



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO SOB CULTIVO DE PASTAGEM
ADUBADA COM CINZA DE BIOMASSA VEGETAL APÓS CINCO ANOS DE
CULTIVO**

JOYCE DA COSTA CRUZ

RONDONÓPOLIS-MT

2025



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO SOB CULTIVO DE PASTAGEM
ADUBADA COM CINZA DE BIOMASSA VEGETAL APÓS CINCO ANOS DE
CULTIVO**

**JOYCE DA COSTA CRUZ
ENGENHEIRA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

Orientadora: Dr.^a. Edna Maria Bonfim-Silva
Coorientador: Dr. Salomão Lima Guimaraes
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Rondonópolis, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RONDONÓPOLIS-MT

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

Ficha Catalográfica elaborada de forma automática com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

D111q da Costa Cruz, Joyce.
QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO SOB CULTIVO DE
PASTAGEM ADUBADA COM CINZA DE BIOMASSA VEGETAL
APÓS CINCO ANOS DE CULTIVO [recurso eletrônico] / Joyce da Costa
Cruz. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 45 f., il. color., pdf). – 2025.

Orientador(a): Dr.^a. Edna Maria Bonfim-silva.
Coorientador(a): Dr. Salomão Lima Guimaraes.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto
de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Sustentabilidade agrícola. 2. Bactérias Diazotróficas. 3. Cerrado
Mato-grossense. 4. Urochloa brizantha. I. Bonfim-silva, Dr.^a. Edna
Maria, *orientador*. II. Guimaraes, Dr. Salomão Lima, *coorientador*. III.
Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
ROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO SOB CULTIVO DE PASTAGEM
ADUBADACOM CINCA DE BIOMASSA VEGETAL APÓS CINCO ANOS DE CULTIVO**

AUTOR (A): Joyce da Costa Cruz

Dissertação defendida e aprovada em **03 de junho de 2025**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1.Profa. Dra. Edna Maria Bonfim-Silva, (Presidente Banca / Orientadora)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS

2.Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS

3.Prof. Dr. Magnun Antônio Penariol da Silva (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Rondonópolis, 03/06/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Magnun Antonio Penariol da Silva**, **Usuário Externo**, em 28/08/2025, às 08:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edna Maria Bonfim da Silva**,
Docente - UFR, em 28/08/2025, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília,
com fundamento no art. 6º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Salomão Lima Guimarães**,
Docente - UFR, em 28/08/2025, às 11:52, conforme horário oficial de
Brasília, com fundamento no art. 6º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://sei.ufr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código
verificador **0525117** e o código CRC **8331B239**.

Referência: Processo nº 23853.008045/2025-53

SEI nº 0525117

Aos meus queridos pais, Aloisio Francisco da Cruz e Leonice da Costa Cruz, a quem admiro pelo esforço com o qual me educaram e por sempre está ao meu lado e me apoiar sem medir esforços.

Aos meus filhos Heloisa Rosalino da Cruz e Gabriel Rosalino da Cruz, pois tudo em minha vida é por vocês e para vocês.

Aos meus irmãos Washington Aloisio João da Costa Cruz e Diego da Costa Cruz, que sempre me apoiaram nos estudos e por toda amizade e carinho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi, sem dúvida, um percurso desafiante, repleto de descobertas, aprendizagens e superações. Esta dissertação não representa apenas um marco acadêmico, mas também um capítulo importante da minha história de vida, é a realização de um sonho em que muitos momentos pareceram distante. Por isso, é com o coração cheio de gratidão que escrevo estas palavras.

Agradeço, primeiramente, a Deus e a Nossa Senhora de Aparecida, por ser meu alicerce, por escutar meus pensamentos mais íntimos nas madrugadas silenciosas de escrita, por guiar meu caminho e renovar a minha fé nos dias mais escuros me iluminando a cada passo.

À Universidade Federal de Mato Grosso - UFR, que foi o palco de tantas vivências e aprendizagens, o meu reconhecimento pela formação de excelência.

À minha orientadora, Professora Dra. Edna Maria Bonfim-Silva, agradeço pela firmeza e inspiração, por cada orientação detalhada e cada incentivo. Ao coorientador Professor Dr. Salomão Lima Guimaraes, a minha admiração pela dedicação e atenção prestadas.

E ao meu esposo, Weigon Fernando Rosalino, meu companheiro de todas as horas, a quem agradeço profundamente pela paciência, amor e compreensão. Durante dois anos, vivemos uma rotina diferente, com ausências mesmo estando presente e silêncios, mas a sua presença constante e o seu apoio incondicional foram fundamentais, acreditando em mim quando eu mesma duvidava.

Às amigas que construí ao longo da graduação e do mestrado – em especial ao grupo GPAS – deixo minha gratidão por cada sorriso, conversa, e incentivo que tornaram o dia a dia mais leve e humano e a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para este trabalho se tornasse realidade: muito obrigada. Cada gesto, palavra e incentivo ecoam nestas páginas.

Ao amigo Maxsuel Oliveira da Conceição, um verdadeiro presente da graduação, que mesmo não fazendo parte da pós-graduação, esteve presente de forma tão generosa e constante. A sua ajuda nas análises, a sua companhia e a sua alegria foram elementos essenciais para que eu não me sentisse sozinha neste processo.

Com carinho imenso, agradeço às amigas Nathalia do Val Tavares, Yasmim Beltrão Dib e Thais Magalhães. A vossa amizade é daquelas raras, que florescem em meio a desafios e se fortalecem na reciprocidade. Foram incontáveis os momentos de apoio, risos e partilhas, e é assim que desejo mantê-las, para além da academia.

À Professora Dra. Patrícia Ferreira da Silva, que com um olhar atento e um coração acolhedor, me escutou em dias de desânimo e me acompanhou com empatia e sabedoria. Sua presença foi essencial.

Aos doutorandos e Pós-doutorandos Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira, Luana Aparecida Menegaz Meneghetti, Tallys Henrique Bonfim, Alisson Silva Costa Custodio, Jholian Maicon Ribeiro Santos, por toda ajuda em minhas análises. E a Alessana Franciele Schlichting, que foi uma luz, em um momento escuro da minha vida. Quando a saúde de um familiar abalou minhas forças e me vi prestes a desistir, ela surgiu para me levantar, com palavras que aqueceram e gestos que marcaram.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa concedida durante o período de Mestrado em Engenharia Agrícola (processo nº 169493/2023-7)

RESUMO

A fertilidade do solo está diretamente relacionada à produtividade agrícola, e a aplicação de cinza tem-se mostrado uma alternativa sustentável e eficaz no manejo do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do manejo de aplicação e das doses de cinza de biomassa sobre os atributos biológicos do solo sob cultivo de *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás. O experimento foi conduzido em campo, na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), localizada nas coordenadas 16°27'38.94" S e 54°34'57.01" W. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, correspondendo a cinco doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24 e 32 t ha⁻¹) e dois sistemas de manejo de aplicação (incorporado e não incorporado), com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. As formas de aplicação corresponderam às subparcelas. A área de cada parcela principal foi de 72 m² (12 x 6 m) e das subparcelas, de 36 m² (6 x 6 m). As avaliações foram realizadas ao longo de dois anos de manutenção do capim Paiaguás, 2023 e 2024, com dois períodos de coleta: antes do corte da forrageira (dezembro) e após o terceiro corte (março). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico. As variáveis analisadas incluíram: umidade do solo, pH do solo, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e bactérias diazotróficas. Após a análise de variância dos dados foi realizado o teste de Tukey para o fator de manejo e análise de regressão para as doses de cinza vegetal, ambos com nível de significância de 5%. Os atributos biológicos do solo foram alterados pela incorporação da cinza de biomassa vegetal, o efeito de aplicação incorporado promoveu estabilidade e distribuição de nutrientes sobretudo nas camadas superficiais, atingindo estes resultados quando utilizado a dose de 24 e 32 t ha⁻¹.

Palavras-chave: Sustentabilidade agrícola; bactérias Diazotróficas, cerrado Mato-grossense, *Urochloa brizantha*.

ABSTRACT

Soil fertility is directly related to agricultural productivity, and the application of ash has proven to be a sustainable and effective alternative for soil management. This study aimed to evaluate the effects of application management and biomass ash doses on the biological properties of the soil under cultivation of *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás. The experiment was conducted in the field at the Federal University of Rondonópolis (UFR), located at coordinates 16°27'38.94" S and 54°34'57.01" W. The experimental design was in randomized blocks, in a 5x2 factorial scheme, corresponding to five rates of plant ash (0, 8, 16, 24 and 32 t ha⁻¹) and two application management systems (incorporated and non-incorporated), with four replicates, totaling 40 experimental plots. The application forms corresponded to the subplots. The area of each main plot was 72 m² (12 x 6 m) and the subplots were 36 m² (6 x 6 m). The evaluations were carried out over two years of Paiaguás grass maintenance, 2023 and 2024, with two collection periods: before forage cutting (December) and after the third cut (March). The soil of the experimental area was classified as dystrophic Red Latosol. The variables analyzed included: soil moisture, soil pH, microbial biomass carbon, soil basal respiration, and diazotrophic bacteria. After analysis of variance of the data, Tukey's test was performed for the management factor and regression analysis for the vegetable ash doses, both with a significance level of 5%. The biological attributes of the soil were altered by the incorporation of plant biomass ash, the incorporated application effect promoted stability and distribution of nutrients especially in the surface layers, achieving these results when using the dose of 24 and 32 t ha⁻¹.

