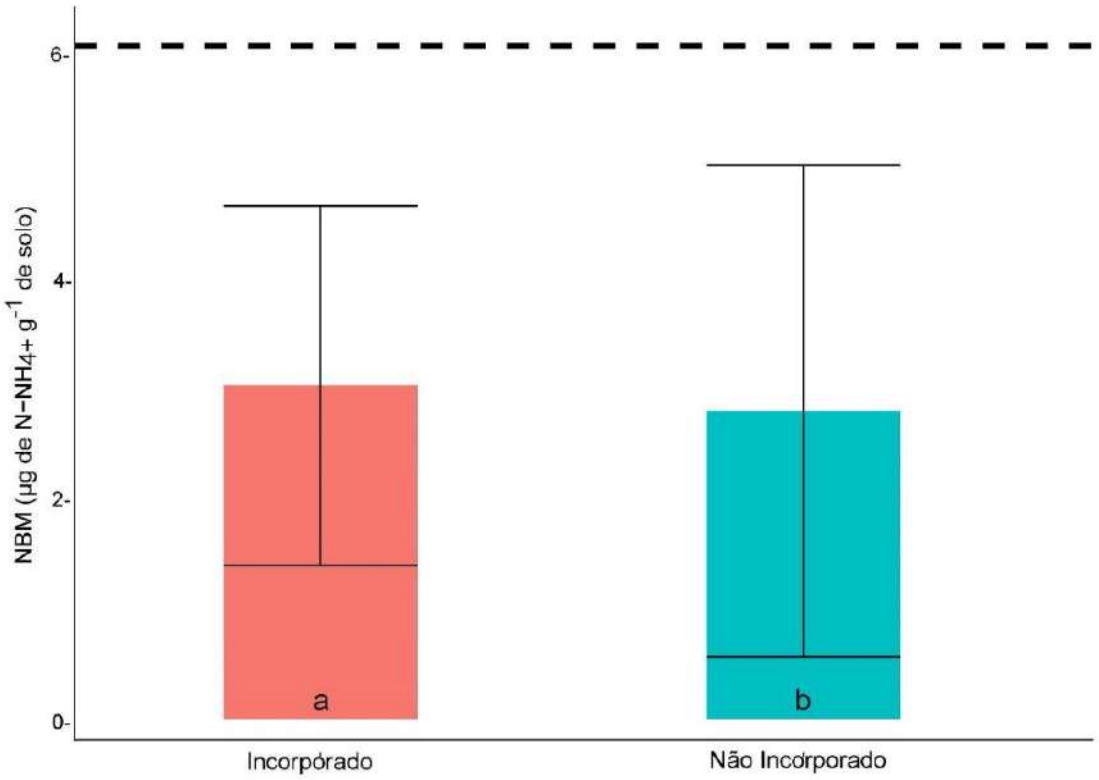

Figura 22. Efeito dos manejos de aplicação das doses de cinza vegetal sobre o nitrogênio da biomassa microbiana do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (6,04 µg de N-NH4+ g^{-1} de solo).

O nitrogênio da biomassa no período chuvoso apresentou diferença significativa entre os tratamentos pois o aumento da umidade favoreceu o desenvolvimento da atividade microbiana e com isso ocorreu uma maior incorporação de nitrogênio associada a biomassa microbiana. Hoffmann et al. (2018), explicam que o teor de umidade do solo influencia diretamente na cobertura vegetal, impactando na população microbiana.

Huang et al. (2018), avaliando atributos biológicos do solo como, respiração basal, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes épocas do ano, notaram que o nitrogênio da biomassa aumentou significativamente em períodos de alta precipitação e altas temperaturas. O acréscimo de água juntamente com a temperatura aumentou as reações no solo, favorecendo o crescimento da biomassa por meio da maior disponibilidade de substratos presentes no período chuvoso.

O manejo da cinza vegetal incorporado favoreceu a imobilização de nitrogênio por partes dos micro-organismos do solo, pois distribuiu a matéria orgânica ao longo do perfil do solo. Segundo Li et al. (2018), a utilização de práticas convencionais como é o caso da incorporação pode aumentar os valores de nitrogênio da biomassa microbiana, pelo fato de que a perturbação causada facilita o acesso microbiano a matéria orgânica que estava em macro agregados, estimulando a mineralização da matéria orgânica do solo.

A incorporação da cinza vegetal no solo aumenta a disponibilidade de carbono ao longo perfil do solo, além de influenciar a qualidade e quantidade de matéria orgânica. Esses dois fatores têm correlação direta com o carbono e nitrogênio total do solo, fazendo com que o manejo aplicado reflita no aumento ou decaimento do nitrogênio da biomassa (MAHARJAN et al., 2017).

Assim como os dados encontrados nesse trabalho, Ferreira et al. (2017), estudando os efeitos de manejos convencionais e manejos com pouco revolvimento na microbiota do solo, constataram que todos os manejos empregados apresentaram valores inferiores ao encontrado na mata nativa para a variável nitrogênio da biomassa microbiana . Ambientes com mínimo estresse causado devido ações antrópicas favorecem a atividade biológica no solo.

Os maiores valores para mata nativa em relação aos demais tratamentos em relação ao nitrogênio da biomassa, se deve pelos teores de matéria orgânica que beneficiam a atividade dos micro-organismos do solo. Segundo Gazolla et al. (2015), o nitrogênio da biomassa microbiana em áreas de mata nativa se beneficia pelos teores elevados de matéria orgânica, derivados da maior quantidade de resíduos vegetais depostos na superfície do solo, que fornece mais nutrientes principalmente em períodos de chuva, devido ao aumento da umidade.

4.3 Respiração basal

A respiração basal do solo apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade para o efeito isolado do manejo no período chuvoso. Dentre os manejos, o que utilizou a cinza de forma incorporada apresentou a maior média

referente a respiração (Figura 23). Em contrapartida, o período de seca não apresentou diferença significativa para nenhum dos fatores.

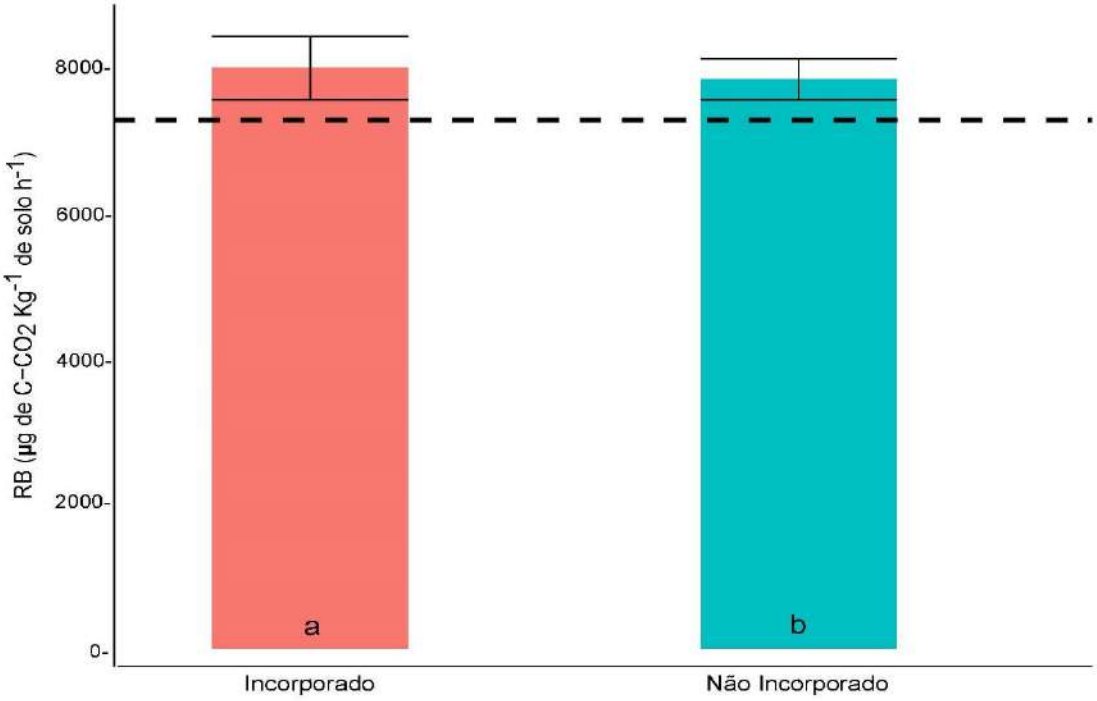

Figura 23. Efeito dos manejos de aplicação das doses de cinza vegetal sobre a Respiração basal do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (7.238,92 µg de C-CO_2 kg^{-1} de solo hora-^{1}).

A mata nativa em sua grande maioria apresentou média superior em relação aos resultados encontrados nos tratamentos. Por ser uma área de maior concentração de micro-organismos no solo, a respiração microbiana é intensa liberando maior quantidade de CO_2 (ALVES et al., 2011).

Os valores mais elevados da respiração basal no manejo incorporado são atribuídos ao distúrbio causada ao ecossistema pela prática, pois micro-organismos gastam mais energia para se manterem em ambientes instáveis. Contudo Matsumoto et al. (2019), explicam que os valores de respiração podem aumentar também devido à alta produtividade do ecossistema.

A alta taxa de respiração dos micro-organismos relacionado como a alta produtividade do sistema, indica que a incorporação da cinza vegetal também

favorece o processo de decomposição dos resíduos por parte dos micro-organismos do solo, consequentemente disponibilizando nutrientes para a planta (GUIMARÃES et al., 2017).

