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

COMBINAÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL ASSOCIADA À SATURAÇÃO POR BASES EM CAPIM ZURI

NICLENE PONCE RODRIGUES DE OLIVEIRA

RONDONÓPOLIS – MT
2023

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

COMBINAÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL ASSOCIADA À SATURAÇÃO POR BASES NO CULTIVO DE CAPIM ZURI

NICLENE PONCE RODRIGUES DE OLIVEIRA
Engenheira Agrícola e Ambiental

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Edna Maria Bonfim da Silva

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

RONDONÓPOLIS – MT
2023

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.

O48c Oliveira, Niclene Ponce Rodrigues de.
Combinação da adubação orgânica e mineral associada à saturação por bases em capim Zuri [recurso eletrônico] / Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 122 f., il. color., pdf). – 2023.

Orientador(a): Edna Maria Bonfim da Silva.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Adubação alternativa. 2. Cinza de madeira. 3. Organo-mineral. 4. Propriedades químicas do solo. 5. Pastagem. I. Silva, Edna Maria Bonfim da, *orientador*. II. Título.

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: COMBINAÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL ASSOCIADA À SATURAÇÃO POR BASES EM CAPIM ZURI

AUTOR (A): MESTRANDO (A) Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira

Dissertação defendida e aprovada em 15 de Fevereiro de 2023.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. **Doutora EDNA MARIA BONFIM DA SILVA** (Presidente Banca / Orientadora)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Rondonópolis/UFR
2. **Doutora PATRÍCIA FERREIRA DA SILVA** (Membro Interno)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Rondonópolis/UFR
3. **Doutora JAKELINE ROSA DE OLIVEIRA** (Membro Interno)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Rondonópolis/UFR

Rondonópolis, 22/02/2023.

Documento assinado eletronicamente por **Patrícia da Silva registrado(a) civilmente como Patrícia Ferreira da Silva**, **Usuário Externo**, em 22/02/2023, às 15:22, 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 **Jakeline Rosa de Oliveira**, **Usuário Externo**, em 22/02/2023, às 15:28, 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 **Edna Maria Bonfim da Silva** , **Docente UFR**, em 23/02/2023, às 19:50, 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 https://sei.ufr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0127255** e o código CRC **A8526790**.

A todas as pessoas que contribuem para meu sucesso e para meu crescimento como pessoa.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, que fez com que permitiu que alcançasse minhas metas durante todos os anos de estudo.

Agradeço, sobretudo, meu pai Benedito Ponce de Oliveira (*in memoriam*) e à minha mãe Maria do Carmo Rodrigues de Oliveira, que, juntos, enfrentaram tantas dificuldades para que eu pudesse estudar.

Às minhas irmãs Kelly Ponce Rodrigues de Oliveira e Nicléia Ponce Rodrigues de Oliveira, pelo apoio e pela fé em meu sonho.

Agradeço ao meu esposo, Francisco Tomaz Neto, por nunca ter negado amor, apoio e incentivo. Obrigado, meu amor, por compartilhar os inúmeros momentos de múltiplas emoções. Sem você ao meu lado nada disso seria possível.

À minha orientadora Professora Dr.ª Edna Maria Bonfim-Silva, por me ter permitido fazer parte do seu grupo de trabalho e, ter acreditado em mim e nas minhas capacidades. Agradeço o trato correto e científico.

Aos Professores Dr. Tonny José Araújo da Silva, Dr. Salomão Lima Guimarães, Dr. Jeferson Vieira José, Dr.ª Patrícia Ferreira da Silva, Dr.ª Jakeline Rosa de Oliveira, Dr. Thiago Franco Duarte e Dr. Otávio Neto Almeida Santos, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com que guiaram o meu aprendizado, fazendo com que eu conseguisse ultrapassar dificuldades surgidas.

À Rosana Andréia da Silva Rocha, dona de um sorriso contagiante, mais uma amiga que o meio acadêmico me apresentou. Estivemos juntas do início ao fim de nossos experimentos, sofremos, divertimos e sofremos de novo, mas aprendemos no final, e isso é o que importa, fomos felizes em nossas pesquisas. Agradeço seu apoio, nunca faltou quando mais precisei. Jamais esquecerei o que fez por mim. Você é incrível.

Agradeço, a Wlly Cristiny Mendes de Oliveira, por estar comigo na etapa final da dissertação, pelas dicas, pelas palavras de incentivo. Saiba que eu também quero fazer por você o que for possível. Jamais esquecerei de nossas conversas acompanhados de chá e café.

Aos meus amigos, Daniele Job Alves e Horácio Manfrin Mazero, que, apesar de estarem distantes, conheciam as minhas frustrações, anseios e dificuldades, mas nunca deixaram de me ouvir e aconselhar. Sempre com uma frase: Dará tudo certo no final! Confia!

Aos meus amigos da “Salinha do Mestrado” da Pós-Graduação: Rosana Andréia da Silva Rocha, Wlly Cristiny Mendes de Oliveira, Luana Menegaz Meneghetti, Alisson Costa, Jhenyfer Renata Diniz Souza, Ricardo Ádamo Trindade Ferreira, Nathalia Chagas de Brito Gomes,

Sérgio Plens Andrade, Cleive Leones Neves, Guilherme Cardoso Gonçalves, Phellype da Silva Ormay e Tallys Henrique Bonfim-Silva. Agradeço por todo: amizade, ajuda, experiências e todas às vezes que não acreditei que poderia continuar. Sem vocês nada disso seria possível.

Às alunas de Engenharia Agrícola e Ambiental: Tayná Mariany Garcia de Freitas, Ketlyn de Souza Machado, Herica Ferreira Dias e Beatriz da Silva Lopes Pedro, por estarem presentes nos momentos em que precisei de ajuda.

Aos membros do GPAS (Grupo de Práticas em Água e Solo), pelo convívio amigável que nos permitiu aperfeiçoar nossos conhecimentos, o que foi indispensável na elaboração desta dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de ter realizado essa Pós-Graduação.

À Universidade Federal de Rondonópolis, extremamente importante no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e pelo que aprendi ao longo dos anos do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de estudo (Processo número: 88887.645122/2021-00).

Não consigo descrever minha gratidão, mas meu sorriso sempre será meu muito obrigado a todos vocês!

GRATA

RESUMO

Aumentos nos custos dos fertilizantes faz com que se repense a necessidade de investir em pastagens e tecnologias para manter o pasto. Com isso, torna-se necessário buscar por fontes alternativas de fertilizantes e corretivos do solo. A cinza de madeira, por si só, ou combinada com adubo mineral, fornece nutrientes necessários para as plantas e atua na correção da acidez. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de tipos de adubação associada a saturação por bases, no cultivo do capim Zuri. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Rondonópolis, em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com esquema fatorial 3 x 3, correspondentes a três tipos de adubação (cinza de madeira, organo-mineral (cinza de madeira + PK) e mineral (PK)) associadas a três níveis de saturação por bases (V (%) = Controle, saturação por bases natural do solo; V (%) = 25 e V (%) = 50), com quatro repetições, totalizando 36 unidades experimentais. As variáveis analisadas foram: química do solo (pH, SB, CTC, V%, m%, macros e micronutrientes), fitométricas (altura de plantas, diâmetro de colmo, número de folhas e perfilhos e área foliar), índice SPAD, produtivas (massa seca da parte aérea, massa seca de raiz e volume de raiz), consumo de água, eficiência do uso de água. Os dados obtidos foram submetidos ao teste F e, quando significativos, ao teste de média de Scott-Knott. Cinza de madeira e o organo-mineral podem ser recomendados como alternativa aos adubos minerais no cultivo de capim Zuri. A adição de cinza de madeira e organo-mineral no solo melhora as propriedades químicas, pois aumenta o pH, a soma de bases, a capacidade de troca de cátions, a saturação por bases, os macros e micronutrientes e reduz a saturação por alumínio. A cinza de madeira, isolada ou combinada com adubo mineral, promove aumentos nos componentes fitométricos e produtivos, consumo de água e eficiência do uso de água para o capim Zuri, com exceção do índice SPAD. Não há necessidade de fazer calagem para cultivar o capim Zuri quando a fonte orgânica do adubo organo-mineral for a cinza de madeira.

Palavras-chave: Adubação alternativa. Cinza de madeira. Organo-mineral. Propriedades químicas do solo. Pastagem.

ABSTRACT

Increases in the cost of fertilizers lead to a rethinking of the need to invest in pastures and technologies to maintain the pasture. Therefore, it becomes necessary to look for alternative sources of fertilizers and soil amendments. Wood ash, by itself, or combined with mineral fertilizer, provides nutrients needed by plants and corrects acidity. Thus, the objective was to evaluate the effects of types of fertilization associated with base saturation in the cultivation of Zuri grass. The experiment was carried out at the Federal University of Rondonópolis, in a greenhouse. The experimental design was in randomized blocks, with a 3 x 3 factorial scheme, corresponding to three types of fertilization (wood ash, organo-mineral (wood ash + PK) and mineral (PK)) associated with three levels of base saturation (V (%) = Control, natural base saturation of the soil; V (%) = 25 and V (%) = 50), with four replications, totaling 36 experimental units. The analyzed variables were soil chemistry (pH, SB, CEC, V%, m%, macro and micronutrients), phytometrics (plant height, stem diameter, number of leaves and tillers and leaf area), SPAD index, productive (shoot dry mass, root dry mass and root volume), water consumption, water use efficiency. The data obtained were submitted to the F test and, when significant, to the Scott-Knott mean test. Wood ash and organo-mineral can be recommended as an alternative to mineral fertilizers in the cultivation of Zuri grass. The addition of wood ash and organo-mineral in the soil improves the chemical properties, as it increases the pH, the sum of bases, the cation exchange capacity, the saturation by bases, the macro and micronutrients and reduces the saturation by aluminum. Wood ash, isolated or combined with mineral fertilizer, promotes increases in phytometric and productive components, water consumption and water use efficiency for Zuri grass, with the exception of the SPAD index. There is no need to use liming to cultivate Zuri grass when the organic source of the organo-mineral fertilizer is wood ash.

Keywords: Alternative fertilization. Wood gray. Organo-mineral. Soil chemical properties. Pasture.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... **X**
LISTA DE TABELAS ..... **XIII**
1 INTRODUÇÃO **15**
2 REVISÃO DE LITERATURA **17**
2.1 *Panicum maximum* cv. BRS Zuri 17
2.2 Saturação por bases do solo 19
2.3 Fertilizantes 22
2.3.1 Mineral 23
2.3.2 Cinza de madeira 25
2.3.3 Organo-mineral 28
3 MATERIAL E MÉTODOS **32**
3.1 Localização do experimento 32
3.2 Instalação e condução do experimento 34
3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos 34
3.2.2 Adubação, semeadura e desbaste 36
3.2.3 Irrigação 37
3.3 Variáveis analisadas 38
3.3.1 Química do solo 38
3.3.2 Fitométricas 39
3.3.3 Índice SPAD 40
3.3.4 Produtivas 41
3.3.5 Consumo de água e eficiência do uso de água 41
3.4 Análise estatística 42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO **43**
4.1 Química do solo 43
4.1.1 pH do solo 43
4.1.2 Soma de bases, Capacidade de troca de cátions, Saturação por bases do solo e Saturação por alumínio 48
4.1.3 Macronutrientes 55
4.1.4 Micronutrientes 61
4.2 Fitométricas 69
4.2.1 Altura de plantas 69
4.2.2 Diâmetro de colmo 73
4.2.3 Número de folhas 76
4.2.4 Número de perfilhos 78
4.2.5 Área foliar 81
4.3 Índice SPAD 83
4.4 Produtivas 87
4.4.1 Massa seca da parte aérea 87
4.4.2 Volume de raiz e Massa seca de raiz 90
4.5 Consumo de água 94
4.6 Eficiência do uso de água 96
5 CONCLUSÕES **99**
REFERÊNCIAS **100**

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Universidade Federal de Rondonópolis (detalhe em preto). Casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (detalhe em vermelho). Ponto de coleta do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento sob vegetação de Cerrado na camada de 0-0,20 m de profundidade (detalhe em amarelo). 32

FIGURA 2. Dados de Temperatura mínima, máxima e média na da casa de vegetação da Universidade Federal de Rondonópolis durante o período experimental (janeiro a abril de 2022). 33

FIGURA 3. Croqui 3D representando a distribuição das unidades experimentais em bancada na casa de vegetação com capim Zuri submetido a tipos de adubação (cinza de madeira (OM), organo-mineral (OM) e mineral (M)) associadas a níveis de saturações por bases no solo (C (controle = natural do solo), 25 e 50%). 34

FIGURA 4. Primeiro desbaste (A) e segundo desbaste (B) do capim Zuri cultivado em vaso autoirrigável preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado. 37

FIGURA 5. Sistema de funcionamento de vaso autoirrigável utilizado durante a condução do experimento com capim Zuri em casa de vegetação. Adaptado de Inova Store, (2022). 37

FIGURA 6. Leitura de pH do solo das unidades experimentais com auxílio de pHmetro digital, utilizando cloreto de cálcio como reagente, no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). 39

FIGURA 7. Altura de plantas medida com régua graduada (A), diâmetro de colmo medido com auxílio de paquímetro digital (B) e leitura da área foliar (C) do capim Zuri cultivado em vaso autoirrigável. 40

FIGURA 8. Leitura do índice SPAD nas folhas diagnósticas do capim Zuri cultivado em vaso autoirrigável preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado. 40

FIGURA 9. Medição do volume de raiz do capim Zuri em proveta graduada. Volume de água conhecido (A) e volume de água deslocado (B). 41

FIGURA 10. Médias do pH do solo para a interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30 dias após incubação (DAI) do solo. 44

FIGURA 11. Médias do pH do solo para o fator tipos de adubação aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 45

FIGURA 12. Médias do pH do solo presente no solo para o fator nível de saturação por bases aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 47

FIGURA 13. Médias da soma de bases (SB) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 49

FIGURA 14. Médias da capacidade de troca de cátions (CTC) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 51

FIGURA 15. Médias da saturação por bases (V%) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 52

FIGURA 16.Médias da saturação por alumínio (%) presente no solo para a interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 54

FIGURA 17. Médias do fósforo (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 56

FIGURA 18. Médias do potássio (K) (mg dm^{-3}) presente no solo para a interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 57

FIGURA 19. Médias do cálcio (Ca) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 58

FIGURA 20. Média do magnésio (Mg) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 60

FIGURA 21. Médias do boro (B) (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 62

FIGURA 22. Média do cobre (Cu) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 63

FIGURA 23. Média do ferro (Fe) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 64

FIGURA 24. Médias do manganês (Mn) (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator nível de saturação por bases aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 66

FIGURA 25. Médias do zinco (Zn) (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 67

FIGURA 26. Desenvolvimento do capim Zuri cultivado em vasos autoirrigáveis aos 30 (A, B e C) 60 (D, E e F) e 90 (G, H e I) dias após a emergência, submetido a tipos de adubação (cinza de madeira (CM), organo-mineral (OM) e mineral (M)) associadas a nível de saturação por bases (V%: C (controle - natural do solo) e elevadas para 25% e 50%). 70

FIGURA 27. Médias da altura de plantas (AP) (cm) para o fator tipos de adubação aos 30 e 90 dias após emergência (DAE) (1º e 3º cortes) (A e C) e interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 60 DAE (2º corte) (B) do capim Zuri. 71

FIGURA 28. Médias do diâmetro de colmo (AP) (mm) para o fator tipos de adubação aos 30 e 90 dias após emergência (DAE) (1º e 3º cortes) (A e C) e interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 60 DAE (2º corte) (B) do capim Zuri. 74

FIGURA 29. Médias do número de folhas (NF) para o fator tipos de adubação aos 30 e 60 dias após emergência (DAE) (1º e 2º cortes) (A e B) do capim Zuri. 77

FIGURA 30. Médias do número de perfilhos (NP) para o fator tipos de adubação aos 30 dias após emergência (DAE) (1º corte) do capim Zuri. 79

FIGURA 31. Rebrota do capim Zuri em unidades experimentais em casa de vegetação um dia após o 1º corte..... 80

FIGURA 32. Médias da área foliar (AF) (cm² vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE) (1º; 2º e 3º cortes) (A; B e C) do capim Zuri. 82

FIGURA 33. Médias do índice SPAD) (unidades SPAD) para o fator tipos de adubação aos 60 e 90 dias após emergência (DAE) (2º e 3º cortes) (A e B) do capim Zuri. 84

FIGURA 34. Observação visual da coloração verde em unidades experimentais com capim Zuri aos 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. CM: Cinza de madeira; OM: Organo-Mineral; M: Mineral. 86

FIGURA 35. Parte aérea e raiz do capim Zuri aos 90 dias após a emergência (DAE), adubados com cinza de madeira (CM), organo-mineral (OM) e mineral (M) associadas ao nível de saturação por bases natural do solo (A), 25% (B) e 50% (C). 88

FIGURA 36. Médias da massa seca da parte aérea (MSPA) (g vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE) (1º; 2º e 3º cortes) (A; B e C) do capim Zuri. 88

FIGURA 37. Médias do volume de raiz (VR) (mm vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri..... 91

FIGURA 38. Médias da massa seca de raiz (MSR) (g vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 92

FIGURA 39. Médias do consumo de água (CA) (L vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE) (1º; 2º e 3º cortes) (A; B e C) do capim Zuri. 95

FIGURA 40. Médias da eficiência do uso de água (EUA) (g L^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 60 e 90 dias após emergência (DAE) (2º e 3º cortes) (A e B) do capim Zuri. 97

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Caracterização físico-química do Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado a 0-0,2 m de profundidade, na Universidade Federal de Rondonópolis. 33

TABELA 2. Caracterização química da cinza de madeira como fertilizante e corretivo. 34

TABELA 3. Volume de água aplicado nas unidades experimentais durante período de condução do experimento. 38

TABELA 4. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no pH do solo aos 30 dias após incubação (DAI) e aos 30 (1º corte), 60 (2º corte) e 90 (3º corte) dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 43

TABELA 5. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri. 48

TABELA 6. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V%) para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3ºcorte) do capim Zuri. 55

TABELA 7. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) para boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3ºcorte) do capim Zuri. 61

TABELA 8. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na altura de plantas (AP) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 69

TABELA 9. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no diâmetro de colmo (DC) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 73

TABELA 10. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no número de folhas (NF) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 76

TABELA 11. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no número de perfilhos (NP) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 78

TABELA 12. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na área foliar (AF) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 81

TABELA 13. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no índice SPAD por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. 83

TABELA 14. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na massa seca da parte aérea (MSPA) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.....87

TABELA 15. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no volume de raiz (VR) e massa seca de raiz (MSR) aos 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.....91

TABELA 16. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no consumo de água (CA) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.....94

TABELA 17. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na eficiência do uso de água (EUA) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.....96

1 INTRODUÇÃO

As pastagens estendem-se por grandes áreas do território nacional, de norte ao sul, e estão presentes em todos os seis biomas (MAPBIOMAS, 2021). A área reservada para pastagem no Brasil é de 151 milhões de hectares (MAPBIOMAS, 2022b). Desse total, Mato Grosso ocupa aproximadamente 20 milhões de hectares, ou seja, 13% da área total designada para pastagem no país (MAPBIOMAS, 2022a).

O Imea (2023), divulgou que, em Mato Grosso, o custo médio de produção total da pecuária para cria, recria e engorda, em 2022, foi de R$ 179,70; R$ 279,22 e R$ 151,83 por arroba, respectivamente. Estes valores representam um acréscimo de 23,74%; 13,25% e 8,92%, na mesma ordem, em relação a 2021. Esse aumento no comparativo anual é reflexo do aumento do custo com insumos alimentares e manutenção de pastagem.

A principal finalidade da pastagem é fornecer alimento para bovinos de corte e leiteiro, proteger o solo, fornecer matéria orgânica e promover a manutenção da fertilidade e das condições físicas do solo (DOMINGUES et al., 2021). Contudo, a maioria das áreas designadas para estes objetivos, apresentam baixa produtividade por se encontrar em algum nível de degradação (moderada e severa) (GIONGO et al., 2022), os quais estão ligados a métodos inadequados de manejo, incluindo a lotação do gado, escolha da forragem e adubação (SANTOS et al., 2022).

Em muitos casos, a adubação das pastagens é insuficiente ou não existe, o que resulta na acidificação do solo. A calagem corrige a acidez do solo, tornando-o mais produtivo para a pastagem. A elevação da saturação por bases através da calagem aumenta o pH e a saturação por bases (PANTALEÃO et al., 2022), melhorando as condições gerais do solo para que as plantas possam absorver nutrientes (RONQUIM, 2010). A falta de calagem impede que as aplicações de fósforo, potássio e nitrogênio sejam eficazes.

Os fertilizantes minerais são usados para aumentar a produção agrícola, mas sua exploração polui o ar e as águas subterrâneas e prejudica a saúde humana (DEVI et al., 2022). Embora sejam uma ameaça inevitável, eles continuam sendo ferramentas vitais para a segurança alimentar em todo o mundo (PAHALVI et al., 2021).

Como os adubos minerais são caros (CHAE et al., 2018), existe uma crescente demanda por soluções alternativas, como a utilização de subprodutos agroindustriais. A cinza de madeira, subproduto da combustão, é um agente de calagem e fertilizante em solos agrícolas, pois reduzem a acidez do solo e fornecem nutrientes essenciais (HAWROT-PAW et al., 2022), em particular as bases trocáveis, as quais são facilmente disponibilizadas para serem absorvidas

(DEMEYER; NKANA; VERLOO, 2001; MBAH et al., 2010; SIMEON, 2020). Porém, a cinza de madeira apresenta como desvantagem o grande volume aplicado por área.

Outra solução promissora é a utilização de insumos orgânicos e minerais em conjunto, os organominerais (BEDASO et al., 2022; BOUHIA et al., 2022). Os fertilizantes organominerais estão cada vez mais em alta por unir economia e gestão ambiental. A cinza de madeira pode ser usada para produzi-los, pois fornece ao solo um conjunto mais variado de nutrientes quando comparado a utilização de adubos minerais de fonte industrial (BONFIM-SILVA et al., 2020a).

Diante do contexto apresentado, o estudo sugere que a adubação orgânica (cinza de madeira) isolada ou combinada com o adubo mineral (NPK), terá o mesmo desempenho que a adubação mineral se estiver associada ou não a níveis de saturação por bases do solo no desenvolvimento do capim Zuri. Sendo assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos de adubações associadas a nível de saturação por bases, no cultivo do capim Zuri.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Panicum maximum* cv. BRS Zuri

O Brasil possui vários biomas e muitas forrageiras tropicais. As plantas possuem diferenças agronômicas, morfológicas e fisiológicas, e cada espécie forrageira tem particularidades únicas (GUIMARÃES, 2019). A grande parte das espécies forrageiras de importância para a agropecuária tem origem no continente africano, mais especificamente, no Leste da África (Quênia e Tanzânia) (CARVALHO, 2020; VALOTE, 2018).

O *Panicum maximum* é mundialmente conhecido pela capacidade de prosperar em países de clima tropical e subtropical, mas também pela alta qualidade e produtividade. A espécie está bem adaptada à maioria das regiões brasileiras e é uma forrageira importante para a economia (BARBOSA et al., 2021), é responsável por grande parte da engorda de bovinos no país (FAZAN, 2020). Essas características fazem do *Panicum maximum* o segundo mais cultivado no país, perdendo apenas para a *Urochloa* (syn. *Brachiaria*).

O *P. maximum* é indicado para grupos de animais exigentes e solos com alta fertilidade, ao contrário das *Urochloa*, usadas frequentemente na cria, recria e em solos ácidos e fracos (FAZAN, 2020; MACHADO et al., 2010). Destaca-se, ainda, pelas cultivares de excelente qualidade (SILVA et al., 2020b) como as lançadas pela Embrapa Gado de Corte: Tanzânia-1 (1990), Mombaça (1993) e Massai (2001) (ALMEIDA, 2022; BARRIOS et al., 2021). Geralmente, essas espécies são exigentes com relação ao manejo do pastejo (CRUZ, 2019).

Em 2014, a Embrapa Gado de Corte, em trabalho colaborativo com a Unipasto, Embrapa Acre, Embrapa Cerrados, Embrapa Gado de Leite, Embrapa Pecuária Sul, Embrapa Rondônia, Embrapa Agropecuária Oeste e Universidade Federal da Grande Dourados, lançou o *Panicum maximum* cv. BRS Zuri (VALOTE, 2018). A cultivar BRS Zuri foi registrada em 18/04/2013 e protegida em 27/08/2013 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA, 2014a).

O *Panicum maximum* cv. BRS Zuri ("bom e bonito" em *swahili*, a linguagem falada no Quênia) é o resultado de uma seleção entre populações de *P. maximum* coletadas na Tanzânia, leste da África, nos anos 1960 (ALI, 2021; EMBRAPA, 2014a; ROCHA, 2016; SOARES, 2017), destacando-se como gramínea de alto potencial produtivo (GUIMARÃES, 2019), superiores à Tanzânia-1, Mombaça e Massai (HARE, 2020).

A Unipasto (2017) apresenta a cultivar BRS Zuri (capim Zuri) como uma forrageira que oferece grande produção, nutritiva, tem boa capacidade de suporte e rebrota, além de ser vigorosa. A espécie apresenta um maior acúmulo de forragem e folhas (CALDERON, 2021)

em relação as cultivares tradicionais Tanzânia-1 e Mombaça (VALOTE et al., 2021). Outro aspecto favorável é a alta resistência à cigarrinha-das-pastagens (*Notozulia entreriana*, *Deois flavopicta*, *Mahanarva spectabilis*) e ao alto grau de resistência à mancha das folhas (*Bipolaris maydis*) (BARBOSA et al., 2021; BRAGA et al., 2019).

A BRS Zuri é uma gramínea perene, cespitosa, ereta e alta, com folhas verde-escuras, longas, largas e arqueadas (ALI, 2021; ANDRÉ, 2021; CARVALHO, 2020; ECHENIQUE; AUTRAN; LEBLANC, 2021). Suas folhas são glabras (sem pelos) (FAZAN, 2020), os colmos são grossos e com pouca pilosidade e as bainhas apresentam média pilosidade (CRUZ, 2019). O florescimento é tardio e as espiguetas são uniformemente distribuídas nas ramificações, com manchas ligeiramente arroxeadas (PEREIRA, 2020).

Como vantagem adicional, a cultivar BRS Zuri tem uma moderada tolerância ao encharcamento do solo, mas se desenvolve melhor em solos com boa drenagem (GUIMARÃES, 2019), sendo uma opção alternativa para a diversificação de pastagens nos biomas Cerrado e Amazônia.

É recomendado que, ao estabelecer a pastagem, a saturação por alumínio esteja abaixo de 15-20% e a saturação por bases no solo seja elevada para 50-55%, na camada de 0 a 20 cm de profundidade (JANK; SANTOS; BRAGA, 2022). De acordo com Jank; Santos; Braga (2022), uma ligeira diminuição da saturação não causará uma queda significativa na produção inicial, mas o uso intensivo da pastagem, sua falta de capacidade produtiva de biomassa e a possível acidificação do solo pelo uso de fertilizantes nitrogenados, podem reduzir a saturação por bases e, a curto prazo será necessária a reposição de corretivos.

A adição de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) deve ser realizada sempre que os teores forem inferiores a 1,5 e 0,5 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente, nas camadas de 0 a 20 cm (EMBRAPA, 2014a), tanto no estabelecimento quanto na manutenção do pasto.

Na fase de implantação, a quantidade de fósforo (P) a ser utilizada depende dos teores de fósforo na camada de 0 a 20 cm de solo e da porcentagem de argila. Se os teores de argila forem altos (>60 – textura muito argilosa); médios (36 a 60 – textura argilosa); baixos (15 a 35 – textura média) ou muito baixos (<15 – textura arenosa), as faixas adequadas de P no solo serão de: 3-5; 6-10; 15-17 e 18-21 mg dm^{-3} de P, respectivamente. O potássio (K) no solo deve estar acima de 60 mg dm^{-3} de K, além disso, devem ser aplicados, 30 kg ha^{-1} de enxofre (S) e, no mínimo, de 50 kg ha^{-1} de nitrogênio (N). Também é recomendado a aplicação de 40 a 50 kg ha^{-1} de uma fórmula de FTE (Micronutrientes) que contenha boro (B), cobre (Cu), molibdênio (Mn) e zinco (Zn) (EMBRAPA, 2014a; JANK; SANTOS; BRAGA, 2022).

Durante o período de utilização da pastagem, os níveis de reposição de nutrientes devem permanecer nos teores exigidos na implantação, pelo menos, em 80% dos valores absolutos (EMBRAPA, 2014a; ROCHA, 2016). Posteriormente, devem ser acrescentadas as doses ideais para a produção animal. Sistemas mais intensivos necessitam de mais reposições. A adubação e o manejo adequado do pasto, garantem maior longevidade da forrageira e produções sustentáveis de carne ou de leite (JANK; SANTOS; BRAGA, 2022).

Segundo Barrios et al. (2021), a produtividade de matéria seca pode variar entre 12 e 23 t MS^{-1} ha^{-1} ano^{-1}, e que esses valores podem variar dependendo da fertilidade do solo, local, pluviosidade, temperatura, fotoperíodo e manejo de pastejo. De acordo com Jank; Santos; Braga (2022), a BRS Zuri em média, anualmente, produziu 13,2 t ha^{-1} de matéria seca de folhas e 87% de folhas em relação aos colmos; e apresenta uma produção de 1,4 t ha^{-1} de matéria seca e 97% de folhas em relação aos colmos, em cinco locais (Acre, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e Rondônia).

No que diz respeito ao manejo da pastagem, é recomendado que os animais sejam alimentados de forma rotacionada, subdivisão da área em piquetes (BARBOSA et al., 2021), com a altura das plantas na entrada sendo de 70-75 cm e a altura na saída sendo 30-35 cm, para assegurar um bom desenvolvimento de folhas e colmos, permitindo uma boa manutenção do pasto e ganho na produção animal (ALMEIDA, 2022; EMBRAPA, 2014).

2.2 Saturação por bases do solo

A maior parte da agricultura tropical e subtropical da América do Sul desenvolveu-se em solos naturalmente ácidos, com alto teor de alumínio (Al^{3+}) e baixos níveis trocáveis, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^{+}), como resultado do intenso intemperismo do solo (RABEL et al., 2018). O aumento do pH do solo através da adição de bases é necessário para cultivar esses solos com culturas sensíveis à alta acidez e com presença de nutrientes fitotóxico, como o Al^{3+} (TIECHER et al., 2022).