Keywords: Agricultural sustainability; Diazotrophic bacteria, Mato Grosso cerrado, *Urochloa brizantha*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Pastagem.....	13
2.2. <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	14
2.3. Cinza de biomassa vegetal	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Localização da área.....	16
3.2. Delineamento, tratamento e sistema de condução	17
3.3. Aplicação da cinza vegetal, semeadura e manejo da pastagem	18
4. VARIÁVEIS ANALISADAS	19
4.1. Umidade do solo	19
5. VARIÁVEL BIOLÓGICA	19
5.1. Carbono da biomassa microbiana	20
5.2. Respiração Basal.....	22
6. BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS.....	23
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
7.1. Umidade do Solo	26
7.2. pH do Solo	28
7.3. Carbono da Biomassa Microbiana no Solo	30
7.4. Respiração Basal do Solo.....	34
7.5. Bactérias Diazotróficas	36
8. Conclusões	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização e distribuição de blocos experimentais.....	16
Figura 2: Delineamento experimental.....	18
Figura 3. Curva de calibração do carbono da biomassa microbiana.....	21
Figura 4. Amostras preparadas para respiração basal do solo. (A) Branco da análise que contém apenas solução de hidróxido de sódio e cloreto de bário no vidro pequeno. (B) Amostra com solo, mais o vidro com a solução de hidróxido de sódio e cloreto de bário. (C) Amostra completa.....	22
Figura 5. Diluição e inoculação para bactérias diazotróficas.....	24
Figura 6. Estufa de incubação com os meios alocados.....	25
Figura 7. Meio NFb após o período de incubação.....	25
Figura 8. Médias da umidade do solo com interação entre dose de cinza de biomassa (0; 8; 16; 24 e 32 t ha ⁻¹) e formas de aplicação incorporado (A) e não incorporado (B) para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm para o ano de 2023. .	27
Figura 9. Médias do pH com interação entre dose de cinza de biomassa vegetal (0; 8; 16; 24 e 32 t ha ⁻¹) e formas de aplicação incorporado e não incorporado para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm para os anos de 2023 (A e B) e 2024 (C e D), respectivamente.	29
Figura 10. Médias de Carbono da Biomassa microbiana (CBM) no solo em função das doses de cinza de biomassa vegetal (A) e formas de aplicação (B), na de 0-10 cm, no ano de 2023. CBM em função das doses de cinza de biomassa em função das desses de cinza de biomassa	32
Figura 11. Médias de Carbono da Biomassa microbiana (CBM) no solo com interação dos fatores doses de cinza de biomassa vegetal, nas formas de aplicação incorporada (A) e não incorporada (B), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, no ano de 2024.....	33
Figura 12. Médias de Bactérias Diazotróficas (BD) em função das doses de cinza de biomassa (0; 8; 16; 24 e 32 t ha ⁻¹) na camada de 0-10 cm, no ano de 2024.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) umidade do solo (θ) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.	26
Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA) para pH do solo (CaCl_2) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.	28
Tabela 3. Médias do pH com interação entre dose de cinza de biomassa vegetal (0; 8; 16; 24 e 32 t ha ⁻¹) e formas de aplicação incorporado e não incorporado para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm para os anos de 2023 (A e B) e 2024 (C e D), respectivamente.	31
Tabela 4. Resumo da análise de variância (ANOVA) para respiração basal do solo (RBS) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.	34
Tabela 5. Resumo da análise de variância (ANOVA) para bactérias diazotróficas (BD) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.	36

INTRODUÇÃO

A degradação de pastagens é um dos principais desafios enfrentados pela agropecuária brasileira, afetando diretamente a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção, especialmente no bioma Cerrado, setor este que foi responsável por 24,4% do PIB do país em 2023. Cerca de 50% das áreas de pastagens no Brasil apresentam algum grau de degradação, com maior incidência nas regiões Centro-Oeste e Norte (SILVA et al., 2021). Esse processo se intensifica devido ao uso intensivo do solo, práticas inadequadas de manejo e à baixa reposição de nutrientes, resultando em compactação, redução da fertilidade e perda da biodiversidade edáfica (MARTHA JÚNIOR et al., 2012).

Neste cenário, tem gerado preocupação sobre a sustentabilidade da produção agrícola, qualquer tomada de decisão agrícola para alavancar o potencial produtivo do solo e medidas de manejo que potencialize estes atributos, torna-se essencial, para promover uma agricultura mais sustentável no Cerrado. Nesse sentido Corá et al. (2004) afirmam que até mesmo áreas pedologicamente idênticas podem apresentar diferença em seus atributos quando submetidas às diferentes práticas de manejo. A utilização de resíduos orgânicos, como a cinza proveniente da queima de biomassa vegetal, surge como uma alternativa sustentável para a recuperação de áreas degradadas, melhorando a qualidade deste solo (MAEDA et al., 2008). A cinza de biomassa vegetal é rica em nutrientes essenciais, como potássio, cálcio, magnésio e fósforo, além de apresentar efeito corretivo sobre a acidez do solo, contribuindo para a melhoria das condições químicas e biológicas do ambiente (SILVA; BONFIM-SILVA; SILVA, 2017). De acordo com Bonfim-Silva et al. (2011), a aplicação da cinza vegetal em solos do Cerrado promove incremento nos teores de bases trocáveis e na saturação por bases, o que pode potencializar a atividade microbiana e favorecer o crescimento vegetal, principalmente em áreas com cobertura de pastagens. Além disso, atua na correção da acidez do solo e na retenção de umidade, fatores críticos para a manutenção da produtividade em ambientes com sazonalidade hídrica, como em algumas áreas do Cerrado (BONFIM-SILVA et al., 2013).

A forma de aplicação da cinza também influencia significativamente os resultados obtidos no solo. Sistemas de manejo que incluem a incorporação do resíduo ao solo podem apresentar maior eficiência na liberação e absorção de nutrientes, enquanto a aplicação superficial pode promover maior cobertura e proteção contra a erosão, dependendo das condições climáticas e do tipo de solo (OLIVEIRA et al., 2020). Assim, é fundamental avaliar comparativamente diferentes formas de aplicação, como a incorporação com grade leve ou a deposição superficial, especialmente em solos com elevada suscetibilidade à compactação e perda estrutural.

A qualidade biológica do solo tem ganhado destaque por refletir de forma sensível as alterações no ambiente edáfico. O uso da cinza de biomassa vegetal pode estimular a atividade microbiana devido à oferta de nutrientes e à melhoria das condições físico-químicas, promovendo maior equilíbrio ecológico no solo (SANTOS; BONFIM-SILVA; SOUSA, 2019). A utilização de cinza vegetal em sistemas de cultivo é uma prática de agricultura sustentável, mas também auxilia na gestão de resíduos, promovendo uma economia circular.

Diante do exposto, parte-se da hipótese de que a aplicação de cinza de biomassa vegetal em solos do Cerrado cultivados com pastagem promove melhorias significativas na qualidade do solo, especialmente na redução da compactação e no aumento da porosidade, bem como na qualidade biológica, estimulando a atividade microbiana e a presença de organismos que beneficiam o sistema, como as bactérias diazotróficas.

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de cinza de biomassa vegetal sobre os atributos biológicos do solo sob cultivo de *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás, no Cerrado mato-grossense.

REVISÃO DE LITERATURA

Pastagem

Grande parte da produção no Brasil está associada às pastagens, 90% da produção bovina do país está baseada em sistemas de pastagem, representando assim a base alimentar dos rebanhos. Cerca de 70% das áreas de pastagens brasileiras enfrentam algum grau de manipulação, principalmente devido ao manejo inadequado e à baixa fertilidade dos solos tropicais. Dias-Filho (2014) destaca que, embora a pecuária a pasto seja uma atividade eficiente em termos de custo, sua sustentabilidade depende da recuperação dessas áreas e da adoção de práticas que melhorem a qualidade do solo e a produtividade das forrageiras.

A utilização de insumos alternativos de baixo custo, como a cinza vegetal, tem sido cada vez mais utilizada, como uma solução viável para melhorar a fertilidade e a qualidade do solo em sistemas de pastagem. Estudos como o de Simeon (2020) verificou que a aplicação de doses adequadas de cinza vegetal pode: aumentar o pH do solo, reduzir a toxicidade do alumínio e melhorar a disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio e potássio. Esses benefícios são particularmente relevantes em solos do Cerrado, onde as características edáficas frequentemente limitam a produção agrícola. Além disso, a utilização da cinza como insumo agrícola auxilia na gestão de resíduos industriais, reduzindo os impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses materiais.

Segundo Dias-Filho (2014), a implementação de técnicas simples, como a rotação de pastagens, a adubação orgânica ou o uso de corretivos naturais, poderia transformar esse cenário, proporcionando ganhos expressivos em eficiência e sustentabilidade. Apesar da relevância de práticas de manejo sustentável, a ausência de estratégias adequadas ainda é um desafio predominante na pecuária brasileira.

Urochloa brizantha cv. BRS Paiaguás

Brizantha cv. BRS paiaguás é uma cultivar do gênero *Urochloa*, que pertence ao gênero *Brachiaria* nativo da África (Penteado et al., 2000). O gênero *Brachiaria* compreende cerca de 100 espécies, com *B. brizantha* sendo um dos principais contribuintes para a produção de carne bovina no Brasil (Penteado et al., 2000; Valle et al., 2013).

A BRS Paiaguás, desenvolvido pela Embrapa, foi selecionada para solos de fertilidade média com estação seca definida, essas características tornam Paiaguás uma opção adequada para sistemas de pastejo e em áreas com condições ambientais desafiadoras, uma gramínea de alto potencial no Cerrado. (Valle *et al.*, 2013). Comparado a outras cultivares de *Urochloa*, BRS Paiaguás apresenta menor produtividade, mas maior tolerância à desidratação, potencialmente melhorando a persistência em áreas propensas à seca (Beloni *et al.*, 2018).

A cv. Paiaguás é uma cultivar de gramínea forrageira com características distintas em comparação com outras cultivares de *Urochloa*. Durante a estocagem, também apresenta maiores taxas de aparecimento de folhas e densidade populacional de perfilho no final do período de estocagem (Santos *et al.*, 2021). Essas características tornam Paiaguás uma opção adequada para sistemas de pastejo e em áreas com condições ambientais desafiadoras, oferecendo vantagens potenciais no manejo e sustentabilidade das pastagens.