O período chuvoso, onde se tem altas temperaturas e alta umidade, são fatores determinantes na atividade dos micro-organismos do solo, por meio de reações químicas que disponibiliza substrato no meio. Nessas condições, a atividade microbiana aumenta influenciando o ciclo de carbono do solo, por meio da maior emissão de CO_2 (CRUZ-PAREDES; TÁJMEL; ROUSK, 2021).

Alves et al. (2019), estudando a respiração basal em diferentes profundidades do solo sob pastagem, mostraram que na camada de 0-10cm, a atividade biológica é mais intensa por causa da maior quantidade de matéria orgânica concentrada nessa camada. A maior quantidade de nutrientes com a melhora de atributos do solo devido a matéria orgânica, aumenta atividade biológica, consequentemente a respiração dos micro-organismos.

4.4 Quociente metabólico

O quociente metabólico apresentou interação significativa entre o manejo utilizado e as doses de cinza para o período chuvoso e para o período de seca, ambos a 5% de significância.

No período referente a seca, o manejo não incorporado apresentou interação significativa com as doses de cinza, sendo que a equação linear foi a que melhor descreveu os dados, tendo que a dose de 32 t ha^{-1} foi a que promoveu a maior média (5 $C{-}CO_2$ kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}), como é mostrado na Figura 24.

Em relação as doses de cinza, o manejo não incorporado apresentou valores superiores ao incorporado nas doses de 24 e 32 t ha^{-1}, enquanto que na dose 0, o manejo incorporado apresentou uma maior taxa de respiração (Figura 25).

Ressalta-se ainda que a mata nativa apresentou média superior aos tratamentos (4,61 $C{-}CO_2$ kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}), exceto quando comparada com as doses de 24 e 32 t ha^{-1}.

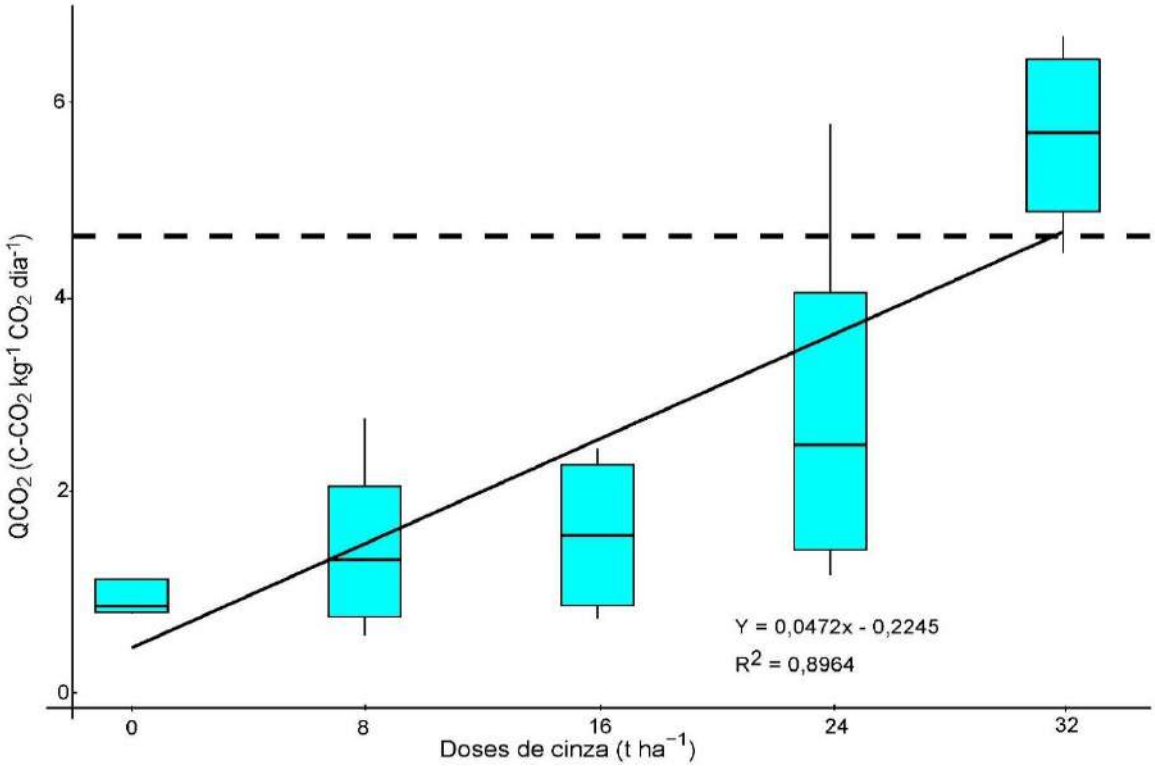

Figura 24. Efeito das doses de cinza vegetal dentro do manejo de aplicação não incorporado sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (4,61 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}).

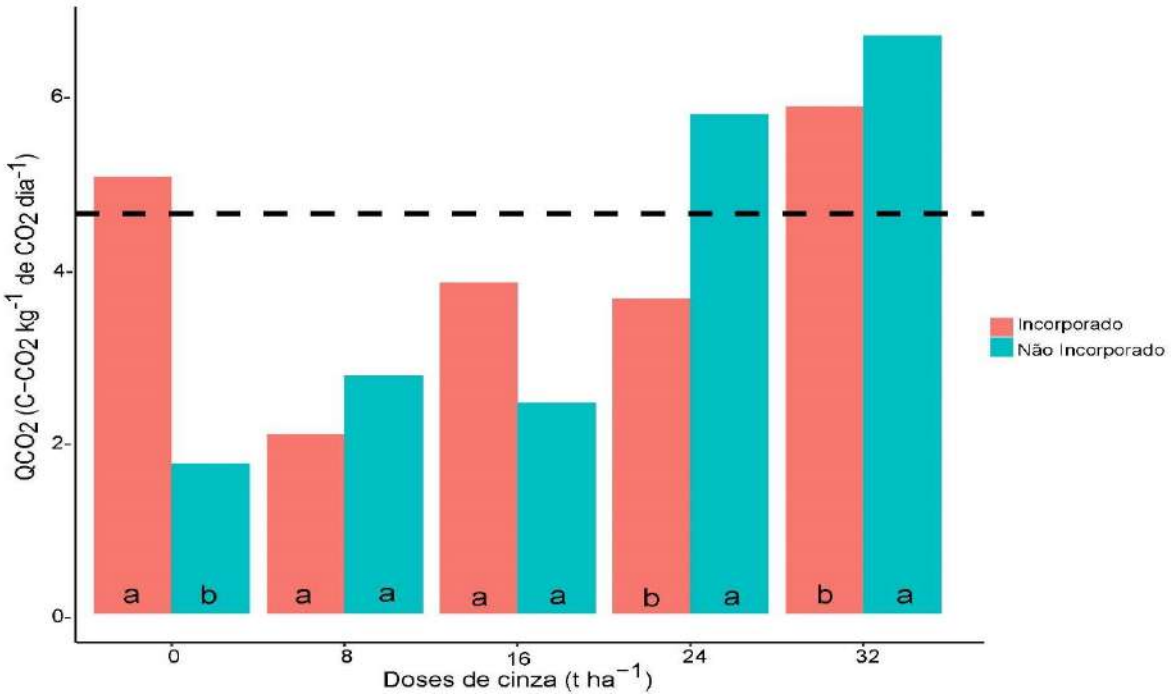

Figura 25. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (4,61 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}).

No período chuvoso, tanto o manejo incorporado quanto o manejo não incorporado apresentaram interação significativa com as doses de cinza, sendo que no tratamento incorporado (Figura 26) a dose que apresentou maiores taxas foi a de 24 t ha^{-1} e no tratamento não incorporado (Figura 27) foi a de 32 t ha^{-1}.

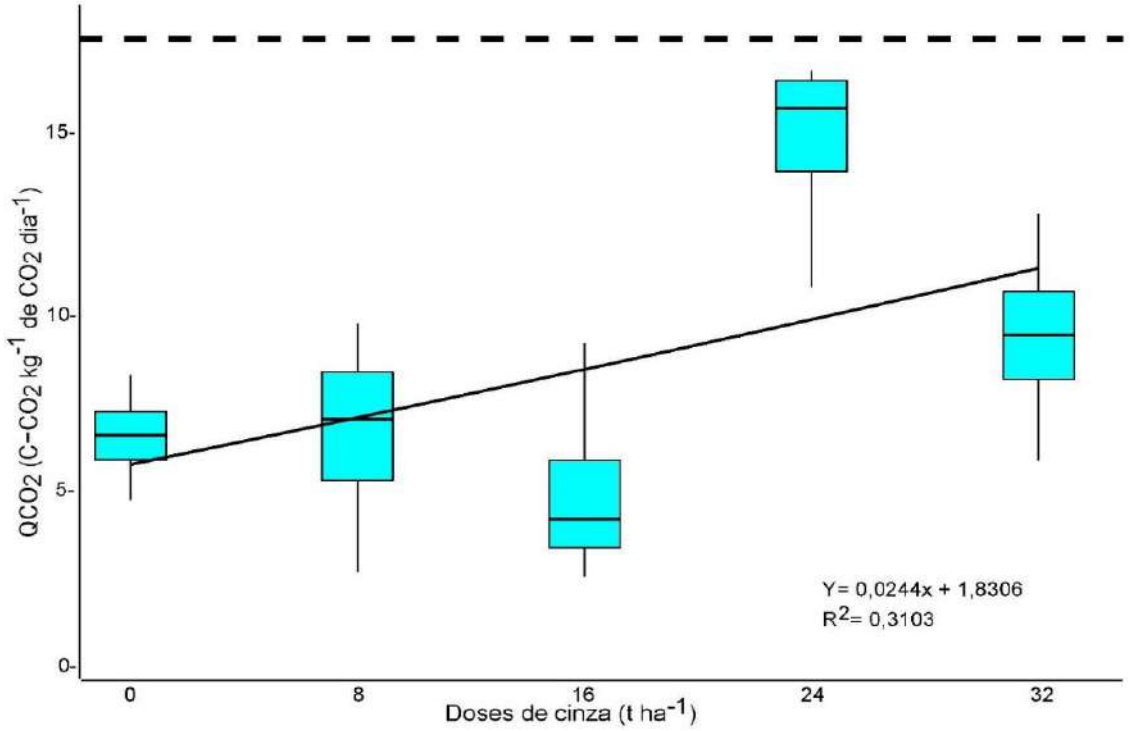

Figura 26. Efeito das doses de cinza vegetal dentro do manejo de aplicação incorporado sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (17,53 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}).