Alguns dos fatores que indicam a acidez do solo são: acidez ativa ou pH; acidez trocável (Al^{3+}); acidez potencial (H^{+} + Al^{3+}) e bases trocáveis (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}). Com base nessas determinações, podem ser calculados vários parâmetros relacionados à acidez do solo e sua correção (SILVA et al., 2019). Esses parâmetros são: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7 ($CTC_{potencial}$), capacidade de troca de cátions efetiva ($CTC_{efetiva}$) e saturação por bases (V%).

A soma de bases (SB) de um solo representa a soma dos teores de cátions permutáveis (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+}), exceto H^{+} e Al^{3+} (RONQUIM, 2010). Em regiões úmidas longe do mar, como o Cerrado, os tores de sódio (Na) são baixos e, às vezes, esse elemento não é considerado na soma (SILVA et al., 2019).

A capacidade de troca catiônica (CTC) é a capacidade do solo e de outros materiais sólidos de adsorver cátions trocáveis. É um importante índice de fertilidade do solo por fornecer nutrientes às plantas, ao mesmo tempo, em que reduz a lixiviação de nutrientes (LAGO et al., 2021). A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ($CTC_{potencial}$) é definida como a capacidade máxima de retenção de cátions que o solo apresenta quando neutro (SILVA et al., 2019).

Ainda segundo Silva et al. (2019), no Brasil, tem sido muito utilizado o conceito de CTC efetiva, definida como a capacidade máxima de retenção de cátions que o solo apresenta em seu pH natural, não sendo considerada no cálculo da CTC a quantidade de íons H que o solo apresenta.

A fração da CTC constituída pelas bases trocáveis pode ser expressa em porcentagem, pela saturação por bases (V%):

$$V\ (\%) = \frac{SB}{CTC_{potencial}}\ x\ 100 \qquad (1)$$

Porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 reflete quantos por cento dos pontos potenciais de troca de cátions, do complexo coloidal do solo, estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, estão ocupadas por cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e, às vezes, sódio (Na), em comparação com aqueles ocupados por H e Al (LOPES, 1998). Além disso, é uma propriedade dinâmica do solo afetada por condições climáticas, geoquímicas e ambientais(RAWAL et al., 2019).

A saturação por bases (V%) é um indicativo da fertilidade dos solos, sendo que níveis elevados indicam grandes quantidades de cátions, como Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, resultando na diminuição dos valores de íons H^{+} e do alumínio trocável do solo (Al^{3+}) (GORSKI et al., 2019).

Para corroborar, Rawal et al. (2019), explicam que aumentos em porcentagem de saturação do solo podem elevar a disponibilidade de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+} para as plantas. Ao contrário, deficiências nutricionais, acidificação do solo, mudanças na biota do solo e degradação geral da saúde do solo são consequências comuns da baixa saturação de bases, nesse caso, o solo provavelmente será ácido (RONQUIM, 2010).

Ainda segundo Ronquim (2010), a saturação por bases também é usada como complemento na nomenclatura dos solos. Dessa forma, podem ser classificados conforme a saturação por bases: solos férteis (V (%) ≥ 50% - eutróficos) e pouco férteis (V (%) <50% - distróficos).

A calagem é necessária para aumentar a saturação por bases, corrigir a acidez trocável, neutralizar o alumínio tóxico e fornecer cálcio e magnésio ao solo, além de aumentar a disponibilidade de outros nutrientes para as plantas (ANDRADE et al., 2021; BEDASO et al., 2022; DU TOIT; SWANEPOEL; HARDIE, 2022). Sousa; Lobato (2004), recomendam que o pH para a maioria das culturas esteja entre 5,5 e 6,3 e a saturação por bases entre 40% e 60%.

A saturação por bases do solo (V%) por ser um ótimo indicador das condições de fertilidade do solo tem sido usada como método para recomendar o uso de calcário em áreas de Cerrado. A necessidade de calcário é calculada pela equação 2 (SOUSA; LOBATO, 2004):

$$\mathrm{NC}\ (\mathrm{t\ ha^{-1}}) = \frac{(\mathrm{V_2} - \mathrm{V_1})}{\mathrm{PRNT}}\ \mathrm{x\ CTC} \qquad (2)$$

Onde:

NC= Necessidade de calagem (t ha^{-1});

V_2= Saturação por base que se deseja alcançar;

V_1= Saturação por base atual;

PRNT= Poder relativo de neutralização total do calcário a ser aplicado e;

CTC= Capacidade de troca catiônica ($cmol_c\ dm^{-3}$).

As bases mais usadas no Brasil são os calcários agrícolas, oriundos da moagem de rochas carbonáticas sedimentares ou metamórficas. Outros produtos podem corrigir a acidez do solo, como cal virgem, cal hidratada e calcário calcinado. Além disso, também existem outros materiais com reações alcalinas usados em menor escala na agricultura (TIECHER et al., 2022), como a cinza de madeira (BONFIM-SILVA et al., 2013, 2018, 2019a, 2019b, 2019c, 2020a, 2021, 2022b; BONFIM-SILVA; SANTOS; SILVA, 2015; BONFIM-SILVA; SCHLICHTING; JOSÉ, 2020; JOHAN et al., 2021).

Segundo os autores Etiégni; Campbell, 1991; Mandre; Pärn; Ots, 2006; Ohno, 1992), a cinza de madeira, assim como o calcário, tem compostos neutralizantes como o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de magnésio (MgO).

O calcário aplicado ao solo forma íons Ca^{2+}, Mg^{2+} e HCO_3^- (solubilização e dissociação). Este último reage com a água formando íons hidroxila (OH^-), água e dióxido de carbono (CO_2). As hidroxilas reagem com os íons Al^{3+} e H^+ que estão adsorvidos, formando hidróxido de alumínio insolúvel (etapa de neutralização) e água (etapa de imobilização do alumínio tóxico), liberando as cargas que antes eram ocupadas por esses elementos. Tais cargas são, então, ocupadas pelos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} (MALAVOLTA, 1984):

Solubilização e dissociação do calcário:

$$CaCo_3(insolúvel) + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^-(solúvel) \quad (3)$$

$$MgCo_3(insolúvel) + H_2O \rightarrow Mg^{2+} + HCO_3^- + OH^-(solúvel) \quad (4)$$

$$CaO(insolúvel) + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^-(solúvel) \quad (5)$$

$$MgO(insolúvel) + H_2O \rightarrow Mg^{2+} + 2OH^-(solúvel) \quad (6)$$

Neutralização de ácidos no solo:

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O \quad (7)$$

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O \quad (8)$$

Imobilização do alumínio tóxico trocável no solo:

$$Al^{3+}(solúvel) + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3(insolúvel) \quad (9)$$

No entanto, depois da aplicação do calcário, há a neutralização do alumínio trocável, aumentando a saturação por bases (V%). Com a neutralização de parte do hidrogênio adsorvido, ocorre a elevação do pH do solo, e consequentemente maior disponibilidade de nutrientes essenciais as plantas (RONQUIM, 2010).

2.3 Fertilizantes

O equilíbrio de nutrientes no solo é importante para o bom desenvolvimento da cultura e produtividade. Quando os solos não contêm quantidade de nutrientes suficientes para atender as demandas das plantas, é necessário aplicar nutrientes para garantir uma produção satisfatória das culturas (ZONTA; STAFANATO; PEREIRA, 2021). Dentre as fontes de nutrientes comumente utilizadas na agricultura estão os fertilizantes minerais, orgânicos (cinza de madeira) e organominerais (FERREIRA et al., 2023).

2.3.1 Mineral

A produção agrícola moderna depende de fertilizantes químicos para alta produção de alimentos visando atender a demanda crescente da população (ISSIFU et al., 2022; MASHAMAITE et al., 2022). Até meados do século XX, o adubo orgânico era utilizado para o atendimento das necessidades nutricionais das plantas, mas com o início da Revolução Verde, o uso de adubos minerais aumentou drasticamente a cada ano que passa em todo o mundo (DEVI et al., 2022).

No entanto, os adubos minerais se tornaram abundantes e usados indiscriminadamente na agricultura para aumentar a produção agrícola (CRUSCIOL et al., 2020; ISSIFU et al., 2022; SWOBODA; DÖRING; HAMER, 2022). Sua exploração causa poluição do ar e das águas subterrâneas e superficiais pela eutrofização dos corpos d'água (MISHRA et al., 2022), esgotamento e erodibilidade do solo, além de causar danos à saúde humana (DEVI et al., 2022).

Como a agricultura sustentável é o objetivo global presente nos ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) (BRASIL, 2023), os efeitos prejudiciais dos adubos minerais não podem ser ignorados. Ainda que sejam uma ameaça inevitável para a agricultura, eles continuam sendo ferramentas vitais para a segurança alimentar em todo o mundo (PAHALVI et al., 2021).

A demanda por eficiência nos processos agrícolas gera incerteza quanto ao alto consumo de adubos minerais importados, aumentado substancialmente o orçamento agrícola (CRUSCIOL et al., 2020). Aproximadamente 80% dos fertilizantes utilizados no país são importados. Em termos globais, o Brasil, ocupa a quarta posição em consumo de fertilizantes, ficando atrás da China, Índia e dos Estados Unidos (MAPA, 2022).

De janeiro a outubro de 2022, quase 34 milhões de toneladas de fertilizantes foram entregues ao mercado nacional, 11,4% a menos que o mesmo período de 2021 (ANDA, 2023), evidenciando que existe grande dependência externa em um mercado dominado por poucos fornecedores.

No Decreto n.º 4.954, de janeiro de 2004, o qual define que fertilizante mineral é um produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas (BRASIL, 2004).

O presente Decreto, no seu Artigo 2º, inciso XIV, também estabelece que os nutrientes dos fertilizantes podem ser divididos em: a) macronutrientes primários: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), expressos nas formas de nitrogênio (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) e óxido de potássio (K_2O); b) macronutrientes secundários: cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S),

expressos em forma de cálcio (Ca) ou óxido de cálcio (CaO), magnésio (Mg) ou óxido de magnésio (MgO) e enxofre (S); e c) micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn), cobalto (Co), silício (Si) e outros elementos, expressos nas suas formas elementares.

Além de seu elevado valor, os fertilizantes minerais liberam nutrientes rapidamente, e somente uma porcentagem do nutriente aplicado é absorvida pelas plantas. A grande maioria é perdida, causando danos ao meio ambiente e agricultura. Jain; Dhaka (2022), demonstraram que a eficiência desses fertilizantes é baixa, cerca de 30-35%, 18-20% e 35-40% para nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. Os fertilizantes em sua maioria podem ser nitrogenados, fosfatados ou potássicos.

Os adubos nitrogenados, são usados para suprir a falta de nitrogênio no solo. As fontes mais utilizadas são o sulfato de amônio, o nitrato de amônio e a ureia. O nitrogênio é um elemento essencial para as plantas, considerado o mais relevante e, ao mesmo tempo, o principal fator que limita o crescimento das culturas (SUN et al., 2020) e a produção agrícola (KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011).

O nitrogênio está presente nas moléculas das proteínas e, em solos pobres deste elemento, promove crescimento lento das plantas, que têm pouco perfilhamento e ficam com porte baixo, além de insuficiência de proteína bruta para a alimentação animal (SANTOS et al., 2016).

A adubação nitrogenada em pastagens tropicais é uma alternativa para aumentar a disponibilidade de forragem, mas para que esta prática se converta em produtividade eficiente de forragem é necessário conhecer o potencial de crescimento e a capacidade de resposta da planta (ALMEIDA et al., 2022). As plantas absorvem o nitrogênio, o que aumenta o teor de clorofila nas folhas, deixando-as mais verdes. A deficiência de nitrogênio pode diminuir a produção, causar o crescimento tardio das plantas e deixar as folhas mais velhas amareladas, em função de ser um nutriente altamente móvel (GHOSH et al., 2022).

Nos adubos fosfatados, o fósforo está presente sob a forma de fosfato disponível. Esse adubo é muito importante para o solo, mas seu uso é menor em relação ao nitrogênio (PAHALVI et al., 2021). As fontes mais utilizadas no Brasil são as totalmente aciduladas (superfosfato simples e superfosfato triplo), os fosfatos de amônio (monoamônico ou MAP e fosfato diamônico ou DAP) e outros fosfatos naturais (Bayóvar, fosfatos de Arad, Gafsa, fosfatos de Araxá, Patos de Minas) (RESENDE; FURTINI NETO, 2007).

Nas plantas, o fósforo é necessário para a fotossíntese, metabolismo do açúcar, armazenamento e transferência de energia, divisão celular, transferência de informação genética, crescimento radicular, nodulação e fixação de nitrogênio (GHOSH et al., 2022).

Ghosh et al. (2022) afirmam que as plantas com deficiência de fósforo podem ter caules finos, eretos e as folhas mais velhas ficam com uma tonalidade roxo-avermelhada e o crescimento é atrofiado.

Nos fertilizantes potássicos, o potássio é absorvido pelas plantas em quantidades maiores que qualquer outro mineral, exceto o nitrogênio e, em alguns casos, o cálcio (HUANG et al., 2022). As principais fontes de potássio são o cloreto de potássio, o sulfato de potássio e o nitrato de potássio.

O potássio é extremamente importante para minimizar as reações das plantas às várias limitações abióticas, sendo, portanto, considerado um "regulador vital da tolerância das plantas a estresses abióticos" (HOUMANI; PALMA; CORPAS, 2022). Esse nutriente está associado ou envolvido em vários processos fisiológicos que suportam o crescimento e desenvolvimento das plantas, como fotossíntese, ativação enzimática (GHOSH et al., 2022), osmorregulação, síntese de proteínas e amido, açúcar e transporte de nutrientes e movimento estomático (DEMIDCHIK, 2014).

O potássio regula a abertura e o fechamento dos estômatos e a deficiência na folha afeta a abertura, reduzindo a taxa fotossintética e aumentando a respiração e/ou transpiração (BEZERRA et al., 2019).

Santos et al. (2016), complementam que o potássio não atua na estrutura da planta, mas ativa enzimas e mantém a turgidez das células, além de movimentar fotoassimilados e aumentar a qualidade das forrageiras. Outra informação relevante dos autores, é que a aplicação de potássio favorece o perfilhamento, o que, por sua vez, influencia positivamente a quantidade de matéria seca produzida por área.

A característica mais comum da deficiência de potássio são manchas marrons nas pontas das folhas ou ao longo da borda das folhas adultas (HUANG et al., 2022), enrolamento das pontas das folhas (WANG et al., 2018), bem como clorose internerval (HU et al., 2016).

2.3.2 Cinza de madeira

A cinza de madeira é um resíduo produzido pela queima de materiais vegetais durante o processo de geração de energia nas agroindústrias (DUARTE et al., 2023). O fogo e as cinzas estão ligados às atividades humanas desde a pré-história, como preparar alimentos, aquecer, queimar florestas, fazer cerâmica, metalurgia, entre outros (HEJCMAN; ONDRÁČEK; SMRŽ, 2011). A cinza, independentemente do tipo de biomassa de que é originária, é o resíduo ou subproduto de um processo de combustão (BOŠNJAK et al., 2022).

A necessidade de diminuir o consumo de combustíveis fósseis (BRANDTBERG et al., 2021; JOHANSEN et al., 2021; PERKIÖMÄKI; FRITZE, 2005) fez com que o uso de biomassa, principalmente a madeira, aumentasse. Ela é usada na indústria sob a forma de toras e cavacos (ANDRADE, 2021) para produção de calor e energia (BANG-ANDREASEN et al., 2021; BORNØ; RØNN; EKELUND, 2020; BOŠNJAK et al., 2022; OCHECOVÁ et al., 2017). Como resultado, tornou-se problema ambiental em diversos países, já que são depositadas em aterros sanitários em uma velocidade que aumenta a cada ano (BONFIM-SILVA et al., 2019a; SCHLICHTING; BONFIM-SILVA; SILVA, 2021; SHARMA et al., 2020).

Andrade (2021) afirma que é importante a gestão dos resíduos, tanto econômica como ambiental, porque eles causam problemas para as indústrias que os produzem e têm a responsabilidade de os destinar adequadamente. Os aterros sanitários estão se tornando cada vez menos uma opção, devido aos seus custos elevados – tanto financeiros quanto para o meio ambiente (ELLIOTT; MAHMOOD; KAMAL, 2022).

O volume de cinzas produzidos é alto, sendo indispensáveis alternativas para descarte e uso seguro (MARTINS FILHO et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2023). A estratégia para reduzir as cinzas que vão para o aterro, é encontrar usos benéficos para elas. Hannam et al. (2018) sugerem que, dependendo de suas propriedades, a cinza de madeira pode ter várias destinações como, por exemplo, material de cobertura em aterros, agregado de estradas, material de preenchimento na construção civil, fabricação de cimento, absorvente de odores e agente de calagem e fertilizante em solos agrícolas.

Para recomendação de uso de cinzas de madeira, é necessário conhecer seu material de origem, solo e cultura, com objetivo de evitar sub ou superdosagens que prejudiquem a planta (BONFIM-SILVA et al., 2019b). Dado que as cinzas de madeira podem variar conforme a região e os processos industriais, é preciso ter cuidado ao usá-las, tornando a análise das cinzas de madeira muito importante.

Em questão de desenvolvimento sustentável, a cinza de madeira pode ser reaproveitada nos ciclos naturais como fertilizante, corretivo (BONFIM-SILVA et al., 2019c, 2021; HANNAM et al., 2018; JOHANSEN et al., 2019) ou condicionador do solo (MAYER et al., 2022). A sua aplicação agrícola pode poupar (OCHECOVÁ et al., 2017) os insumos de adubação (BONFIM-SILVA et al., 2019b; CHOJNACKA et al., 2022) e ajudar na reciclagem de nutrientes (CRUZ-PAREDES et al., 2017), devolvendo ao solo os elementos minerais fundamentais que as plantas retiram, ao serem colhidas (AN; PARK, 2021; BANG-ANDREASEN et al., 2021; BORNØ; RØNN; EKELUND, 2020; HANNAM et al., 2018; MAYER et al., 2022).

A composição química das cinzas de madeira lhes proporciona um potencial para ser considerada fertilizantes por conter macronutrientes como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (AN; PARK, 2021; BONFIM-SILVA et al., 2019b; BOŠNJAK et al., 2022; HANSEN et al., 2017; OCHECOVÁ et al., 2017; VESTERGÅRD et al., 2018). Além dos macronutrientes, as cinzas de madeira são uma boa fonte de micronutrientes para o crescimento adequado de plantas como boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) (ASARE et al., 2022; KARPS; ABOLTINS; PALABINSKIS, 2017; SCHLICHTING; BONFIM-SILVA; SILVA, 2021).

Embora já contenha a maioria dos macronutrientes (VESTERGÅRD et al., 2018), o nitrogênio (N) é muito limitado nas cinzas de madeira, que é perdido durante o processo de queima (AN; PARK, 2021; JOHANSEN et al., 2021; PETROVSKÝ et al., 2018). Como o teor de nitrogênio nas cinzas de madeira é considerado muito baixo, os fertilizantes nitrogenados devem ser aplicados/adicionados em conjunto com as cinzas (ELLIOTT; MAHMOOD; KAMAL, 2022; TUYISHIME et al., 2022).

Paramisparam et al. (2021), explicam que o nitrogênio (N) e o carbono (C) são insignificantes ou ausentes nas cinzas de madeira, pois ambos os elementos são oxidados e transformados em gás durante a combustão. Para complementar, Demeyer; Nkana; Verloo (2001) acrescentam que pelo fato de as cinzas de madeira serem resíduos inorgânicos e orgânicos remanescentes após a combustão da madeira, seus compostos orgânicos são mineralizados, enquanto os cátions básicos formam oxidados que são lentamente hidratados e carbonatados em condições atmosféricas.

As cinzas de madeira representam poucos problemas ambientais, pois as concentrações de metais pesados são baixas (RISSE; GASKIN, 2013), como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cromo (Cr), entre outros (PANDEY; SINGH, 2010; PARAMISPARAM et al., 2021). É crucial frisar a procedência da biomassa que será queimada, evitando-se o uso daquelas provenientes de demolição, madeira tratada com produtos impermeabilizantes ou com biocidas, uma vez que esses compostos apresentam altas concentrações de elementos tóxicos (BEZERRA, 2018).

A ação da cinza de madeira como corretivo de solo depende da quantidade e do nível de solubilidade das bases alcalinas (Ca + Mg + K + Na) associados a carbonatos, óxidos, hidróxidos, cloretos, sulfatos, fosfatos (JOHAN et al., 2021; NWEKE, 2018), nitratos, silicatos e material amorfo (BEZERRA et al., 2016; FÜZESI; HEIL; KOVÁCS, 2015). Estes reagem com H^+ e Al^{3+} no solo, diminuindo a acidez trocável e aumentam o pH (BONFIM-SILVA, 2020). Dessa forma, quando a cinza vegetal entra em contato com o solo ácido o Al^{3+} é

precipitado devido às suas propriedades alcalinas (BONFIM-SILVA, 2020; MERIÑO-GERGICHEVICH et al., 2010; PARAMISPARAM et al., 2021). Por esta característica, é considerada uma boa opção de calagem e uma boa alternativa ao calcário agrícola comercial (CABRAL et al., 2008; ELLIOTT; MAHMOOD; KAMAL, 2022).

De acordo com Demeyer; Nkana; Verloo (2001), a maioria das cinzas de madeira tem pH entre de 8,9 a 13,5. A cinza de madeira muda o pH do solo mais rápido que o calcário, pois contém óxidos e hidróxidos solúveis (JOHAN et al., 2021). O pH excessivamente elevado do solo após a aplicação de cinzas de madeira resulta na indisponibilidade de nutrientes importantes para as plantas, por exemplo, em pH alcalino, o fósforo (P) precipita com o cálcio (Ca) para formar fosfato de cálcio, que não é disponível para as plantas (PARAMISPARAM et al., 2021).

O uso de cinzas de madeira também pode aumentar a capacidade de retenção de água, teor de umidade e disponibilidade de nutrientes, porque sua propriedade hidrofílica permite reter água (HAMIDI et al., 2021; JOHAN et al., 2021; SCHEEPERS; DU TOIT, 2016).

A utilização de cinza de madeira como insumo alternativo para o cultivo de pastagens no Cerrado é uma estratégia de produção sustentável, economicamente viável e ambientalmente segura, especialmente em propriedades descapitalizadas (BEZERRA, 2018). Para corroborar Moretti Neto (2020), acrescenta que a cinza é capaz de fornecer nutrientes gradualmente, repondo parte dos nutrientes exportados com a forrageira consumida, se comportando como uma alternativa viável para culturas perenes e menos exigentes nutricionalmente.

Cabe salientar que um dos maiores entraves na utilização das cinzas de madeira, está associada a logística de transporte das indústrias até a propriedade para a aplicação no solo, e isso limita seu uso em grandes lavouras (BONFIM-SILVA et al., 2017c).

2.3.3 Organo-mineral

Os fertilizantes sempre foram fundamentais para a agricultura, mas o crescimento da população mundial, as mudanças climáticas e a degradação dos recursos naturais requerem o desenvolvimento de novas técnicas agrícolas. O desenvolvimento e a implementação de estratégias inovadoras baseadas em produtos ecologicamente corretos para a fertilização do solo é um desafio para a sustentabilidade agrícola no Brasil (COTTA et al., 2023).

As fontes minerais são geralmente as mais usadas para enriquecer o solo, mas nos últimos anos a procura por uma combinação destas com as orgânicas tem crescido (OLIVEIRA et al., 2021; SANNIKOVA et al., 2021), os chamados organominerais. Diante disso, a adubação

organomineral tem sido considerada uma proposta promissora (BOUHIA et al., 2022) e tem sido cada vez mais utilizada globalmente, sobretudo em climas tropicais, uma vez que oferece uma solução que equilibra economia e gestão ambiental (RODRIGUES et al., 2021).

O uso de fertilizantes organominerais propicia a disponibilidade de fonte de nutrientes de baixo custo, reduzindo os custos de importação, além de oferecer uma opção de manejo sustentável (SARITHA et al., 2021), pois agregam nutrientes ao solo ao mesmo tempo que potencializam a eficiência dos fertilizantes minerais aplicados (BRASIL, 2021; CRUSCIOL et al., 2020). A utilização deste fertilizante contribui ao pilar econômico na medida que tem potencial de reduzir custo de produção e gerar economia (CABRAL et al., 2020).

O adubo organomineral tem sido definido como um produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (BRASIL, 2004; MAGELA et al., 2019; MORAES et al., 2017a; SANNIKOVA et al., 2021). Já Antille et al. (2013); Kominko; Gorazda; Wzorek (2017), define o organomineral como um fertilizante obtido por mistura, reação química, granulação ou dissolução em água de fertilizantes inorgânicos com um conteúdo declarável de um ou mais nutrientes primários com fertilizantes orgânicos ou corretivos do solo.

É necessário ter informações específicas sobre as garantias mínimas existentes para se ter o melhor conhecimento sobre como e em que quantidades deve-se utilizar cada tipo de solo (MORAES et al., 2017a). Em geral, de acordo com Crusciol et al. (2020), derivado de fontes orgânicas regionais, o organomineral pode ser em pó, granulado ou peletizado, e pode ser produzido com diferentes concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) adequadas às necessidades da cultura.

De acordo com o Artigo 9º da Instrução Normativa n.º 61, de 8 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), os fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo devem ter umidade máxima de 20% de umidade e no mínimo: 8% de carbono orgânico; 80 $mmol_c\ kg^{-1}$ de CTC; 5% nas misturas de macronutrientes primários (NPK, NP, NK ou PK); 3% nas misturas de macronutrientes secundários e; 3% nas misturas de micronutrientes.

Ainda na Instrução Normativa referida, os fertilizantes organominerais devem conter uma concentração mínima para os macronutrientes primários (nitrogênio (N):1%; fósforo (P):1% e potássio (K):1%), macronutrientes secundários (cálcio (Ca):1%; magnésio (Mg):1% e enxofre (S):1%) e micronutrientes boro (B):0,01%; cloro (Cl): 0,1%; cobalto (Co): 0,005%; cobre (Cu): 0,02%; ferro (Fe): 0,02%; manganês (Mn): 0,02%; molibdênio (Mo): 0,005%; níquel (Ni): 0,005%; selênio (Se): 0,003%; silício (Si): 0,05% e zinco (Zn): 0,1%), quando garantidos isoladamente.

Segundo Bouhia et al. (2023), os organominerais destacam um potencial químico reativo muito inferior ao de um fertilizante mineral. A solubilização dos nutrientes é mais lenta e segue uma dinâmica gradual ao longo do período de desenvolvimento vegetal, o que resulta em menor lixiviação de nutrientes minerais, menor fixação de fósforo e consequentemente maior eficiência agronômica (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2021).

Com relação às vantagens do fertilizante organomineral, espera-se uma queda considerável nas perdas de nitrogênio (N) e uma maior eficiência na disponibilização de fósforo (P), devido à grande quantidade de ânions orgânicos presentes nesses tipos de fertilizantes (ZONTA; STAFANATO; PEREIRA, 2021).

A aplicação desses fertilizantes traz vantagens adicionais, tais como amortecer o solo contra a acidificação indesejável e aumento da disponibilidade de nutrientes (IREN; OKON-INYANG; OFEM, 2017). A matéria orgânica (BONFIM-SILVA et al., 2020a; MORAES et al., 2017a; PEKCAN; TURAN, 2021) presente nos fertilizantes organominerais pode influenciar nas propriedades físicas e químicas, como a retenção de água, formação de agregados e aumento da capacidade de troca catiônica e estoques de carbono (MAGELA et al., 2019).

A turfa, de origem sedimentar, era o principal componente orgânico usado na produção de adubos. Entretanto, em função de novos conhecimentos e tecnologias permitem o uso de diferentes fontes orgânicas, como os subprodutos da agroindústria, estercos de bovinos, suínos e aves, que geram grandes quantidades de rejeitos, na qual muitos deles são considerados passivos ambientais(ZONTA; STAFANATO; PEREIRA, 2021).

Diversos estudos refletem os benefícios de usar adubos organominerais de diferentes fontes orgânicas, como em cultivares de oliveira (CARVALHO et al., 2014), batata (CARDOSO; LUZ; LANA, 2015), lavanda (SILVA et al., 2017), rúcula (BONFIM-SILVA et al., 2017b), cebola (HIGASHIKAWA; MENEZES JÚNIOR, 2017), milho (MAGELA et al., 2019), soja (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2020; MOTA et al., 2019), tomate (PERES; TERRA; REZENDE, 2020), rabanete (BONFIM-SILVA et al., 2020a) e cana-de-açúcar (GONÇALVES et al., 2021; MORAES et al., 2017b).

Apesar dos benefícios, a utilização de adubo organomineral pelos agricultores ainda é insatisfatória, o que pode ser atribuído à dificuldade de acesso e a um mercado estagnado (BOUHIA et al., 2022) e pouco conhecido. Ainda de acordo com Bouhia et al. (2022), este novo setor da indústria de fertilizantes terá uma grande demanda, pois resolve dois dos principais problemas do agronegócio: a produção de alimentos e o gerenciamento de resíduos.

O Plano Nacional de Fertilizantes 2022-2050 enfatiza que os organominerais podem aumentar a produtividade agrícola e reduzir a dependência externa de insumo mineral. Também

evidencia que as vendas de fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo aumentaram significativamente nos últimos anos. As indústrias que produzem esses tipos de produtos (líquidos e sólidos) tiveram um faturamento de R$ 2,575 bilhões em 2020, 1,58 vez maior que o de 2015. Esse valor é muito superior as expectativas (BRASIL, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no período de janeiro a abril de 2022, na Universidade Federal de Rondonópolis (FIGURA 1), em casa de vegetação pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, nas coordenadas geográficas 16º 27’ 49” S, 54º 34’ 46” W e altitude de 290 m.