Cinza de biomassa vegetal

A Cinza de biomassa vegetal é um subproduto da combustão de biomassa. Estudos mostraram que a composição da cinza de madeira varia com a temperatura e o tempo de carbonização, com teores de macronutrientes potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que desempenham um papel fundamental no crescimento da cultura e na melhoria do solo. (VOUNDINKANA *et al.*, 19989; BONFIM-SILVA *et. al.*, 2011; SEVERO *et al.*, 2019). Em quantidades menores encontra se também micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), que, embora necessários em menores

quantidades, são essenciais para o funcionamento adequado dos processos fisiológicos das plantas (SILVA *et al.*, 2021). A composição mineral da cinza vegetal torna-a uma alternativa viável e rica para a suplementação de nutrientes, especialmente em solos pobres ou com baixa capacidade de retenção de nutrientes.

A cinza de biomassa vegetal é utilizada para corrigir a acidez do solo, devido à sua natureza alcalina, contribui para a melhora da estrutura do solo, favorecendo a agregação das partículas e aumentando a porosidade, o que resulta em melhor retenção de água e maior atividade microbiana (ALMEIDA *et al.*, 2017). A cinza atua como fonte de fertilização em diversas culturas, e no solo corrigindo o pH, atua como um fertilizante de liberação lenta, uma vez que seus componentes são disponibilizados ao longo do tempo, o que reduz os riscos de lixiviação e contaminação ambiental. Segundo Valle *et al.* (2013), o uso de corretivos e fertilizantes, como a cinza vegetal, tem mostrado resultados promissores na melhoria da estrutura do solo e na redução da resistência, proporcionando maior produção de massa seca. A aplicação de cinza pode aumentar a produtividade de cultivos como milho, feijão e soja, especialmente em solos com deficiências de potássio e fósforo (MARTINS *et al.*, 2022).

A utilização de cinza vegetal também promove uma agricultura mais sustentável, uma vez que aproveita resíduos orgânicos que, de outra forma, poderiam ser descartados ou queimados ao ar livre, contribuindo para a poluição atmosférica. Nesse sentido, a prática de reciclagem de cinzas oferece uma solução econômica e ecológica, alinhada às necessidades de manejo agrícola sustentável (SANTOS *et al.*, 2018).

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área

O experimento foi realizado em campo, na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) - MT, localizado sob as coordenadas 16°27'38.94" S e 54°34'57.01" W, no período de novembro de 2023 a março de 2024.



Figura 1: Localização e distribuição de blocos experimentais.

De acordo com classificação de Köppen, o tipo climático de Rondonópolis-MT, é Aw, caracterizado por clima tropical com duas estações bem definidas seca de inverno. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018).

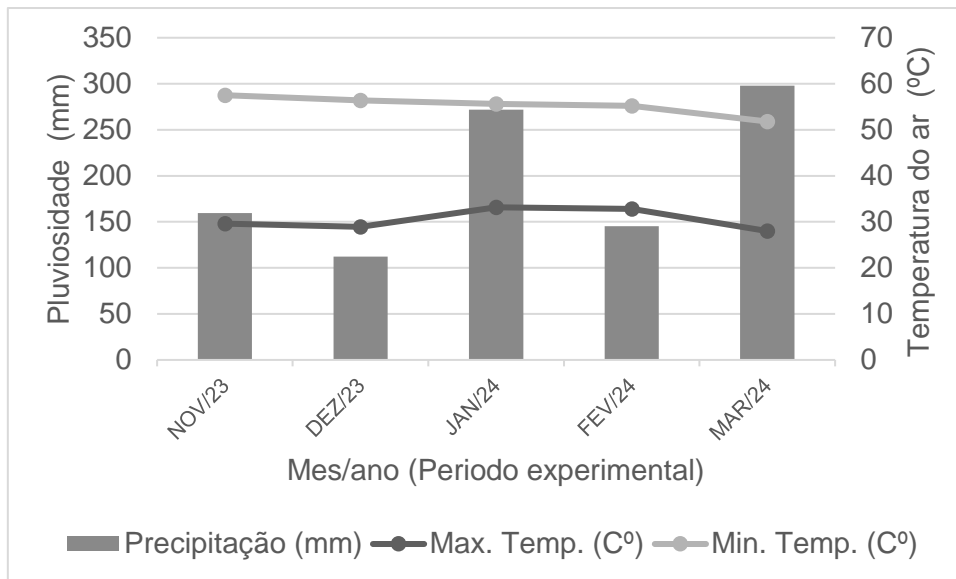


Figura 2. Pluviosidade (mm) e temperatura do ar (°C) durante o período experimental de dezembro de 2023 a março de 2024.

Delineamento, tratamento e sistema de condução

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, os tratamentos são dispostos, em esquema fatorial 5x2 e corresponderam a cinco doses de cinza vegetal: 0, 8, 16, 24 e 32 t ha⁻¹ e duas formas de aplicação da cinza: incorporada ao solo, com grade leve; e não incorporada, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. A área de cada parcela principal é de 72 m² (12 x 6 m) e as subparcelas, de 36 m² (6 x 6 m). As parcelas experimentais são compostas pelas doses de cinza. Já as formas de aplicação corresponderam às subparcelas.

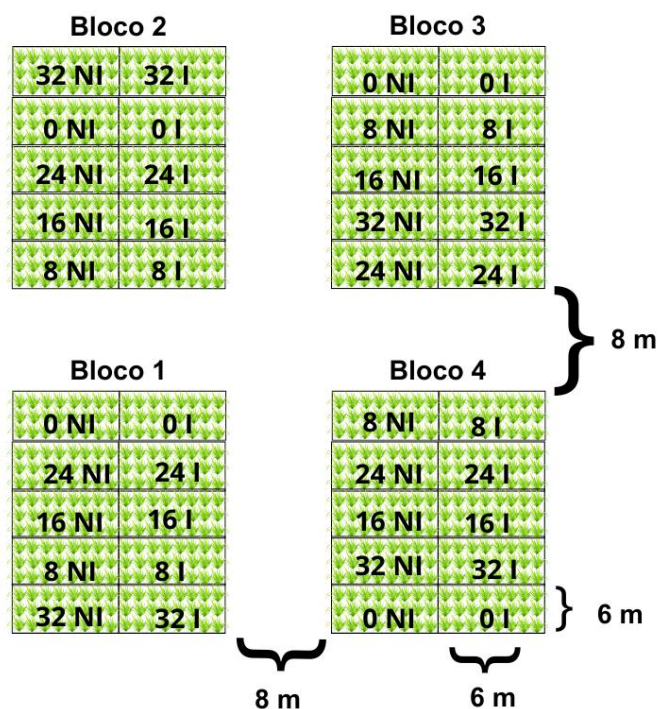


Figura 3: Delineamento experimental.

Aplicação da cinza vegetal, semeadura e manejo da pastagem

O experimento iniciou-se em outubro de 2018 na Universidade Federal de Rondonópolis-MT, sendo realizada amostragem do solo e da cinza vegetal, a fim de se obter a caracterização química e granulométrica e também o teor de nutrientes a ser aplicado em cada tratamento.

A cinza foi aplicada em novembro e 30 dias depois, em dezembro de 2018, foi realizada a primeira semeadura do capim *Urochloa Brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster cv. BRS Paiaguás. Aos 60 dias após a semeadura ocorreu o primeiro corte para avaliação da forragem, de um total de três cortes com intervalos de 30 dias. Assim, o ciclo de avaliações em campo do período de implantação foi finalizado em maio de 2019. O mesmo ciclo de cultivo foi realizado nos anos de 2020, 2021, 2022 e 2023.

Devido a cinza apresentar baixo teor de nitrogênio, foi realizada adubação nitrogenada, com ureia, na proporção de 100 kg de Ureia ha⁻¹ em todas as subparcelas experimentais, em cada ano agrícola.

No período de implantação da pastagem 1º e 2º ano de manutenção do pasto foi realizado corte na parte vegetativa do capim afim de simular o pastejo. Os cortes ocorreram no período de maior precipitação (janeiro, fevereiro e março), sua manutenção teve início em 2019, onde foi realizado uma nova adubação nitrogenada e reaplicação da cinza vegetal na área.

VARIÁVEIS ANALISADAS

Umidade do solo

A umidade foi avaliada a partir das amostras indeformadas. Sendo determinada pela razão entre a massa de água e a massa de solo seco (EMBRAPA, 2017). O cálculo para determinação da umidade em volume do solo, foram de acordo com as equações.

$$U = \frac{m_a}{m_s} * 100$$

U = Umidade do solo em massa (%)

m_s = massa de solo seco a 105 °C na estufa (g)

m_a = massa de água (solo úmido - solo seco) (g)

$$\theta = U * D_s$$

θ = umidade do solo em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

U = umidade do solo em massa (%)

D_s = densidade do solo (g cm^{-3})

VARIÁVEL BIOLÓGICA

Os atributos biológicos do solo são determinados através de amostras coletada com o auxílio do trado holandês na profundidade de 0-10 cm, obtendo amostras deformadas. Foi retirado cinco amostras simples por parcela,

homogeneizada e assim obteve uma amostra composta, este processo é realizado em todas as parcelas.

Afim de manter a viabilidade e integridade as amostras foram alocadas em ambiente refrigerado à 4° C, durante o período das análises biológicas no laboratório de Meio Ambiente na UFR (WOLLUM II, 1994). Para determinação das características químicas e granulométricas, as amostras retiradas como referência, foram encaminhadas para laboratório de análise de solo.

Carbono da biomassa microbiana

A análise de carbono da biomassa microbiana seguiu a proposta por Keeney e Nelson (1982) sendo composta por duas etapas iniciais, fumigação e extração, uma terceira etapa, colorimetria.

Foi retirado duas subamostras de 5g de solo de cada amostra armazenada, elas foram previamente destorroadas e peneiradas em peneira de 2 mm, alocadas em tubos Falcon de 50 mL. As amostras foram divididas em não fumigadas e as que passaram pelo processo de fumigação do solo.

Na etapa de fumigação foi adicionado 0,25 mL de clorofórmio, em seguida os tubos foram tampados e levados para incubar por 24 h em local isento de luz, com temperatura controlada de 25 a 28 °C. Após as 24 h, os tubos foram abertos e deixados em capela para total volatilização do clorofórmio. Após a fumigação, iniciou-se o processo de extração, no qual foi adicionado 20 mL de sulfato de potássio (K_2SO_4 0,5 M) aos tubos contendo o solo fumigado e não fumigado.