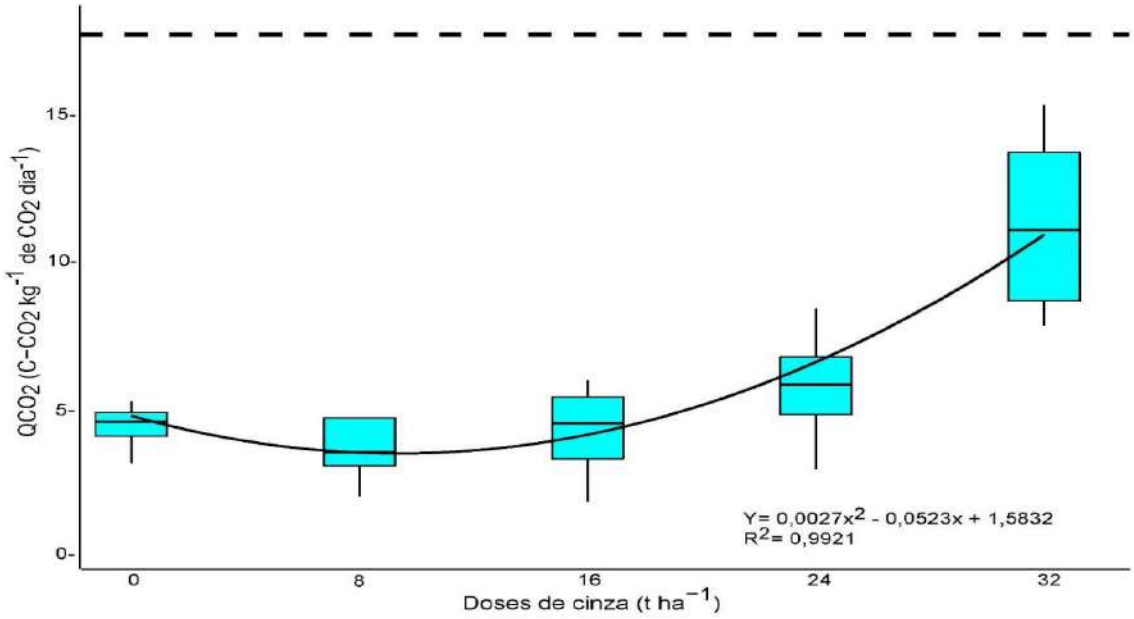

Figura 27. Efeito das doses de cinza vegetal dentro do manejo de aplicação não incorporado sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (17,53 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia^{-1}).

Em relação aos tipos de manejo utilizados, a única dose que teve diferença foi a de 24 t ha^{-1}, sendo que o incorporado apresentou valores superiores ao não incorporado (Figura 28).

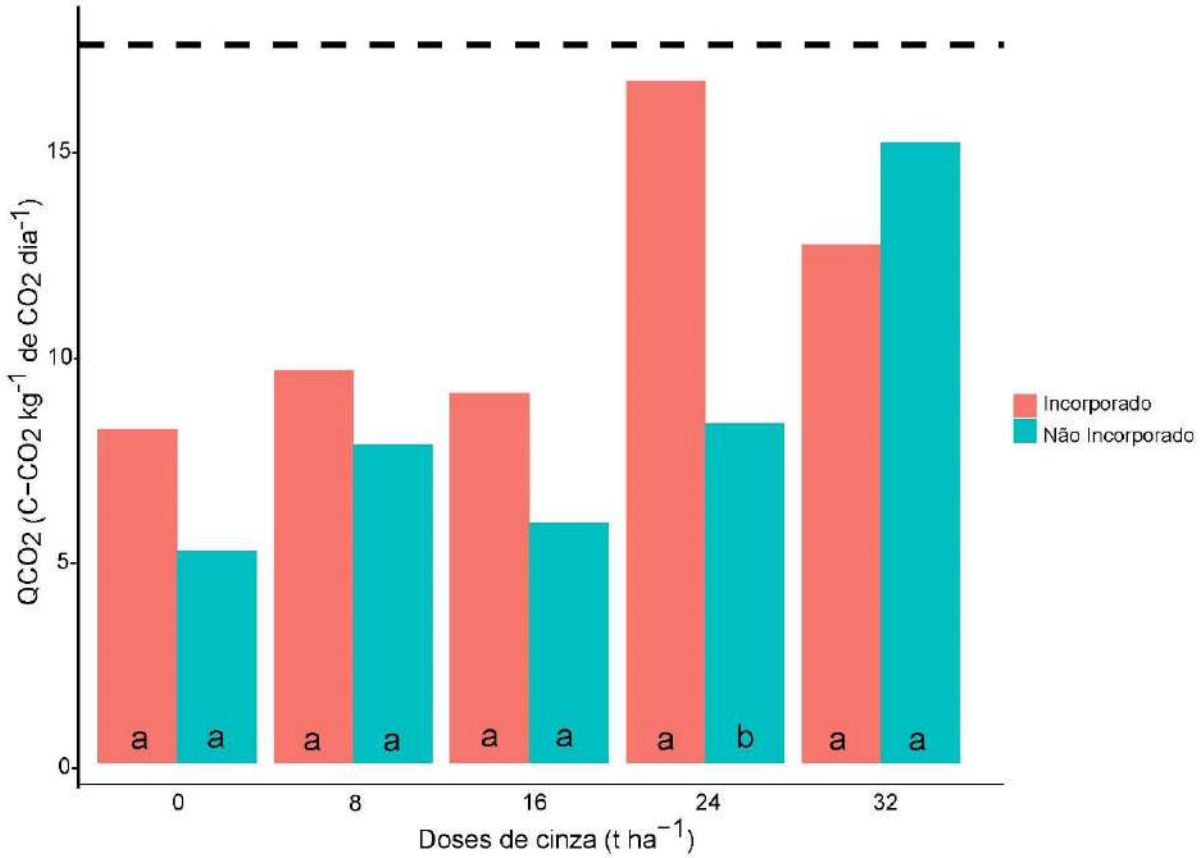

Figura 28. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o quociente metabólico do solo sob área de pastagem no período chuvoso. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (17,53 C-CO_2 kg^{-1} de CO_2 dia-^{1}).

Por meio dos resultados obtidos, notou-se que as doses de 24 e 32 t ha^{-1} de cinza vegetal causaram estresse e promoveram condições adversas a atividade microbiana, aumentando a perda de carbono do solo da área experimental para a atmosfera via CO_2. Alves et al. (2011) explicam que altos valores de quociente metabólico indicam que que os micro-organismos estão oxidando carbono de suas próprias células para se manterem vivos no meio.

O manejo incorporado da cinza vegetal ao solo apresentou de forma geral valores maiores para quociente metabólico, demonstrando que a perturbação causada pelo revolvimento do solo afetou de forma negativa a comunidade

microbiana do solo. Dadalto et al. (2015b) explicam que manejos onde existe a perturbação do solo mesmo que seja mínima ocasiona aumento do quociente metabólico, pois em ambientes com presença de ação antrópica, os micro-organismos se tornam menos eficientes, diminuindo a incorporação de carbono na biomassa.

A cinza vegetal possui grande poder de correção da acidez no solo, porém altas doses podem elevar o pH de forma a fazer com que alguns nutrientes não fiquem disponíveis, obrigando os micro-organismos a utilizarem sua própria célula como fonte, diminuindo a eficiência da decomposição (ARRUDA et al., 2016). As doses de cinza vegetal de 24 e 32 t ha^{-1} elevaram o pH acima de 7,0 mudando e diminuindo a disponibilidade de nutrientes essenciais como fósforo, enxofre e nitrogênio para a braquiária e os micro-organismos.

Em ambos os períodos estudados nesse trabalho, o manejo não incorporado apresentou valores inferiores para o quociente metabólico em relação ao incorporado, corroborando com os resultados encontrados por Primieri et al.(2017), que estudando o atributos biológicos do solo, percebeu valores menores de quociente metabólico em sistemas bem manejados e com pouco interferência quando comparados a sistemas convencionais.

Almeida et al. (2016), estudando a qualidade do solo em cultivo com cana de açúcar, notou que quanto mais tempo o sistema estava implantado, maior era a quantidade de palhada na camada de 0-10cm, aumentando os valores de Carbono da biomassa microbiana e diminuindo os valores do quociente metabólico.

A adição de cinza vegetal em doses menores do que 24 t ha^{-1}, contribui para a estabilidade dos micro-organismos, pois além de servir de proteção, forneceu carbono em quantidades suficientes para que não houvesse a exaustão de carbono, aumentando assim a incorporação do nutriente no solo, causando menores perdas por respiração (ZHOU et al., 2017).