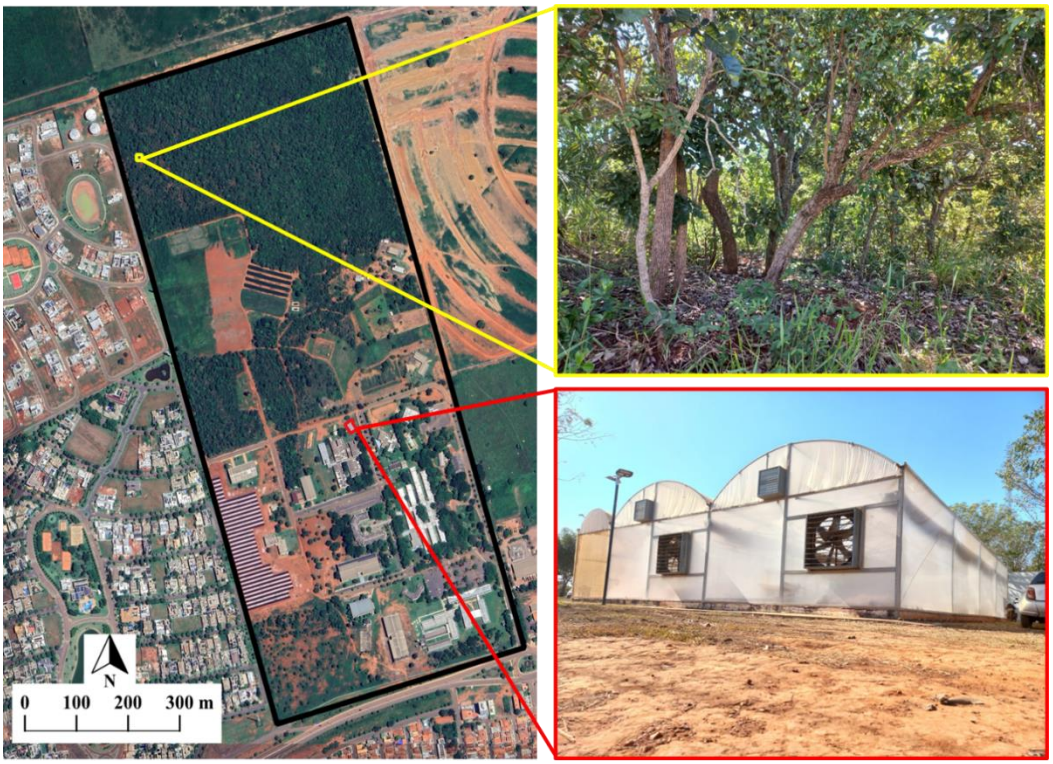

FIGURA 1. Universidade Federal de Rondonópolis (detalhe em preto). Casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (detalhe em vermelho). Ponto de coleta do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento sob vegetação de Cerrado na camada de 0-0,20 m de profundidade (detalhe em amarelo).

A casa de vegetação é do tipo arco com estrutura metálica de aço galvanizado, coberta com filme plástico de 150 micras, construída no sentido norte-sul, com área total de 450 m². O sistema de resfriamento é formado por um painel evaporativo de argila expansiva e dois exaustores posicionados paralelamente entre si e opostos ao painel evaporativo (CÉSAR SOARES, 2019). No período de condução do experimento a temperatura foi monitorada por um termohigrômetro digital instalado no interior da casa de vegetação a 1,5 m de altura, apresentando temperatura média mínima e máxima de 23,0 e 38,6 ºC, respectivamente (FIGURA 2).

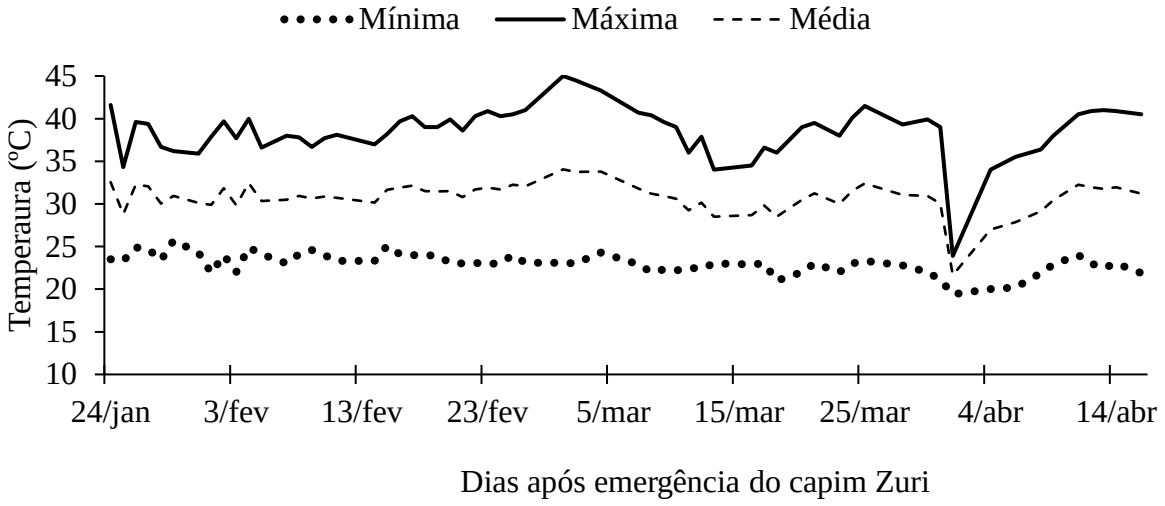

FIGURA 2. Dados de Temperatura mínima, máxima e média na da casa de vegetação da Universidade Federal de Rondonópolis durante o período experimental (janeiro a abril de 2022).

O solo utilizado no preenchimento das unidades experimentais é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), com textura franco-argilo-arenoso, coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade e peneirado em malha de 4 mm, sob vegetação de Cerrado nos limites da Universidade Federal de Rondonópolis, cujas coordenadas geográficas são 16º27'35" S e 54º35'00" W. Para caracterização química e granulométrica, o solo foi peneirado em malha de 2 mm (EMBRAPA, 1997) e enviado para análise em laboratório especializado (TABELA 1).

TABELA 1. Caracterização físico-química do Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado a 0-0,2 m de profundidade, na Universidade Federal de Rondonópolis.

pH	SB	CTC	MO	V	m	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila
$CaCl_2$	--$cmol_c$ dm^{-3}--		----------%----------			--$cmol_c$ dm^{-3}--		----------%----------		
4,3	0,8	5,6	2,13	13,5	44,4	0,6	4,8	33,0	10,0	57,0
P	K	S	Ca	Mg		B	Cu	Fe	Mn	Zn
--------mg dm^{-3}--------			--$cmol_c$ dm^{-3}--			----------mg dm^{-3}----------				
1,5	18,0	2,0	0,5	0,2		0,15	0,2	64,0	21,8	0,7

SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; MO: Matéria Orgânica; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; Al: Alumínio; H: Hidrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; S: Enxofre; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

A cinza de madeira utilizada como corretivo, fertilizante e fonte orgânica do adubo organo-mineral, foi proveniente da queima da biomassa de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) em fornalhas de indústria alimentícia instalada no município de Rondonópolis-MT. A cinza de madeira foi analisada como fertilizante e corretivo em laboratório especializado, seguindo as recomendações de Alcarde (2009) e Alcarde; Rodella (1996), respectivamente (TABELA 2).

TABELA 2. Caracterização química da cinza de madeira como fertilizante e corretivo.

pH	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	SO_4	CaO	MgO
$CaCl_2$	----------g kg^{-1}----------							
10,67	4,9	7,9	32,5	49,6	42,0	6,0	91,0	65,0
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	PN	PRNT	
	----------g kg^{-1}----------					--------%--------		
	0,4	0,1	7,2	0,4	0,2	30,0	24,8	

N: Nitrogênio total; P_2O_5: Fósforo; K_2O: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SO_4: Enxofre; CaO: Óxido de cálcio; MgO: Óxido de magnésio; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; PN: Poder de neutralização; PRNT: Poder relativo de neutralização.

3.2 Instalação e condução do experimento

3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, arranjados esquema fatorial 3 x 3, correspondentes a três tipos de adubação (cinza de madeira (CM), organo-mineral (OM) e mineral (M)) associadas a três nível de saturação por bases (V (%) = controle (C) - saturação por bases natural do solo; V (%) = 25 e V (%) = 50), com quatro repetições, totalizando 36 unidades experimentais (FIGURA 3).

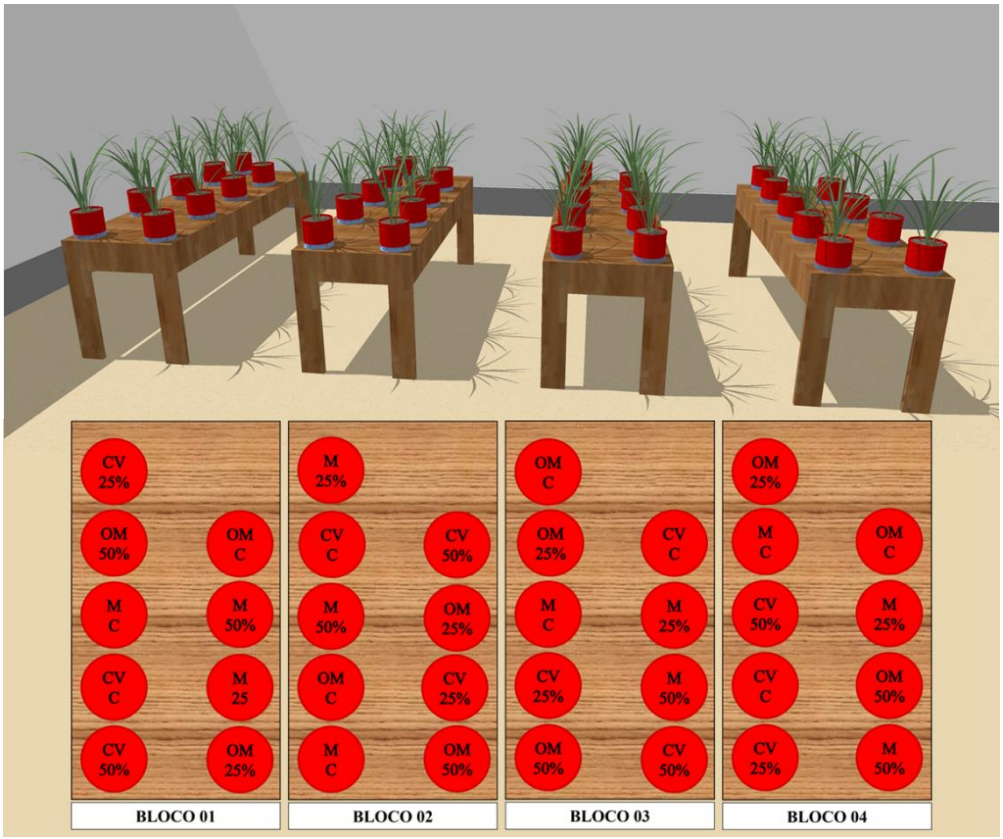

FIGURA 3. Croqui 3D representando a distribuição das unidades experimentais em bancada na casa de vegetação com capim Zuri submetido a tipos de adubação (cinza de madeira (OM), organo-mineral (OM) e mineral (M)) associadas a níveis de saturações por bases no solo (C (controle = natural do solo), 25 e 50%).

Fonte de variação 1: Tipos de adubação (A)

Cinza de madeira (CM): a recomendação de adubação da cinza de madeira foi de 24 g dm^{-3} (MAZERO, 2020). Dentro da casa de vegetação, a cinza de madeira foi incubada com o solo a uma umidade de 60% da capacidade máxima de retenção de água no solo por um período de 30 dias, em sacos plásticos fechados, para acelerar o processo de correção da acidez do solo.

Para esse tratamento, a incorporação foi realizada 30 dias antes da semeadura, porque antes do plantio ou durante a emergência inicial, a cinza de madeira pode causar condições alcalinas concentradas de curto prazo, afetando o crescimento da planta (BONFIM-SILVA; SCHLICHTING; JOSÉ, 2020; MENEGHETTI, 2022);

Organo-Mineral (OM): para este tratamento, utilizou-se a cinza de madeira como fonte orgânica. Cada unidade experimental recebeu metade da recomendação de cinza de madeira e metade da recomendação de adubo mineral, que foram incorporados ao solo no dia da semeadura. A recomendação de cinza de madeira foi de 12 g dm^{-3} e a adução mineral foi de 75, 50 e 50 mg dm^{-3} de fósforo, potássio e micronutrientes, sendo as fontes o superfosfato simples (SFS), cloreto de potássio (KCl) e FTE (boro: 1,8%; cobre: 0,85%; enxofre: 3,9%; ferro: 3,0%; manganês: 2,0%; molibdênio: 0,1% e zinco: 9,0%), respectivamente.

No que diz respeito a aplicação de micronutrientes, a recomendação aplicada inicialmente foi de 25 mg dm^{-3} de FTE (metade da recomendação). Porém, antes da planta chegar aos 30 dias de emergência, apresentou sintomas de deficiência dos nutrientes presentes nesta composição, sendo necessário complementar com mais 25 mg dm^{-3}, o que deu um total 50 mg dm^{-3} de FTE;

Mineral (M): no tratamento com adubo mineral, o fósforo, potássio e micronutrientes foram adicionados no dia da semeadura, na recomendação de 150, 100 e 50 mg dm^{-3} (BONFIM-SILVA et al., 2011a), respectivamente, tendo como fontes o superfosfato simples (SFS), cloreto de potássio (KCl) e FTE (boro: 1,8%; cobre: 0,85%; enxofre: 3,9%; ferro: 3,0%; manganês: 2,0%; molibdênio: 0,1% e zinco: 9,0%), nesta ordem.

Fonte de variação 2: Nível de saturação por bases (V %)

A determinação do nível de correção da acidez do solo foi estimada segundo a necessidade de calagem (NC) pelo método de saturação por bases (V%) (SOUSA; LOBATO, 2004), obtendo-se a recomendação de 2,4 t ha^{-1} de calcário, depois convertido para g $vaso^{-1}$. Para realização dos cálculos da necessidade de calagem, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 86% para elevar a saturação por bases natural do solo de 13,5% (TABELA 1) para

25% e 50%. A partir do cálculo de necessidade de calagem, cada tratamento recebeu suas respectivas proporções. Sendo:

V (%) = controle (saturação por bases natural do solo): a saturação por bases não foi elevada, permanecendo a natural do solo, 13,5%, ou seja, não recebeu calagem;

V (%) = 25: a saturação por bases, nesse tratamento, foi elevada até 25%, ou seja, metade da recomendação ideal para o capim Zuri. O solo foi incubado por um período de 30 dias em saco plástico com 0,6 g de calcário para cada dm^3 de solo e umidade ajustada para 60% de capacidade máxima de retenção de água no solo, para acelerar o processo de correção da acidez do solo e;

V (%) = 50: a saturação por bases teve sua porcentagem elevada para 50%, o ideal para o cultivo do capim Zuri, segundo a Embrapa (2014a). O solo foi incubado por um período de 30 dias em saco plástico com 1,2 g de calcário para cada dm^3 de solo e umidade ajustada para 60% de capacidade máxima de retenção de água no solo, para acelerar o processo de correção da acidez do solo.

3.2.2 Adubação, semeadura e desbaste

A única adubação comum para todos os tratamentos foi a nitrogenada (fonte ureia), isso porque a cinza de madeira é pobre em nitrogênio (VENTURA et al., 2019).

Em cada fase do capim Zuri (quando a planta atingiu 10 cm de altura; 30 (1º corte) e 60 (2º corte) dias após a emergência das plantas), a recomendação de adubação nitrogenada foi de 200 mg dm^{-3} (BONFIM-SILVA et al., 2011a). Essa adubação foi parcelada em duas aplicações de 1,11 g $vaso^{-1}$ para cada unidade experimental, com intervalo de sete dias entre uma aplicação e outra, em que a ureia foi dissolvida em 50 mL de água e adicionada rente ao solo.

Cada unidade experimental recebeu aproximadamente 50 sementes de *Panicum maximum* cv. BRS Zuri a uma profundidade de 2 cm. A emergência ocorreu após o quinto dia da semeadura. Foram feitos dois desbastes durante os primeiros quinze dias após a emergência.

O primeiro desbaste ocorreu sete dias após a emergência, deixando-se aproximadamente 20 plantas por vaso (FIGURA 4A). O segundo desbaste foi realizado no décimo quinto dia após a emergência, quando as plantas atingiram 10 cm de altura, mantendo-se às cinco plantas mais vigoras em cada unidade experimental (FIGURA 4B).

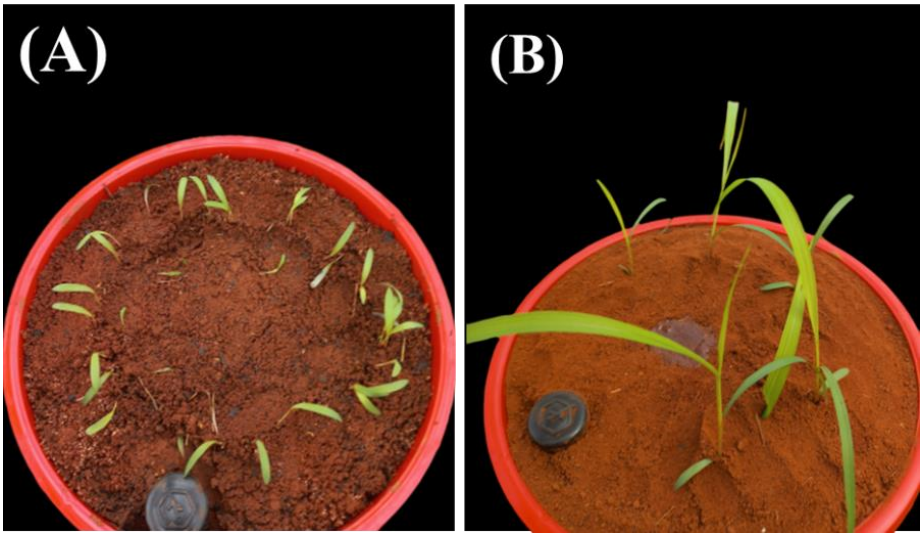

FIGURA 4. Primeiro desbaste (A) e segundo desbaste (B) do capim Zuri cultivado em vaso autoirrigável preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado.

3.2.3 Irrigação

Utilizou-se vasos plásticos com sistema autoirrigável para o manejo de irrigação do capim Zuri, que se baseia no princípio da capilaridade. A capilaridade é uma propriedade que faz com que a água flua através de um material, ainda que contra a força da gravidade.

O sistema do vaso autoirrigável usa uma raiz artificial (pavio) para transportar a água até a raiz das plantas, para ela absorver somente a quantidade necessária (INOVA STORE, 2022). Além disso, esses vasos têm orifícios que drenam o excesso da água absorvido pelo solo e não aproveitado pela planta, retornando para o reservatório (FIGURA 5).

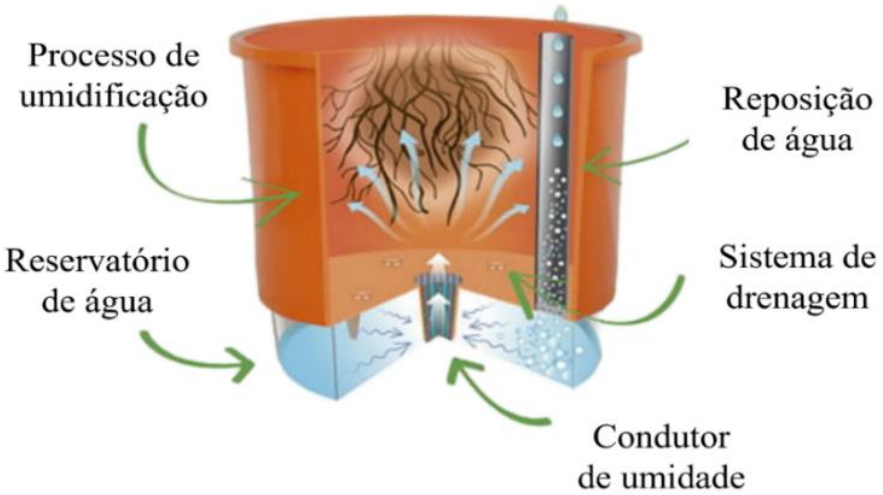

FIGURA 5. Sistema de funcionamento de vaso autoirrigável utilizado durante a condução do experimento com capim Zuri em casa de vegetação. Adaptado de Inova Store, (2022).

O vaso possui 18 cm de altura externa; 14 cm de altura interna; 21,5 cm de diâmetro superior; 17,5 cm de diâmetro inferior; volume do vaso de 5,082 L e volume do reservatório de 0,960 L.

A quantidade de água consumida por cada unidade experimental foi determinada a partir da emergência das plantas, registrando-se o volume de água que era adicionado no reservatório à medida que o nível baixava. O total de água consumida pelas unidades experimentais está listado na tabela 3.

TABELA 3. Volume de água aplicado nas unidades experimentais durante período de condução do experimento.

Tipos de adubação	Saturação por bases (%)	Volume aplicado (L)			Total
		30 DAE (1º corte)	60 DAE (2º corte)	90 DAE (3º corte)	
Cinza de madeira	C	25,1	36,5	23,5	267,3
	25	26,1	38,9	25,1	
	50	25,5	40,4	26,3	
Organo-Mineral	C	20,7	40,0	25,1	260,6
	25	22,0	37,5	26,1	
	50	24,2	37,7	27,3	
Mineral	C	25,8	37,2	14,9	224,7
	25	24,7	32,2	15,1	
	50	24,4	34,9	15,8	
Total irrigado (L)		218,4	335,1	199,1	752,6
Dias de irrigação		12	16	11	39

C: Saturação por bases natural do solo (controle); DAE: Dias após a emergência do capim Zuri.

3.3 Variáveis analisadas

3.3.1 Química do solo

pH do solo: quantificado aos 30 dias após incubação do solo e a cada ocasião de corte do capim Zuri, aos 30; 60 e 90 dias após a emergência (DAE), com auxílio de pHmetro digital, utilizando como reagente, o cloreto de cálcio ($CaCl_2$) a 0,01 mol L^{-1}, no laboratório de solos da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) (FIGURA 6).

FIGURA 6. Leitura de pH do solo das unidades experimentais com auxílio de pHmetro digital, utilizando cloreto de cálcio como reagente, no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

Soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn): foram determinados após 90 dias de emergência (DAE) do capim Zuri em laboratório especializado, utilizando a metodologia sugerido por Raij et al. (1997).

3.3.2 Fitométricas

As variáveis fitométricas foram avaliadas por ocasião de corte, sendo o primeiro, o segundo e o terceiro cortes aos 30; 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri, respectivamente.

Altura de plantas (AP) (cm): foi medida com régua graduada da superfície do solo até o ápice da folha mais alta de cada planta, depois fez-se a média por vaso (FIGURA 7A).

Diâmetro de colmo (DC) (mm): foi aferido com auxílio de paquímetro digital, mediu-se aleatoriamente o diâmetro de cada planta a cinco centímetros do solo, depois fez-se a média por vaso (FIGURA 7B).

Número de folhas (NF) e perfilhos (NP): ambos obtidos por contagem manual. Contabilizou-se somente as folhas verdes em cada unidade experimental.

Área foliar (AF) (cm^2 $vaso^{-1}$): obtida após separação das folhas completamente expandidas e passadas no integrador de área foliar (FIGURA 7C).

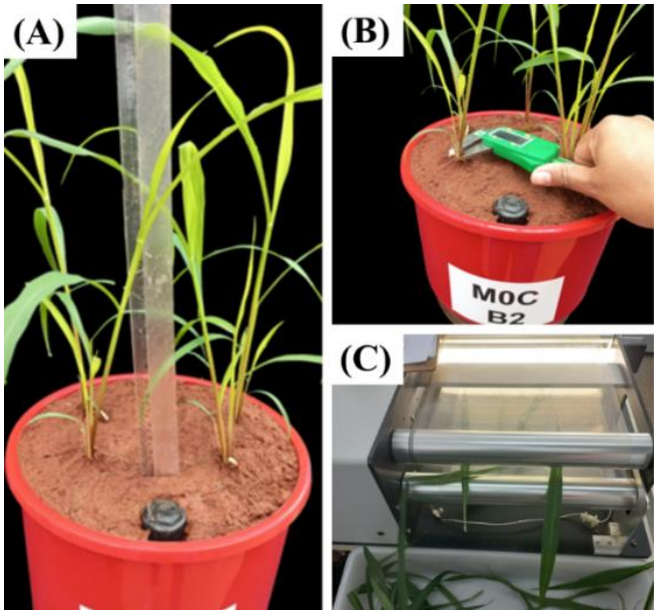

FIGURA 7. Altura de plantas medida com régua graduada (A), diâmetro de colmo medido com auxílio de paquímetro digital (B) e leitura da área foliar (C) do capim Zuri cultivado em vaso autoirrigável.

3.3.3 Índice SPAD

Índice SPAD: anterior a cada corte (30; 60 e 90 DAE) do capim Zuri, com o clorofilômetro portátil SPAD 502-Plus (FIGURA 8), realizou-se a leitura em cinco folhas diagnósticas (+1 e +2) de cada vaso, obtendo-se a média.

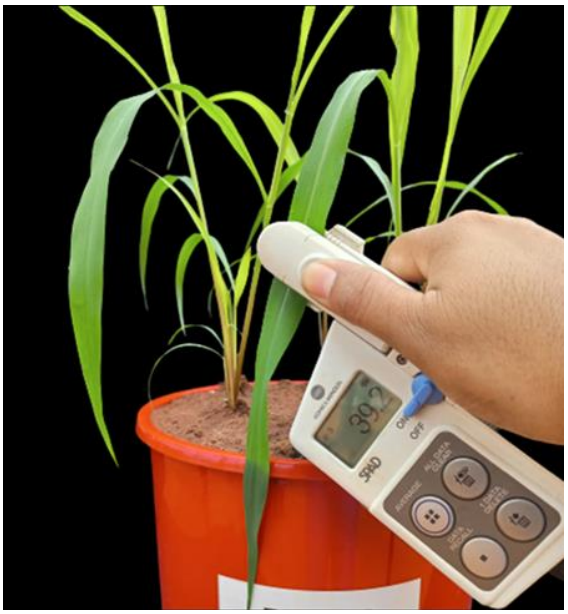

FIGURA 8. Leitura do índice SPAD nas folhas diagnósticas do capim Zuri cultivado em vaso autoirrigável preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado.

3.3.4 Produtivas

Massa seca da parte aérea (MSPA) (g vaso^{-1}): a cada corte (30; 60 e 90 DAE), a parte aérea das plantas (folhas + colmos) foram levadas para estufa de ventilação forçadas a 65 ºC por 72 horas. Após o processo de secagem, foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,0001g) para obter o peso seco.

Volume de raiz (VR) (mm vaso^{-1}): no último corte (90 DAE), as raízes foram lavadas em água corrente sob peneira de 2 mm. Depois, com uma proveta de 1000 mL, contendo volume de água conhecido (500 mL) as raízes foram inseridas na proveta, e o volume de água deslocado foi considerado o volume de raízes em milímetros (FIGURA 9).

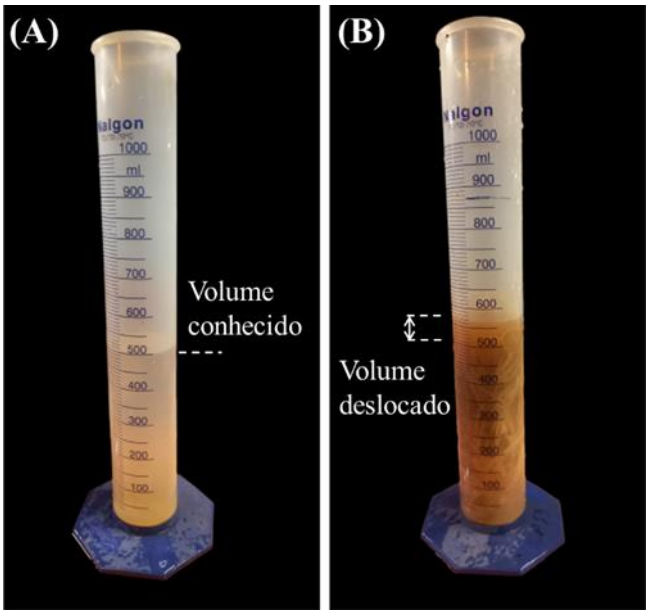

FIGURA 9. Medição do volume de raiz do capim Zuri em proveta graduada. Volume de água conhecido (A) e volume de água deslocado (B).

Massa seca de raiz (MSR) (g vaso^{-1}): aos 90 DAE, após obter o volume de raízes, retirou-se o excesso de água das raízes, foram pesadas para obter a massa fresca e, depois, foram inseridas em sacos de papel identificados e secas em estufa de ventilação forçada por um período de 72 horas a 65 ºC, obtendo-se assim, a massa seca de raiz.

3.3.5 Consumo de água e eficiência do uso de água

Consumo de água (CA) (L vaso^{-1}): anotou-se o volume de água que eram repostas no vaso autoirrigável de cada tratamento, da emergência das plantas até o último corte.

Eficiência do uso de água (EUA) (g L^{-1}): obtido pela razão entre a massa seca da parte aérea pelo consumo de água de cada corte (30; 60 e 90 DAE) pela equação 10:

$$\mathrm{EUA} = \frac{\mathrm{MSPA}}{\mathrm{CA}} \tag{10}$$

Onde:

EUA: Eficiência do uso de água (g L^{-1});
MSPA: Massa seca da parte aérea (g $vaso^{-1}$) e;
CA: Consumo de água (L $vaso^{-1}$).

3.4 Análise estatística

Os dados do experimento foram testados para normalidade (Shapiro-Wilk e Kolgomorov-Smirnov). Quando não foi considerado normal, utilizou-se a transformação de Johnson e Box-Cox. Além disso, foi verificada a homoscedasticidade (Bartlett e Levene). Os tratamentos, quando normais e homogêneos, foram submetidos à análise de variância por estatística F, e, quando significativos, foram comparados através do teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Química do solo

4.1.1 pH do solo

O resumo da análise de variância para a variável química pH do solo em função dos tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) aos 30 dias após incubação do solo (DAI) e 30; 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri, 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 4.

TABELA 4. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no pH do solo aos 30 dias após incubação (DAI) e aos 30 (1º corte), 60 (2º corte) e 90 (3º corte) dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatítica F			
		pH 30 DAI	pH 30 DAE	pH 60 DAE	pH# 90 DAE
Bloco	3	$1,70^{ns}$	$5,89^{**}$	$0,61^{ns}$	$0,21^{ns}$
A	2	$565,19^{***}$	$28,57^{***}$	$40,55^{***}$	$166,48^{***}$
V (%)	2	$40,60^{***}$	$12,08^{***}$	$8,34^{**}$	$33,09^{***}$
A x V (%)	4	$2,92^{*}$	$0,79^{ns}$	$1,01^{ns}$	$1,07^{ns}$
Erro	24				
CV (%)		2,11	2,79	5,81	2,46
Média geral		4,80	5,99	5,82	5,36

Níveis de significância: $^{*}0,01<p<0,05$; $^{**}0,001<p<0,01$; $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. # Variável transformada pelo método de Johnson. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para o pH do solo aos 30 dias após a incubação do solo (DAI), 30 (1º corte); 60 (2º corte) e 90 (3º corte) dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V %), observou-se efeito ao nível de 0,1%, 0,1%, 1% e 0,1% de significância, respectivamente, para as diferentes épocas de avaliação. Foi possível verificar efeito significativo para a interação entre os fatores (A x V%) para o pH aos 30 DAI ao nível de 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente (TABELA 4).