Obtido a solução extratora, os tubos foram levados para o agitador orbital a 220 rpm por 30 minutos, em seguida centrifugados por 5 minutos a 2500 rpm. O sobrenadante foi filtrado e armazenado.

A determinação do carbono da biomassa microbiana, foi realizada pipetado uma alíquota de 1 ml do extrato filtrado, adicionado 1 ml de Mn-pirofosfato e 1 ml de ácido sulfúrico concentrado em tubos de ensaio. Posteriormente, os tubos passaram pelo vórtex e deixados em repouso por 16 h. Após esse período, foi realizado a leitura em espectrofotômetro a 495 nm de absorbância.

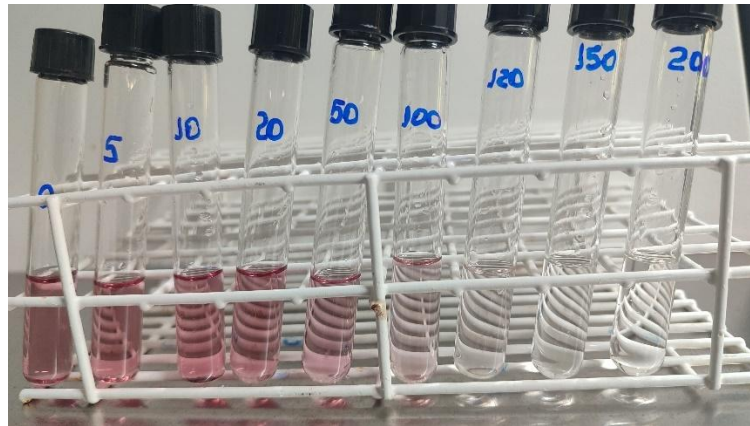


Figura 4. Curva de calibração do carbono da biomassa microbiana.

Para o carbono, a curva de calibração foi determinada a partir de uma solução estoque de ácido oxálico, diluída em concentrações conhecidas e a partir da equação 8 gerada pela curva foi possível obter a concentração das demais amostras. A curva então foi criada cruzando os valores das leituras em absorbância com as concentrações das soluções. Obtendo a curva e equação, é possível calcular a quantificação de carbono das amostras.

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

Em que:

CL= concentração de C (mg L⁻¹) na solução de leitura

fd = fator de diluição (3,0)

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

Em que:

Vt = volume total do extrato (mL) equação 10

Ms = massa de solo seco

$$Vt = Ve + Vs$$

Em que:

V_E = volume do extrato

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

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

$CE = (\text{Carbono orgânico extraído da amostra fumigada}) - (\text{Carbono orgânico extraído da amostra não-fumigada})$

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

Respiração Basal

A estimativa da respiração basal do solo foi realizada segundo a metodologia proposta por Silva et al. (2007) segue três etapas: pesagem, incubação e quantificação por titulação.

Inicialmente, foi pesado 50 g de solo de cada amostra e acondicionado em frascos de vidro de 500 ml. Na sequência, foi pipetado 20 ml de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 M) e transferido para frascos de vidro de 25 ml. O frasco menor contendo a solução de NaOH, foi alocado dentro do frasco maior juntamente com o solo pesado, mas sem contato direto entre a solução e o solo.



Figura 5. Amostras preparadas para respiração basal do solo. (A) Branco da análise que contém apenas solução de hidróxido de sódio e cloreto de bário no vidro pequeno. (B) Amostra com solo, mais o vidro com a solução de hidróxido de sódio e cloreto de bário. (C) Amostra completa.

Os frascos foram hermeticamente fechados e levados para incubação em local isento de luz, com temperatura controlada entre 25 a 28 °C, por 7 dias. Após o processo de incubação, foi adicionado 2 ml de cloreto de bário ($BaCl_2$ 10 % m/v) e duas gotas de fenolftaleína (1 % m/v) na solução de NaOH dos frascos. Sob agitação, foi realizada a titulação com ácido clorídrico (0,5 M), sendo o ponto

de viragem sinalizado pela alteração da coloração da solução, de rosa para incolor.

Os valores obtidos em mL de ácido utilizados na titulação foram convertidos em mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹, por meio da seguinte equação:

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

Em que:

RBS = respiração basal do solo (mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹)

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)

BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

Utilizou-se o processo de diluição seriada. Realizou-se o preparo da solução salina. Em seguida, distribui-se 90 mL dessa solução em Erlenmeyer e 9 mL em tubos de ensaio, esteriliza-se em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após em um Erlenmeyer foi adicionado à solução salina 10 g de cada amostra do solo coletado de cada parcela e levados para agitação em mesa agitadora por 1 h a 100 rpm.

Após a agitação, o inóculo original foi diluído nos tubos de ensaio, retirando-se 1 mL da diluição original (tubos de Erlenmeyer) e acrescentando aos tubos de ensaio contendo os 9 mL de solução salina tendo-se assim a diluição 10⁻². Depois, retirou-se 1 mL da diluição 10⁻² e transferiu para outro tubo com os mesmos 9 mL de solução salina, perfazendo a concentração 10⁻³ e assim sucessivamente, até a obtenção da diluição 10⁻⁵.

Para a avaliação do desenvolvimento das bactérias diazotróficas foi utilizado um meio de cultura semi específico, NFb (utilizado para *Azospirillum* spp.). Esse processo utilizou-se do mesmo procedimento de diluição seriada descrita

anteriormente. A inoculação para bactérias diazotróficas foi feita em vidros de penicilina com meio de cultura semissólido (NFb).

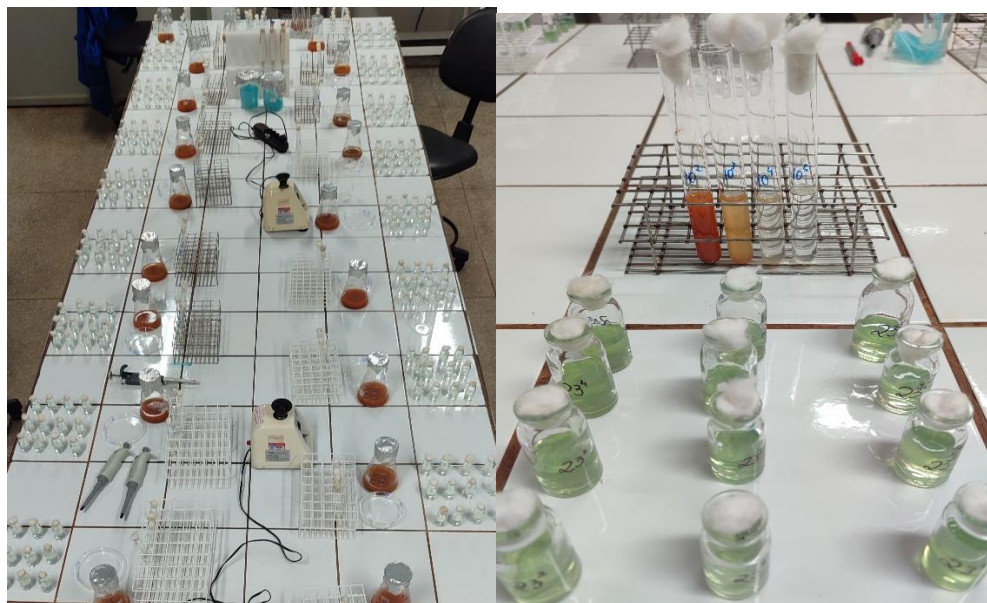


Figura 6. Diluição e inoculação para bactérias diazotróficas.

O preparo do meio de cultura NFb foi acrescido 5 g de ácido málico, 0,5 g de K_2HPO_4 , 0,2 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1 g de NaCl, 0,02 g de $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 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 de cultura teve o pH ajustado para o intervalo de 6,5 a 6,8, no momento de autoclavar adicionou-se 1,8 g de Ágar (DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, 1995).

Após o preparo do meio de cultura foram distribuídos 5 mL em vidros de penicilina e levados para o processo de esterilização. Após o processo de esterilização das amostras, foram realizadas a inoculação do meio com 0,1 mL de cada diluição seriada (10^{-2} a 10^{-5}), em triplicata.

Os meios ficaram alocados em estufa para incubação, por um período que variou de 7 a 15 dias conforme as necessidades de cada bactéria em relação ao tempo de crescimento.



Figura 7. Estufa de incubação com os meios alocados.

Após o período de incubação, mudança de cor e a presença de uma lâmina esbranquiçada na parte central ou superior no meio de cultura indicaram a presença de bactérias, sendo avaliadas como; crescimento positivo (+) para as amostras que resultaram em desenvolvimento bacteriano e negativo (-) para as amostras que não apresentaram desenvolvimento conforme mostra a figura 9 (DÖBEREINER *et al.*, 1995).

Em seguida foi realizado a quantificação do número mais provável (NMP) DE bactérias diazotróficas em amostras de solo.



Figura 8. Meio NFb após o período de incubação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Umidade do Solo

O resumo da análise de variância para a variável umidade do solo em função das doses de cinza (A) de biomassa vegetal e formas de aplicação (B) no solo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm nos anos de 2023 e 2024 encontram-se na Tabela 1. A dose de cinza de biomassa vegetal influenciou na profundidade a umidade do solo na profundidade de 10-20cm no ano de 2023.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) umidade do solo (θ) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.

Fonte de variação	GL	Estatística F			
		Ano 2023		Ano 2024	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Bloco	3	0,45 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Dose de cinza (A)	4	3,14 ^{ns}	5,47 ^{**}	0,96 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Forma de aplicação (B)	1	11,38 [*]	0,25 ^{ns}	1,25 ^{ns}	7,49 ^{ns}
A*B	4	24,37 ^{***}	23,28 ^{***}	1,21 ^{ns}	2,72 ^{ns}
Erro a	12				
Erro b	3				
Erro c	12				
CV a (%)		4,21	3,83	17,85	6,35
CV b (%)		3,09	2,00	28,17	8,67
CV c (%)		2,86	4,81	18,04	5,29
Média geral (%)		16,11	16,87	13,93	13,78

Níveis de significância: *0,01 < p ≤ 0,05; **0,001 < p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001; ns: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

A forma de aplicação influenciou o teor de umidade do solo apenas na profundidade de 0-10 cm ano de 2023 ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F (Tabela 1).