4.5 Bactérias diazotróficas

No primeiro período de coleta, referente a época de seca, o meio de cultura NFb apresentou interação significativa entre os fatores (manejo e doses de cinza), a 0,1% de probabilidade de erro, como mostrado nas Figuras 29, 30 e 31. Contudo essa mesma interação não foi observada no período chuvoso.

Em ambas as interações, o manejo incorporado e a dose de cinza de 8 t ha^{-1} apresentaram os maiores valores para unidades formadoras de colônia. Ressalva-se ainda que o meio seletivo para bactérias do gênero *Azospirillum* spp. apresentou valores superiores ao da mata nativa em todos os tratamentos.

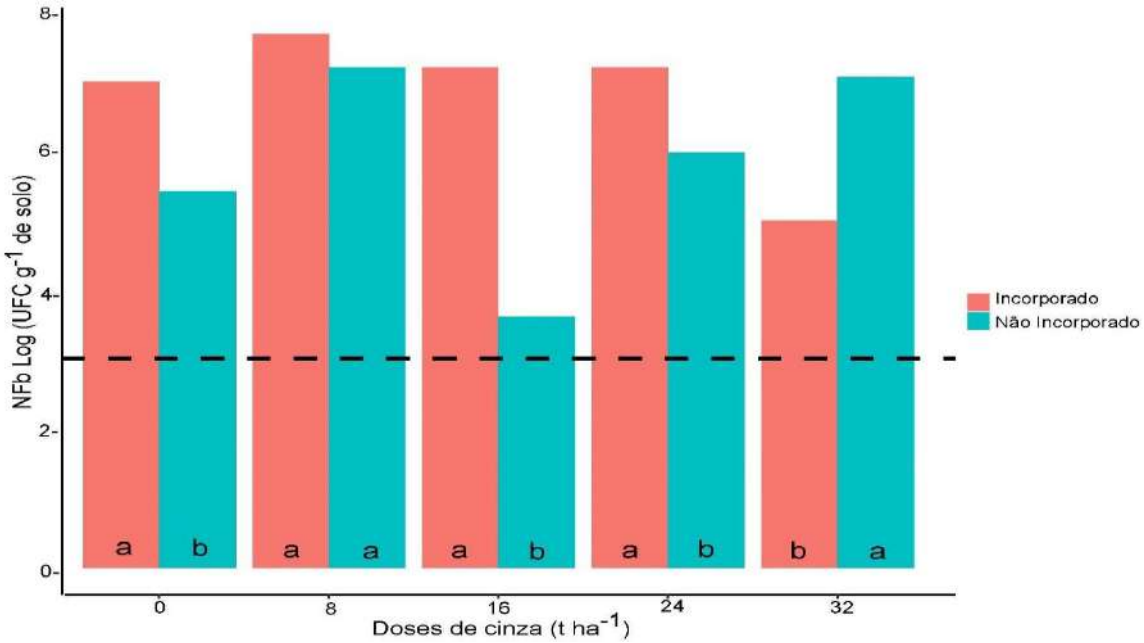

Figura 29. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio NFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (3,00).

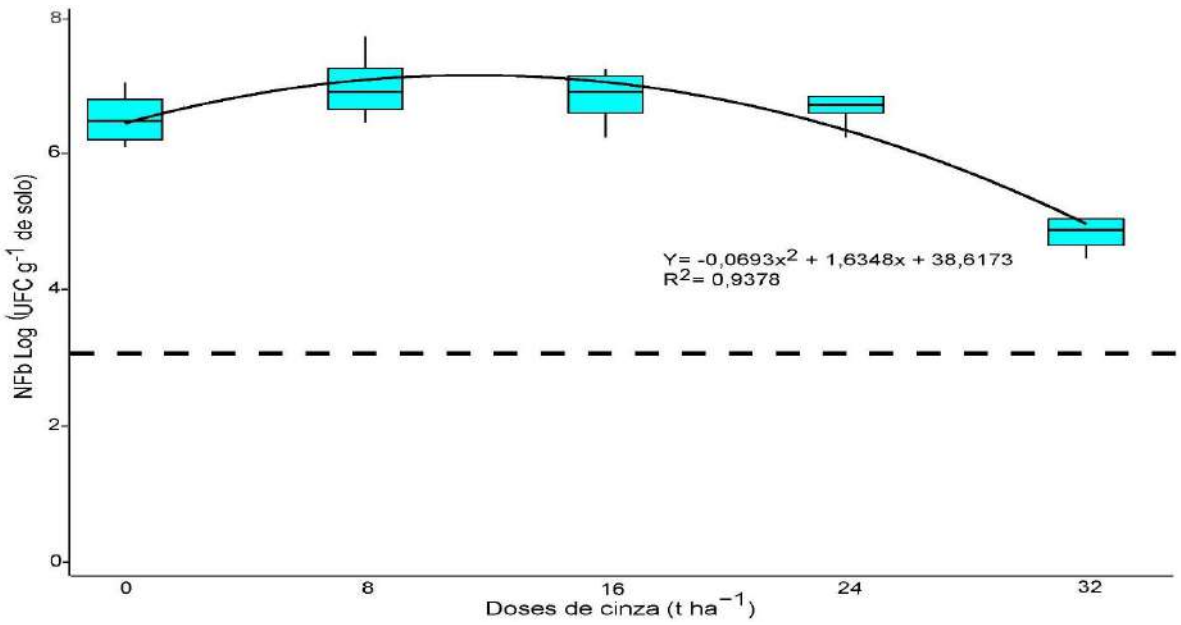

Figura 30. Efeito das doses de cinza vegetal em relação ao manejo de aplicação incorporado sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio NFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (3,00).

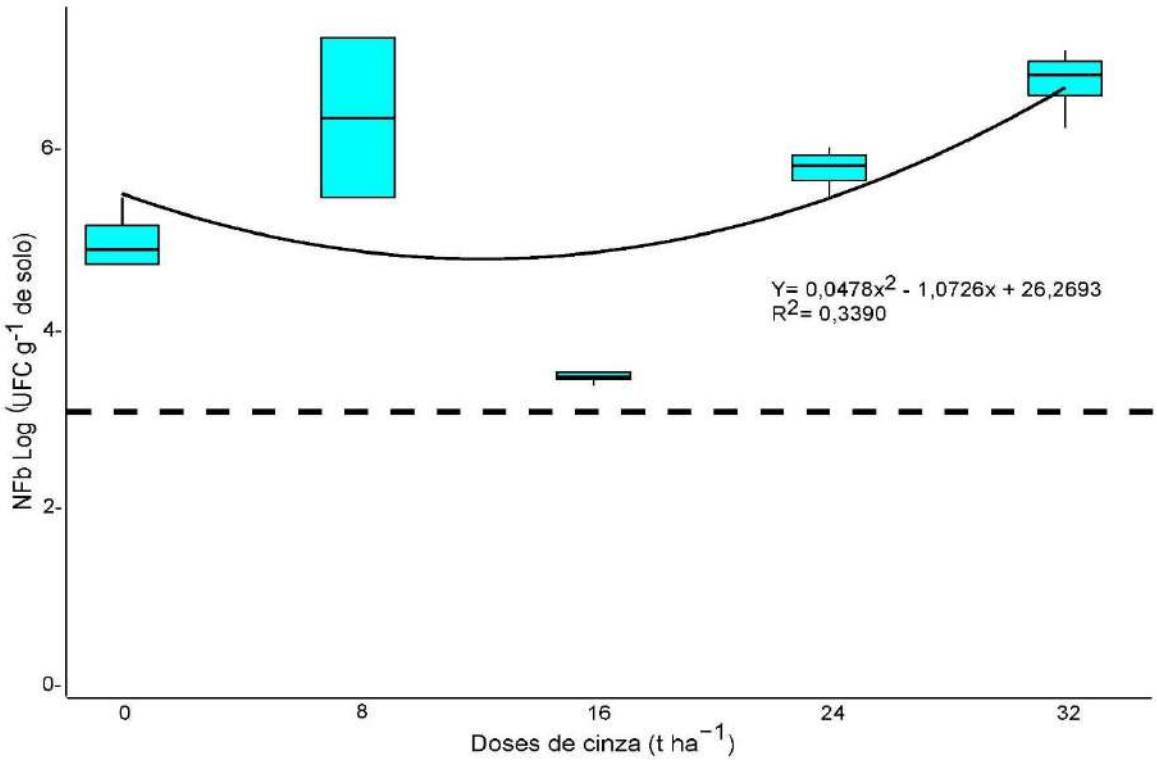

Figura 31. Efeito das doses de cinza vegetal em relação ao manejo de aplicação não incorporado sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio NFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (3,00).

No período de coleta referente a época seca do ano, o meio de cultura JNFb apresentou interação significativa entre os fatores (manejo e doses de cinza), a 10% de probabilidade de erro, como mostrado nas Figuras 32 e 33. No entanto essa mesma interação não foi observada no período chuvoso.

Em ambas as interações, o manejo incorporado e as doses de cinza de 0 e 8 t ha^{-1} apresentaram os maiores valores para unidades formadoras de colônia, superiores aos encontrados na mata nativa.