A análise de desdobramento do fator adubação dentro do fator nível de saturação por bases para a variável pH 30 DAI, foi significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott (FIGURA 10).

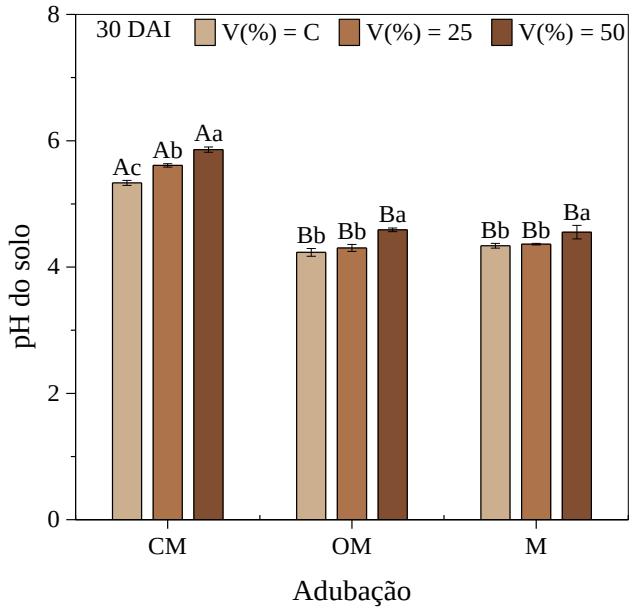

FIGURA 10. Médias do pH do solo para a interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30 dias após incubação (DAI) do solo.

Não houve diferença estatística entre a adubação organo-mineral e mineral, porém houve diferença significativa para a cinza de madeira aos 30 dias após a incubação do solo (DAI) (FIGURA 10). O tratamento cinza de madeira foi o que evidenciou os maiores valores para o pH do solo em relação aos outros dois tratamentos. A cinza de madeira, quando combinada ao nível de saturação por bases natural do solo, demonstrou o menor valor absoluto (5,33), em comparação à cinza de madeira com 25% (5,61) e 50% (5,86) de saturação por bases (FIGURA 10).

A cinza de madeira em apenas 30 dias elevou o pH do solo em 1,03 (saturação por bases natural do solo); 1,31 (saturação por bases elevada para 25%) e 1,56 (saturação por bases elevada para 50%) unidades em comparação ao pH inicial, 4,30.

Os tratamentos organo-mineral e mineral, tiveram apenas diferença no nível de saturação por bases de 50%. Houve um aumento considerável do pH do solo em 0,36 e 0,21 unidades, em relação ao tratamento em que se manteve a saturação natural do solo (controle) (4,23 e 4,34), respectivamente (FIGURA 10).

Os maiores valores de pH do solo foram observados quando se adubou com cinza de madeira na saturação por bases de 50%. Isso pode ser explicada pela presença de cálcio na cinza. A presença de cálcio (Ca) nas cinzas de madeira neutraliza a acidez do solo, melhorando a fertilidade e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (ROCHA et al., 2023). Conforme Bonfim-Silva et al. (2020a) o cálcio disponibilizado no solo na forma de Ca^{2+} não só é absorvido pela planta, como também contribui para elevar a saturação por bases.

De acordo com Indiramma; Sudharani; Needhidasan (2019), o aumento do pH do solo é devido ao Ca e Mg presente nas cinzas de madeira, que se transforma em carbonatos com água e libera hidróxidos, que neutralizam a acidez e reduzem a toxicidade do alumínio. Johan et al. (2021) complementam que, devido ao conteúdo rapidamente solúvel de óxidos e hidróxidos, a mudança no pH é mais rápida do que a do calcário.

Num estudo conduzido por Bonfim-Silva et al. (2020b), avaliou-se a influência da adubação mineral, orgânica (cinza de madeira) e orgânico+mineral (cinza de madeira + mineral) associada à saturação por bases no cultivo de feijão-caupi (V*igna unguiculata* L.) 75 dias após a emergência (colheita). Os resultados refletem que o pH do solo adubado com cinza de madeira (orgânico) e orgânico+mineral, estava próximo de 6,2 e 6,3, respectivamente, enquanto a adubação mineral foi de 4,8. Isso pode ocorrer porque a cinza de madeira possui propriedades químicas que podem aumentar o pH do solo.

Os resultados de Meneghetti (2022), ao estudar o cultivo de crisântemo (*Dendranthema grandiflora*) com adubação mineral, cinza vegetal e organomineral associado à calagem, corroboram que tratamentos com cinza de madeira e/ou calagem aumentaram o pH do solo e, consequentemente, diminuem a acidez do Latossolo. Por outro lado, os tratamentos sem cinza de madeira em sua composição e/ou ausência de calagem mantiveram o solo ácido, como os observados nesse estudo.

As variáveis pH do solo aos 30; 60 e 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 11).

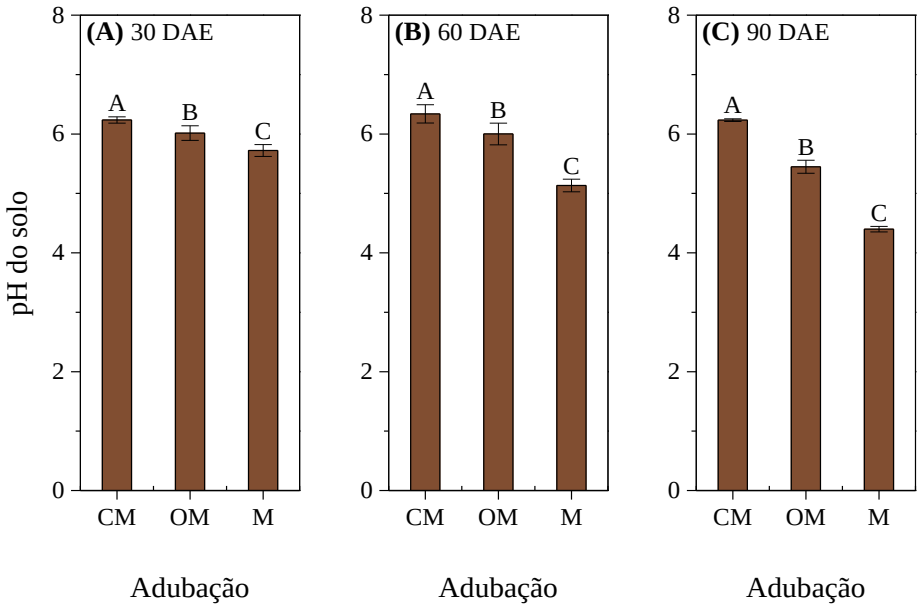

FIGURA 11. Médias do pH do solo para o fator tipos de adubação aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Os tipos de adubação influenciaram o pH do solo, como evidenciado nos cortes aos 30; 60 e 90 DAE (FIGURA 11A; B e C) do capim Zuri, assim é possível notar que a cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral. Os tratamentos cinza de madeira, organo-mineral e mineral tiveram valores de 6,24; 6,02 e 6,00 aos 30 DAE (FIGURA 11A), 6,34; 6,00 e 5,13 aos 60 DAE (FIGURA 11B) e 6,23; 5,45 e 4,40 aos 90 DAE (FIGURA 11C).

Considerando os maiores valores absolutos observados no tratamento cinza de madeira, há um acréscimo de 1,94; 2,04 e 1,93 unidades de pH do solo, aos 30; 60 e 90 DAE (FIGURA 11A, B e C), respectivamente, em relação ao pH inicial do solo (4,30). Quando se compara em relação ao tratamento organo-mineral, esses aumentos são de 1,72; 1,70 e 1,15 unidades de pH do solo, enquanto para o tratamento exclusivamente mineral os aumentos foram de 1,70; 0,83 e 0,10 unidades de pH do solo aos 30; 60 e 60 DAE, respectivamente, (FIGURA 11A; B e C).

Aos 90 DAE (FIGURA 11C), o capim Zuri já havia absorvido grande parte dos nutrientes fornecidos na adubação mineral e, ao ser cortado, esses nutrientes foram exportados, o que deixou o solo com um pH mais baixo, em relação aos outros dois tratamentos. Por outro lado, os tratamentos com cinza de madeira e organo-mineral continuaram fornecendo nutrientes importantes, mesmo que fossem seguidos de cortes a cada 30 dias, mantendo o pH do solo na da faixa ideal, onde a maioria das culturas absorve os nutrientes com mais eficácia.

A cinza de madeira pode ser usada para aumentar o pH do solo, o que ocasiona maior disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio da solução do solo, melhorando o crescimento das plantas (BONFIM-SILVA et al., 2020b). Dessa forma, a cinza de madeira, sozinha ou combinada com adubo mineral, aumenta o pH do solo, devido ao cálcio e magnésio presentes, que neutralizam o alumínio.

As variáveis pH do solo aos 30; 60 e 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 12).

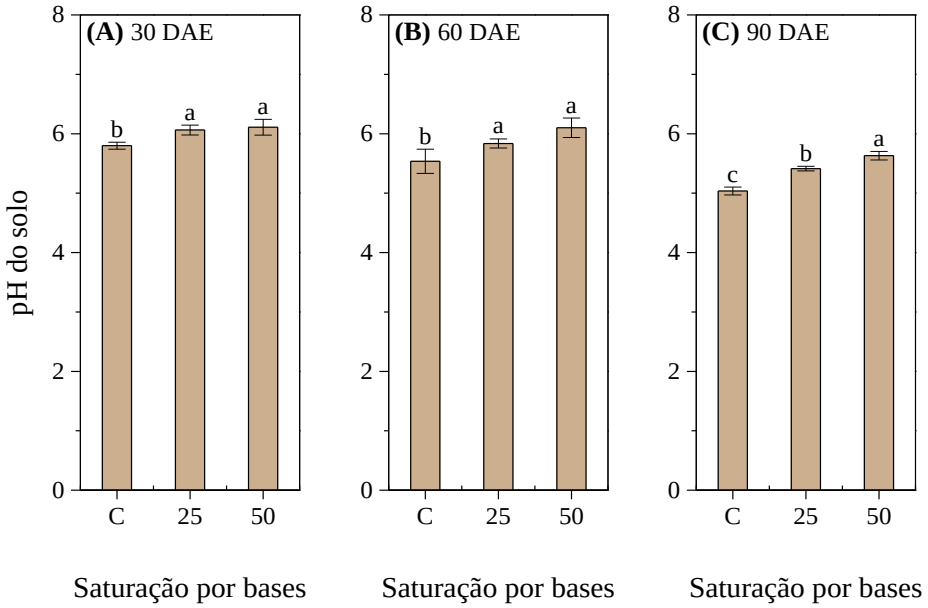

FIGURA 12. Médias do pH do solo presente no solo para o fator nível de saturação por bases aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Após o 1º e 2º cortes, aos 30 e 60 DAE (FIGURA 12A e B), não houve diferença significativa entre os tratamentos com 25% e 50% de saturação por bases, no entanto, ambos diferiam do tratamento em que se manteve a saturação por bases natural do solo. No último corte, aos 90 DAE (FIGURA 12C), houve diferença significativa entre os tratamentos saturação por bases natural do solo (controle) e elevadas para 25% e 50%.

Os valores para o pH do solo nos níveis de saturação por bases de 25% e 50% foram de 6,06 e 6,11 aos 30 DAE (FIGURA 12A) e 5,84 e 6,10 aos 60 DAE (FIGURA 12B), respectivamente. Esses valores são superiores aos observados no nível de saturação por bases natural do solo, 5,80 aos 30 DAE (FIGURA 12A) e 5,54 aos 60 DAE (FIGURA 12B).

A saturação por bases elevada para 25% aos 30 e 60 DAE, foi vantajosa, pois pode reduzir a aplicação de calcário pela metade, o que foi comprovado em relação à saturação por bases elevada para 50%, mas isso só pode ser aplicável, se a adubação for com cinza de madeira ou organo-mineral.

O maior valor de pH do solo foi evidenciado no tratamento saturação por bases elevada para 50%, 5,63, seguido dos tratamentos com saturação por base elevada para 25% e saturação por base natural do solo, com valores de 5,41 e 5,04, respectivamente (FIGURA 12C).

O aumento no pH do solo após a aplicação de fertilizantes é provocado pelo acúmulo de cátions no solo. Esse acúmulo é mais visível quando o tratamento é feito com cinzas de madeira, as quais são fontes de potássio, carbonato de cálcio e óxido de magnésio, substâncias com efeitos de neutralização (BEDASO et al., 2022).

Conforme Bonfim-Silva et al. (2020a), nível de saturação por bases do solo podem afetar o fósforo, promovendo diretamente um pH mais alto do solo, permitindo que os nutrientes do solo se tornem disponíveis para as plantas. Dessa forma, mesmo em solo com fertilidade mais baixa, ao fazer o uso de fertilizantes a base de cinzas de madeira, é possível mitigar os efeitos negativos, elevando a saturação por bases e, consequentemente, o pH do solo (BONFIM-SILVA et al., 2019b).

O pH do solo é um fator que limita o desenvolvimento das plantas, pois está diretamente ligado à dinâmica dos nutrientes. A maioria das plantas atinge seu potencial máximo com pH entre 5,5 e 6,5, nesta faixa os macronutrientes P, K, Ca e Mg estão prontamente disponíveis (JOHANSEN et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2023). Quando o pH está mais próximo do neutro, a eficiência do fertilizante aumenta, o que contribui para a disponibilidade de nutrientes, inclusive o fósforo, que auxilia na produtividade da cultura (BONFIM-SILVA et al., 2020b).

O alto teor de nutrientes nas cinzas de madeira indica o potencial das cinzas não só como material de cal, mas também fertilizante para o crescimento das culturas (AZU; NWEKE; ESSIEN, 2019).

4.1.2 Soma de bases, Capacidade de troca de cátions, Saturação por bases do solo e Saturação por alumínio

O resumo da análise de variância para as variáveis soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) em função dos tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) aos 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri, 3º corte, encontra-se na tabela 5.

TABELA 5. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F			
		SB	CTC	V#	m
Bloco	2	$1,29^{ns}$	$1,22^{ns}$	$0,70^{ns}$	$0,65^{ns}$
A	2	$63,51^{***}$	$24,58^{***}$	$48,19^{***}$	$99,33^{***}$
V (%)	2	$10,26^{**}$	$5,79^{*}$	$8,64^{**}$	$18,42^{***}$
A x V (%)	4	$2,23^{ns}$	$1,52^{ns}$	$0,82^{ns}$	$13,45^{***}$
Erro	16				
CV (%)		20,35	11,01	11,86	48,33
Média geral		4,43	6,80	60,78	9,00
		$cmol_c\ dm^{-3}$	$cmol_c\ dm^{-3}$	%	%

Níveis de significância: $^{*}0,01<p<0,05$; $^{**}0,001<p<0,01$; $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. # Variável transformada pelo método de Johnson. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) aos 90 DAE do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%), observou-se efeito ao nível de 1%, 5%, 1% e 0,1% para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), respectivamente. Foi possível verificar efeito significativo para interação entre os fatores (A x V%) para m% aos 90 DAE, ao nível de 0,1% (TABELA 5).

A variável soma de bases (SB) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 13).

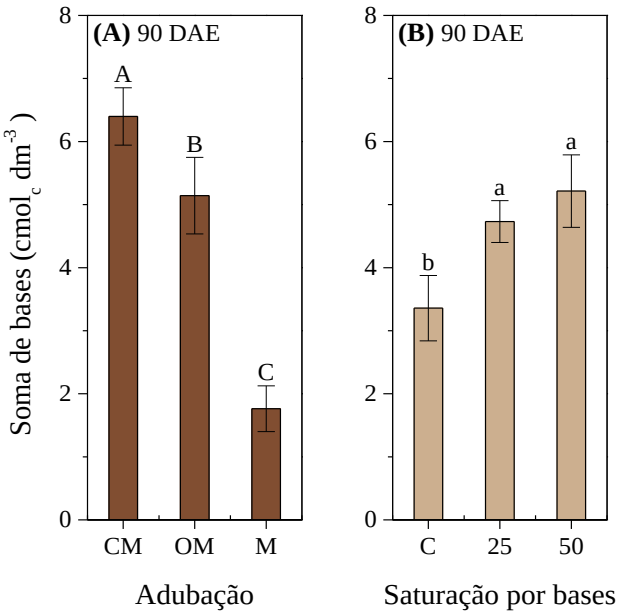

FIGURA 13. Médias da soma de bases (SB) (cmol$_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Aos 90 DAE do capim Zuri (FIGURA 13A), os tipos de adubação influenciaram a soma de bases, onde foi possível observar que a cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral. Os tratamentos cinza de madeira, organo-mineral e mineral evidenciaram valores de 6,40; 5,14 e 1,76 cmol$_c$ dm^{-3}, respectivamente.

Houve aumento percentual de 120% na soma de bases presente no solo quando se adicionou adubo exclusivamente mineral em relação ao teor inicial, 0,8 cmol$_c$ dm^{-3}. No entanto, quando a cinza de madeira foi usada sozinha ou combinada com o adubo mineral (organo-mineral), os aumentos percentuais foram de 700% e 543% (FIGURA13A), respectivamente.

Os nutrientes, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) presentes na cinza de madeira (TABELA 2), são responsáveis pelos aumentos percentuais em relação ao teor inicial do solo, já que soma de bases (SB) de um solo representa a soma dos teores de cátions permutáveis (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}), exceto H^+ e Al^{3+} (RONQUIM, 2010).

Na figura 13B, aos 90 DAE do capim Zuri, verificou-se que o tratamento saturação por bases natural do solo diferiu estatisticamente dos tratamentos saturação por bases elevada para 25% e 50%. Porém, o tratamento saturação por bases elevada para 25% e 50% não diferiram estatisticamente entre si. Estes tratamentos apresentaram valores de soma de bases (SB) de 4,73 e 5,21 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente, enquanto na saturação por bases natural do solo obteve o menor valor, 3,36 cmolc dm^{-3}. Nesse caso, houve aumento percentual na soma de bases (SB) de, 491% e 551% quando adicionou calcário no solo para elevar a porcentagem de saturação por bases para 25% e 50%, respectivamente, em relação ao valor inicial de 0,8 $cmol_c$ dm^{-3}.

Ainda observando a figura 13B, pode-se afirmar que a saturação por bases elevada para 25% é suficiente para aumentar a soma de bases (SB), já que foi estatisticamente igual quando se elevou essa porcentagem até 50%, com isso, haverá economia com aplicação de corretivos na preparação do solo para cultivar o capim Zuri.

Tiecher et al. (2022), explicam que o aumento do pH do solo através da adição de bases (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}) é necessário para culturas sensíveis à alta acidez e com presença de nutrientes fitotóxicos, como o Al^{3+}. Rabel et al. (2018), reafirmam que grande parte da agricultura tropical e subtropical da América do Sul desenvolveu-se em solos naturalmente ácidos, com alto teor de alumínio (Al^{3+}) e baixos níveis trocáveis, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+), como resultado do intenso intemperismo do solo.

A variável capacidade de troca de cátions (CTC) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 14).

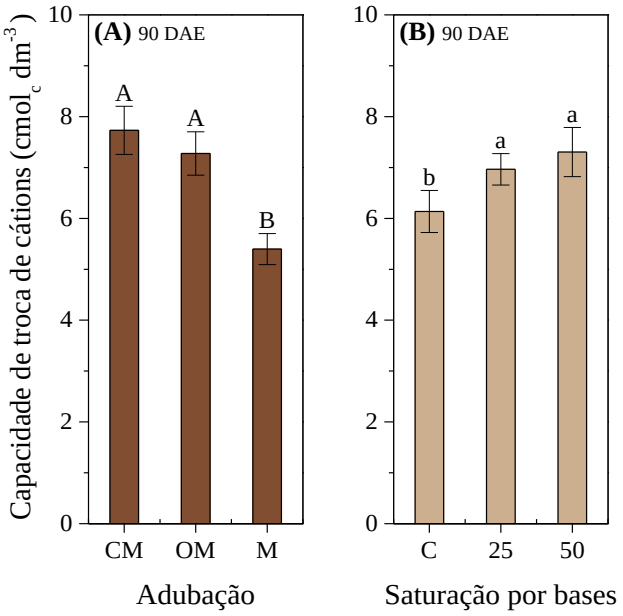

FIGURA 14. Médias da capacidade de troca de cátions (CTC) (cmol$_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Observou-se que, aos 90 DAE (FIGURA 14A), os tratamentos com cinzas de madeira não apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação ao organo-mineral, mas diferiu do tratamento com adubo mineral. Os valores absolutos para capacidade de troca de cátions (CTC) para o tratamento cinza de madeira e organo-mineral foram de 7,73 e 7,28 cmol$_c$ dm^{-3}, respectivamente. No entanto, para o tratamento com adubo mineral, esse valor foi de 5,40 cmol$_c$ dm^{-3}.

Quando se observa a tabela 1, que contém os teores iniciais da CTC do Latossolo Vermelho distrófico, nota-se que houve aumentos percentuais de 38% e 30% na CTC do solo dos tratamentos cinza de madeira e organo-mineral, respectivamente, mesmo passando 90 dias de cultivo do capim Zuri. Porém, para o tratamento adubado exclusivamente com mineral, houve um decréscimo percentual de 3,6% (FIGURA 14A).

Aos 90 DAE do capim Zuri (FIGURA 14B), verificou-se que tratamento saturação por bases natural do solo diferiu estatisticamente dos tratamentos saturação por bases elevada para 25% e 50%. Porém, o tratamento saturação por bases elevada para 25% e 50% não diferiram estatisticamente entre si.

O tratamento cinza de madeira e organo-mineral apresentaram capacidade de troca de cátions (CTC) de 6,96 e 7,30 cmol$_c$ dm^{-3}, respectivamente, enquanto na saturação por bases natural do solo obteve o menor valor, 6,14 cmolc dm^{-3}. Nesse caso, houve aumento percentual na CTC de 24 e 30% quando adicionou calcário no solo para elevar a porcentagem de saturação por bases para 25% e 50%, respectivamente. Já para a saturação por bases natural do solo, o

aumento percentual foi de 10%. Esse aumento é devido à cinza de madeira, pois nesse nível de saturação não houve adição de calcário.

De acordo com Lago et al. (2021), a capacidade de troca catiônica (CTC) é a capacidade do solo e de outros materiais sólidos de adsorver cátions trocáveis. É um importante índice de fertilidade do solo por fornecer nutrientes às plantas, ao mesmo tempo, em que reduz a lixiviação de nutrientes. Como Paramisparam et al. (2021) apontam, a CTC está estreitamente ligada ao pH, ou seja, quanto maior o pH, maior a CTC. Além disso, os solos com baixa CTC têm uma baixa capacidade de reter nutrientes.

A variável saturação por bases (V%) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 15).

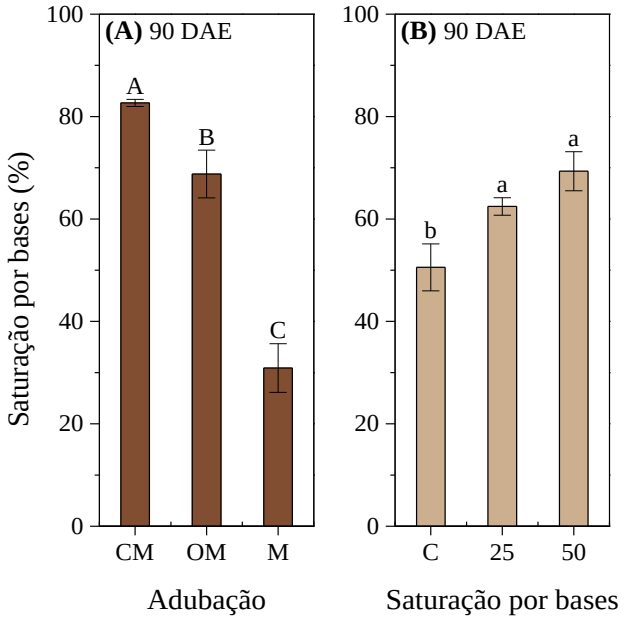

FIGURA 15. Médias da saturação por bases (V%) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Nota-se na figura 15A, que os tipos de adubação influenciaram a variável saturação por bases do solo (V%), onde foi possível observar que a cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral. Os tratamentos cinza de madeira, organo-mineral e mineral evidenciaram valores de 82,67; 68,78 e 30,89%, respectivamente. Os tratamentos cinza de madeira e organo-mineral aumentaram 2,7 e 2,2 vezes a saturação por bases (V%) em relação ao tratamento mineral.

Conforme Ronquim, (2010), a produtividade é satisfatória nas culturas quando o solo tem uma porcentagem de V% entre 50 e 80% e o valor de pH entre 6,0 e 6,5. No entanto, valores

de saturação por bases do solo acima de 50% e pH na faixa citada, foram observados nos tratamentos onde a cinza de madeira foi utilizada sozinha ou quando combinada à adubação mineral.

Para corroborar, Rawal et al. (2019), explicam que aumentos em porcentagem de saturação por bases do solo podem elevar a disponibilidade de Ca, Mg e K para as plantas, caso contrário, a baixa saturação por bases pode causar diversos problemas, como deficiências nutricionais nas plantas, acidificação do solo, mudanças na biota do solo e degradação geral da saúde do solo.

Aos 90 DAE (FIGURA 15B), na variável saturação por bases (V%), o tratamento saturação por bases natural do solo (controle) diferiu estatisticamente dos tratamentos saturação por bases de 25% e 50%. Porém, os tratamentos saturação por bases de 25% e 50% não diferiram estatisticamente entre si. As porcentagens observadas nesta variável foram de 50,56; 62,44 e 69,33% para os tratamentos em que se manteve a saturação por bases natural e as elevadas para 25 e 50%, respectivamente.

Ao se analisar as porcentagens dos tratamentos, mesmo passados 90 dias, foi evidenciado aumentos percentuais de, 275; 363 e 414%, para saturação por bases natural e elevadas para 25 e 50%, respectivamente, quando comparado a valor inicial de 13,5%. Os maiores aumentos percentuais para as saturações por bases de 25 e 50% é devido à combinação cinza de madeira e calcário utilizados para corrigir a acidez do solo.

A cinza de madeira, assim como o calcário, tem compostos alcalinos (como o carbonato de cálcio e os óxidos de cálcio e magnésio), que neutralizam o alumínio trocável, aumentando a saturação por bases e, consequentemente, o pH do solo, permitindo uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

A análise de desdobramento do fator adubação dentro do fator nível de saturação por bases para a variável saturação por alumínio (m%), foi significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott (FIGURA 16).

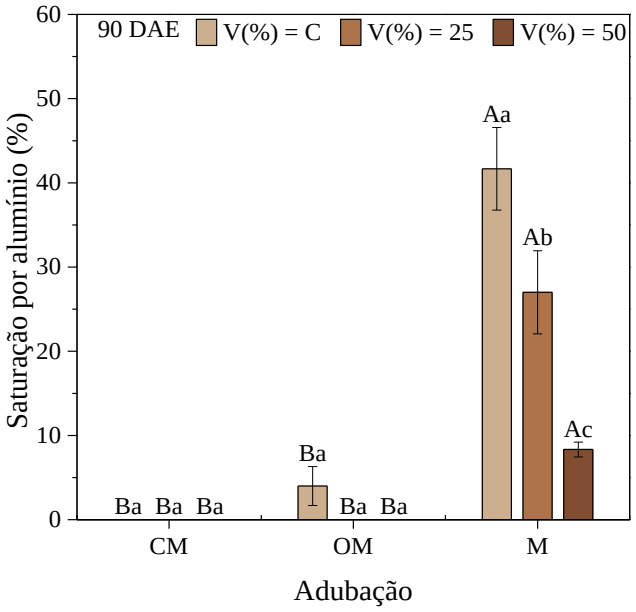

FIGURA 16.Médias da saturação por alumínio (%) presente no solo para a interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Ao se analisar os tipos de adubação dentro do nível de saturação por bases, nota-se que a cinza de madeira não se diferenciou estatisticamente do tratamento organo-mineral, mas apresentou diferença em relação ao tratamento mineral, aos 90 DAE (FIGURA 16). A cinza de madeira associada aos níveis de saturação por bases (natural do solo, 25% e 50%) reduziu a saturação por alumínio (m%) de 44, 4% (valor inicial) a zero. No tratamento organo-mineral a saturação por alumínio foi zero quando combinados à saturação por bases de 25 e 50%, porém, quando a combinação foi com a saturação por base natural do solo, o percentual da saturação por alumínio foi de 4,0%, uma redução percentual de 91,0% (FIGURA 16).

Os maiores valores de saturação por alumínio (m%) foram observados quando combinou adubo mineral com a saturação por bases natural do solo e com as elevadas para 25% e 50%, as porcentagens foram de 41,67%, 27,0% e 8,3%, respectivamente (FIGURA 16). Portanto, em relação ao valor inicial, houve decréscimos percentuais de 6,1%, 39,2% e 81,2%, nesta mesma ordem para os diferentes tipos de adubos. Dessa forma, pode-se inferir que, para cultivar o capim Zuri com adubação mineral exclusiva, a saturação por bases do solo deve ser elevada para 50%.

A fitotoxicidade do alumínio (Al) é uma das principais preocupações na produção das pastagens em solos ácidos, pois limita o crescimento das raízes, e com isso ocorre redução da absorção de água e nutrientes pelas plantas. Este elemento está presente principalmente como cátion em sua forma livre (Al^{3+}), ocupando a maioria das cargas negativas em solos ácidos (MARTINS et al., 2020).

A cinza de madeira, quando adicionada ao solo, aumenta a capacidade de troca de cátions, saturação por bases e pH, neutralizando assim o Al no solo indiretamente (HOSSAIN et al., 2021). Diante dos resultados apresentados, quando se utiliza adubo que contém cinza de madeira em sua constituição não há necessidade de adicionar calcário para corrigir o solo, pois a cinza de madeira além de fertilizante é um bom agente de calagem, acarretando economia para o produtor, já que não terá gastos com aquisição e aplicação de calcário.

Meneghetti (2022), ao cultivar crisântemo com adubação mineral, cinza de madeira e organomineral, observou que tratamentos com cinza de madeira incubada, cinza de madeira não incubada e organomineral anularam o alumínio do solo, o que reforça que não é necessário fazer a calagem para diminuir a toxicidade do alumínio quando se usam adubações que contêm cinza de madeira.

Johan et al. (2021) sustentam que, apesar da cinza de madeira influenciar nas características físicas do solo, seu emprego como corretivo, sobretudo, altera as propriedades químicas do solo. A calagem em solos ácidos pode ser feita com este material, por conta de sua alcalinidade (SAARSALMI et al., 2012), resultando em aumento do pH, redução da toxicidade do Al e aumento da disponibilidade de P (MBAH et al., 2010).