Nota-se que houve efeito significativo na interação dos fatores dose de cinza de biomassa vegetal e forma de aplicação no solo no ano de 2023, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm em ambos a 0,1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 1).

Na forma de aplicação incorporada com a dose de cinza de biomassa houve efeito significativo, o modelo matemático que melhor se ajustou aos

valores de umidade foi o quadrático, sendo que na camada de 0 -10 cm obteve ponto de mínima na dose de 16 t ha⁻¹ correspondendo a 15,02%, e na camada de 10-20 cm o ponto de máxima ocorreu na dose de 24 t ha⁻¹, refletindo em um teor de umidade de 18,09% (Fig. 8A).

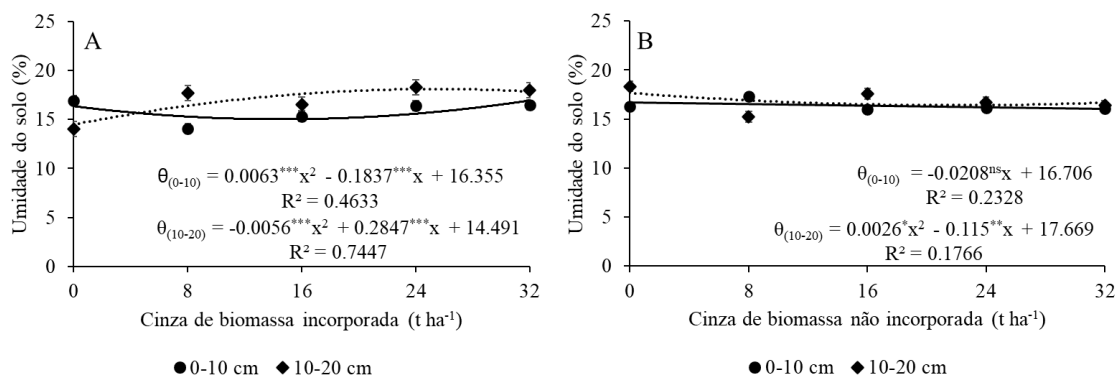


Figura 9. Médias da umidade do solo com interação entre dose de cinza de biomassa (0; 8; 16; 24 e 32 t ha⁻¹) e formas de aplicação incorporado (A) e não incorporado (B) para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm para o ano de 2023.

O desdobramento da cinza de biomassa com a forma de aplicação não incorporada na camada de 0-10 cm não foi significativo, sendo a média de umidade do solo de 16% (Fig. 8B). A forma não incorporada na profundidade 10-20cm para o ano de 2023 ajustou-se ao modelo quadrático com ponto de mínima foi observado na dose de 22,11 t ha⁻¹, correspondendo a uma umidade do solo de 16,40% (Fig. 8B). A partir desse ponto de mínima houve um incremento a medida que elevou-se a dose de cinza de biomassa, fato que pode ser justificado em decorrência do manejo não revolver o solo. Além disso, a cinza de biomassa possui partículas pequenas que contribui para aumentar o número de poros aumentando a quantidade de microporo e conseqüentemente eleva o teor de umidade do solo a partir de 22 t ha⁻¹.

Embora as variações sejam de pequena amplitude, observa-se que as doses mais elevadas de cinza de biomassa vegetal, especialmente a 32 t ha⁻¹, tenderam a elevar ligeiramente a umidade do solo. Esses resultados de umidade do solo podem estar relacionados a ação condicionante da cinza de biomassa vegetal que melhora a estrutura física, com o aumento da macro e

microporosidade, da capacidade de retenção de água, fato que corrobora para elevar o teor de umidade retido nas partículas (Duarte *et al.*, 2023).

Segundo a Embrapa (2017), a capacidade de retenção hídrica está diretamente associada à estabilidade dos agregados e ao conteúdo de matéria orgânica. A cinza de biomassa vegetal, ao fornecer cálcio e magnésio, pode favorecer a floculação das partículas finas e a formação de agregados estáveis, resultando em maior porosidade e armazenamento de água. A cinza de biomassa tem impacto indireto na umidade do solo, possivelmente em função das alterações na densidade, macroporosidade e condutividade hidráulica (Martins & Santos, 2017).

pH do Solo

O resumo da análise de variância para variável pH do solo em função das doses de cinza de biomassa e formas de aplicação no solo encontra-se na (Tabela 2), para as camadas 0-10 cm e 10-20 cm, nos anos de 2023 e 2024, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA) para pH do solo (CaCl_2) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.

Fonte de variação	GL	Estatística F			
		Ano 2023		Ano 2024	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Bloco	3	0,48 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,06 ^{ns}	2,02 ^{ns}
Dose de cinza (A)	4	93,86 ^{***}	452,31 ^{***}	105,68 ^{***}	303,68 ^{***}
Forma de aplicação (B)	1	8,08 ^{ns}	46,81 ^{**}	12,33 [*]	269,89 ^{***}
A*B	4	3,28 [*]	6,85 ^{**}	5,07 [*]	29,10 ^{***}
Erro a	12				
Erro b	3				
Erro c	12				
CV a (%)		4,80	2,23	4,56	2,59
CV b (%)		2,61	1,55	2,31	1,08
CV c (%)		4,66	3,71	3,00	1,93
Média geral		5,84	5,58	5,92	5,64

Níveis de significância: *0,01 < p ≤ 0,05; **0,001 < p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001; ns: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo de forma isolada para os fatores e para interação dos fatores doses de cinza (A) de biomassa vegetal e forma de

aplicação (B) da cinza no solo, nos anos de 2023 e 2024, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, com significância a 0,1%, 1% e 5% pelo teste F (Tabela 2).

A aplicação de cinza de biomassa vegetal influenciou de forma significativa o pH do solo na camada de 0–10 cm e 10-20 cm em 2023, tanto na forma de aplicação incorporada (Fig. 9A) e não incorporada (Fig. 9B), de forma que à medida que se elevou a dose houve acréscimo no pH, demonstrando o potencial corretivo da cinza de biomassa vegetal sobre a acidez do solo. O mesmo ocorreu no ano 2024, nas camadas de 0–10 cm e 10-20 cm, de forma incorporada (Fig. 9C) e não incorporada (Fig. 9D).

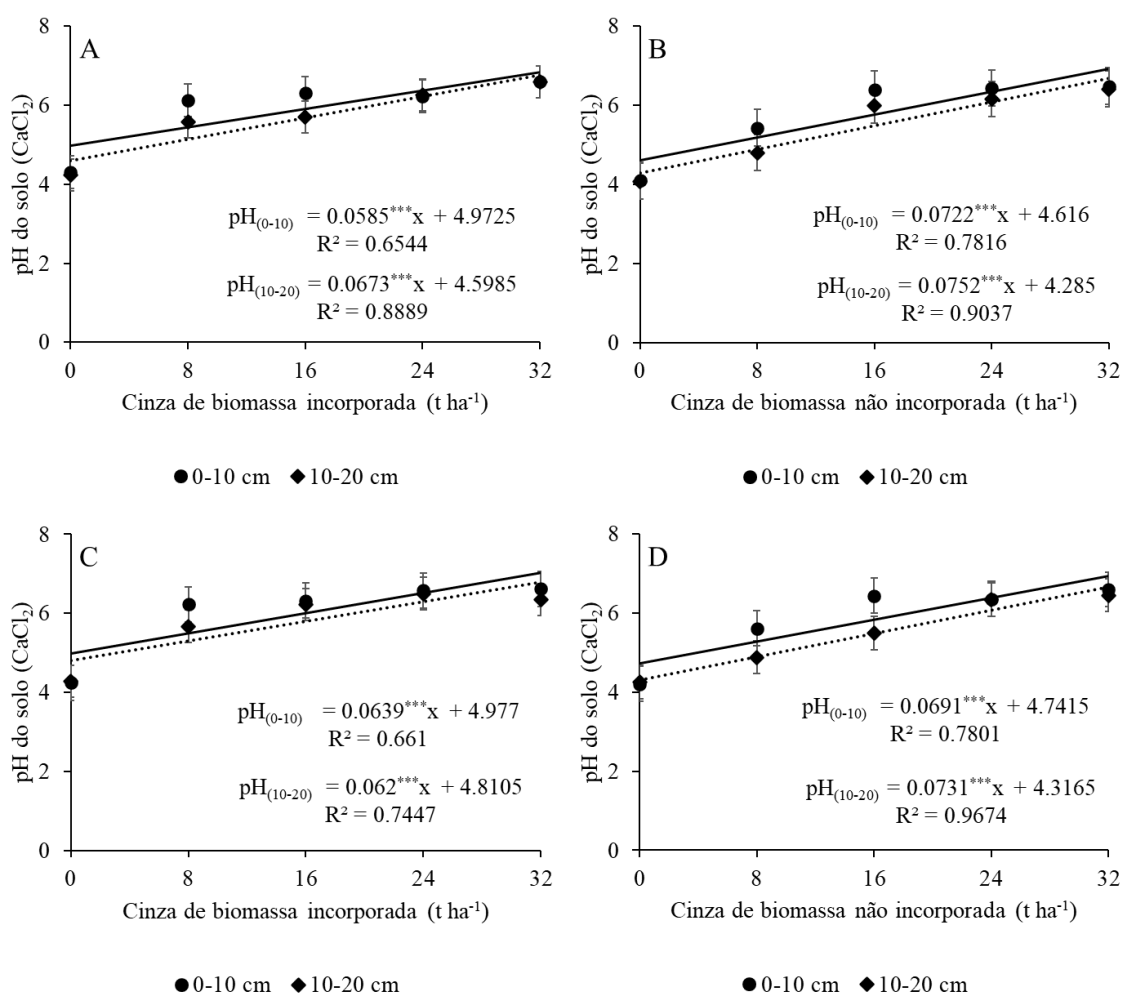


Figura 10. Médias do pH com interação entre dose de cinza de biomassa vegetal (0; 8; 16; 24 e 32 t ha⁻¹) e formas de aplicação incorporado e não incorporado para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm para os anos de 2023 (A e B) e 2024 (C e D), respectivamente.