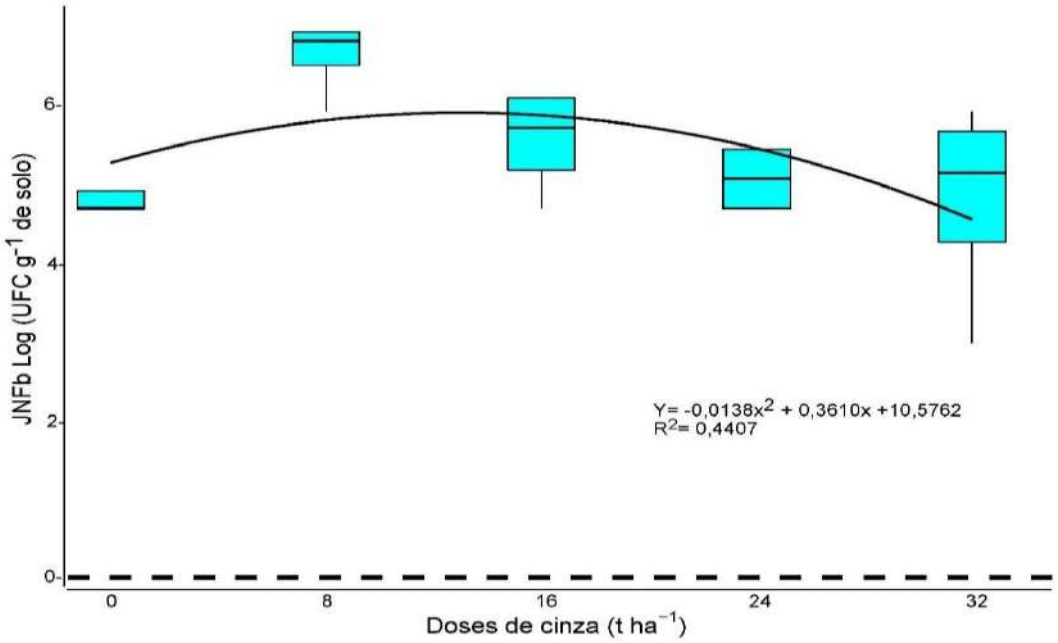

Figura 32. Efeito das doses de cinza vegetal em relação ao manejo de aplicação não incorporado sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio JNFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (0,00).

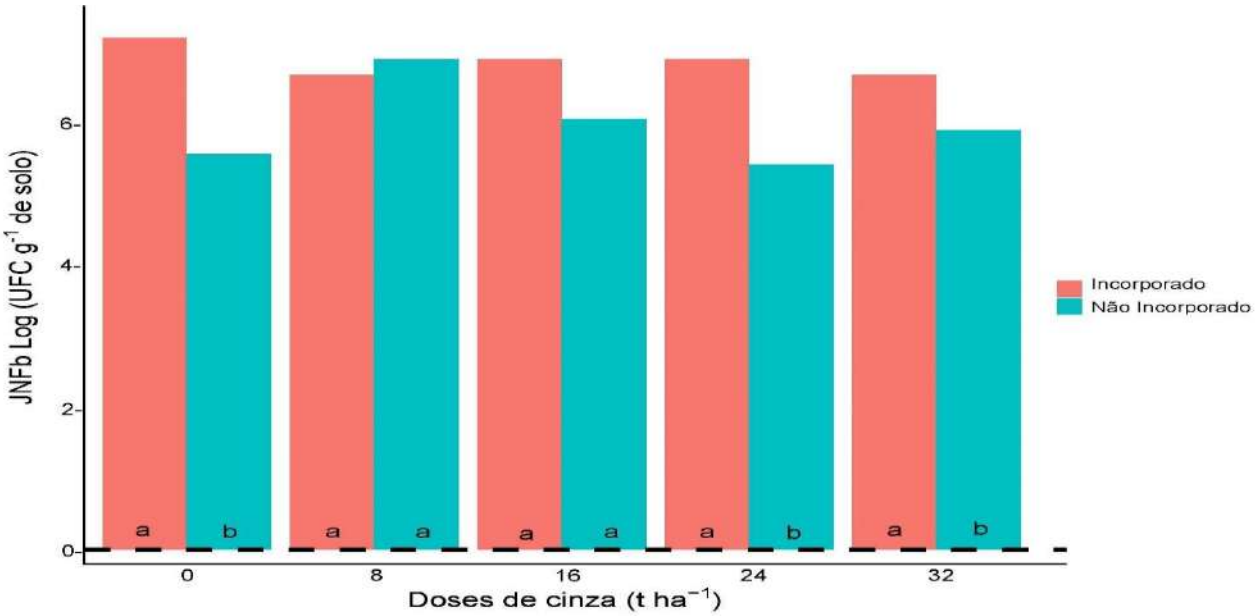

Figura 33. Efeito dos manejos de aplicação dentro de cada dose de cinza vegetal sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio JNFb) no solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (0,00).

Nas análises feitas referente ao período seco do ano, o meio de cultura JMV apresentou diferença significativa paras as doses de cinza a 10% de probabilidade de erro, como mostrado nas Figura 34. Entretanto, essa mesma diferença não foi observada no período chuvoso.

Para o meio semiseletivo para algumas espécies de bactérias do gênero *Burkholderia* spp., as melhores doses encontradas foram as mais baixas (0 e 8 t ha^{-1}), sendo que o comportamento da curva foi linear. Contudo, os tratamentos com as doses de cinza vegetal apresentaram de maneira geral um maior número de unidades formadoras de colônias quando comparados a mata nativa.

As bactérias diazotróficas do gênero *Burkholderia* spp. crescem em pH na faixa de 4,2 a 4,5 (Baldani et al., 2000), explicando os resultados encontrados nesse trabalho, onde as doses 0 e 8 t ha^{-1} de cinza vegetal apresentaram melhor crescimento, pois doses superiores a essas aumentaram o pH acima do nível ótimo de crescimento.

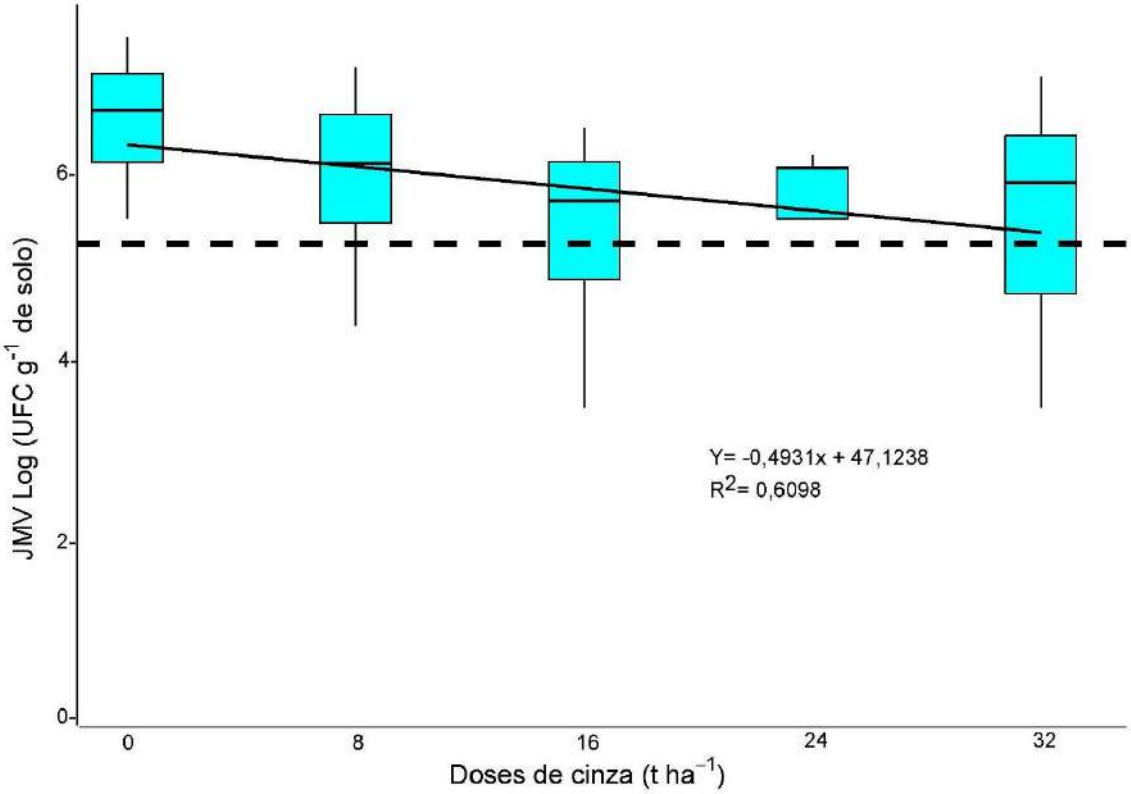

Figura 34. Efeito das doses de cinza vegetal sobre o crescimento de bactérias diazotróficas (meio JMV) sob área de pastagem em dois manejos de aplicação, incorporado (I) e não incorporado (NI) no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (6,47).

Alguns gêneros de bactérias diazotróficas dependem de características de aerotaxia para seu crescimento, priorizando o equilíbrio do fluxo de oxigênio (MOROTE; PALOMINO, 2019). Esse fator pode explicar o porquê de as bactérias não terem apresentado diferença significativa no período chuvoso, já que a umidade influencia na taxa de oxigênio do solo.

O fato da dose de 8 t ha^{-1} de cinza vegetal ter sido a que melhor favoreceu o crescimento das bactérias pode ser atribuído ao valor do pH encontrado (Figura 6), pois essa dose de cinza gerou uma faixa de pH ideal para o crescimento das bactérias diazotróficas (DÖBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995).