4.1.3 Macronutrientes

O resumo da análise de variância para as variáveis fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em função dos tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) aos 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri, 3º corte, encontra-se na tabela 6.

TABELA 6. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V%) para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3ºcorte) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F			
		$P^{\#}$	K	Ca	Mg
Bloco	2	$1{,}21^{ns}$	$4{,}67^{*}$	$1{,}34^{ns}$	$0{,}63^{ns}$
A	2	$25{,}38^{***}$	$51{,}86^{***}$	$38{,}98^{***}$	$73{,}48^{***}$
V (%)	2	$1{,}52^{ns}$	$7{,}82^{**}$	$9{,}69^{**}$	$6{,}78^{**}$
A x V (%)	4	$2{,}11^{ns}$	$5{,}64^{**}$	$2{,}18^{ns}$	$1{,}39^{ns}$
Erro	16				
CV (%)		22,63	21,42	21,75	24,51
Média geral		60,70	45,64	2,71	1,60
		mg dm^{-3}	mg dm^{-3}	$cmol_c$ dm^{-3}	$cmol_c$ dm^{-3}

Níveis de significância: $^{*}0{,}01<p<0{,}05$; $^{**}0{,}001<p<0{,}01$; $^{***}p<0{,}001$; ^{ns}: Diferença não significativa. $^{\#}$ Variável transformada pelo método de Johnson. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mn) aos 90 DAE do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%), observou-se efeito ao nível de 1% para potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), respectivamente. Foi possível verificar efeito significativo para interação entre os fatores (A x V%) para potássio (K) aos 90 DAE, ao nível de 1% (TABELA 6).

Houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipo de adubação de forma isolada para a variável fósforo (P) aos 90 DAE (FIGURA 17).

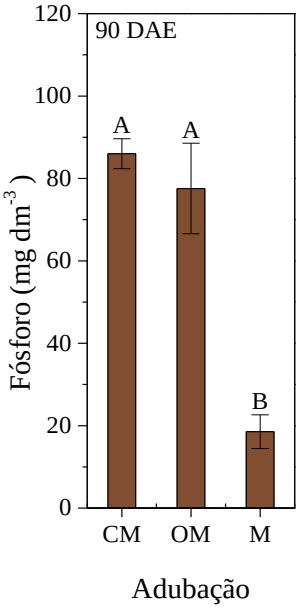

FIGURA 17. Médias do fósforo (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Aos 90 DAE (FIGURA 17), não houve diferença significativa entre os tratamentos cinza de madeira e organo-mineral para a variável fósforo (P), com valores de 86,0 e 77,6 mg dm^{-3}, respectivamente, mas ambos diferiram significativamente do tratamento mineral, com valor de P de 18,6 mg dm^{-3}. Houve aumento percentual de 5633; 5073 e 1140% no P presente no solo quando adicionou os adubos cinza de madeira, organo-mineral e mineral em relação ao fósforo inicial no solo (1,5 mg dm^{3}), após 90 dias de cultivo de capim Zuri com cortes sucessivos.

A cinza de madeira possui em sua constituição altos teores P, como é possível observar na caracterização química (TABELA 2). A cinza de madeira é uma boa fonte de P, comparável ao fertilizante de P comercial, que é bem absorvido pelas plantas (BUDZEŃ et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2023). Segundo Cruz-Paredes et al. (2017), o uso de cinzas de madeira é uma

estratégia sustentável para manter a disponibilidade de P nos solos, melhorando, assim, sua aptidão agrícola.

O P é o macronutriente que mais limita o cultivo das pastagens em solos tropicais, pois estes solos são naturalmente ácidos, devido à presença de óxidos de ferro e alumínio. Isso ocorre porque o P é absorvido pelos coloides do solo, deixando-o indisponível para as plantas (BONFIM-SILVA et al., 2020b).

A análise de desdobramento do fator adubação dentro do fator nível de saturação por bases para a variável potássio (K), foi significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott (FIGURA 18).

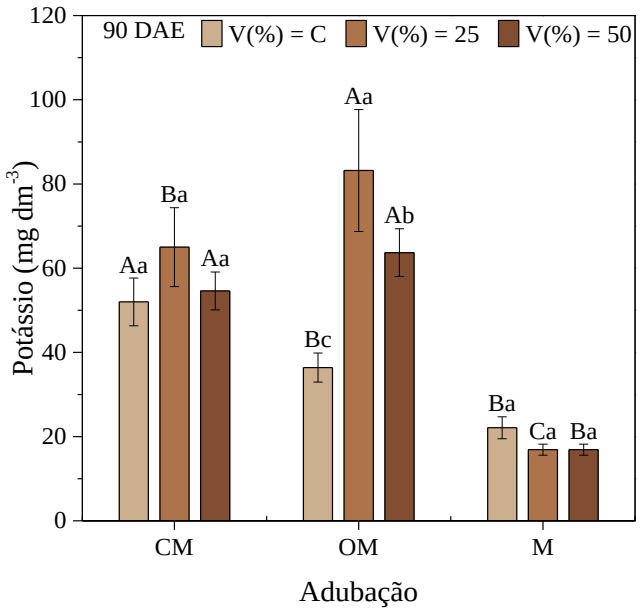

FIGURA 18. Médias do potássio (K) (mg dm^{-3}) presente no solo para a interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Ao se analisar os tipos de adubação dentro de nível de saturação por bases, notou-se que a cinza de madeira, organo-mineral e mineral diferiram estatisticamente entre si para a variável potássio (K) aos 90 DAE (FIGURA 18). O maior valor absoluto para o K no solo foi na combinação organo-mineral associada a saturação por bases de 25%, 83,2 mg dm^{-3}, seguido da combinação cinza de madeira com saturação por bases de 25%, 65,0 mg dm^{-3}.

Em relação ao teor inicial de K presente no solo, 18,0 mg dm^{-3}, a combinação dos tratamentos organo-mineral com a saturação por bases do solo de 25%, teve aumento percentual de 362%, seguido da combinação cinza de madeira com a saturação por bases de 25%, com 261%.

A cinza de madeira no solo tende a aumentar os teores de K no solo, independente da origem, as formas de K na composição das cinzas resultantes da combustão do material inicial são sensíveis à lixiviação e podem se perder com o tempo (BRAIS; BÉLANGER; GUILLEMETTE, 2015; NOYCE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2023).

A alta CTC das cinzas de madeira aumenta a disponibilidade de K devido à sua capacidade de reter K^+ temporariamente (PARAMISPARAM et al., 2021). Nas plantas, o principal papel do K é a osmorregulação, importante para a extensão celular e movimento dos estômatos. O K afeta o carregamento de sacarose e a taxa de movimento de soluto impulsionado pelo fluxo de massa na planta (HAWKESFORD et al., 2023).

A variável cálcio (Ca) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 19).

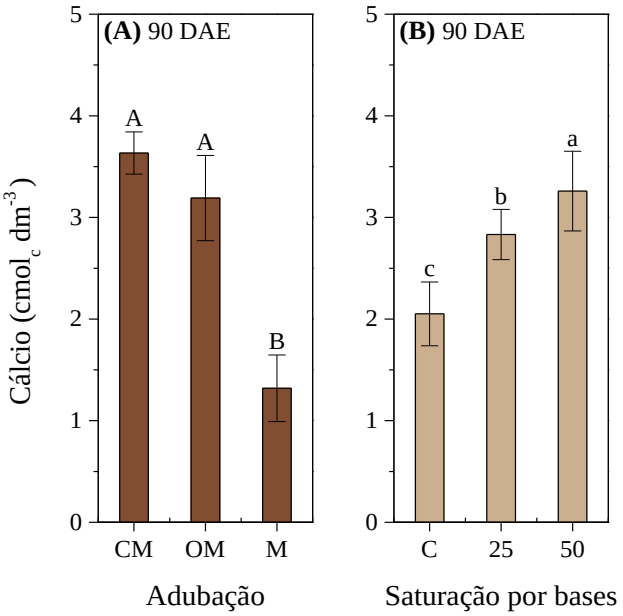

FIGURA 19. Médias do cálcio (Ca) (cmol$_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Aos 90 DAE do capim Zuri (FIGURA 19A), para a variável cálcio (Ca) não houve diferença significativa entre os tratamentos cinza de madeira e organo-mineral, mas ambos diferiram estatisticamente do tratamento mineral. Houve diferença significativa entre os tratamentos saturação por bases natural do solo (controle) e elevadas para 25% e 50% para a variável cálcio (Ca) após 90 dias de cultivo de capim Zuri (FIGURA 19B).

Os valores de Ca, foram de 3,63 e 3,19 cmol$_c$ dm^{-3}, para os tratamentos cinza de madeira e organo-mineral, respectivamente. O menor valor foi observado no tratamento mineral, 1,32

$cmol_c$ dm^{-3} (FIGURA 19A). Constata-se aumentos percentuais de, 626%, 538% e 164% no cálcio presente no solo quando adicionou os adubos cinza de madeira, organo-mineral e mineral, respectivamente, em relação ao fósforo inicial (0,5 $cmol_c$ dm^{-3}), após 90 dias de cultivo de capim Zuri.

Na figura 19B, foi observado o menor valor absoluto de Ca para o tratamento saturação por bases natural do solo (controle), 2,05 $cmol_c$ dm^{-3}. Porém, o maior valor de Ca presente no solo foi evidenciado no tratamento saturação por bases do solo de 50% (3,26 $cmol_c$ dm^{-3}), seguido do tratamento saturação por bases de 25% (2,83 $cmol_c$ dm^{-3}). Em termos percentuais, houve aumento em relação ao Ca inicial (0,5 $cmol_c$ dm^{-3}) de 310, 466 e 552% para a saturação por bases natural e as elevadas para 25 e 50%, nesta ordem.

A cinza de madeira é uma fonte rica em Ca (HOSSAIN et al., 2021). Moragues-Saitua et al. (2023) apontam que o Ca é o elemento mais presente nas cinzas de madeira, seguido pelo K, Mg e P. A cinza de madeira utilizada como fertilizante e corretivo do solo (TABELA 2) apresentou a seguinte ordem nos teores de nutrientes: Ca > Mg > K > P, diferindo da ordem registrada de Moragues-Saitua et al. (2023).

Além de aumentar o pH, o Ca no solo se encontra ao redor das raízes e reduz a capacidade de absorção de manganês (Mn) pelas plantas devido à competição por sítios de absorção (QUADROS et al., 2021).

Nas plantas o Ca é importante para a parede celular e estabilização da membrana, osmorregulação, além de permitir que regulem as respostas aos estímulos ambientais (HAWKESFORD et al., 2023).

A variável magnésio (Mg) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 20).

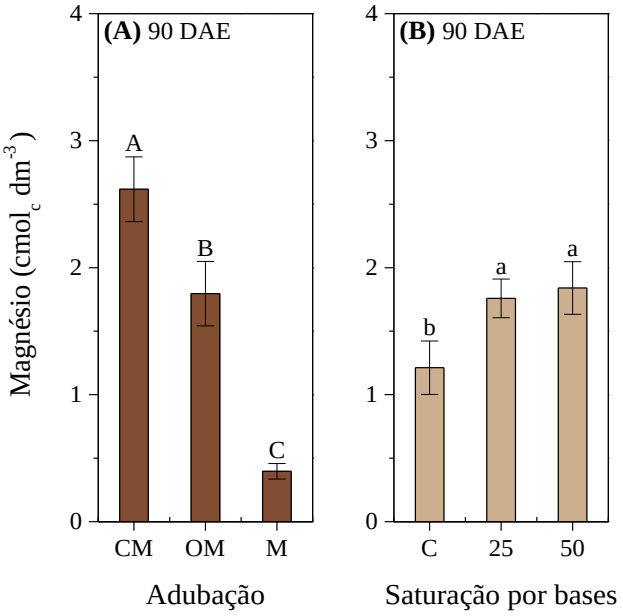

FIGURA 20. Média do magnésio (Mg) (cmol$_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Aos 90 DAE do capim Zuri (FIGURA 20A), os tipos de adubação influenciaram no magnésio (Mg) presente no solo, onde foi possível observar que a cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral. Os tratamentos cinza de madeira, organo-mineral e mineral evidenciaram valores de 2,62; 1,80 e 0,40 cmol$_c$ dm^{-3}, aumentos percentuais de 1210%, 800% e 100%, respectivamente, em relação ao Mn inicial (0,2 cmol$_c$ dm^{-3}) presente no solo.

Na figura 20B, aos 90 DAE do capim Zuri, verificou-se que o tratamento saturação por bases natural do solo diferiu estatisticamente dos tratamentos saturação por bases elevada para 25% e 50%. Porém, o tratamento saturação por bases elevada para 25% e 50% não diferiram estatisticamente entre si. Estes tratamentos apresentaram valores de Mn de 1,76 e 1,84 cmol$_c$ dm^{-3}, respectivamente, enquanto na saturação por bases natural do solo obteve o menor valor, 1,21 cmolc dm^{-3}.

A cinza de madeira é uma fonte de Mg para os solos que pode ser substituta dos adubos minerais (HOSSAIN et al., 2021). A menor disponibilidade de Mg no solo aparece em algumas condições, como em solos com baixa capacidade de troca catiônica (OLEGO et al., 2021).

Apesar da complexa competição entre Mg^{2+} e outros cátions do solo, altas concentrações de Mg na solução do solo não significa que esteja disponível para as plantas. Por exemplo, os solos ácidos têm cátions como H^+, Al^{3+} e Mn^{2+}, que causam deficiência de Mg nas plantas ao interferir na sua absorção pelas raízes (GRANSEE; FÜHRS, 2013; KUNHIKRISHNAN et al., 2016; RENGEL, 1992).

O Mg é um elemento presente na clorofila e indispensável para a fotossíntese, transporte de fotoassimilados e síntese de proteínas (HAWKESFORD et al., 2023). Além de ser o íon que faz parte central da molécula da clorofila, o Mg também é um ativador de mais de 300 enzimas (OLLÉ et al., 2022).

Xie et al. (2021), explicam que a resposta das plantas à deficiência de Mg é uma partição prejudicada de fotoassimilados entre as folhas (fonte) e as raízes (dreno), resultando no acúmulo de carboidratos nas folhas e inibição do crescimento das raízes. Ainda segundo Xie et al. (2021), esses sintomas aparecem como clorose internerval foliar com desenvolvimento de lesões cloróticas e necróticas.

4.1.4 Micronutrientes

O resumo da análise de variância para as variáveis boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em função dos tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V%) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri, encontra-se na tabela 7.

TABELA 7. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) para boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) aos 90 dias após a emergência (DAE) (3ºcorte) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	estatística F				
		B	Cu	Fe$^{\#\#}$	Mn$^{\#\#}$	Zn$^{\#\#}$
Bloco		1,14^{ns}	0,41^{ns}	0,77^{ns}	0,07^{ns}	7,15**
A		53,69***	7,09**	62,71***	3,50^{ns}	27,21***
V (%)		1,61^{ns}	3,71*	17,51***	7,09**	1,91^{ns}
A x V (%)		1,30^{ns}	0,60^{ns}	1,73^{ns}	0,44^{ns}	1,47^{ns}
Erro						
CV (%)		23,10	11,36	8,20	20,13	10,90
Média geral (mg dm^{-3})		0,31	0,21	31,07	6,29	0,54

Níveis de significância: *0,01<p<0,05; **0,001<p<0,01; ***p<0,001; ^{ns}: Diferença não significativa. $^{\#\#}$ Variável transformada por Box-Cox. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1%, 1%, 0,1% e 0,1% pelo teste F para boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e Zinco (Zn) aos 90 DAE do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%), observou-se efeito ao nível de 5%, 0,1% e 1% para cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), respectivamente. Não foi possível verificar efeito significativo para interação entre os fatores (A x V%) para boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e Zinco (Zn) aos 90 DAE, ao nível de 1% (TABELA 7).

Houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipo de adubação de forma isolada para a variável boro (B) aos 90 DAE (FIGURA 21).

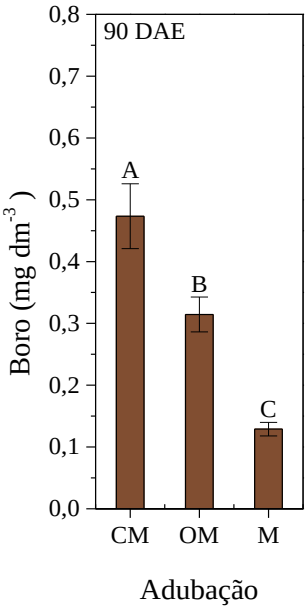

FIGURA 21. Médias do boro (B) (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Os tipos de adubação influenciaram o boro (B) presente no solo, como evidenciado aos 90 DAE (FIGURA 21) do capim Zuri. Assim, é possível observar que a cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral para a variável boro (B).

Os teores de B para os tratamentos cinza de madeira, organo-mineral e mineral foram de 0,47; 0,31 e 0,13 mg dm^{-3}, respectivamente, aos 90 DAE (FIGURA 21). O B é um dos micronutrientes presentes na cinza de madeira, explicando o teor mais elevado desse nutriente no tratamento que usou cinza de madeira.

Houve aumento percentual de 213% e 107% no B presente no solo quando se adicionou cinza de madeira e organo-mineral, enquanto para o tratamento mineral houve um decréscimo percentual de 13% em relação ao B inicial do solo (0,15 mg dm^{-3}) após 90 dias de cultivo de capim Zuri.

O boro é um micronutriente indispensável à planta, o qual é absorvido, sobretudo na forma de ácido bórico, pelas raízes. A planta absorve o B conforme a concentração dele na solução do solo, e não pela quantidade total presente no solo. O B disponível para as plantas num solo específico é regulado pelas propriedades físicas e químicas do solo, tais como o pH, a textura, a mineralogia e o teor de matéria orgânica, entre outros (SINGH; SINGH; SINGH, 2020).

O crescimento da raiz é mais sensível à deficiência de boro do que o crescimento da parte aérea. A cessação da divisão celular no meristema apical, provocada pela deficiência de boro, inibe o alongamento da raiz (BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020).

Conforme Singh; Singh; Singh, (2020), sintomas de deficiência de boro podem ser observadas nas partes vegetativas e reprodutivas, como a inibição do crescimento das pontas das raízes e brotos. Na parte aérea, costumam ocorrer em tecido meristemático, botões terminais e folhas jovens, além de causar distorções nas folhas e caules.

A variável cobre (Cu) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 22).

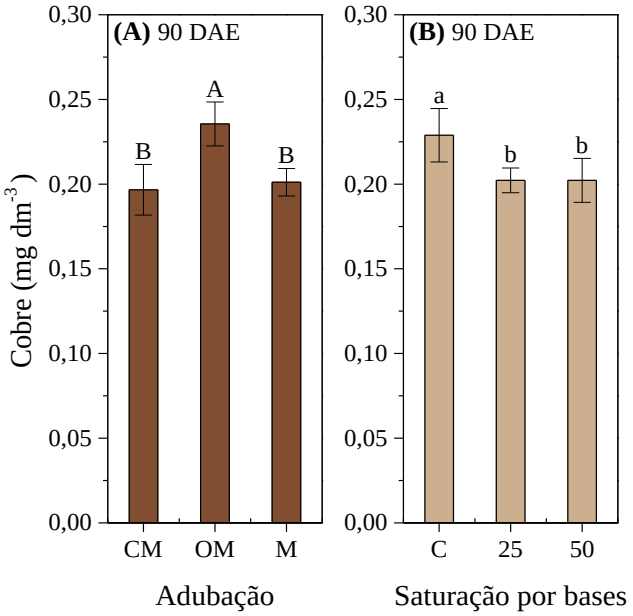

FIGURA 22. Média do cobre (Cu) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Para a variável cobre (Cu) aos 90 DAE (FIGURA 22A) do capim Zuri, o tratamento cinza de madeira não diferiu estatisticamente do tratamento mineral, no entanto, diferiu do tratamento organo-mineral. O maior valor observado para o cobre foi evidenciado no tratamento organo-mineral, 0,24 mg dm^{-3}, seguido dos tratamentos cinza de madeira e mineral, com valores de 0,20 e 0,20 mg dm^{-3} (FIGURA 22A), respectivamente.

Não houve aumentos percentuais nos teores de Cu para os tratamentos cinza de madeira e mineral em relação ao teor de Cu inicial (0,20 mg dm^{-3}) no solo, mas, quando houve a combinação de ambos (organo-mineral), o aumento percentual foi de 20%, mesmo após 90 dias de cultivo de capim Zuri mediante a cortes consecutivos.

Na figura 22B, observa-se que o tratamento saturação por bases natural do solo diferiu estatisticamente dos tratamentos saturação por bases elevada para 25% e 50%, porém, os tratamentos saturação por bases de 25% e 50% não apresentaram diferença significativa entre si. Os teores de Cu foram de 0,23 mg dm^{-3} para a saturação por bases natural do solo e 0,20 mg dm^{-3} para a saturação por bases elevadas para 25 e 50%. Apenas houve aumento percentual em comparação ao teor original de Cu (0,20 mg dm^{-3}) para o tratamento saturação por bases natural do solo, 15%.

O cobre é um micronutriente necessário para o crescimento das plantas e está associado a processos fisiológicos e bioquímicos. Como a fitodisponibilidade de Cu é geralmente baixa em condições naturais e é altamente específica da planta, a eficiência de reabsorção de Cu pela planta é alta (PENG et al., 2023).

A solubilidade do cobre (Cu) em diversos tipos de solo demonstra um rápido aumento inicial na concentração da solução, seguido de uma diminuição gradativa para níveis próximos aos originais, com exceção para os maiores níveis de adição (CRUZ et al., 2017). Segundo estes mesmos autores, esse comportamento é provavelmente uma liberação inicial da quelação por carbono orgânico dissolvido nos solos, seguida de uma reabsorção ao aumentar o pH.

A variável ferro (Fe) aos 90 DAE do capim Zuri, apresentou diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases de forma isolada (FIGURA 23).

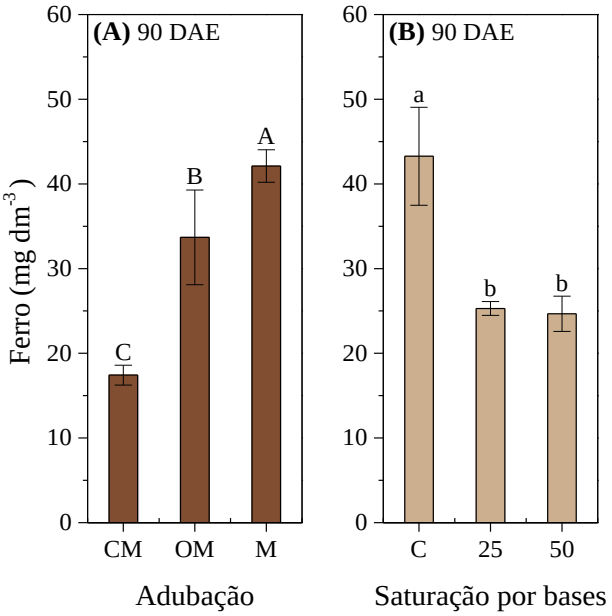

FIGURA 23. Média do ferro (Fe) ($cmol_c$ dm^{-3}) em função dos diferentes tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (B) aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Em relação aos tipos de adubação, no 3º corte, ocorrido aos 90 DAE (FIGURA 23A), observou-se que o tratamento cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral.

A variável ferro (Fe) teve a maior concentração nos tratamentos com adubo mineral (42,11 mg dm^{-3}), seguido pelos tratamentos organo-mineral (33,69 mg dm^{-3}) e cinza de madeira (17,42 mg dm^{-3}). Pode-se notar também que, em relação aos tratamentos organo-mineral e mineral, houve uma queda nos teores de Cu de 59% e 48%, respectivamente, no que diz respeito ao tratamento cinza de madeira. Houve uma queda percentual no teor de ferro inicial (64,0 mg dm^{-3}) presente no solo de 73; 47 e 34% para cinza de madeira, organo-mineral e mineral, respectivamente.

Aos 90 DAE para a variável Fe (FIGURA 23B), nota-se que o tratamento saturação por bases elevada para 25% não diferiu estatisticamente do tratamento saturação por bases elevada para 50%, no entanto, apresentou diferença em relação ao tratamento saturação por bases natural do solo. O maior valor absoluto para o Fe foi observado no tratamento saturação por bases natural do solo, 43,27 mg dm^{-3}, seguido dos tratamentos saturação por bases do solo elevadas para 25% e 50%, com valores de 25,29 e 24,67 mg dm^{-3}, respectivamente.

Houve também quedas percentuais no teor inicial de Fe (64,0 mg dm^{-3}) no solo ao analisar os efeitos do fator nível de saturação por bases de forma isolada, sendo: 32% (natural do solo), 60% (elevada para 25%) e 61% (elevada para 50%).

O Fe é importante para diversos processos metabólicos (por exemplo, fotossíntese, respiração e síntese de DNA), sendo, portanto, um micronutriente necessário para a maioria das plantas. Portanto, a deficiência de Fe solúvel no solo geralmente estimula a clorose da planta (PENG et al., 2023).

Nas plantas, o ferro também é necessário para a fotossíntese e síntese de clorofila. A absorção insuficiente de Fe causa crescimento retardado, clorose internerval e redução do condicionamento físico (SCHMIDT; THOMINE; BUCKHOUT, 2020).

Houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator nível de saturação por bases de forma isolada para a variável manganês (Mn) aos 90 DAE (FIGURA 24).

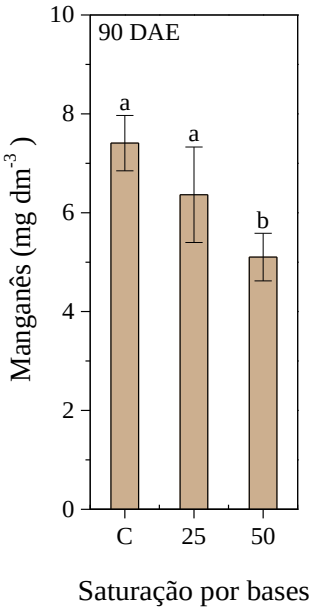

FIGURA 24. Médias do manganês (Mn) (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator nível de saturação por bases aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Após 90 DAE do capim Zuri (FIGURA 24), não houve diferença significativa entre os tratamentos saturação por bases natural do solo (controle) e saturação por bases elevada para 25%, no entanto, ambos diferiam do tratamento saturação por bases elevada para 50% para a variável manganês (Mn). Os teores de manganês foram de 7,41; 6,36 e 5,10 mg dm^{-3} para os tratamentos saturação por bases natural do solo e elevadas para 25 e 50%, respectivamente.

Em relação ao Mn inicial (21,8 mg dm^{-3}) no solo após 90 dias de cultivo de capim Zuri mediante a cortes sucessivos, houve decréscimo percentual de 66% na saturação por bases natural do solo, 71% na saturação por bases elevada para 25% e 77% na saturação por bases elevada para 50%.

O manganês é um micronutriente importante para o crescimento e desenvolvimento da planta e sustenta papéis metabólicos dentro de diferentes compartimentos da planta. É necessário em pequenas quantidades pelas plantas, mas tão importante para o crescimento quanto os outros nutrientes (ALEJANDRO et al., 2020).

Alejandro et al. (2020), acrescentam que a deficiência de Mn nas plantas prejudica o crescimento, reduz a biomassa, causa clorose internerval nas folhas e, nas raízes, aumenta a frequência de pelos radiculares. Em casos severos, as pontas das raízes podem desenvolver necrose.

O problema da toxicidade do Mn ocorre frequentemente quando o pH do solo é 5,5 ou inferior. A acidez dos solos é, muitas vezes, apontada como uma das principais causas para a queda na produtividade agrícola mundial (SKÓRKA; SIEPRAWSKA; TELK, 2022).

A toxicidade do Mn decorre, principalmente, das suas interações com outros elementos minerais, particularmente com o fósforo (P), cálcio (Ca) e ferro (Fe). Aplicação de P ou Ca pode ser benéfica na desintoxicação do manganês, enquanto o Mn interfere no metabolismo do Fe (XU et al., 2023). Além disso, níveis adequados de Ca e Mg podem atuar como amortecedores para combater problemas de produtividade sob condições de alto teor de Mn (QUADROS et al., 2021). Diante disso, tratamento com aplicação de cinza de madeira como são ricos em Ca, atuam como atenuantes da toxicidade do Mn quando adicionados ao solo.

Houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipo de adubação de forma isolada para a variável zinco (Zn) aos 90 DAE (FIGURA 25).

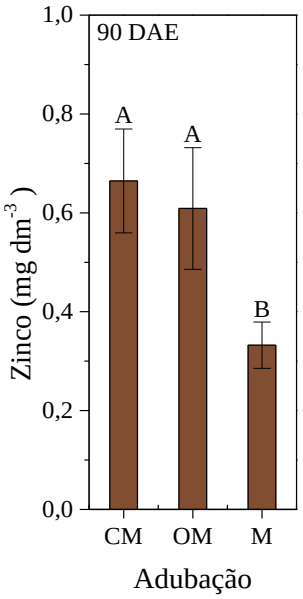

FIGURA 25. Médias do zinco (Zn) (mg dm^{-3}) presente no solo para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

No que diz respeito aos tipos de adubação, para a variável zinco (Zn) aos 90 DAE (FIGURA 25), o tratamento cinza de madeira não se diferenciou estatisticamente do tratamento organo-mineral, mas ambos apresentaram diferença em relação ao tratamento com adubo mineral.

Os teores de zinco para os tratamentos cinza de madeira, organo-mineral e mineral, foram de 0,66; 0,61 e 0,33 mg dm^{-3}, respectivamente (FIGURA 25). A cinza de madeira proporciona aumento de Zn em 2 vezes em relação ao adubo mineral. Além disso, observou-se que houve queda percentual de 6% no teor de Zn do solo no tratamento cinza de madeira, de 13% no tratamento organo-mineral e de 53% no tratamento mineral em comparação com os valores iniciais (0,70 mg dm^{-3}).

Conforme apontado por Cruz et al. (2017), a solubilidade do zinco (Zn) nos solos está diretamente relacionada com o pH: quanto maior o pH, menor a solubilidade do Zn. A cinza de madeira, sozinha ou misturada ao adubo mineral, elevou o pH e, dessa forma, a afirmação de Cruz et al. (2017) pôde ser verificada, onde os teores de Zn presente no solo após 90 dias de cultivo foram maiores para o tratamento cinza de madeira e organo-mineral (FIGURA 25).