Observa-se que nas doses mais elevadas (24 e 32 t ha⁻¹), o pH do solo aproximou-se de 6,8, independentemente da forma de aplicação da cinza de

biomassa adotado, o que representa uma melhora significativa em relação ao pH inicial (entre 4,2 e 5,0) (Fig. 9). Demonstrando que, mesmo sem incorporação (camadas de 0-10 cm e 10-20 cm), a cinza teve efeito em profundidade, provavelmente por lixiviação de cátions básicos solúveis, como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Nota-se ainda que a profundidade de 0-10cm independente da dose e da forma de aplicação evidenciou maiores valores de pH nos anos estudados. Independente das doses de cinza de biomassa a forma de aplicação incorporada obteve maiores valores de pH em todas as profundidades e anos estudados (Fig. 9). Fato que confirma a hipótese de que, ao longo do tempo, macronutrientes como potássio, cálcio, magnésio e fósforo, solúveis e presente na cinza de biomassa vegetal, propicia uma neutralização na acidez do solo como descrito por (Bonfim-Silva et al., 2019).

A cinza de biomassa tem a capacidade de neutralizar o hidrogênio assim como contribuir para insolubilizar o alumínio presente nos solos (Murtaza et al., 2024). Esse processo químico da cinza de biomassa auxilia na correção do pH dos solos ácidos, esses dados corroboram com os trabalhos de Oliveira et al., 2023; Meneghetti et al., 2025.

Os resultados de pH do solo demonstram que a cinza de biomassa vegetal, além de atuar como fonte de nutrientes, desempenha papel relevante como condicionador químico do solo, promovendo melhorias na reação do solo e criando um ambiente mais favorável à atividade biológica e ao aproveitamento de outros nutrientes (Guimarães et al., 2020).

De modo geral, os resultados evidenciam que o uso da cinza vegetal como alternativa viável e sustentável ao calcário em solos ácidos do Cerrado, especialmente, contribuindo para a melhoria das condições químicas do solo e, indiretamente, para o desempenho das plantas cultivada e da microbiota edáfica. (Santos et al., 2012, Bonfim-Silva et al., 2011).

Carbono da Biomassa Microbiana no Solo

Na Tabela 3 pode observar o resumo da variância do carbono da biomassa microbiana no solo em função das doses de cinza (A) de biomassa vegetal e formas de aplicação (B) no solo (incorporada e não incorporada) nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, nos anos de 2023 e 2024.

O carbono da biomassa microbiana, tabela 3, para o ano de 2023 na camada de 0-10 cm, apresenta significância isolada para doses de cinza de biomassa vegetal e formas de aplicação no solo, porém na camada de 10-20 cm evidencia significância apenas para doses de cinza de biomassa vegetal. No ano de 2024, houve interação significância para os fatores avaliados, doses de cinza e formas de aplicação.

Tabela 3. Médias do Carbono da Biomassa Microbiana com interação entre dose de cinza de biomassa vegetal (0; 8; 16; 24 e 32 t ha⁻¹) e formas de aplicação incorporado e não incorporado para a camada de 0-10 cm e 10-20 cm para os anos de 2023 (A e B) e 2024 (C e D), respectivamente.

Fonte de variação	GL	Estatística F			
		Ano 2023		Ano 2024	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Bloco	3	3,96*	2,77 ^{ns}	2.53 ^{ns}	0,74 ^{ns}
Dose de cinza (A)	4	110,85***	8,55**	1.86 ^{ns}	17,15***
Forma de aplicação (B)	1	27,22*	7,19 ^{ns}	4.88 ^{ns}	4,73 ^{ns}
A*B	4	16,15 ^{ns}	1.68 ^{ns}	8.41**	3.87*
Erro a	12				
Erro b	3				
Erro c	12				
CV a (%)		6,45	5,02	19,97	12,98
CV b (%)		12,66	4,65	16,96	12,80
CV c (%)		10,71	4,86	11,79	14,75
Média geral (µg C g ⁻¹)		357,27	1511,53	1156,58	1364,95

Níveis de significância: *0,01 < p ≤ 0,05; **0,001 < p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001; ns: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que no ano de 2023 o carbono da biomassa microbiana (CBM) foi influenciado pelas doses de cinza de biomassa vegetal e formas de aplicação da cinza no solo, na camada de 0-10 cm a dose de cinza de 16 t ha⁻¹ apresentou menor CBM (Fig. 10A) a forma de aplicação não incorporada a profundidade obteve as maiores médias (394,59 de µg de C g⁻¹ de solo) (Fig. 10B).

A tendência observada sugere que o uso da cinza de biomassa vegetal em doses elevadas pode exercer efeito inibitório temporário sobre a biomassa microbiana, possivelmente em razão de alterações no pH, salinidade ou excesso

de determinados cátions (BONFIM-SILVA *et al.*, 2015). O aumento observado após 16 t ha⁻¹ pode estar associado á adaptação da comunidade microbiana ou à melhora gradual da estrutura física e da disponibilidade de nutrientes (GUIMARÃES *et al.*, 2020).

Houve efeito da dose de cinza de Biomassa vegetal sobre o Carbono da biomassa microbiana com ajuste quadrático (Fig. 10A). Observa – se que até a dose de 22,15 t ha⁻¹, houve uma redução no carbono da biomassa microbiana (302,61 µg de C g⁻¹ de solo) na profundidade 0-10cm, a partir desta dose observa – se um incremento no carbono da biomassa microbiana a medida que se aumenta a dose, sendo na dose de 32 t ha⁻¹ a CBM foi de 334,584 µg de C g⁻¹ de solo (Fig. 10A).

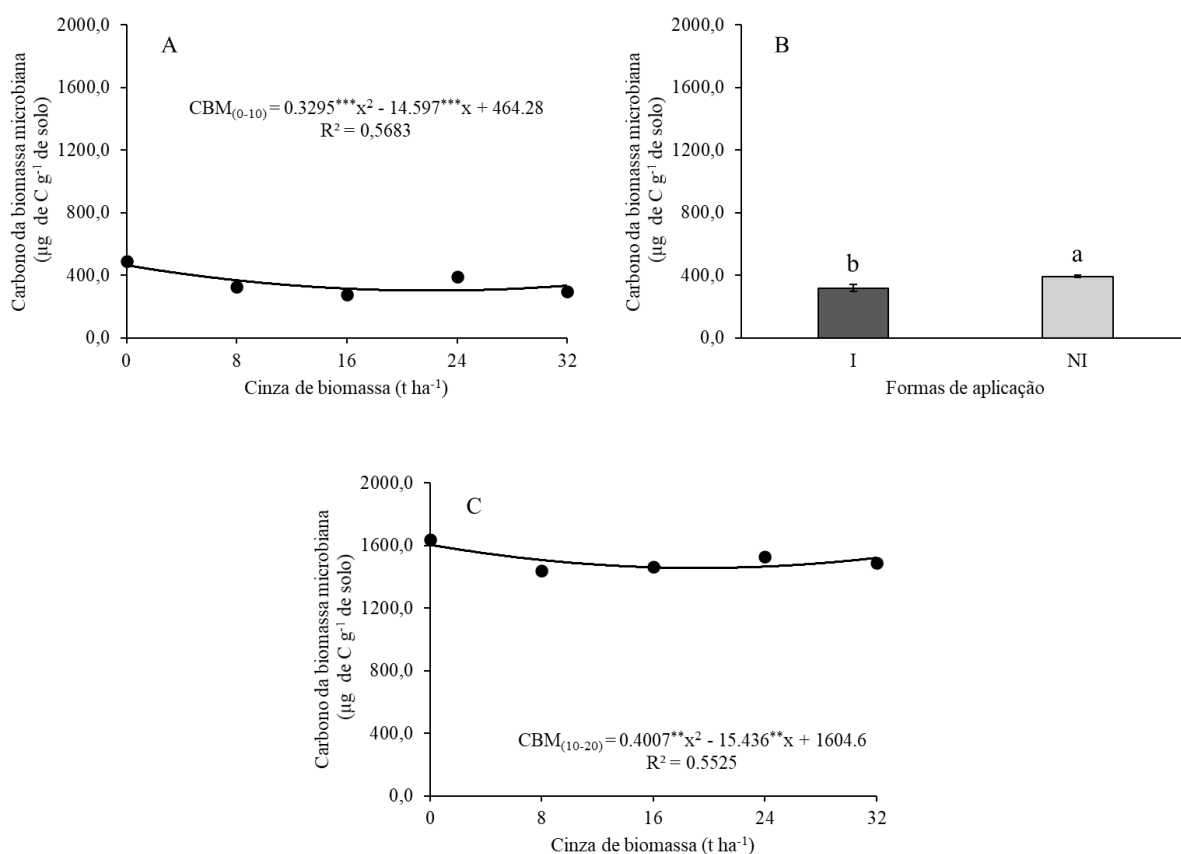


Figura 11. Médias de Carbono da Biomassa microbiana (CBM) no solo em função das doses de cinza de biomassa vegetal (A) e formas de aplicação (B), na de 0-10 cm, no ano de 2023. CBM em função das doses de cinza de biomassa em função das desses de cinza de biomassa

A forma de aplicação incorporada e não incorporada influenciou o carbono da biomassa microbiana ao nível de 5%, pelo teste Tukey (Fig. 10B). Observando maiores medias de carbono da biomassa microbiana na forma de aplicação não

incorporada, sendo a diferença percentual do manejo não incorporado em relação ao incorporado de 23%.

Para o ano de 2024 na profundidade de 10-20cm houve efeito significativo para a dose de cinza de biomassa vegetal de modo que o carbono da biomassa microbiana reduziu até a dose 19,26 t ha⁻¹ de cinza (1455,94 µg de C g⁻¹ de solo) em seguida houve um acréscimo a medida que se aumentou a dose na dose de 32 t ha⁻¹ de cinza o carbono da biomassa microbiana foi de (1520,96 µg de C g⁻¹ de solo)(Fig. 10C).