O manejo incorporado foi o que apresentou os melhores resultados para as bactérias diazotróficas, pois houve uma resposta mais eficiente da mudança

de pH em função da cinza. Consequentemente, favorecendo o aumento da atividade de fixação biológica do solo, aumentando os valores de nitrogênio no solo, o que corrobora com os valores encontrados no item 4.2 (HUNGRIA, 2011).

O fato de todos os tratamentos se mostraram superiores ao da mata nativa se justifica pelo fato de que a área de referência possui pH muito ácido (4.0), e isso faz com que a dinâmica e a disponibilidade nutrientes do solo mude, afetando diretamente a comunidade microbiana (BERTOLDO et al., 2017).

De acordo com Parreira et al. (2015), a utilização de resíduos orgânicos e subprodutos da indústria melhora a qualidade do solo e fornece nutrientes necessários para o crescimento de bactérias do gênero *Azospirillum* spp., que por sua vez auxilia no crescimento de gramíneas por meio da fixação biológica de nitrogênio e produção de hormônios de crescimento.

O capim *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás com a sua boa produtividade, grande acumulo de forragem e sistema radicular volumoso combinado com a aplicação das doses de cinza vegetal, favoreceu nesse experimento o desenvolvimento de bactérias diazotróficas. Alves et al. (2011), mostraram que em manejos adequados do solo, as pastagens apresentam alto conteúdo de matéria orgânica, e um melhor crescimento e desenvolvimento radicular, aumentando o efeito rizosférico de maneira a favorecer o crescimento de micro-organismos no solo.

Wang et al. (2021), analisando o uso do solo, o comportamento e as funções desempenhadas por bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares em solos ácidos, mostraram que em um intervalo de pH de 3,5 a 5,5 houve diferença no comportamento desses micro-organismos. Tendo em vista que a fixação biológica de nitrogênio diminui significativamente por causa do pH muito ácido.

O aumento do pH e a quantidade de enxofre fornecida pela cinza vegetal aumenta a concentração de molibdênio disponível no solo, que favorece o crescimento de bactérias diazotróficas, aumentando a fixação biológica de nitrogênio (ZHAO et al., 2021).

Liu et al. (2019), estudando o impacto do biochar na comunidade de bactérias diazotróficas, relatou que a melhor dose encontrada foi a de 20 t ha^{-1},

pois aumentou consideravelmente o estoque de carbono orgânico no solo, ficando disponível em quantidades maiores para as bactérias, além de promover aumento de genes da nitrogenase.

Como a cinza possui alto pH e consequentemente alto poder de correção do solo, Zhao et al. (2021) explicam que doses altas podem em alguns casos limitar o crescimento de bactérias diazotróficas. Quando o pH se eleva acima de 6,5 alguns nutrientes essenciais para o crescimento bacteriano como nitrogênio, enxofre e fósforo se tornam menos disponíveis no solo. Essa indisponibilidade de nutrientes essenciais explica porque nos resultados encontrados nesse trabalho, as maiores doses de cinza não apresentaram o melhor crescimento.

Huang et al. (2017) estudando as características de bactérias do gênero *Burkholderia* spp. em solo vermelho ácido, mostrou que essas bactérias são mais tolerantes a acidez e mais resistentes a toxidez por alumínio quando comparadas com outros gêneros devido as suas propriedades morfológicas e físico-químicas, podendo crescer em ambientes com pH mais baixo. O que corrobora com os resultados encontrados nesse experimento, onde o maior crescimento foi encontrado no intervalo entre 4 e 5 de pH.

4.6 Enzima Fosfatase Ácida

A enzima fosfatase ácida apresentou diferença significativa a 5% para os efeitos isolados, tanto das doses de cinza, quanto do manejo de aplicação para o período seco. Enquanto que para o período chuvoso não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação às doses de cinza vegetal aplicadas, a equação linear foi a que se ajustou melhor aos dados, sendo que a dose de 0 t ha^{-1} apresentou os melhores resultados, inclusive mostrando valores acima do encontrado na área de referência (Figura 35).

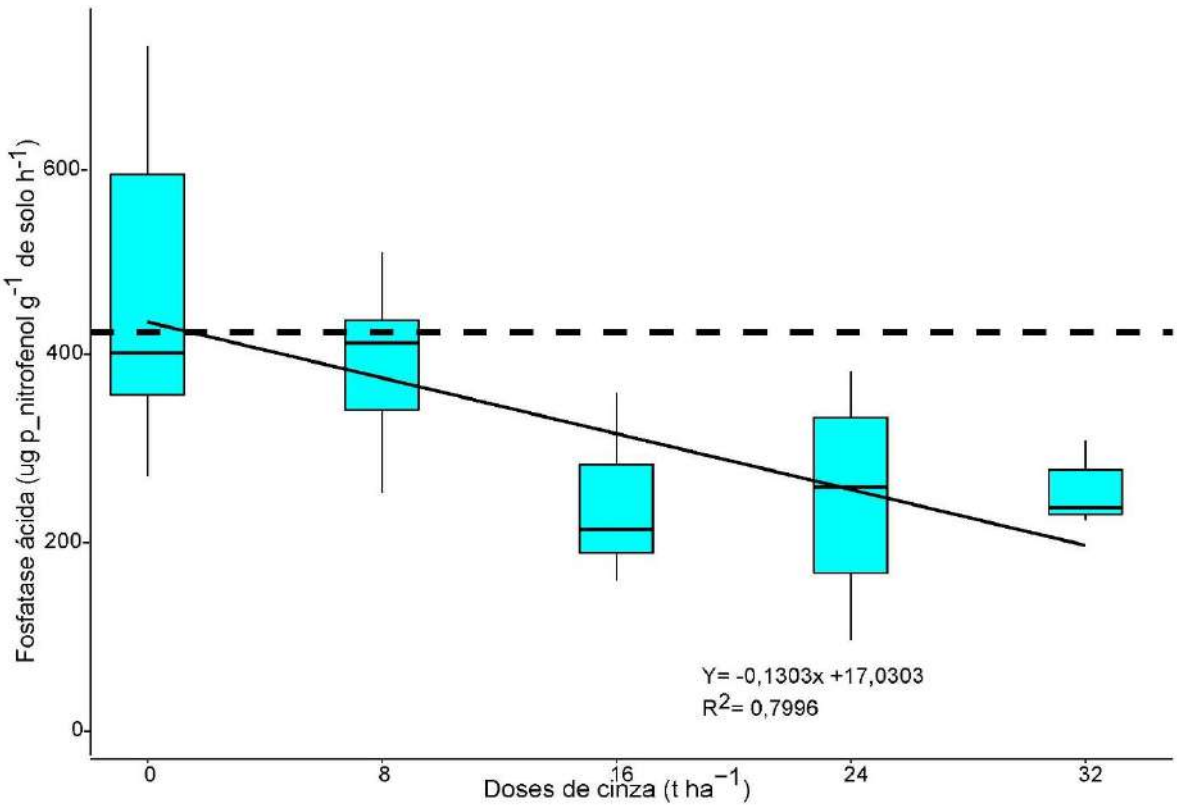

Figura 35. Efeito das doses de cinza vegetal sobre a enzima fosfatase ácida do solo sob área de pastagem em dois manejos de aplicação, incorporado (I) e não incorporado (NI) no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (419, 94 µg p-nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1}).

Para a enzima fosfatase, o manejo não incorporado apresentou valores superiores ao do manejo incorporado da cinza (Figura 36). Entretanto, ambos ficaram abaixo dos valores encontrados na mata nativa.

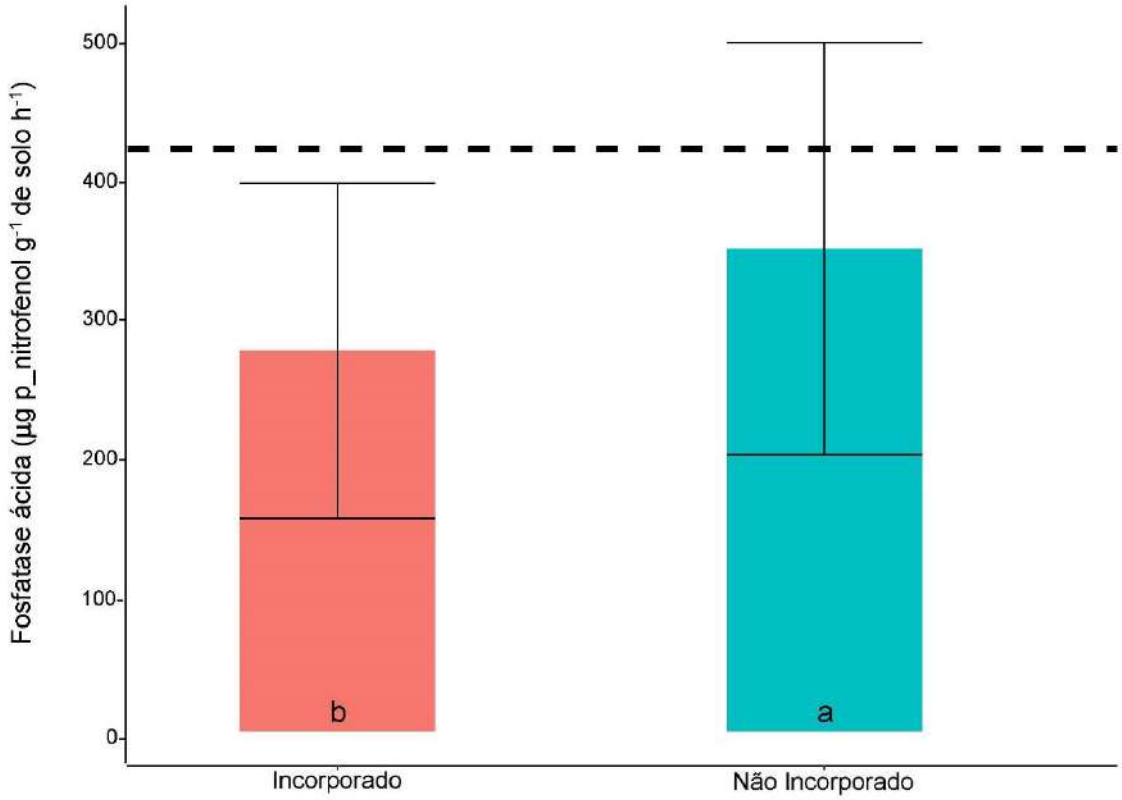

Figura 36. Efeito dos manejos de aplicação das doses de cinza vegetal sobre a fosfatase ácida do solo sob área de pastagem no período seco. A linha pontilhada preta se refere ao valor de referência baseado na mata nativa (419, 94 µg p-nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1}).