A cinza de madeira possui o micronutriente Zn em sua constituição (TABELA 2), fator que proporcionou maiores teores deste elemento nos tratamentos cinza de madeira e organo-mineral. O zinco é um nutriente que as plantas requerem em pequenas quantidades para seu desenvolvimento e crescimento.

No solo, o Zn é encontrado predominantemente na forma cristalina em minerais de ferro-magnésio, cono o sulfeto (ZnS). As raízes geralmente absorvem zinco como íons Zn^{2+}, exceto em pH elevado, onde é absorvido como hidróxido de zinco (ZnOH) (BALAFREJ et al., 2020).

O Zn é imóvel nas plantas, então os sintomas de deficiência ocorrem primeiro nas folhas novas das plantas porque ele não pode ser movido das folhas mais velhas para as mais novas. O crescimento atrofiado (TAYYIBA et al., 2021), folhas com tamanhos reduzidos, clorose das folhas e esterilidade das espiguetas são efeitos causados pela deficiência de zinco (GONDAL et al., 2021; HACISALIHOGLU, 2020).

A deficiência de zinco surge principalmente devido à baixa disponibilidade de Zn e/ou alta fixação de Zn. O problema da deficiência de Zn também é comum em solos tropicais devido ao intemperismo extremo do solo e ao enriquecimento do solo com alto teor de fósforo disponível (NATASHA et al., 2022).

Nas plantas, a toxicidade do Zn aumenta com a sua biodisponibilidade. Este último depende de diferentes fatores, como pH, exsudato radicular, comunidades microbianas e matéria orgânica do solo, que limitam ou promovem sua biodisponibilidade (BALAFREJ et al., 2020; KWON et al., 2017).

Em análise geral das variáveis química do solo, pôde-se observar que a cinza de madeira, por si só, ou combinada com adubo mineral, proporcionou melhorias nas propriedades químicas do solo e como consequência maior rendimento em relação ao adubo mineral no cultivo do capim Zuri.

4.2 Fitométricas

4.2.1 Altura de plantas

O resumo da análise de variância para altura de plantas (AP) do capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após a emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 8.

TABELA 8. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na altura de plantas (AP) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		AP 30 DAE	AP 60 DAE	AP 90 DAE
Bloco	3	$0,24^{ns}$	$0,53^{ns}$	$1,72^{ns}$
A	2	$38,19^{***}$	$1,60^{ns}$	$3,45^{*}$
V (%)	2	$0,26^{ns}$	$0,16^{ns}$	$1,73^{ns}$
A x V (%)	4	$0,34^{ns}$	$3,08^{*}$	$0,63^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		5,7	9,85	10,89
Média geral (cm)		94,10	115,13	82,91

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.

Verifica-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% e 1% pelo teste F para a variável altura de plantas aos 30 e 90 dias após a emergência (DAE) do *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. Não houve efeito do fator nível de saturação por bases (V%) nos períodos estudados. Observa-se, ainda, que houve interação entre os fatores (A x V %), ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F aos 60 DAE (TABELA 8).

Para a variável altura de plantas aos 30 (1º corte) e 90 (3º corte) DAE, houve diferença entre os tipos de adubação ao nível de significância de 5% pelo teste de Scott-Knott. A análise de desdobramento do fator adubação dentro do fator nível de saturação por bases para a variável altura de plantas aos 60 DAE (2º corte), foi significativa pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% (FIGURA 26 e 27).

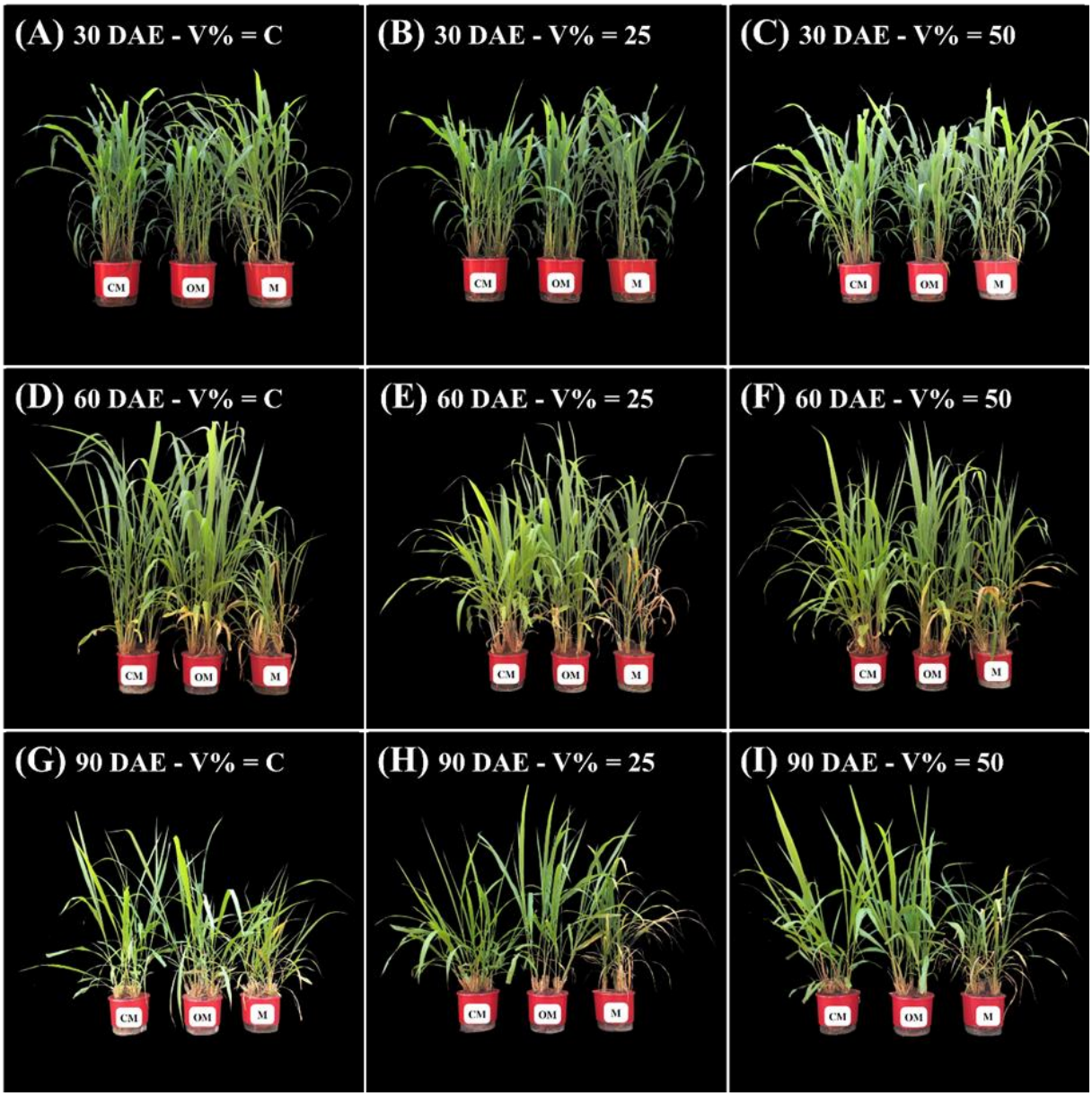

FIGURA 26. Desenvolvimento do capim Zuri cultivado em vasos autoirrigáveis aos 30 (A, B e C) 60 (D, E e F) e 90 (G, H e I) dias após a emergência, submetido a tipos de adubação (cinza de madeira (CM), organo-mineral (OM) e mineral (M)) associadas a nível de saturação por bases (V%: C (controle - natural do solo) e elevadas para 25% e 50%).

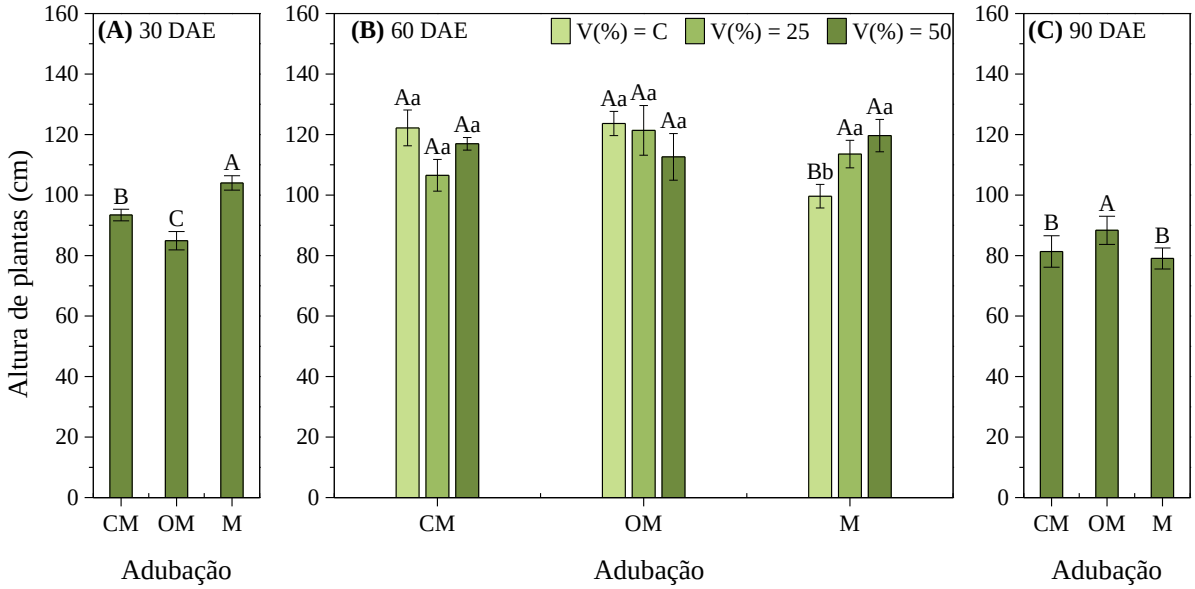

FIGURA 27. Médias da altura de plantas (AP) (cm) para o fator tipos de adubação aos 30 e 90 dias após emergência (DAE) (1º e 3º cortes) (A e C) e interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 60 DAE (2º corte) (B) do capim Zuri.

Em relação à adubação, aos 30 DAE (FIGURA 27A), o adubo mineral foi o que proporcionou a maior altura de plantas, 104,0 cm, seguido pelo tratamento cinza de madeira e organo-mineral, com alturas de 93,4 e 84,9 cm, respectivamente.

A maior altura evidenciada na adubação exclusivamente mineral é devida à rápida disponibilização de nutrientes na solução do solo para as plantas. Já a menor altura foi notada em tratamentos com adubo organo-mineral, cuja disponibilidade de nutrientes para as plantas ocorre de maneira gradual. Kominko; Gorazda; Wzorek (2017), explicam que a decomposição e mineralização lenta dos compostos orgânicos fornecem nutrientes para as plantas gradualmente durante o período inicial de crescimento, enquanto a fração mineral disponibiliza nutrientes de forma mais rápida, atendendo as demandas imediatas da cultura.

Ao analisar os tipos de adubação dentro do nível de saturação por bases (V%), observou-se que não houve diferença estatística da cinza de madeira quando comparada ao adubo organo-mineral, mas apresentou diferença para o tratamento com adubo mineral, aos 60 DAE (FIGURA 27B).

Como se pode notar (FIGURA 27B), a cinza de madeira e o organo-mineral foram os tipos de adubos que resultaram nos maiores valores em termos absolutos para a variável altura de plantas em combinação com o nível de saturação por bases natural do solo 122,2 e 123,7 cm, respectivamente. No tratamento com adubo mineral a maior altura (119,7 cm) foi evidenciada quando a saturação por bases foi elevada para 50%. Sendo assim, para altura de plantas não é necessário fazer calagem quando a adubação for com cinza de madeira ou organo-mineral, já

que a saturação por bases natural do solo foi estatisticamente igual à saturação por bases elevada para 50%.

Nos 60 DAE, foi possível observar o efeito da solubilização lenta e gradual da cinza de madeira e do organo-mineral, sendo registrados os maiores valores para ambos, quando comparados à adubação mineral (FIGURA 27B).

Todas as adubações influenciaram o capim Zuri, mas, a mistura da cinza de madeira com o adubo mineral (organo-mineral), proporcionou a maior altura de plantas aos 90 DAE (FIGURA 27C), 88,3 cm, o que foi estatisticamente diferente das adubações com cinza de madeira e mineral, usadas independentemente. Após 90 DAE da aplicação da adubação organo-mineral, foram verificados efeitos a longo prazo, o que favoreceu ambiente adequado para o desenvolvimento do capim Zuri, que evidenciou maior altura de planta (FIGURA 27C).

Bedaso et al. (2022), ao avaliarem a resposta de pastagens naturais degradadas cultivadas em duas regiões da Etiópia submetidas à aplicação de diferentes tipos de fertilizantes, após 65 dias de crescimento, registraram a maior altura de plantas com adubação química (72,6 cm), seguido de esterco (62,4 cm), cinza de madeira (61,9 cm) e aplicações de calcário (59,0 cm), enfatizando que a aplicação de adubo mineral favoreceu o crescimento da pastagem.

Bezerra et al. (2019) utilizando capim Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás), em região de Cerrado no estado de Mato Grosso, obteve alturas entre 53,55 e 55,48 cm aos 30 e 60 dias após a rebrota do capim, quando aplicou cinza de madeira como fertilizante. Simeon (2020) registrou a maior altura de plantas (90,78 cm) utilizando o mesmo capim quando incorporou cinza de madeira em Latossolo Vermelho, na dose de 26,62 t ha^{-1} aos 90 dias após a implantação da pastagem.

A adubação feita com a cinza de madeira pode ser responsável pelo aumento da altura da planta, uma vez que um dos macronutrientes mais presentes nesse resíduo sólido é o potássio em forma de K_2O (TABELA 2), determinante para o processo de fotossíntese, tendo um papel fundamental na resistência da planta em relação a algumas doenças e é responsável pela regulagem osmótica da planta, em que se permite que a planta utilize a água eficientemente (RODRIGUES et al., 2008; SIMEON, 2020).

O fósforo, é responsável pelo armazenamento e transferência de energia como a glicose, frutose e ATP (KERBAUY, 2005; TAIZ et al., 2017). Essas substâncias são importantes no desenvolvimento e estabelecimento das gramíneas (BEZERRA, 2018). Dessa forma, adubos que possuem em sua constituição cinza de madeira, ou cinza de madeira pura, são alternativas como fertilizante e corretivo do solo para o cultivo de capim Zuri.

Quanto maior a altura de plantas forrageiras, para os animais, significa maior quantidade de biomassa disponível. Também considerada característica estrutural, é importante para um manejo adequado das plantas forrageiras (GARAY; MATTHEW; HODGSON, 1997; SIMEON, 2020), pois indica o momento em que os animais devem entrar ou sair da área (BEZERRA et al., 2019).

Bezerra (2018) complementa que em pastos com menores alturas, há uma maior incidência de luz na base das plantas, estimulado o perfilhamento da gramínea. Além disso, há um aumento na porcentagem de folhas vivas, tornando a forragem mais nutritiva. A altura das plantas e o diâmetro de colmos são determinantes para o sucesso produtivo das pastagens, uma vez que influenciam na quantidade de massa produzida (KIRCHNER et al., 2020).

4.2.2 Diâmetro de colmo

O resumo da análise de variância para o diâmetro de colmo (DC) de capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após a emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 9.

TABELA 9. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no diâmetro de colmo (DC) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		DC 30 DAE	DC 60 DAE	DC 90 DAE
Bloco	3	$1,45^{ns}$	$4,05^{*}$	$0,51^{ns}$
A	2	$6,72^{**}$	$43,06^{***}$	$12,17^{***}$
V (%)	2	$1,61^{ns}$	$1,35^{ns}$	$0,53^{ns}$
A x V (%)	4	$0,02^{ns}$	$2,98^{*}$	$0,21^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		9,66	11,29	20,93
Média geral (mm)		4,91	3,63	3,68

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.

O fator adubação (A) influenciou significativamente ao nível de 1; 0,1 e 0,1% pelo teste F para diâmetro de colmo (DC) aos 30; 60 e 90 DAE, 1º; 2º e 3º corte, respectivamente. O teste F não revelou efeito significativo do fator nível de saturação por bases (V%) nas épocas estudadas para o diâmetro de colmo. A interação entre os fatores (A) x (V%) foi significativa ao nível de 5% pelo teste F, aos 60 DAE (TABELA 9).

Verificou-se diferença estatística significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para a variável diâmetro de colmo aos 30 e 90 DAE, considerando-se o fator tipo adubação. Aos 60 DAE a análise de desdobramento do fator adubação dentro do fator nível de saturação por bases para a variável diâmetro de colmo também foi significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott (FIGURA 28).

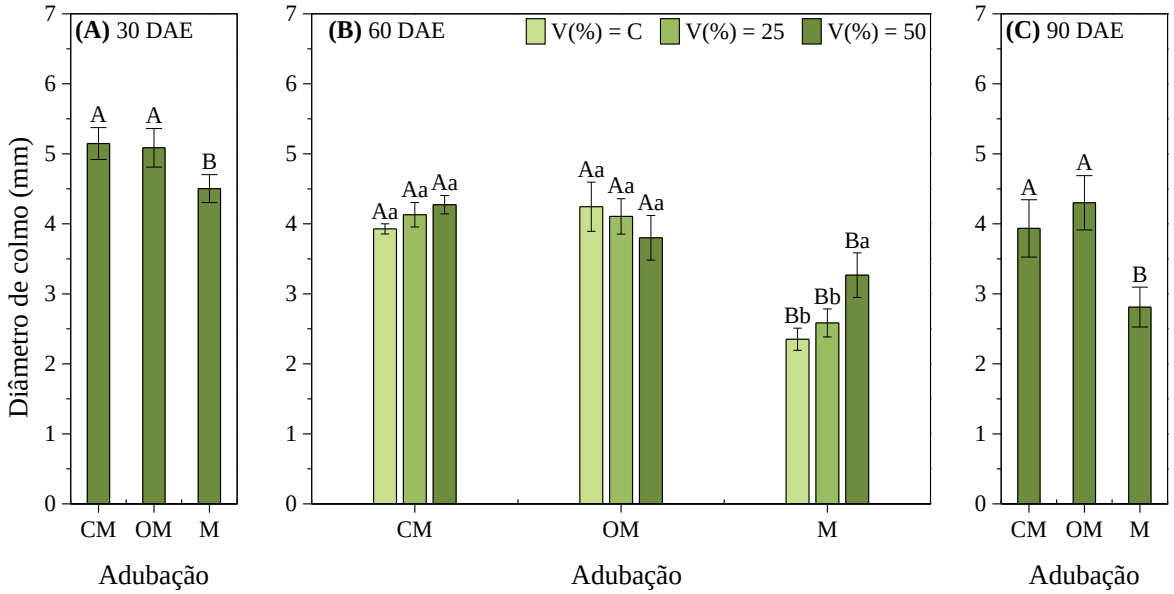

FIGURA 28. Médias do diâmetro de colmo (AP) (mm) para o fator tipos de adubação aos 30 e 90 dias após emergência (DAE) (1º e 3º cortes) (A e C) e interação entre os fatores tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 60 DAE (2º corte) (B) do capim Zuri.

Observou-se que, aos 30 DAE, os tratamentos com cinzas de madeira não apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação ao organo-mineral, mas diferiu do tratamento com adubo mineral. Os diâmetros absolutos de colmo para cinza de madeira e organo-mineral foram 5,15 e 5,09 mm, respectivamente, valores estes inferiores (5,80 mm) ao registrado por Jank; Santos; Braga (2022) em ensaios regionais nos biomas Cerrado e Amazônia. Já o tratamento com adubação mineral evidenciou diâmetro de colmo de 4,50 mm (FIGURA 28A).

Ao se analisar os tipos de adubação dentro do nível de saturação por bases (V%), notou-se que a cinza de madeira não se diferenciou estatisticamente do tratamento com organo-mineral, mas apresentou diferença em relação ao tratamento com adubo mineral, aos 60 DAE (FIGURA 28B).

A cinza de madeira e o adubo organo-mineral são os tipos de adubos que, combinados ao nível de saturação por bases de 50% e a natural do solo, resultaram nos maiores valores absolutos de diâmetro de colmo, 4,27 e 4,24 mm, respectivamente. Já no tratamento com adubo

mineral o maior diâmetro de colmo (3,27 mm), foi observado quando a saturação por bases foi elevada para 50% (FIGURA 28B). Diante deste resultado, é possível inferir que, adubos que possuem cinza de madeira em sua constituição, podem ser utilizados em substituição ao calcário para elevar a saturação por bases do solo, visto que, quando se compara a saturação por bases natural do solo no tratamento com cinza ou organo-mineral com a elevada para 50% na mesma combinação com cinzas, não há diferença entre eles. Dessa forma, adubos com cinza de madeira em sua constituição podem ajudar o produtor a economizar e produzir de forma satisfatória.

Após 90 DAE da aplicação dos tratamentos, não foi observado diferença estatisticamente significativa entre a cinza de madeira e o organo-mineral, no entanto, houve diferença significativa em relação ao adubo mineral. Os diâmetros de colmo foram 3,93 mm para cinza de madeira, 4,30 mm para organo-mineral e o menor valor, 2,81 mm, para o tratamento com adubação mineral (FIGURA 28C).

Foi possível observar aos 90 DAE (FIGURA 28C) que a cinza de madeira e o adubo organo-mineral teve efeito positivo a longo prazo, devido à disponibilização gradual dos nutrientes para as plantas.

O uso de fertilizantes organo-minerais propicia a disponibilidade de fonte de nutrientes de baixo custo, reduzindo os custos de importação (SARITHA et al., 2021), pois agregam nutrientes ao solo ao mesmo tempo que potencializam a eficiência dos fertilizantes minerais aplicados (CRUSCIOL et al., 2020).

Em todas as épocas estudas (FIGURA 28A; B e C), os adubos que possuem a cinza de madeira em sua composição apresentaram os maiores valores para diâmetro de colmo, isso porque a cinza de madeira possui elevada concentração de macro e micronutrientes que reagem de forma favorável ao desenvolvimento das plantas (TABELA 2).

O potássio ativa enzimas e regula hormônios que controlam o crescimento vegetativo, como auxinas, citocinina, giberelina, ácido abscísico e etileno (TAIZ et al., 2017). O potássio contribui para o aumento do diâmetro do colmo, conferindo-lhe maior espessura, reduzindo as perdas em termos de produtividade e qualidade decorrentes de acamamento (ANICÉSIO et al., 2018; BONFIM-SILVA et al., 2016).

De acordo com Carvalho et al. (2016), o potássio está ligado ao nitrogênio no metabolismo das plantas, sendo imprescindível que esteja em níveis adequados para a planta poder aproveitar o nitrogênio de maneira mais eficiente e, consequentemente, se desenvolver melhor.

O colmo é a estrutura de sustentação da planta e, para manter o peso das folhas, o diâmetro do colmo se altera na mesma proporção (BEZERRA et al., 2019). De acordo com Kirchner et

al. (2020), quanto maior o diâmetro de colmo, mais folhas haverá na arquitetura da planta, portanto, mais área fotossinteticamente ativa que será convertida em alimento para os animais ofertados via corte ou pastejo direto (TAIZ et al., 2017).

4.2.3 Número de folhas

O resumo da análise de variância para número de folhas (NF) de capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 10.

TABELA 10. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no número de folhas (NF) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		NF 30 DAE	NF 60 DAE	NF 90 DAE
Bloco	3	$0,30^{ns}$	$0,47^{ns}$	$0,55^{ns}$
A	2	$11,87^{**}$	$8,65^{**}$	$2,66^{ns}$
V (%)	2	$0,80^{ns}$	$0,46^{ns}$	$1,44^{ns}$
A x V (%)	4	$0,29^{ns}$	$0,94^{ns}$	$1,61^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		16,12	19,48	22,67
Média geral		82,86	64,11	59,11

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

Os tipos de adubação (A) aplicados aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE) das plantas de capim Zuri evidenciaram efeito isolado ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F para a variável número de folhas. Não houve efeito significativo do fator nível de saturação por bases (V %), assim como também não houve interação entre tipos de adubação e nível de saturação por bases nas diferentes épocas estudadas (TABELA 10).

Houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipo de adubação de forma isolada para a variável número de folhas (NF) aos 30 e 60 DAE (FIGURA 29).

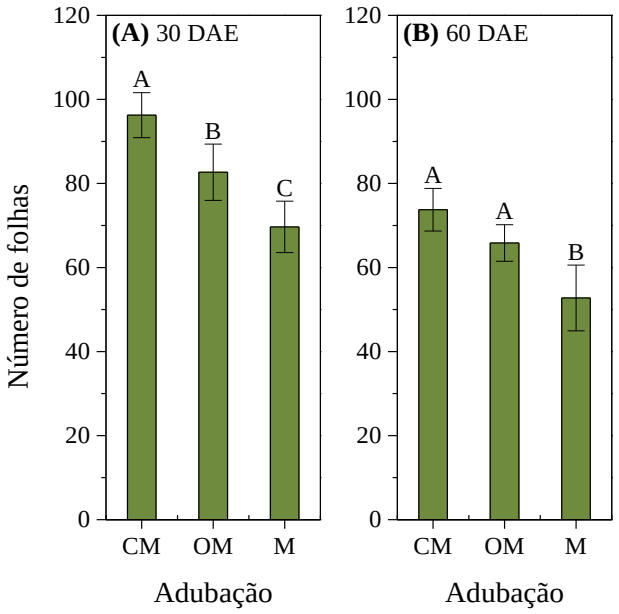

FIGURA 29. Médias do número de folhas (NF) para o fator tipos de adubação aos 30 e 60 dias após emergência (DAE) (1º e 2º cortes) (A e B) do capim Zuri.

No primeiro corte, ocorrido aos 30 DAE do capim Zuri (FIGURA 29A), o tratamento que obteve o maior número de folhas foi o composto por cinza de madeira, com 96 folhas, diferenciando-se significativamente dos tratamentos organo-mineral e mineral, que apresentaram menores valores (83 e 70 folhas).

Aos 60 DAE (FIGURA 29B), não houve diferença significativa entre os tratamentos cinza de madeira e organo-mineral, com valores de 74 e 66 folhas, respectivamente, mas ambos diferiram significativamente do tratamento mineral, com valor de 53 folhas, ou seja, houve redução de 28,4% quando comparado ao tratamento cinza de madeira e, 19,7% quando comparado ao tratamento organo-mineral.

A formação e o desenvolvimento das folhas favorecem o crescimento da forragem, uma vez que representam parte do tecido fotossintético ativo (RODRIGUES et al., 2008), onde é capturada uma grande parte da energia luminosa utilizada para a produção de fotoassimilados à planta, ou seja, quanto maior o número de folhas, maior será a área de absorção de energia solar (BONFIM-SILVA et al., 2020a; MENEGHETTI, 2022). Folhas são importantes para o índice de área foliar e a produção de massa fresca e seca da parte área, constituindo-se em material de grande valor nutritivo para os ruminantes (ALEXANDRINO et al., 2004). Cabe evidenciar que quanto mais folhas, maior será a produtividade de capim por área de pastejo.

4.2.4 Número de perfilhos

O resumo da análise de variância para número de perfilhos (NP) de capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 11.

TABELA 11. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no número de perfilhos (NP) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		NP 30 DAE	NP 60 DAE	NP 90 DAE
Bloco	3	$2,22^{ns}$	$1,31^{ns}$	$1,92^{ns}$
A	2	$12,69^{***}$	$0,70^{ns}$	$0,43^{ns}$
V (%)	2	$0,98^{ns}$	$1,47^{ns}$	$0,60^{ns}$
A x V (%)	4	$0,33^{ns}$	$2,03^{ns}$	$0,77^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		21,02	19,23	24,89
Média geral		23,36	21,17	20,36

Níveis de significância: $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Verificou-se efeito isolado para os tipos de adubação (A) somente aos aplicados aos 30 dias após a emergência das plantas de capim Zuri ao nível de 0,1% de probabilidade pelo teste F. Não houve diferença estatística para o fator nível de saturação por bases (V %), assim como também não houve interação entre tipos de adubação e nível de saturação por bases em todas as épocas estudadas (TABELA 11).

Houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipo de adubação de forma isolada para a variável número de perfilhos (NP) aos 30 DAE (FIGURA 30).

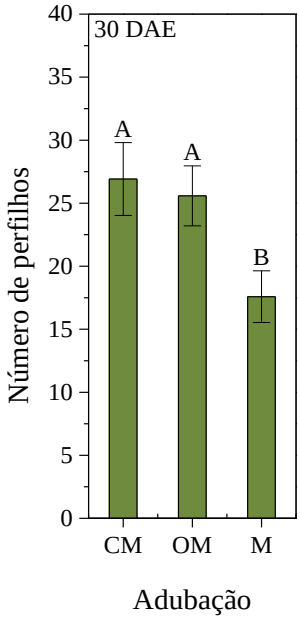

FIGURA 30. Médias do número de perfilhos (NP) para o fator tipos de adubação aos 30 dias após emergência (DAE) (1º corte) do capim Zuri.

No que diz respeito aos tipos de adubação, para o número de perfilhos aos 30 DAE (FIGURA 30), é possível notar que a cinza de madeira não se diferenciou estatisticamente do tratamento organo-mineral, mas ambos apresentaram diferença em relação ao tratamento com adubo mineral.

Os maiores valores absolutos observados para número de perfilhos para a cinza de madeira e organo-mineral foram de 27 e 26. No tratamento para o adubo mineral, a quantidade de perfilhos por vaso foi de 18, uma redução em termos percentuais da ordem de 33,3 e 30,8%, fato este que implica diretamente na quantidade forragem disponível para alimentar os rebanhos.

Observa-se ainda que o aumento no número de perfilhos, em função da adubação com cinza de madeira e organo-mineral, pode estar associado às características químicas da cinza de madeira, que contém fósforo (TABELA 2). Este fósforo pode ter sido bem aproveitado pelas plantas para aumentar o número de perfilhos nos primeiros 30 DAE.

Moretti Neto (2020), ao estudar o cultivo de capim Massai (*Panicum maximum* cv. Massai), aplicando cinco doses de cinza de eucalipto (0; 10,30; 20,60; 30,75 e 41,35 t ha^{-1}) em solo classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico, encontrou que a aplicação da menor dose de cinza (10,30 t ha^{-1}) no primeiro corte, promoveu ganhos de 29,7% no número de perfilhos ao comparar com os tratamentos que receberam a calagem isolada. No entanto, também observou que a cinza de eucalipto isolada aumentou o perfilhamento, mas decaiu com

o aumento das doses, enquanto a calagem com cinza aumentou o perfilhamento no primeiro corte.