A interação entre esses dois fatores demonstra que a forma de aplicação de cinza de biomassa vegetal interfere diretamente na resposta do solo quanto ao carbono da biomassa microbiana

Além aumentar a capacidade de troca catiônica e a disponibilidade de nutrientes, promovendo um ambiente favorável para a atividade microbiana (Oliveira *et al.*,2021, HANSEN *et al.*,2017). No entanto, é essencial considerar as características específicas do solo e da cinza utilizada para garantir resultados positivos.

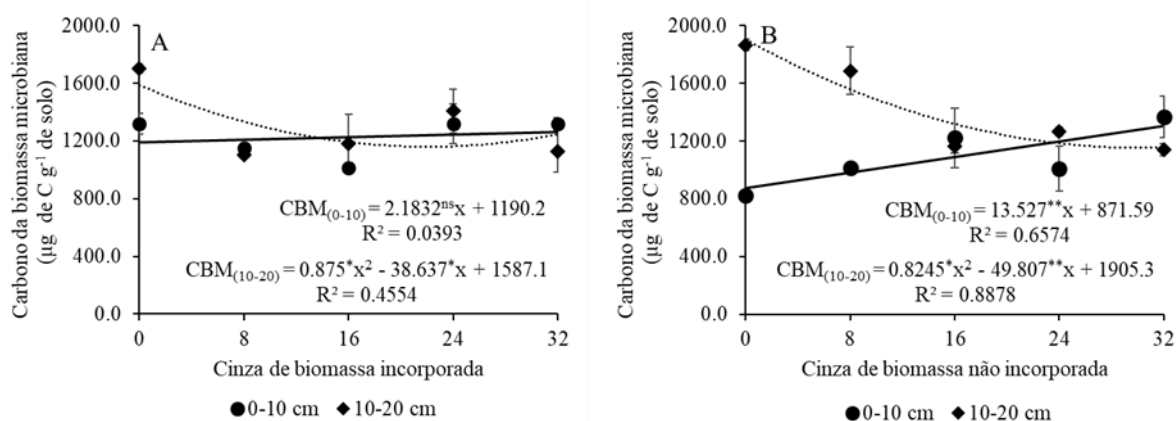


Figura 12. Médias de Carbono da Biomassa microbiana (CBM) no solo com interação dos fatores doses de cinza de biomassa vegetal, nas formas de aplicação incorporada (A) e não incorporada (B), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, no ano de 2024.

Segundo Bonfim-Silva *et al.* (2013), a aplicação de cinza vegetal no solo pode elevar o pH, neutralizando a acidez e aumentando a disponibilidade de nutrientes essenciais como cálcio, magnésio e potássio. Essa alteração no pH cria um ambiente mais favorável para a atividade microbiana, promovendo o crescimento da biomassa microbiana do solo. No entanto, doses excessivas de

cinza podem levar a um aumento excessivo da salinidade, o que pode inibir a atividade microbiana e afetar negativamente a qualidade do solo, sendo assim é fundamental monitorar as doses aplicadas para evitar possíveis efeitos negativos.

A diferença pode estar relacionada a fatores sazonais (como temperatura e umidade), ao efeito residual da cinza no solo ou ao acúmulo gradual de nutrientes e carbono orgânico ao longo do tempo (BONFIM-SILVA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2022).

O aumento significativo de CBM ocorrido entre os anos de 2023 para 2024, pode estar associado a uma possível adaptação da microbiota edáfica ou reequilíbrio do ambiente do solo após exposição continuada à cinza vegetal (BONFIM-SILVA *et al.*, 2018).

O comportamento observado também indica que doses muito elevadas de cinza podem inibir parcialmente a atividade microbiana em profundidade, provavelmente por aumento da condutividade elétrica, salinização localizada ou excesso de alguns cátions básicos, o que está em consonância com os relatos de Santos *et al.* (2018).

Comparado ao ano de 2023 para a mesma profundidade (Figura 11), o ano de 2024 apresentou valores mais elevados de CBM, especialmente nas doses iniciais. Esse resultado reforça a hipótese de efeito residual benéfico da cinza de biomassa vegetal ao longo do tempo, o que pode favorecer a estabilidade da comunidade microbiana em sistemas de pastagem perene.

Respiração Basal do Solo

Observa-se no resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável respiração basal do solo em função das doses de cinza (A) de biomassa vegetal e formas de aplicação (B) no solo, que não obteve significância para as doses de cinza (0, 8, 16, 24 e t ha⁻¹) e formas de aplicação (incorporada e não incorporada) no solo, Tabela 4.

Tabela 4. Resumo da análise de variância (ANOVA) para respiração basal do solo (RBS) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.

Fonte de variação	GL	Estatística F	
		Ano 2023	Ano 2024

		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Bloco	3	0,64 ^{ns}	0,21 ^{ns}	9,24 ^{ns}	3,84 ^{ns}
Dose de cinza (A)	4	0,65 ^{ns}	0,34 ^{ns}	3,07 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Forma de aplicação (B)	1	0,10 ^{ns}	2,60 ^{ns}	2,18 ^{ns}	1,19 ^{ns}
A*B	4	0,43 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,93 ^{ns}
Erro a	12				
Erro b	3				
Erro c	12				
CV a (%)		2,57	2,86	1,79	2,42
CV b (%)		4,00	2,09	1,74	4,88
CV c (%)		3,07	2,89	1,67	1,65
Média geral ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ¹⁾		3815,46	3617,14	3956,79	3685,71

^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que a média dos valores da respiração basal do solo para o ano de 2023 na profundidade de 0-10 cm foi de 3.815,46 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e na profundidade de 10-20 cm de 3.617,14 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e no ano de 2024 na profundidade 0-10 cm 3.956,79 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e na camada de 10-20 cm de 3685,71 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Sendo a média para ambos os anos 3.768,775 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Tabela 4). Observa-se uma tendência de incremento da respiração basal do solo em 2024 em comparação a 2023, sobretudo na camada superficial (0-10 cm), passando de 3.815,46 para 3.956,79 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Alves *et al.* (2011) pesquisando solos sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo, constataram que a atividade microbiana sob vegetação nativa apresentara valores relativamente maiores quando comparados a solos cultivados, tendo em vista que a microbiota é favorecida pela cobertura vegetal que propicia acúmulo de material orgânico, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana.

Santos *et al.* (2016) e Correia *et al.* (2009), concluíram em suas pesquisas que a umidade do solo é um dos fatores de controle no desprendimento de CO₂, logo elementos climáticos, conteúdo de água do solo e temperatura do solo influenciam na dinâmica da respiração do solo, havendo menor desprendimento de CO₂ nos pontos de menor teor de água no solo com influência da época de análise e o estado de conservação da área influencia diretamente a dinâmica da respiração do solo.

Bactérias Diazotróficas

O resumo da tabela de variância para Bactérias Diazotróficas (BD) em função das doses de cinza (A) de biomassa vegetal e formas de aplicação (B) no solo (incorporada e não incorporada) nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, nos anos de 2023 e 2024. O resultado demonstra que as bactérias diazotróficas foram influenciadas apenas para doses de cinza de biomassa vegetal na camada de 0-10 cm no ano de 2024, Tabela 5.

Tabela 5. Resumo da análise de variância (ANOVA) para bactérias diazotróficas (BD) em função da dose de cinza de biomassa (A), forma de aplicação (B) e interação (A x B), em duas camadas de solo (0-10 cm e 10-20 cm), nos anos de 2023 e 2024.

Fonte de variação	GL	Estatística F			
		Ano 2023		Ano 2024	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Bloco	3	0,80 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Dose de cinza (A)	4	0,56 ^{ns}	0,56 ^{ns}	6,11 ^{**}	2,24 ^{ns}
Forma de aplicação (B)	1	0,98 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,33 ^{ns}
A*B	4	0,78 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Erro a	12				
Erro b	3				
Erro c	12				
CV a (%)		33,32	83,92	30,54	63,19
CV b (%)		28,24	79,15	44,67	83,56
CV c (%)		38,53	49,62	45,82	52,4
Média geral (UFC g ⁻¹ solo)		3,32	2,15	2,76	2,32

Níveis de significância: **0,001 < p ≤ 0,01; ns: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

A variação de bactérias diazotróficas no solo responderam de forma quadrática para as doses de cinza de biomassa vegetal, atingindo a maior de Bactérias diazotróficas (3,378 UFG g⁻¹) na dose de cinza de biomassa vegetal de 20,47 t ha⁻¹ (Figura 12).

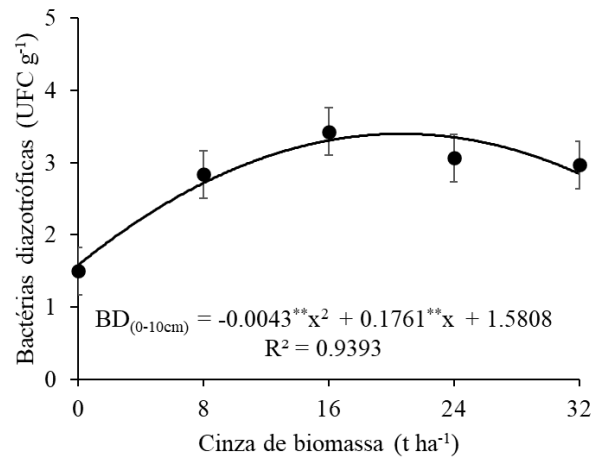


Figura 13. Médias de Bactérias Diazotróficas (BD) em função das doses de cinza de biomassa (0; 8; 16; 24 e 32 t ha⁻¹) na camada de 0-10 cm, no ano de 2024.

Santás-Miguel *et al.*, que observam a adição da cinza de biomassa a solos contaminados com antibióticos, eleva o pH do solo, reduz a toxidez e aumenta a comunidade bacteriana. Esses resultados reforçam o potencial da cinza de biomassa vegetal como insumo que estimula a fertilidade física, química e biológica do solo, com impactos positivos sobre a comunidade microbiana fixadora de nitrogênio atmosférico, contribuindo para a sustentabilidade da produção forrageira no Cerrado.