A atividade da enzima fosfatase na área de referência foi superior ao encontrado nos tratamentos, isso por que em áreas de mata nativa os teores de fósforo disponíveis são menores do que em áreas cultivadas, estimulando a atividade das enzimas presentes no solo (SCABORA et al., 2010).

A cinza vegetal possui em sua composição uma quantidade considerável de fósforo, fazendo com que em doses elevadas o teor de fósforo no solo aumente (GATIBONI et al., 2008). Com o aumento do fósforo disponível no solo, a atividade da enzima fosfatase foi linearmente diminuindo nesse experimento, tendo seus menores valores na dose de 32 t ha^{-1}.

Godoy et al. (2015), estudando a correlação entre a qualidade do solo e produtividade de plantas de arroz de terras altas em um Latossolo vermelho, encontraram valores médios de 332,6 µg p-nitrofenol g^{-1} solo seco h^{-1}, corroborando com os valores médios encontrados nesse presente trabalho.

O manejo não incorporado apresentou melhores resultados em relação ao incorporado, atribuindo-se que devido a maior perturbação do solo, fatores como a porosidade sofrem mudanças impactando diretamente na biomassa microbiana. Como resultado disso, existe diminuição na atividade da fosfatase já que predominantemente elas se originam da biomassa microbiana (GODOY et al., 2015).

A adição de resíduos vegetais em doses corretas no solo é capaz de estimular a atividade da microbiota do solo, pelo maior acumulo de carbono orgânico total que serve como fonte de alimento e energia. Esse aumento da atividade microbiana do solo combinado com as raízes de pastagens que possuem grande volume impactam positivamente na produção de fosfatases ácidas (NAVROSKI et al., 2017).

Lopes et al. (2021), estudando o efeito de diferentes doses de biochar na qualidade do solo em cultivo de cana de açúcar, mostraram que até a dose de 30 t ha^{-1} houve aumento da atividade da fosfatase, por meio da hidrólise de compostos de fosfato orgânico. Contudo, doses mais altas apresentaram correlação negativa devido à disponibilidade de nutrientes causada pela mudança de pH e pela adição de fósforo por parte do resíduo aplicado.

5. CONCLUSÃO

A utilização de cinza vegetal como manejo do solo, favoreceu a atividade de micro-organismos fixadores de nitrogênio, aumento da biomassa microbiana do solo e a atividade da enzima fosfatase ácida.

A melhor dose de cinza vegetal encontrada foi a de 8 t ha^{-1}, pois favoreceu o crescimento de bactérias diazotróficas, possibilitou a atividade da enzima fosfatase ácida igual ou superior a mata nativa e contribuiu para o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo.

O manejo não incorporado do solo em geral foi superior ao incorporado, devido à menor perturbação do ambiente, causando menor estresse na biomassa microbiana.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil. **Associação Brasileira das indústrias Exportadoras de Carnes Bovinas**, p. 49, 2019.

ALVES, M. A. B.; ARAÚJO, F. S.; SOUZA, W. S. Spatialization of basal respiration of a Plintossol under pasture. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 1119, 2019.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NETO, N. E. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341–347, 2011.

ALMEIDA, L. S.; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1539–1547, 2016.

ANDRADE, L. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Atividade microbiana em solos sob doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 2, p. 267–272, 2016.

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Pastagens No Cerrado. **Agroanalysis (UFV)**, v. 36, p. 30–33, 2016.

ANTONIO B. J.; Alvadi; C. F. J.; DEBIASI, H. Altura de manejo da pastagem, época de dessecação de Urochloa ruziziensis e adubação nitrogenada na cultura da soja em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 124–133, 2016

ARRUDA, J. A.; DE AZEVEDO, T. A. O.; FREIRE, J. L. O. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 30, p. 18, 2016.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO BIOLOGICAL. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 247–256, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, João Carlos; NEVES, Júlio César Lima; *et al*. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 2012.

BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.485-491, 2000.

BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; FERNANDA, S. N. Calcário Líquido E Calcário Convencional Na Correção Da Acidez Do Solo. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 02, n. 03, p. 34–38, 2015.

BERTOLDO, J G; SILVA, R P; FAVRETO, R; *et al*. Disponibilidade De Nutrientes E Acidez Do Solo Após Aplicações Sucessivas De Água Residuária De Suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 2, p. 97–104, 2017.

BEZERRA, M. D. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; *et al*. Wood ash on the fertilization of marandu grass in Brazilian cerrado soils. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 17, p. 1504–1510, 2016.

BONFIM-SILVA, E. M.; CARVALHO, J. M. G.; JOB, MARCEL T. Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em latossolo vermelho do cerrado. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21. 523–533, 2015a.

BONFIM-SILVA, E. M.; DANITYELLE, C. F.; EDER, R. B. Wood ash as corrective of soil pH and as fertilizer in ornamental sunflower cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 33, p. 3253–3264, 2015b.

BONFIM-SILVA, E.M.; SANTOS, C.C.; SILVA, T.J.A. (2015c) Wood Ash Fertilization on Structural Characteristics and Chlorophyll Index of Tropical Forage Grasses. **American Journal of Plant Sciences**, 6, 1341-1348.

BONFIM-SILVA, E. M.; PINTO, M. R. F.; FERRAZ, A. P. F. Produção e eficiência no uso de água da cebolinha adubada com cinza vegetal em vasos Leonard adaptados Production. **Brazilian Journal of Development**, v. v. 6, n. 6, p. 37347–37373, 2020.

BORTOLINI, D.; ALBUQUERQUE, J. A.; RECH, C. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 1, p. 60–67, 2016.

CÂNDIDO, B. M.; SILVA, Marx L. N.; CURI, N. Métodos de indexação de indicadores na avaliação da qualidade do solo em relação à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 2, p. 589–597, 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; *et al*. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 237–243, 2007.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C. Physical, chemical, and biological quality in an oxisol under different tillage and fertilizer sources. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, 2015.

CHEVIRON, N.; AMADOU, I.; GRONDIN, V. Soil enzymatic activity data over eight years at the EFELE site, a long-term field experiment on effects of organic waste products and tillage practices. **Data in Brief**, v. 36, 2021.

CLIMATE-DATA-ORG. **Clima de Rondonópolis.** Disponível em: < https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso/rondonopolis-31805/ >. Acesso em: 01/01/2021.

CRUZ-PAREDES, C.; TÁJMEL, D.; ROUSK, J. Can moisture affect temperature dependences of microbial growth and respiration? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 156, n. March, 2021.

CUNHA, J. R.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, D. J. A. T. BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE UM LATOSSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO CERRADO PIAUIENSE. 2016.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M. Tilage influence on soil microbial activity. **Engenharia Agricola**, v. 35, n. 3, p. 506–513, 2015.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. **Documentos**, p. 36, 2014.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**, 1995.

ÉDER, F.; OLIVEIRA, R.; LÚCIA, A. Avaliação de técnicas agrícolas e do uso sustentável do solo em assentamentos estaduais no município de Iguatu-CE Evaluation of agricultural techniques and sustainable land use in state settlements in the municipality of Iguatu- CE manejo agrícola adotado. **Magistra**, v. V. 27, N.1, p. 130–137, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Os solos do brasil. 2011. Disponível em: < https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil >. Acesso em: 10/09/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Manual de métodos de analises de solo. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2018. 574 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rotação de Culturas e Plantas de cobertura para região do Cerrado e seus benefícios, 2018.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A. Manejo do pastejo de cultivares de Brachiaria brizantha (Hochst) Stapf e de Panicum maximum Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808–818, 2014.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; BRITO, F. E. P. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 33, n. 4, p. 1251–1261, 2012.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G.. Population and microbial activity of the soil under an agro-ecological production system. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 1, p. 22–31, 2017.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. **Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agricolas para Análise da Qualidade Ambiental: Solo, Água e Sedimentos**, 2006.

FLORES, M. X. Pesquisa para agricultura autossustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 29, n. 1, p. 1-21, 2020.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1457–1465, 2016.

FRANCO, A. J.; PAULA, A.; BEATRIZ, A. Plant diversity in integrated crop-livestock systems increases the soil enzymatic activity in the short term 1. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 50, p. 11, 2020.

FREITAS, P. L.; POLIDORO, J. C.; SANTOS, H. G. Identificação E Caracterização Físico-Química De Latossolos De Textura Arenosa E Média Da Região Oeste Da Bahia. **Caderno de Geociências**, v. 11, n. 1–2, p. 83–93, 2014.