De acordo com Almeida et al. (2022), a maior altura de plantas é compensada com menor perfilhamento. Por esta razão o capim Zuri apresentou a maior altura e o menor número de perfilhos para tratamentos com adubo mineral aos 30 DAE. De acordo com Sartie; Easton; Matthew (2009) há uma relação inversa entre o número de perfilhos e a altura das plantas, pois quanto mais alta, menor a quantidade de luz que atinge a base do dossel, logo, há um estímulo menor para o perfilhamento. Isto, pode ser observado nas figuras, 26A, 26B e 26C.

Os cortes promovem o crescimento de perfilhos, uma vez que, ao desfolhar as forragens, são ativados mecanismos de crescimento compensatório, como a translocação de carboidratos armazenados na raiz para as folhas, e meristemas promotores de crescimento (CASAGRANDE et al., 2010; ESPINOZA, 2023; FERRARO; OESTERHELD, 2002). Segundo Ferraro; Oesterheld (2002) esta resposta é conhecida como rebrota (FIGURA 31) compensatória porque as plantas desfolhadas compensam parcial ou totalmente a remoção de biomassa.

FIGURA 31. Rebrota do capim Zuri em unidades experimentais em casa de vegetação um dia após o 1º corte.

O perfilhamento nas gramíneas forrageiras contribui para a adaptação às diversas condições de ambiente, incluindo as estratégias de manejo, conferindo à planta a plasticidade fenotípica. As estratégias de manejo devem garantir equilíbrio entre a demanda de forragem e sua oferta aos animais, assim como manter a sustentabilidade da pastagem. Dessa forma, o número de perfilhos é utilizado frequentemente como indicador de vigor ou persistência da

gramínea na pastagem (SANTOS et al., 2009). Os perfilhos surgem, crescem e morrem em taxas diferentes conforme o ambiente e o estádio de desenvolvimento. (GARAY; MATTHEW; HODGSON, 1997).

4.2.5 Área foliar

O resumo da análise de variância para área foliar (AF) de capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após a emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 12.

TABELA 12. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na área foliar (AF) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		AF 30 DAE	AF 60 DAE	AF 90 DAE
Bloco	3	$0,64^{ns}$	$1,35^{ns}$	$1,04^{ns}$
A	2	$19,01^{***}$	$48,46^{***}$	$19,07^{***}$
V (%)	2	$0,50^{ns}$	$2,51^{ns}$	$0,22^{ns}$
A x V (%)	4	$0,45^{ns}$	$1,01^{ns}$	$0,58^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		16,33	16,71	24,6
Média geral (cm^2 $vaso^{-1}$)		3156,97	3731,31	1753,46

Níveis de significância: $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para área foliar em todas as épocas de avaliação aos 30 (1º corte), 60 (2º corte) e 90 (3º corte) dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. Não houve diferença estatística para o fator nível de saturação por bases (V %), assim como também não houve interação entre tipos de adubação e nível de saturação por bases em todas as épocas estudadas (TABELA 12).

Quando se analisou a variável área foliar aos 30, 60 e 90 DAE do capim Zuri, houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para o fator tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 32).

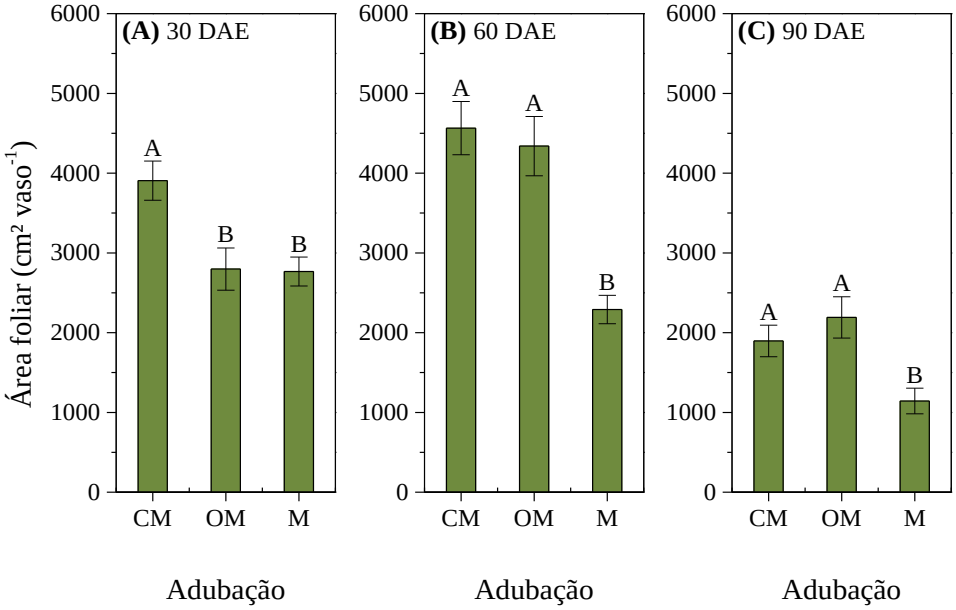

FIGURA 32. Médias da área foliar (AF) (cm² vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE) (1º; 2º e 3º cortes) (A; B e C) do capim Zuri.

Aos 30 DAE na área foliar do capim Zuri (FIGURA 32A), nota-se que o organo-mineral não se mostrou estatisticamente diferente do tratamento com mineral, no entanto, apresentou diferença em relação ao tratamento composto por cinza de madeira. O maior valor absoluto para área foliar foi observado no tratamento com cinza de madeira, 3906,3 cm² vaso^{-1}, seguido dos tratamentos organo-mineral, mineral, com valores de 2797,8 e 2766,8 cm² vaso^{-1}, respectivamente.

Observa-se que, aos 60 e 90 DAE (FIGURA 32B e C), os tratamentos com cinza de madeira não apresentaram diferença significativa em relação ao organo-mineral, mas diferiram da adubação mineral. A área foliar do capim Zuri que receberam adubação com cinza de madeira e organo-mineral foi de 4564,5 e 4338,8 cm² vaso^{-1} aos 60 DAE (FIGURA 32B) e 1896,3 e 2191,2 cm² vaso^{-1} aos 90 DAE (FIGURA 32C), respectivamente. Já nos tratamentos com adubação mineral, os valores observados foram 2290,6 cm² vaso^{-1} (60 DAE) e 1142,9 cm² vaso^{-1} (90 DAE).

Avaliando de maneira geral os três períodos estudados, observa-se que a cinza de madeira usada de forma isolada ou em combinação com adubo mineral proporcionou os maiores valores de área foliar no cultivo de capim Zuri. A cinza de madeira usada neste trabalho possui, em sua composição, nutrientes como potássio, cálcio e magnésio (32,5; 49,6 e 42,0 g kg^{-1}, respectivamente).

Folhas com maior superfície interceptam mais radiação solar (BONFIM-SILVA et al., 2020a), serve como fonte de energia para a fotossíntese e fotoassimilados, regulando a

incidência da radiação no dossel (FOCHESATTO et al., 2016). Além disso, a radiação solar na área das folhas garante a capacidade de renovação e manutenção da área foliar depois da desfolhação da gramínea, sendo um dos aspectos importantes para o estabelecimento, o crescimento, a produtividade e a perenidade das pastagens (BEZERRA, 2018).

4.3 Índice SPAD

O resumo da análise de variância para índice SPAD de capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 13.

TABELA 13. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no índice SPAD por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		SPAD 30 DAE	SPAD 60 DAE	SPAD 90 DAE
Bloco	3	$1,41^{ns}$	$0,37^{ns}$	$1,49^{ns}$
A	2	$2,14^{ns}$	$27,15^{***}$	$10,54^{***}$
V (%)	2	$0,45^{ns}$	$1,17^{ns}$	$1,92^{ns}$
A x V (%)	4	$2,40^{ns}$	$0,64^{ns}$	$0,17^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		8,86	11,13	15,51
Média geral (unidades SPAD)		39,93	31,13	30,18

Níveis de significância: $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para índice SPAD aos 60 (2º corte) e 90 (3º corte) dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%) e a interação entre os fatores (A x V%), não apresentaram significância pelo teste F nas épocas estudadas (TABELA 13).

Quando se analisou a variável índice SPAD aos 60 e 90 DAE do capim Zuri, contatou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 33).

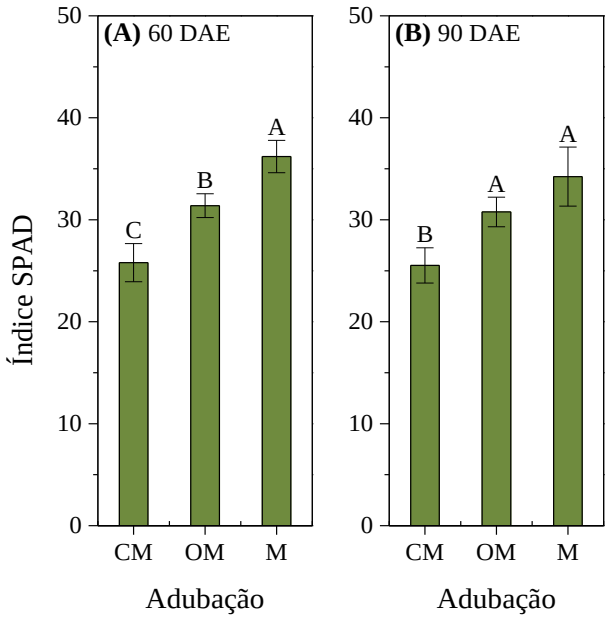

FIGURA 33. Médias do índice SPAD) (unidades SPAD) para o fator tipos de adubação aos 60 e 90 dias após emergência (DAE) (2º e 3º cortes) (A e B) do capim Zuri.

Em relação aos tipos de adubação, no 2º corte, ocorrido aos 60 DAE (FIGURA 33A), observou-se que o tratamento cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral. O índice SPAD teve o maior valor nos tratamentos com adubo mineral (36,2 unidades SPAD), seguido pelos tratamentos organo-mineral (31,4 unidades SPAD) e cinza de madeira (25,8 unidades SPAD). Observa-se ainda que para o tratamento cinza de madeira verificou-se um decréscimo 21,68 e 40,36% em relação aos tratamentos organo-mineral e mineral, respectivamente.

Aos 90 DAE (FIGURA 33B) do capim Zuri, verificou-se que o tratamento com cinza de madeira diferiu estatisticamente dos tratamentos organo-mineral e mineral. Porém, o tratamento organo-mineral e mineral não diferiram estatisticamente entre si. Estes tratamentos apresentaram valores de índice SPAD de 30,78 e 34,2 unidades SPAD, respectivamente, enquanto a cinza de madeira obteve o menor índice SPAD, 25,5 unidades SPAD.

De maneira geral, pode observar que os valores de índice SPAD para os tratamentos com cinza de madeira foram inferiores aos demais, o máximo que atingiu foi 25,8 unidades aos 60 dias, e aos 90 DAE uma redução de 0,3 unidades em relação aos 60 DAE. Dessa forma, pode-se deduzir que o fertilizante mineral disponibilizou o nitrogênio mais rápido para ser absorvido pelas plantas do que a cinza de madeira e o organo-mineral, gerando um índice de clorofila SPAD maior aos 60 e 90 DAE.

Bezerra et al. (2019); Yang et al. (2014a, 2014b), explicam que unidades SPAD acima de 40, sugerem boa disponibilidade de nitrogênio para a gramínea, enquanto unidades SPAD de

20 a 25 indicam deficiência nítida desse nutriente. Para Carvalho et al. (2020), valores acima de 30 unidades SPAD podem ser indicativos de bom estado nutricional do capim.

Bonfim-Silva et al. (2017b), apresentou valores para o índice SPAD em rúcula (*Eruca sativa* Miller) nos tratamentos com cinza de madeira de 10,53 unidades SPAD para a saturação por bases do solo elevada para 50% e 17,65 unidades SPAD para a saturação por bases elevada para 80%. Já nos tratamentos organo-mineral e mineral, os valores foram de 50,80 e 45,93 unidades SPAD na saturação por bases elevada para 50% e 29,55 e 41,20 unidades SPAD na saturação por bases elevada para 80%, respectivamente.

O estudo de Bonfim-Silva et al. (2017b), corrobora com este estudo no sentido de como os efeitos dos adubos foram semelhantes, mesmo sendo culturas totalmente diferentes, onde a cinza de madeira apresentou o menor índice SPAD. Dessa forma, pode-se afirmar, diante de ambos os resultados, que o adubo organo-mineral, apresentou eficiência semelhante ao adubo mineral, mostrando que a cinza de madeira constituintes do adubo organo-mineral, de certa forma, contribuiu para o melhor aproveitamento do nitrogênio aplicado, fornecendo nutrientes, como o magnésio, constituinte da molécula de clorofila.

A adubação com cinzas de madeira influenciou o índice de clorofila, visto que, o teor de magnésio (Mg), que ela fornece, é vital para a composição da estrutura da clorofila, pois ativa enzimas indispensáveis para a fotossíntese, ocupando o centro da molécula da clorofila.

Os teores e exportação de magnésio (Mg), depois da aplicação de cinzas de madeira, pode estar relacionada com o potássio (K), que se justifica pela relação K/Mg, visto que o excesso de K pode reduzir a absorção do Mg (MALAVOLTA, 1981). Em consequência disso, há competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes das plantas (FONSECA; HANISCH, 2018). Embora que as quantidades de nutrientes adicionados pela adubação com cinzas de madeira sejam múltiplas, a solubilidade e a disponibilidade podem variar consideravelmente em diferentes cinzas (HUOTARI et al., 2015).

O potássio (K), que está presente na cinza de madeira, é o cátion que mais se concentra nas plantas, com importantes funções fisiológicas e metabólicas, como ativação enzimática, fotossíntese e translocação de assimilados, podendo ser um fator limitante para a produtividade das culturas (ANICÉSIO et al., 2018). Além disso, o potássio (K) é um nutriente importante para a absorção de nitrogênio (N). Para maior eficiência de N, o K deve estar presente dentro do nível de exigência da planta (ALMEIDA et al., 2022; XU et al., 2020).

Alguns nutrientes fazem parte de macromoléculas na formação das folhas, que regula os fitormônios e ativa enzimas. O nitrogênio (N) e o magnésio (Mg), como exemplos, estão na composição molecular da clorofila (TAIZ et al., 2017). Dessa maneira, é necessário que haja

uma boa oferta desses nutrientes no solo para a planta consiga se desenvolver (BONFIM-SILVA et al., 2020a). Fato que foi evidenciado nos tratamentos em que houve adição de cinza de madeira de forma única ou combinada.

Nota-se que aos 60 e 90 DAE, as folhas do capim Zuri ficaram com coloração amarelada no tratamento cinza de madeira em comparação com os tratamentos com adubo organo-mineral e mineral, que apresentaram de forma geral cor esverdeada (FIGURA 34A e B). Diante disso, pode-se inferir que o nitrogênio disponibilizado pela adubação nitrogenada nos tratamentos com cinza de madeira não foi eficiente para a planta, e isso também pode ter contribuído para o menor índice SPAD.

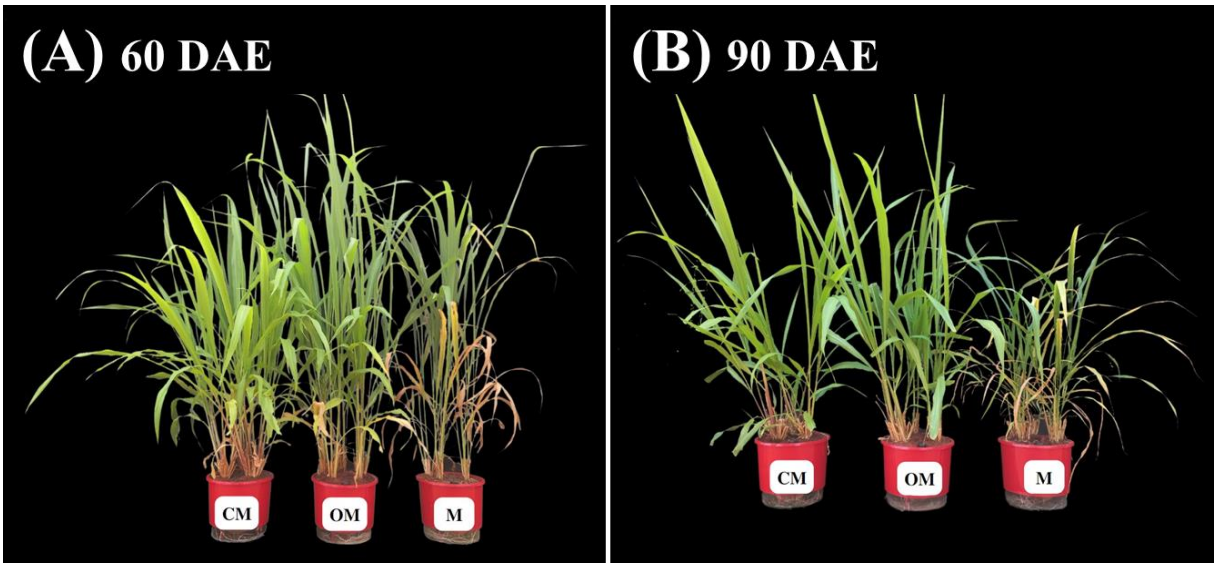

FIGURA 34. Observação visual da coloração verde em unidades experimentais com capim Zuri aos 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. CM: Cinza de madeira; OM: Organo-Mineral; M: Mineral.

O índice de clorofila SPAD é altamente relacionado com o teor de clorofila das plantas e a concentração de nitrogênio nas folhas (BONFIM-SILVA et al., 2020a). Segundo Bonfim-Silva et al. (2018), quanto mais escuras as folhas, maior a concentração de clorofila, logo, maior o valor do índice SPAD. As clorofilas são pigmentos fotossintéticos que capturam a energia solar. Quando presentes em grandes quantidades, elas aumentam a capacidade fotossintética, a produção de açúcares, além de contribuir para o controle de absorção de nutrientes e o acúmulo de nutrientes nos tecidos vegetais (THOMPSON et al., 2017).

Santos; Castilho; Gazola (2019) estudaram os pigmentos fotossintéticos e sua correlação com nitrogênio e magnésio foliar em grama bermuda cultivada em substratos, observaram que concentrações maiores de magnésio podem resultar numa coloração verde mais intensa das plantas e em maiores teores de clorofila.

Erthal et al. (2010) esclarecem que a medida em que a disponibilidade de nitrogênio no solo aumenta, mais clorofila é produzida nas folhas das plantas, deixando-as mais verdes. A deficiência de nitrogênio pode diminuir a produção, causar o crescimento tardio das plantas e deixar as folhas mais velhas amareladas, em função de ser um nutriente altamente móvel (GHOSH et al., 2022).

Num estudo sobre a dinâmica de crescimento e a absorção de nutrientes de *Panicum maximum* sob adubação nitrogenada, Almeida et al. (2022), observaram que a cultivar BRS Zuri tem maior capacidade de absorver nutrientes do solo e acumular clorofila que as cultivares BRS Quênia e BRS Tamani, o que lhe confere um potencial maior de crescimento e acúmulo de massa.

4.4 Produtivas

4.4.1 Massa seca da parte aérea

O resumo da análise de variância para massa seca da parte aérea do capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 14.

TABELA 14. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na massa seca da parte aérea (MSPA) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		MSPA 30 DAE	MSPA 60 DAE	MSPA 90 DAE
Bloco	3	$0,55^{ns}$	$0,14^{ns}$	$1,06^{ns}$
A	2	$9,77^{***}$	$37,24^{***}$	$75,22^{***}$
V (%)	2	$0,80^{ns}$	$0,12^{ns}$	$0,80^{ns}$
A x V (%)	4	$0,22^{ns}$	$0,34^{ns}$	$0,15^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		19,14	17,31	19,08
Média geral (g vaso^{-1})		18,90	38,74	30,01

Níveis de significância: $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para massa seca da parte aérea aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%) e a interação entre os fatores (A x V%), não apresentaram significância pelo teste F nas épocas estudadas (TABELA 14).

Ao se analisar a variável massa seca da parte aérea aos 30, 60 e 90 DAE do capim Zuri, observou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 35 e 36).

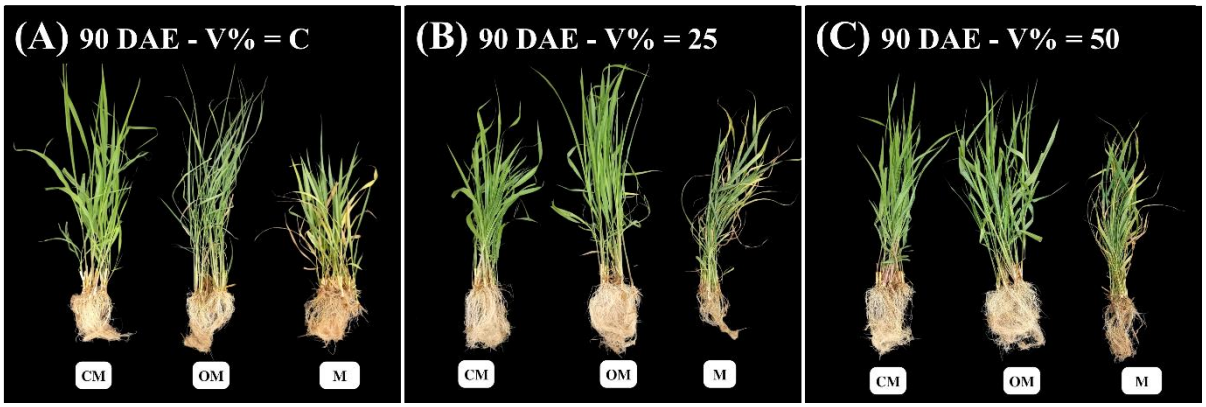

FIGURA 35. Parte aérea e raiz do capim Zuri aos 90 dias após a emergência (DAE), adubados com cinza de madeira (CM), organo-mineral (OM) e mineral (M) associadas ao nível de saturação por bases natural do solo (A), 25% (B) e 50% (C).

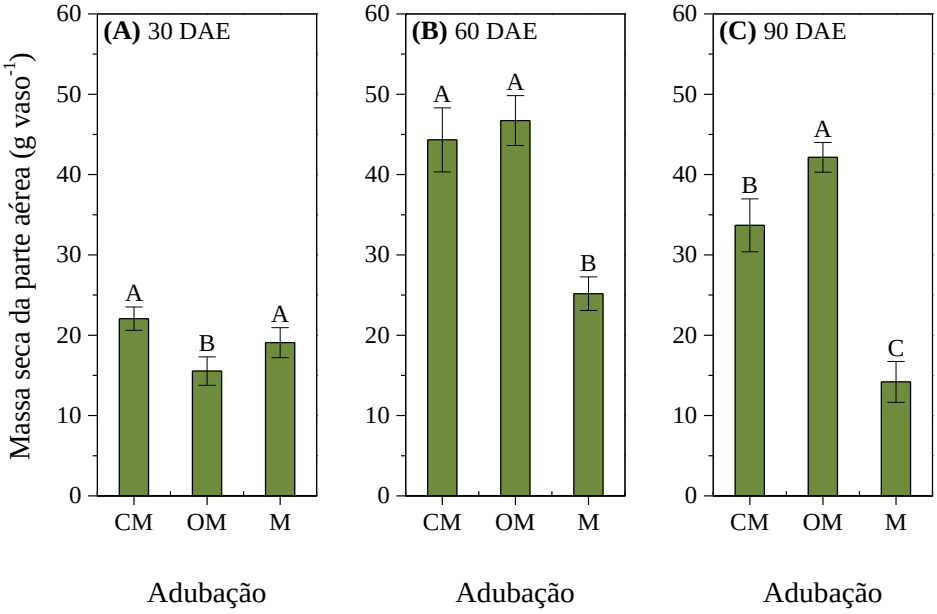

FIGURA 36. Médias da massa seca da parte aérea (MSPA) (g vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE) (1º; 2º e 3º cortes) (A; B e C) do capim Zuri.

Após 30 DAE, notou-se que a massa seca da parte aérea (FIGURA 36A), não apresentou diferença significativa entre o tratamento com cinza de madeira e o tratamento mineral, porém, houve diferença significativa para o tratamento composto por organo-mineral. A maior massa seca da parte aérea foi obtida nos tratamentos com cinza de madeira e adubo mineral, 22,1 e 19,1 g vaso^{-1}, respectivamente, e o menor valor foi no tratamento com organo-mineral, 15,5 g vaso^{-1}.

Nos 60 DAE (FIGURA 36B), o tratamento cinza de madeira não apresentou diferença estatística em relação ao tratamento organo-mineral, mas foi significativamente diferente do tratamento mineral. A massa seca da parte aérea, para a cinza de madeira e organo-mineral, teve valores de 44,3 e 46,7 g vaso^{-1}, respectivamente, enquanto para o tratamento mineral esse valor foi de 25,2 g vaso^{-1}. Ao analisar os adubos alternativos, cinza de madeira e organo-mineral, em relação ao adubo mineral, houve um aumento de 43,1 e 46% na massa seca da parte aérea.

A massa seca da parte aérea aos 90 DAE (FIGURA 36C), foi estatisticamente diferente entre o tratamento organo-mineral, a cinza de madeira e o mineral. O tratamento com organo-mineral foi o que evidenciou o melhor resultado para a massa seca da parte aérea, 42,1 g vaso^{-1}, seguido pela cinza de madeira com 33,7 g vaso^{-1} e pelo adubo mineral com 14,2 g vaso^{-1}. A adubação organo-mineral aumentou 66,3% a massa seca da parte aérea em relação aos tratamentos com adubação mineral.

Os adubos organo-minerais apresentam teor de minerais e orgânicos que podem variar, mas, de maneira geral, são corretivos da acidez do solo com menor potencial químico reativo e fornecem nutrientes com solubilização gradual, o que pode aumentar a eficiência agronômica (CARVALHO et al., 2014). Este fato pode ter proporcionado uma produção de massa seca da parte aérea do capim Zuri maior do que comparado somente com adubação mineral, que disponibiliza os nutrientes rapidamente para as plantas.

Quanto mais massa seca produzida pela parte aérea das plantas maior será o consumo de massa seca pelos animais, sendo esta variável muito importante no dimensionamento e no controle das ações de manejo de pastejo, sendo responsável pelo desempenho e produtividade animal em condições de pastejo (SOUSA, 2018). Dessa maneira, adubos que usam a cinza de madeira como fonte de nutrientes, produziram maiores quantidades de matéria seca, consequentemente, um melhor desempenho animal.

O adubo mineral disponibiliza nutrientes de forma mais rápida atendendo o período inicial do cultivo, enquanto os nutrientes da cinza de madeira, são liberados de forma mais lenta conforme a mineralização da matéria orgânica, atendendo as outras fases da cultura subsequentes (KOMINKO; GORAZDA; WZOREK, 2017).

Considerando os resultados apresentados na figura 36, de forma geral, é possível notar que, nos primeiros 30 DAE, o capim Zuri absorveu os nutrientes fornecidos pelos tratamentos cinza de madeira e mineral na mesma proporção, enquanto o tratamento organo-mineral foi mais lento nesse primeiro estádio do crescimento do capim Zuri. Aos 60 dias após a aplicação dos tratamentos, é possível perceber a capacidade do adubo organo-mineral em fornecer, ao

capim Zuri, nutrientes a longo prazo, o que resultou em maior produção de massa seca da parte aérea.

Em experimento conduzido por Rocha et al. (2023), utilizando o capim Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás) foi submetido a doses de cinza de madeira em diferentes níveis de densidade do solo em vasos preenchidos com Latossolo Vermelho distrófico, coletado sob vegetação de Cerrado, obteve em cada ocasião de corte (30; 60 e 90 dias após a emergência) do capim, a produção de massa seca foi de 4,00; 6,34 e 4,31 g vaso^{-1}, respectivamente, inferires aos observados neste estudo.

Moretti Neto (2020), quando submeteu o capim Massai (*Panicum maximum* cv. Massai) a diferentes doses de cinza de eucalipto, obteve que a dose de 30,75 t ha^{-1} de cinza sem calcário, foi o tratamento que proporcionou numericamente a maior produção de matéria seca da parte aérea, incrementando 18,5 g (16,1%) ao comparar com a testemunha, e explicou que a aplicação de cinza em altas doses pode substituir totalmente o uso de calcário para o cultivo de capim Massai em solos ácidos do Cerrado, resultado que corrobora com os obtidos no presente estudo, visto que, o capim Zuri quando adubado com adubos que possuem em sua constituição cinza de madeira, tendem a maiores rendimentos.

Fernandes et al. (2015), observaram que o rendimento de matéria seca de aveia preta (*Avena strigosa*) foi superior quando a adubação foi organomineral (base de dejeto suíno líquido), comparada à adubação fluidos mineral (mono-amônio-fosfato solúvel) e mineral sólido (superfosfato triplo) aplicados em dois tipos de solo (Latossolo Vermelho distroférrico e Neossolo Órtico). Além disso, reforçam a importância da utilização de adubo organomineral em diversos cultivos e, consequente terá aumento na produção de massa seca da parte aérea.

4.4.2 Volume de raiz e Massa seca de raiz

O resumo da análise de variância para volume de raiz (VR) e massa seca de raiz (MSR) em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 90 dias após a emergência (DAE), 3º corte das plantas do capim Zuri, encontra-se na tabela 15.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para volume de raiz e massa seca de raiz aos 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%) e a interação entre os fatores (A x V%), não apresentaram significância pelo teste F (TABELA 15).

TABELA 15. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no volume de raiz (VR) e massa seca de raiz (MSR) aos 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F	
		VR 90 DAE	MSR 90 DAE
Bloco	3	$1,14^{ns}$	$0,68^{ns}$
A	2	$44,14^{***}$	$69,34^{***}$
V (%)	2	$1,87^{ns}$	$0,22^{ns}$
A x V (%)	4	$0,97^{ns}$	$0,57^{ns}$
Erro	24		
CV (%)		22,35	21,24
Média geral		80,28 (mm vaso^{-1})	15,70 (g vaso^{-1})

Níveis de significância: $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Quando se analisou a variável volume de raiz aos 90 DAE do capim Zuri, observou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 37).