Conclusões

A aplicação de cinza de biomassa vegetal demonstrou ser uma prática promissora para a melhoria da qualidade física e biológica do solo sob cultivo de pastagem no Cerrado mato-grossense.

A forma de aplicação incorporada da cinza de biomassa vegetal promoveu maior estabilidade e distribuição dos nutrientes, sobretudo nas camadas subsuperficiais.

A forma de aplicação não incorporada apresentou benefícios relevantes nas camadas superficiais, favorecendo a retenção de umidade e o estímulo à atividade microbiana ao longo do tempo.

Recomenda-se adoção da dose de cinza de biomassa vegetal na dose 24 e 32 t ha⁻¹, por se mostrarem eficazes na correção da acidez do solo e na melhoria das condições ambientais para os microrganismos, desde que associadas a práticas de aplicação compatíveis com as características edafoclimáticas locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASHAN, Y. & HOLGUIN, G. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Can. J. Microbiol.*, 43:103-121, 1997.

BELONI, T.; SANTOS, PM; ROVADOSCKI, G.; BALACHOWSKI, J.; VOLAIRE, F. Grande variabilidade na sobrevivência à seca entre cultivares de *Urochloa spp.* Grama um *Ciência de gramíneas e forragens*, v. <https://doi.org/10.1111/GFS.12380>

BONFIM, E. M. S.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S.. Cinza Vegetal: Características Produtivas e Teor de Clorofila do Capim-Marandu. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.29, n.5, p.1215-1225, 2013.

BONFIM, E. M. S.; CARVALHO, J. M. G.; PEREIRA, M. T. J.; SILVA, T. J. A.. Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em Latossolo Vermelho do Cerrado. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v.11, n.21, p.524, 2015.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Cinza vegetal na produção de biomassa e extração de nutrientes pelo capim-marandu. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 10, p. 1021–1029, 2011.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Cinza vegetal na produção de biomassa e extração de nutrientes pelo capim-marandu. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 10, p. 1021–1029, 2011.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Qualidade física do solo após aplicação de cinza vegetal e cultivo de braquiária. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, p. 141–151, 2015.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Qualidade física do solo após aplicação de cinza vegetal e cultivo de braquiária. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, p. 141–151, 2015.

Bonfim-Silva, E. M.; Silva, T. J. A.; Guimarães, S. L.; Polizel, A. C. (2011). Desenvolvimento e produção de Crotalária juncea adubada com cinza vegetal. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 12, p. 371-379. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2542770>

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:1013-1021, 2004.

de Oliveira, NPR; Bonfim-Silva, EM; da Silva, TJA; da Silva, PF; da Silva Rocha, RA; Meneghetti, LAM; Custódio, ASC; Guimarães, SL; Duarte, TF; Koetz, M. Efeitos dos tipos de fertilização e saturação por bases no crescimento e

produtividade hídrica em *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. *Agricultura* 2023 , 13 , 1872. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101872>

DIAS-FILHO, MB *Diagnóstico das pastagens no Brasil* . Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402). DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas. Brasília-DF: EMBRAPA - SPI, 1995.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V.L.D. & BALDANI, J.I. Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas. Brasília, EMBRAPA-SPI e Seropédica, EMBRAPA-CNPAB, 1995. 60p.

Duarte, T. F.; Bonfim-Silva, E. M.; Silva, T. J. A.; Koetz, M.; Lima, G. F. Physical-hydric properties of Oxisol and Quartzipsamment associated with the application of wood ash. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* , v.27, p.188-194, 2023. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n3p188-194>

EMBRAPA. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Ver. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. E-book. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF. Embrapa, 574 p., 2017.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-Term Assay of Soil Urease Activity Using Colorimetric Determination of Ammonium. *Biologia e Fertilidade dos Solos*, 6, 68. 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00257924>

KANDELER, E.; GERBER, HKEENEY. Short-Term Assay of Soil Urease Activity Using Colorimetric Determination of Ammonium. *Biologia e Fertilidade dos Solos*, 6, 68. 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00257924>

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen-Inorganic Forms. In: *Methods of Soil Analysis*. 2. ed. Madison, Wisconsin USA: American Society of Agronomy, 1982. p. 643–698. Martins & Santos (2017) Martins, FP; Santos, EL Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. *Acta Iguazu*, v.6, p.28-40, 2017. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i4.18456> .

Meneghetti, LAM; Bonfim-Silva, EM; Araújo da Silva, TJ; de Oliveira, NPR; Costa Custódio, AS; Campos e Silva, IA; Bonfim-Silva, TH; Rocha, RAdS; Schlichting, AF; Guimarães, SL; e outros. Efeitos da fertilização orgânica, organomineral e mineral nos macronutrientes do solo no cultivo de crisântemo cultivar Singelo. *Horticulturae* 2025 , 11 ,567. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060567>

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, p.368–377, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-032>

OLIVEIRA, R. A. et al. Cinza vegetal como alternativa para a fertilização do solo: efeitos na disponibilidade de nutrientes e produtividade. *Revista Agro@ambiente*, v. 14, n. 3, p. 1–10, 2020.

OLIVEIRA, R. A. et al. Cinza vegetal como alternativa para a fertilização do solo: efeitos na disponibilidade de nutrientes e produtividade. *Revista Agro@ambiente*, v. 14, n. 3, p. 1–10, 2020.

PENTEADO, M.; SANTOS, AM; RODRIGUES, Í. F.; VALE, CBD; SEIXAS, MAC; ESTEVES, A. Determinação de ploidia e avaliação da quantidade de DNA total em diferentes espécies do gênero *Brachiaria*. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Determina%C3%A7%C3%A3o-de-ploidia-e-avalia%C3%A7%C3%A3o-da-quantidade-Penteado-Santos/7588f5aa2431e42fad43240305bb5c1d58e4fc57>

PENTEADO, M.; SANTOS, AM; RODRIGUES, Í. F.; VALE, CBD; SEIXAS, MAC; ESTEVES, A. Determinação de ploidia e avaliação da quantidade de DNA total em diferentes espécies do gênero *Brachiaria*. *Gramma tropical Pastagens Tropicais-Forrajões Tropicais*, v. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(1\)121-122](https://doi.org/10.17138/TGFT(1)121-122)

REYNOLDS, W. D. et al. Ecosystem and human controls on the variability of soil structure and function in agricultural landscapes. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 89, p. 593–606, 2009.

REZENDE, Jefrejan Souza et al. Uso da cinza vegetal na germinação e produção de mudas de pimentão. *Revista Ciência Agrícola*, v. 19, n. 2, p. 85-93, 2021.

ROCHA, Ana Flávia de Souza; COSTA, Raoni Ribeiro Guedes Fonseca. Desempenho de *Urochloa brizantha* cv. *Azospirillum brasilense* e diferentes doses nitrogênio. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/DESEMPENHO-DE-Urochloa-brizantha-cv-Paiagu%C3%A1s-COM-E-Rocha-Costa/2bd6432d1dd48d9ad9d75e3ff8789a7e8669484f>

SANTÁS-MIGUEL, V. et al. Use of biomass ash to reduce toxicity affecting soil bacterial community growth due to tetracycline antibiotics. *Journal of Environmental Management*, v. 269, p. 110838, 2020. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110838](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110838).

SANTÁS-MIGUEL, V.; FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. J.; NÚÑEZ-DELGADO, A.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, E.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; ARIAS-ESTÉVEZ, M.; FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D. Use of biomass ash to reduce toxicity affecting soil bacterial community growth due to tetracycline antibiotics. *Journal of Environmental Management*, v. 269, p. 110838, 2020. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110838](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110838)

Santos, C. C. (2012). *Cinza vegetal como corretivo e fertilizante para os capins Marandu e Xaraés*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis.

Disponível em: <https://ufr.edu.br/pgeagri/wp-content/uploads/2020/09/Dissertacao-Claudia-Cardoso-dos-Santos.pdf>

SANTOS, F. C.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUSA, H. H. Atributos biológicos do solo em área de pastagem adubada com cinza vegetal. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 3, p. 315–322, 2019.

SANTOS, F. C.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUSA, H. H. Atributos biológicos do solo em área de pastagem adubada com cinza vegetal. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 3, p. 315–322, 2019.

SANTOS, MER; et al. Acúmulo de forragem e estrutura do dossel durante o armazenamento de cultivares de *Urochloa brizantha*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, B <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.02207>.

SILVA, D. M. et al. Atributos microbiológicos do solo influenciados por práticas agrícolas sustentáveis. *Revista Agro@ambiente*, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2022.

SILVA, D. M. et al. Atributos microbiológicos do solo influenciados por práticas agrícolas sustentáveis. *Revista Agro@ambiente*, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2022.

SILVA, E. E. da; 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, F. A. et al. Pastagens no Brasil: situação atual, desafios e perspectivas. Documentos / Embrapa Gado de Corte, n. 268, 2021.

SILVA, F. A. et al. Pastagens no Brasil: situação atual, desafios e perspectivas. Documentos / Embrapa Gado de Corte, n. 268, 2021.

SILVA, T. O.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. Cinza vegetal na recuperação de solos degradados: efeitos físicos e químicos. *Enciclopédia Biosfera*, v. 14, n. 25, p. 123–132, 2017.

SILVA, T. O.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. Cinza vegetal na recuperação de solos degradados: efeitos físicos e químicos. *Enciclopédia Biosfera*, v. 14, n. 25, p. 123–132, 2017.

SIMEON, BGS *Cinza vegetal e manejos de aplicação na implantação e manutenção de pastagem de Urochloa brizantha no Cerrado Mato-grossense*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2020.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of P-Nitrophenyl Phosphate for Assay of Soil Phosphatase Activity. *Soil Biology Biochemistry*, 1, 301-307, 1969. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)

VALLE, CB; JANK, L.; RESENDE, RMS O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 4, pág. 460–472, jul./ago. 2009. Disponível

em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226808013>. Acesso em: 6 dez. 2024.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.

WOLLUM II, A. G. Soil sampling for microbiological analysis. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. Madison: Soil Science Society of America, p.114, 1994.