FREITAS, F. C. M.. Atividade microbiana em função da salinidade do solo. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2016.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA , SANTOS, L. INDICADORES DA QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO. **Unimar Ciências**, v. 26, n. Zr2011dl0 2, p. 57–64, 2017.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1085–1091, 2008.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 36, n. 2, p. 693–704, 2015.

GODOY, S. G.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B. Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 119–125, 2015.

GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; FONTANETTI, A. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34–44, 2017.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S. Effect of soil management on microbial biomass carbon. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168–178, 2018.

HUANG S.; WANG X.; LIU X.; HE G.; WU J. Isolation, Identification and Characterization of an Aluminum-Tolerant Bacterium Burkholderia sp. SB1 from Acidic Red Soil. **Pedosphere** (2017), 10.1016/S1002-0160(17)60390-4.

HUANG, G.; LI, L.; SU, Y. Differential seasonal effects of water addition and nitrogen fertilization on microbial biomass and diversity in a temperate desert. **Catena**, v. 161, n. September 2017, p. 27–36, 2018.

HUNGRIA, M. Inoculação com Azospirillum brasilense. 2011.

JUNIOR, A. A. B; FRANCHINI, J. C; DEBIASI, H. Altura de manejo da pastagem, época de dessecação de Urochloa ruziziensis e adubação nitrogenada na cultura da soja em sistema integração lavoura-pecúaria. **Revista de ciências agroveterinárias,** v. 15, n. 2, p. 124-133, 2016.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, defininition, and framework for evaluation (A guest editorial). Soil Sci. Soc. Am. J., 61:4-10, 1997.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen inorganic forms. In: PAGE, A.L. (Ed.). Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison**: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America**, p.643-698. 1982.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A.; LEVINSKI, F. PREDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO A PARTIR DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO. **Revista Eletrônica de Extensão da URI**, v. 11, p. 191–198, 2015.

LI, Y.; CHANG, S. X.; TIAN, L. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 121, n. October 2017, p. 50–58, 2018.

LILI, F.; TARIN, M. W. K.; YANGYANG, Z. Patterns of soil microorganisms and enzymatic activities of various forest types in coastal sandy land. **Global Ecology and Conservation**, p. 104847, 2021.

LIMA, L. B.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1064–1071, 2015.

LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionadosà degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1184–1193, 2016.

LIU, X.; LIU, C.; GAO, W. Impact of biochar amendment on the abundance and structure of diazotrophic community in an alkaline soil. **Science of the Total Environment**, v. 688, p. 944–951, 2019.

LOPES, E. M. G.; REIS, M. M.; FRAZÃO, L. A. Biochar increases enzyme activity and total microbial quality of soil grown with sugarcane. **Environmental Technology and Innovation**, v. 21, p. 101270, 2021.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de Pinus taeda à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, n. 1, p. 43–52, 2008.

MAHARJAN, M.; SANAULLAH, M.; RAZAVI, B. S. Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. **Applied Soil Ecology**, v. 113, p. 22–28, 2017.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 40, n. 3, p. 331–338, 2009.

MATOS, R. R. S. S.; MACHADO, F. G. A.; OLIVEIRA NETO, E. D. O solo na mitigação e/ou resolução de problemas ambientais. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

MATSUMOTO, S. N.; TEXEIRA, E. C.; ALMEIDA, C. S. Respiração Basal Do Solo Em Consorcio De Cafeeiro Com Grevilia. p. 2010–2013, 2019.

MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79–86, 2016.

MEDEIROS, R.; ELISANDRA, R.; AMENDOLA, C. UTILIZAÇÃO DA CINZA VEGETAL PARA CALAGEM E CORREÇÃO DE SOLOS – UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (RMC). **Agrarian academy**, v. 29, n. 7, p. 384, 2015.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. R. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 185–203, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Agropecuária Brasileira em números.** Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros >. Acesso em: 15/01/2021.

MONTAGNER, D. B.; ARAÚJO, A. R.; EUCLIDES, V. P. B. Potencial produtivo dos capins BRS Piatã e BRS Paiaguás em sistema de integração lavoura-pecuária. p. 30, 2018.

MOROTE, C. G.; PALOMINO, M. S. Técnicas de aislamento, identificación, selección de cepas de Rhizobium, Azospirillum y produccion de inoculantes. **Revista Investigación UNSCH**, 2019.

MOURA, J. B.; VENTURA, M. V. A.; CABRAL, J. S. R. Adsorption of phosphorus in oxisols dystrophic under Cerrado vegetation in Rio Verde-Go. **Fronteiras**, v. 4, n. 3, p. 199–208, 2015.

NAVROSKI, D.; MOREIRA, A.; COLOZZI-FILHO, A. Atributos Microbiologicos Do Solo Em Diferentes Sistemas De Manejo No Oeste Paranaense. **Agrotrópica (Itabuna)**, v. 29, n. 2, p. 127–134, 2017.

NETO, P. J. C.; LOPER, E. W. Caracterização física do Latassolo Vermelho distrófico da fazenda Escola da fazu. **Agronomy**, n. 2001, p. 21–26, 2009.

OLIVEIRA, W. C. M. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO SOB PASTAGEM DE *Brachiaria brizantha* EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO COM CINZA VEGETAL, 2019.

OLIVEIRA, J. B.; MEDEIROS, E. V.; MORAES, M. C. H. S. Efeito da aplicação de biochar sobre o carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com melão / Effect of the application of biochar on microbial biomass carbon in soil cultivated with melon. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 368–377, 2021.

PARREIRA, L. H.; MARTINS, M. E. P.; RIBEIRO, M. M. Efeito da bacteria *Azospirillum brasilense* na adubação química e orgânica em pastagens constituídas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 838–850, 2015.

PASSOS, S. R.; REIS JUNIOR, F. B.; RUMJANEK, N. G. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 879–885, 2008.

PEREIRA, L. E. T.; POLIZEL, G. H. G. **Princípios e recomendações para o manejo de pastagens**, 2016.

PERES FARIAS, P.; LAUZ FERREIRA, O. G.; TIMM DE OLIVEIRA, A. P. Implantação De Pastagens Pelo Método Vegetativo. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 421–437, 2019.

PINHEIRO, E. R.; AJALLA, A. C. A.; INOCÊNCIO, H. J.; COSTA, M. P.; PEIXOTO, T. S. Biomassa Microbiana de um Latossolo Vermelho Distroférrico Cultivado com Diferentes Espécies de Adubo Verde. p. 1–9, 2018.

PRESTES, R. M.; KELIN, L. V. BIOINDICATORS AS ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 1, p. 1134, 2019.

PRIMIERI, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, 2017.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1723–1736, 2015.

ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.

SARKAR, D. - Lattice: *Multivariate Data visualization with R*. Springer, New York. ISBN 978-0-387-75968-5, <http://lmdvr.r-forge.r-project.org>. (2008).

SANTOS, C. C. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante para os capins Marandu e Xaraés**. 2012. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2012.

SANTOS, C.; ANDRADE, R.; BARBOSA, J. Avaliação de diferentes práticas de manejo sob cultivo orgânico de hortaliças na densidade do solo em Seropédica (RJ) Evaluation of different management practices under organic cultivation of vegetables in soil density in Seropédica (RJ) Eixo temático. n. 2, 2020.

SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M.; OLIVEIRA, M. P. Propriedades Químicas De Um Latossolo Sob Diferentes Sistemas De Manejo. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 36–42, 2017.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 445–451, 2010.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 99).

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680–1689, 2012.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; DA SILVA, A. P. Soil quality indicators under different land use systems in the Agreste region of Paraiba, Brazil. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25–35, 2015.

SILVA, M. O; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838–47855, 2020.

SIMEON, B. G. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. CINZA VEGETAL E MANEJOS DE APLICAÇÃO NA IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PASTAGEM DE Urochloa brizantha NO CERRADO MATO-GROSSENSE, 2020.

SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; BELLÉ, C. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, n. March, 2019.

STEFANOSKI, D. C.;FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G. Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1643–1651, 2016.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of P-Nitrophenyl Phosphate for Assay of Soil Phosphatase Activity. **Soil Biology Biochemistry**, 1, 301-307, 1969.

TECNOLOGIA NO CAMPO. Agronegócio no Brasil: Panorama completo do setor mais importante para economia brasileira. Disponível em: < https://tecnologianocampo.com.br/agronegocio-no-brasil/ >. Acesso em: 07/01/2021.

WALKUP, J.; FREEDMAN, Z.; KOTCON, J.; *et al*. Pasture in crop rotations influences microbial biodiversity and function reducing the potential for nitrogen loss from compost. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 304, n. August, p. 107122, 2020.

WANG, C.; ZHENG, M.; SONG, W. F. Biogeographic patterns and co-occurrence networks of diazotrophic and arbuscular mycorrhizal fungal communities in the acidic soil ecosystem of southern China. **Applied Soil Ecology**, v. 158, n. November 2020, p. 103798, 2021.

WICKHAM, H. - ggplot2: *Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. (2009).

WICKHAM, H. - tidyverse: *Easily Install and Load the 'Tidyverse'*. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>. (2017).

ZHAO, J.; TAO, Q.; LI, B. Low-pyrolysis-temperature biochar promoted free-living N2-fixation in calcareous purple soil by affecting diazotrophic composition. **Geoderma**, v. 388, n. August 2020, p. 114969, 2021.

ZHOU, H.; ZHANG, D.; WANG, P. Changes in microbial biomass and the metabolic quotient with biochar addition to agricultural soils: A Meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 239, p. 80–89, 2017.