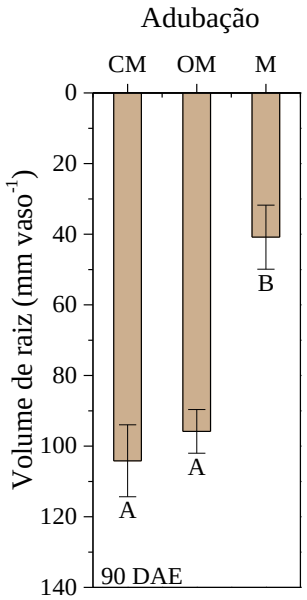

FIGURA 37. Médias do volume de raiz (VR) (mm vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Aos 90 DAE no volume de raiz (FIGURA 37), o tratamento cinza de madeira não diferiu estatisticamente do tratamento organo-mineral, porém, diferiu significativamente do tratamento mineral. Os valores absolutos do volume de raiz para a cinza de madeira e organo-mineral foram de 104,2 e 95,8 mm vaso^{-1}, enquanto para o tratamento mineral esse valor foi de 40,8 mm vaso^{-}

[1]. Quando se analisa os adubos alternativos (cinza de madeira e organo-mineral) em relação ao adubo mineral, há um ganho de 60,8 e 57,4% no volume de raiz.

Aumentos na massa de raiz melhora a estabilização do sistema radicular, aumenta a absorção de nutrientes (maior área explorada), o que consequentemente aumenta o volume de solo ocupado pelas raízes, o que é positivo para a parte aérea das plantas (LOPES et al., 2011), como foi observado pela massa seca da parte aérea, nos tratamentos com cinza de madeira e organo-mineral. Além disso, Liu et al. (2021); Lopes et al. (2011), explicam que maior volume de raiz, significa maior capacidade de absorção de nutrientes e água, e consequentemente, crescimento das plantas.

Como os nutrientes essenciais são absorvidos pelas raízes das plantas, a eficiência da absorção pode depender da área explorada do solo pelas raízes, neutralização da acidez e fertilidade do solo, o que se torna importante para evitar possíveis impedimentos ao crescimento do sistema radicular (BONFIM-SILVA et al., 2021). A cinza de madeira, também presente no adubo organo-mineral, segundo Rocha et al. (2023), aumenta a quantidade de nutrientes necessários para o crescimento das plantas e favorece espaços vazios no sistema após a adição desse resíduo, permitindo assim, um melhor fluxo de oxigênio e, consequentemente, um melhor desenvolvimento radicular, o que reflete em ganhos na relação raiz parte aérea.

Quando se analisou a variável massa seca de raiz aos 90 DAE do capim Zuri, observou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 38).

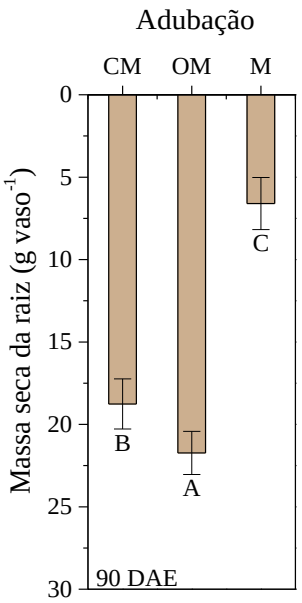

FIGURA 38. Médias da massa seca de raiz (MSR) (g vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 90 dias após emergência (DAE) (3º corte) do capim Zuri.

Em relação à massa seca de raiz aos 90 DAE (FIGURA 38), o tratamento organo-mineral diferiu estatisticamente da cinza de madeira e do mineral. O organo-mineral apresentou o maior valor absoluto, 21,7 g vaso^{-1}, seguido pelo tratamento cinza de madeira, 18,8 g vaso^{-1} e do tratamento com adubo mineral, 6,6 g vaso^{-1}. Analisando o tratamento adubo mineral em relação ao organo-mineral, há uma perda de 69,6%, respectivamente, na produção de massa seca da raiz.

Os resultados demonstram que o adubo organo-mineral foi mais eficiente no aumento da produção de massa seca de raiz do capim Zuri do que o uso exclusivo de cinza de madeira e adubo mineral. De acordo com Andrade et al. (2012), a mistura desses adubos pode suprir a carência de algum nutriente do adubo usado individualmente, o qual pode conter uma maior quantidade desses nutrientes que estão faltando.

Os nutrientes mais relevantes para o crescimento das raízes são o fósforo e o potássio, presentes na cinza de madeira e no adubo mineral, benéficos para as raízes, uma vez que estimula o seu desenvolvimento. Isso explica a maior produção de massa seca de raiz, quando se fez uso combinados desses adubos. O fósforo aumenta a raiz, muda a morfologia da raiz, aumenta a proliferação e o alongamento de pelos radiculares (MALAVOLTA, 2006). Logo, o fósforo (P) presente na cinza de madeira e do organo-mineral proporcionaram o maior crescimento do sistema radicular do capim Zuri.

Segundo Rocha et al. (2023), foram obtidos 4,02 g vaso^{-1} de massa seca de raiz do capim Paiaguás após 90 dias de cultivo em casa de vegetação, e associaram esse resultado ao fato da cinza de madeira conter cálcio (Ca) e fósforo (P), os quais são responsáveis pelo crescimento das raízes e da parte aérea, e potencializar a divisão molecular, permitindo assim um maior desenvolvimento das plantas em termos de crescimento foliar.

Bonfim-Silva et al. (2017b), acrescentam que as cinzas de madeira e os organominerais, além de estimular o crescimento das raízes, estimula também o perfilhamento das gramíneas. Em consonância com Bonfim-Silva et al. (2022a), as gramíneas desfolhadas ou cortadas frequentemente, colocam matéria orgânica no sistema por meio da morte e renovação do sistema radicular, mantendo assim a matéria orgânica no sistema produtivo. A sua falta diminui a taxa de crescimento inicial e o estabelecimento das forrageiras, além de limitar a capacidade produtiva e persistência das pastagens (REZENDE et al., 2013).

Segundo Cabral et al. (2018), a massa seca das raízes está correlacionada ao potencial de rebrota das gramíneas forrageiras, e isto ocorre porque as raízes e a base dos colmos apresentam reservas orgânicas de carboidratos. Essas reservas se tornam uma fonte-dreno quando há

limitação da área foliar residual, após cada corte. Isso implica dizer que quanto maior a quantidade de massa seca de raiz, maior a possibilidade de rebrota e perfilhamento das plantas.

A capacidade de produção da parte aérea de uma planta é consequência da ação de seu sistema radicular, pois os dois interagem (BONFIM-SILVA et al., 2022c; SILVA et al., 2014), uma vez que a raiz é a via de entrada nutrientes e água (SILVA et al., 2020a, 2014).

4.5 Consumo de água

O resumo da análise de variância para o consumo de água (CA) pelo capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 16.

TABELA 16. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) no consumo de água (CA) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		CA 30 DAE	CA 60 DAE	CA 90 DAE
Bloco	3	$0,44^{ns}$	$0,16^{ns}$	$1,83^{ns}$
A	2	$4,95^{*}$	$4,71^{*}$	$49,74^{***}$
V (%)	2	$0,30^{ns}$	$0,84^{ns}$	$1,39^{ns}$
A x V (%)	4	$0,94^{ns}$	$1,56^{ns}$	$0,12^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		11,04	9,29	13,29
Média geral (L vaso^{-1})		6,07	9,31	5,53

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

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para o consumo de água aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri. Já para o fator nível de saturação por bases (V%) e a interação entre os fatores (A x V%), não apresentaram significância pelo teste F nas épocas estudadas (TABELA 16).

Ao se analisar a variável consumo de água aos 30, 60 e 90 DAE do capim Zuri, observou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 39).

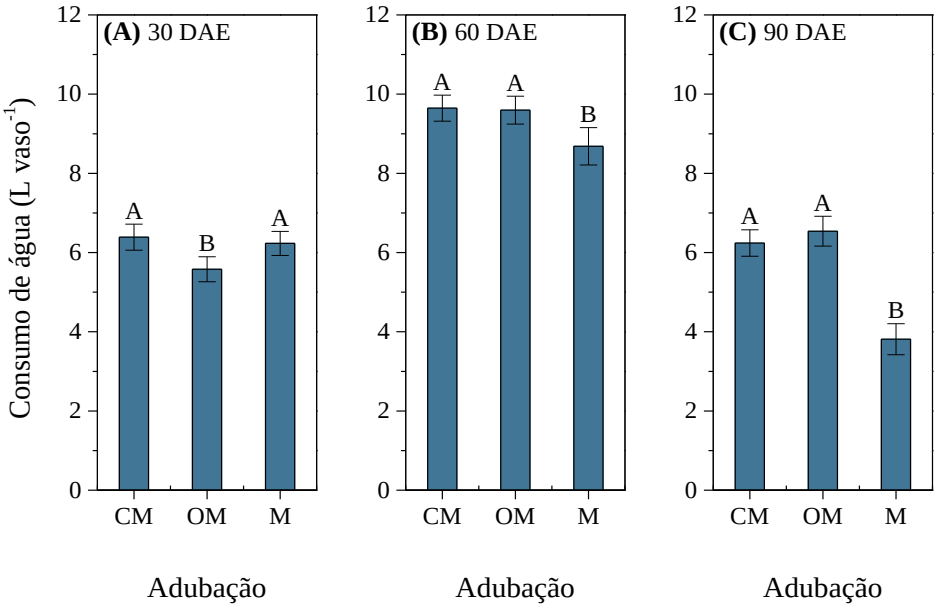

FIGURA 39. Médias do consumo de água (CA) (L vaso^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE) (1º; 2º e 3º cortes) (A; B e C) do capim Zuri.

Aos 30 DAE (FIGURA 39A), não houve diferença significativa entre o consumo de água, do tratamento com cinza de madeira e o mineral, entretanto houve diferença significativa para o tratamento organo-mineral. O maior consumo de água foi nos tratamentos com cinza de madeira e adubo mineral, 6,4 e 6,2 L vaso^{-1}, respectivamente, e o menor foi no tratamento com organo-mineral, 5,6 L vaso^{-1}.

Como é possível observar nas figuras 39B e 39C, aos 60 e 90 DAE, os tratamentos com cinza de madeira não apresentaram diferença significativa em relação ao organo-mineral, mas diferiram da adubação mineral. O consumo de água para cinza de madeira e organo-mineral foi de 9,6 e 9,6 L vaso^{-1} aos 60 DAE (FIGURA 39B) e 6,2 e 6,5 L vaso^{-1} aos 90 DAE (FIGURA 39C). Já nos tratamentos com adubação mineral, os valores observados foram 8,7 L vaso^{-1} (60 DAE) e 3,8 L vaso^{-1} (90 DAE).

Em geral, o capim Zuri, ao ser adubado com cinza de madeira sozinho ou misturado ao adubo mineral, consumiu maior quantidade de água, quando comparado exclusivamente ao tratamento com adubação mineral, com exceção aos 30 DAE, onde o consumo de água entre a adubação mineral e cinza de madeira foi similar.

O potássio presente na constituição da cinza de madeira mantém a capacidade fotossintética máxima da planta com a menor perda de água possível por meio do controle osmótico e abertura e fechamento dos estômatos (ANICÉSIO et al., 2018).

O maior consumo de água nas plantas adubadas com cinza de madeira e organo-mineral também é justificado pelo maior número de folhas, perfilhos, área foliar e massa seca da parte

aérea; ou seja, o consumo de água aumentou em resposta ao maior crescimento das plantas. Plantas com partes aéreas mais desenvolvidas apresentam maior evapotranspiração, portanto, maior consumo de água e absorção de nutrientes (BONFIM-SILVA et al., 2017a). Esses resultados demostram também a relevância de se aplicar uma quantidade de água adequada para suprir as necessidades hídricas da cultura nas diferentes fases de desenvolvimento.

Segundo Bonfim-Silva et al. (2011b), a cinza de madeira possui maior capacidade de retenção de água, por conta da sua característica higroscópica e altamente reativa. Dessa forma, solos que recebem cinza de madeira retem mais água do que aqueles que foram somente adubados com fertilizantes minerais industriais (BONFIM-SILVA et al., 2020a). Isso reflete em mais água disponível para as plantas por maior período, o que pode inclusive favorecer o aumento no intervalo ou frequência de irrigação.

Ainda de acordo com Bonfim-Silva et al. (2020a), é indispensável quantificar o consumo de água pelas plantas para analisar se a disponibilidade hídrica do solo está sendo devidamente consumida pela planta. Artur; Garcez; Monteiro (2014) acrescentam que a planta consome água conforme a disponibilidade hídrica no solo, a demanda de evaporação presente na atmosfera, as características fisiológicas das espécies, as fases do crescimento e a área foliar.

4.6 Eficiência do uso de água

O resumo da análise de variância para a eficiência do uso de água (EUA) pelo capim Zuri em função de diferentes tipos de adubação e nível de saturação por bases aos 30; 60 e 90 dias após emergência (DAE), 1º; 2º e 3º cortes, respectivamente, encontra-se na tabela 17.

TABELA 17. Resumo da análise de variância com valores de F para tipos de adubação (A) e nível de saturação por bases (V %) na eficiência do uso de água (EUA) por ocasião de corte aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) do capim Zuri.

Fonte de variação	GL	Estatística F		
		EUA 30 DAE	EUA 60 DAE	EUA 90 DAE
Bloco	3	$0,36^{ns}$	$0,21^{ns}$	$0,77^{ns}$
A	2	$3,27^{ns}$	$53,21^{***}$	$55,77^{***}$
V (%)	2	$0,38^{ns}$	$0,35^{ns}$	$1,64^{ns}$
A x V (%)	4	$0,47^{ns}$	$1,43^{ns}$	$0,23^{ns}$
Erro	24			
CV (%)		19,93	12,21	12,76
Média geral (g L^{-1})		3,12	4,12	5,16

Níveis de significância: $^{***}p<0,001$; ^{ns}: Diferença não significativa. CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade.

Nota-se que houve efeito significativo do fator adubação (A) ao nível de 0,1% pelo teste F para eficiência do uso de água (EUA) aos 60 e 90 DAE, 2º e 3º corte, respectivamente. Não foi evidenciado efeito significativo pelo teste F para o fator nível de saturação por bases (V%) nas diferentes épocas estudadas. Houve efeito significativo para a interação entre os fatores (A x V%) ao nível de 5% pelo teste F (TABELA 17).

Ao se analisar a variável eficiência do uso de água aos 60 e 90 DAE do capim Zuri, observou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott para os fatores tipos de adubação de forma isolada (FIGURA 40).

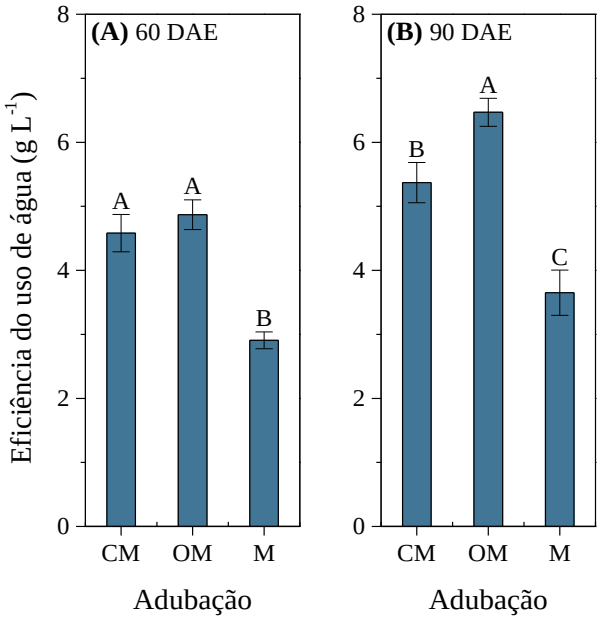

FIGURA 40. Médias da eficiência do uso de água (EUA) (g L^{-1}) para o fator tipos de adubação aos 60 e 90 dias após emergência (DAE) (2º e 3º cortes) (A e B) do capim Zuri.

Como é possível observar na figura 40A, aos 60 DAE, os tratamentos com cinza de madeira não apresentaram diferença significativa em relação ao organo-mineral, mas diferiram da adubação mineral. A eficiência do uso de água para cinza de madeira e organo-mineral foi de 4,6 e 4,9 g L^{-1}. Já nos tratamentos com adubação mineral, os valores observados foram 2,9 g L^{-1}. Dessa forma há um aumento de 37,0% e 40,8% na eficiência do uso de água da cinza de madeira e organo-mineral em relação ao adubo mineral.

Em relação à eficiência do uso de água aos 90 DAE (FIGURA 40B), o tratamento organo-mineral diferiu estatisticamente da cinza de madeira e do mineral. O organo-mineral apresentou o maior valor absoluto, 6,5 g L^{-1}, seguido pelo tratamento cinza de madeira, 5,4 g L^{-1} e do tratamento com adubo mineral, 3,7 g L^{-1}. Analisando o tratamento mineral em relação ao organo-mineral, há uma perda de 43,1%, respectivamente, na eficiência do uso da água.

A maior eficiência do uso de água é devido à maior disponibilidade de água no solo adubado com cinzas de madeira que auxiliam na maior retenção de água pelo solo e consequentemente maior disponibilidade para as plantas ao longo de seu ciclo, assim, o crescimento e a eficiência do uso da água pelo capim Zuri (*Panicum maximum* cv. BRS Zuri) foi melhorado com aplicações exclusivas de cinza de madeira ou em combinação com o adubo mineral.

A eficiência do uso da água é uma medida da quantidade de biomassa produzida por unidade de água utilizada por uma planta (HATFIELD; DOLD, 2019; LI et al., 2019), ou seja, o quanto da água consumida pelas plantas é revertida em aumento de matéria seca e, consequentemente, maior produtividade. A maior eficiência é quando a planta aporta mais matéria seca com o menor consumo de água (BONFIM-SILVA et al., 2020a). Ou seja, tem-se maior economia na utilização da água e como consequência melhores rendimentos, pois a planta aproveita melhor a água disponível, convertendo em biomassa.

5 CONCLUSÕES

Cinza de madeira e o organo-mineral podem ser recomendados como alternativa aos adubos minerais no cultivo de capim Zuri.

A adição de cinza de madeira e organo-mineral no solo melhora as propriedades químicas, pois aumenta o pH, a soma de bases, a capacidade de troca de cátions, a saturação por bases, os macros e micronutrientes e reduz a saturação por alumínio.

A cinza de madeira, isolada ou combinada com adubo mineral, promove aumentos nos componentes fitométricos e produtivos, consumo de água e eficiência do uso de água para o capim Zuri, com exceção do índice SPAD.

Não há necessidade de fazer calagem para cultivar o capim Zuri quando a fonte orgânica do adubo organo-mineral for a cinza de madeira.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 2–3, p. 211–216, 1996. DOI: 10.1590/s0103-90161996000200003.

ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B.; PEITER, E. Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00300.

ALEXANDRINO, E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MOSQUIM, P. R.; REGAZZI, A. J.; ROCHA, F. C. Características morfogênicas e estruturais na rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a três doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1372–1379, 2004. DOI: 10.1590/S1516-35982004000600003.

ALI, O. **Silagem de capim-Zuri colhido em diferentes idades de rebrota e aditivada com melaço em pó**. 2021. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Campo Grande, MS, 2021.

ALMEIDA, E. M.; MONTAGNER, D. B.; DIFANTE, G. S.; ARAÚJO, A. R.; SANTANA, J. C. S.; GURGEL, A. L. C.; SCARIOT, C. Growth dynamics and nutrient uptake of panicum maximum under nitrogen fertilisation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, p. 1–15, 2022. DOI: 10.1080/00288233.2022.2057554.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J. et al. Analysis of the soy technological variables as a function of growing doses of organomineral fertilizer. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 87966–87972, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-281.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J. et al. Utilização de adubação organomineral na cultura da soja. **Brazilian Journals of Development**, v. 7, n. 7, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n7-531.

ALMEIDA, O. G. **Grazing management and nitrogen effects on agronomic and nutritive value responses of "Zuri" guineagrass under rotational stocking**. 2022. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2022.

AN, J. Y.; PARK, B. B. Effects of wood ash and N fertilization on soil chemical properties and growth of Zelkova serrata across soil types. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-93805-5.

ANDA-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. 2023. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2023/01/Principais_Indicadores_2022.pdf.

ANDRADE, E. A. **Adubação da cultura da soja com cinzas de biomassa florestal**. 2021. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel, 2021.

ANDRADE, E. M. G.; SILVA, N. S.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; FURTADO, G. F. Adubação organomineral em hortaliças folhosas, frutos e raízes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 7–11, 2012. Disponível em: https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1768.

ANDRADE, S. M.; TEODORO, L. P. R.; BAIO, F. H. R.; CAMPOS, C. N. S.; ROQUE, C. G.; SILVA JÚNIOR, C. A.; CORADI, P. C.; TEODORO, P. E. High-throughput phenotyping of soybean genotypes under base saturation stress conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, n. 5, p. 814–822, 2021. DOI: 10.1111/jac.12513.

ANDRÉ, T. B. **Fertilização nitrogenada do capim BRS Zuri, em gotejamento subsuperficial, com acionador simplificado para irrigação**. 2021. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Araguaína, Curso de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, Araguaína, 2021.

ANICÉSIO, E. C. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. S.; PACHECO, A. B. Nitrogen and potassium in safflower: chorophyll index, biometric characteristics and water use efficiency. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 424–433, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga.

ANTILLE, D. L.; SAKRABANI, R.; TYRREL, S. F.; LE, M. S.; GODWIN, R. J. Characterisation of organomineral fertilisers derived from nutrient-enriched biosolids granules. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, 2013. DOI: 10.1155/2013/694597.

ARTUR, A. G.; GARCEZ, T. B.; MONTEIRO, F. A. Water use efficiency of marandu palisadegrass as affected by nitrogen and sulphur rates. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 10–17, 2014. Disponível em: www.ccarevista.ufc.br.

ASARE, M. O.; AFRIYIE, J. O.; HEJCMAN, M.; KRBOVÁ, M. J. Can wood ashes of commonly planted tree species in Ghana be applied as fertilizers? **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, n. 2, p. 1043–1058, 2022. DOI: 10.1007/s12649-021-01588-7.

AZU, D. E. O.; NWEKE, P.; ESSIEN, B. A. Soil fertility properties, growth and yield of groundnut (*Arachis hypogeal* L.) as influenced by the application of wood ash and NPK fertilizers in an Ultisol of southeastern Nigeria. **East African Scholars Journal of Agriculture and Life Sciences**, v. 2, n. 3, p. 98–103, 2019. DOI: 10.36349/easjals.2019.v02i03.002.

BALAFREJ, H.; BOGUSZ, D.; TRIQUI, Z. E. A.; GUEDIRA, A.; BENDAOU, N.; SMOUNI, A.; FAHR, M. Zinc hyperaccumulation in plants: A review. **Plants**, v. 9, n. 5, 2020. DOI: 10.3390/plants9050562.

BANG-ANDREASEN, T.; PELTRE, M.; ELLEGAARD-JENSEN, L.; HANSEN, L. H.; INGERSLEV, M.; RØNN, R.; JACOBSEN, C. S.; KJØLLER, R. Application of wood ash leads to strong vertical gradients in soil pH changing prokaryotic community structure in forest top soil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 2021. DOI: 10.1038/s41598-020-80732-0.

BARBOSA, P. L.; SILVA, V. J.; PEDREIRA, C. G. S.; SBRISSIA, A. F.; SOLLENBERGER, L. E. Herbage accumulation and tillering dynamics of ‘Zuri’ Guineagrass under rotational stocking. **Crop Science**, v. 61, n. 5, p. 3787–3798, 2021. DOI: 10.1002/csc2.20536.

BARRIOS, S. C. L. et al. **Pasto Certo-versão 3.0 ® Aplicativo para dispositivos móveis e desktop sobre forrageiras tropicais**. Brasília - DF: EMBRAPA, Comunicado Técnico, 159, 2021. Disponível em: www.pastocerto.com.

BEDASO, N. H.; BEZABIH, M.; KELKAY, T. Z.; ADIE, A.; KHAN, N. A.; JONES, C. S.; MEKONNEN, K.; WOLDE-MESKEL, E. Effect of fertilizer inputs on productivity and herbage quality of native pasture in degraded tropical grasslands. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 1, p. 216–227, 2022. DOI: 10.1002/agj2.20862.

BEZERRA, M. D. L. **Capim-Paiaguás submetido a doses de cinza vegetal e disponibilidades hídricas**. Cuiabá.

BEZERRA, M. D. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; FERRAZ, A. P. F.; DAMASCENO, A. P. A. B. Phytometric characteristics and chlorophyll index of "Paiaguás" grass (*Urochloa brizantha*) as a function of wood ash doses and soil water stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 11, p. 1883–1891, 2019. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.11.p2100.

BEZERRA, M. D. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOUSA, H. H. F.; DUARTE, T. F.; ESPÍRITO SANTO, E. S.; PACHECO, A. B. 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. DOI: 10.5897/AJAR2015.10729. Disponível em: http://www.academicjournals.org/AJAR.

BONFIM-SILVA, E. M. **Cinza vegetal e biochar na agricultura**. Maringá, PR: Uniedusul, 2020. DOI: 10.29327/524552.

BONFIM-SILVA, E. M.; BEZERRA, M. D. L.; SILVA, T. J. A.; FENNER, W.; DAMASCENO, A. P. A. B. Wood ash and water availability in the production of Paiguás-grass. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 6, p. 1–14, 2019. a. DOI: 10.4136/1980-993X.

BONFIM-SILVA, E. M.; CASTAÑON, T. H. F. M.; OLIVEIRA, R. A.; SOUSA, H. H. F.; SILVA, T. J. A.; FENNER, W. Initial development of cowpea submitted to wood ash doses. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 17, n. 1, p. 1–7, 2017. a. DOI: 10.9734/ijpss/2017/34135.

BONFIM-SILVA, E. M.; COSTA, A. S.; JOSÉ, J. V.; FERRAZ, A. P. F.; DAMASCENO, A. P. A. B.; SILVA, T. J. A. Correction of acidity of a brazilian Cerrado Oxisol with limestone and wood ash on the initial growth of cowpea. **Agricultural Sciences**, v. 10, n. 07, p. 841–851, 2019. b. DOI: 10.4236/as.2019.107064.

BONFIM-SILVA, E. M.; COSTA, A. S.; MENEGHETTI, L. A. M.; REIS, R. V.; OLIVEIRA, N. P. R.; SILVA, T. J. A. Práticas conservacionistas e raízes das plantas. *Em*: BONFIM-SILVA (org.). **Raiz: componente oculto da planta**. Maringá, PR: Uniedusul, 2022. a. p. 50–68.

BONFIM-SILVA, E. M.; FERNANDES, G. B.; ALVES, R. D. S.; CASTAÑON, T. H. F. M.; SILVA, T. J. A. Mineral, organic and organomineral fertilization in rabanet culture. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23300–23318, 2020. a. DOI: 10.34117/bjdv6n5-037.

BONFIM-SILVA, E. M.; LIMA, P. C. S.; CÉSAR SOARES, D.; LIENDRO, J. V. L.; SILVA, T. J. A.; DAMASCENO, A. P. A. B. Mineral, organic, and organomineral

fertilization associated with base saturation in *Vigna unguiculata* cultivation. **International Journal of Vegetable Science**, v. 26, p. 1–14, 2020. b. DOI: 10.1080/19315260.2020.1827115.

BONFIM-SILVA, E. M.; MARTINEZ-SANTOS, T.; DA SILVA, T. J. A.; RACKEL, R. D.; PINHEIRO, E. A. R.; DUARTE, T. F. Wood ash as a vegetative-growth promoter in soils with subsurface compaction. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 258–265, 2022. b. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p258-265.

BONFIM-SILVA, E. M.; NONATO, J. J.; SIMEON, B. G.; ALVES, R. D. S.; SILVA, M. I. P.; SILVA, T. J. A. Mung bean shoot and root growth under wood ash as a soil acidity neutralizer and fertilizer. **International Journal of Vegetable Science**, p. 1–12, 2021. DOI: 10.1080/19315260.2020.1789906.

BONFIM-SILVA, E. M.; NUNES, J. A. S.; SILVA, T. J. A.; PACHECO, A. B. Initial growth of millet under bulk density levels in Oxisol of the Cerrado. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 7, p. 34793–34798, 2016. Disponível em: http://www.journalcra.com.

BONFIM-SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. S.; BEZERRA, M. D. L.; CASTAÑON, T. H. F. M.; FENNER, W.; SILVA, T. J. A. Application of wood ash, organomineral and mineral fertilizers to increase the growth of arugula (*Eruca sativa* Miller) at different base saturation on oxisol. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 17, n. 3, p. 1–6, 2017. b. DOI: 10.9734/jeai/2017/35486.

BONFIM-SILVA, E. M.; OLIVEIRA, N. P. R.; MAZERO, H. M.; ALVES, D. J. A.; OLIVEIRA, J, R.; SILVA, T. J. A. Production and morphophysiological responses of *Panicum maximum* cv. BRS Zuri to water availability. **Australian Journal of Crop Sciences**, v. 16, n. 11, p. 1203–1211, 2022. c. DOI: 10.21475/ajcs.22.16.11.p3703.

BONFIM-SILVA, E. M.; PEREIRA, M. T. J.; SILVA, T. J. A.; FENNER, W. Potential of wood ash as a fertilizer in BRS Piatã grass cultivation in the brazilian Cerrado soil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 08, n. 10, p. 2333–2344, 2017. c. DOI: 10.4236/ajps.2017.810156.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, C. C.; MENESES, N. S.; FARIAS, L. N.; SILVA, T. J. A. Características estruturais do feijão guandu adubado com cinza vegetal em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 543–550, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, C. C.; SILVA, T. J. A. Wood ash fertilization on structural characteristics and chlorophyll index of tropical forage grasses. **American Journal of Plant Sciences**, v. 06, n. 09, p. 1341–1348, 2015. DOI: 10.4236/ajps.2015.69133.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, T. M.; DOURADO, L. G. A.; SILVA, C. T. R.; FENNER, W.; SILVA, T. J. A. Wood ash as a corrective and fertilizer in safflower crop in Oxisol of brazilian Cerrado. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, p. 412, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n9p412.

BONFIM-SILVA, E. M.; SCHLICHTING, A. F.; JOSÉ, J. V. Cinza vegetal como corretivo e fertilizante. *Em*: BONFIM-SILVA, E. M. (org.). **Cinza vegetal e biochar na agricultura**. Maringá, PR: Uniedusul Editora, 2020. p. 07–30. DOI: 10.29327/524552.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga, Mossoró, v**, v. 24, n. 2, p. 180–186, 2011. a. Disponível em: http://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/sistema.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SANTOS, C. C.; CABRAL, C. E. A.; SANTOS, I. B. Características produtivas e eficiência no uso de água em rúcula adubada com cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 178–186, 2011. b.

BONFIM-SILVA, E. M.; VIEIRA, A. P. A.; DAMASCENO, A. P. A. B.; JOSÉ, J. V.; DOURADO, L. G. A.; SILVA, T. J. A. Growth and development of cowpea under wood ash doses and liming. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 28701–28718, 2019. c. DOI: 10.34117/bjdv5n12-046.

BORNØ, M. L.; RØNN, R.; EKELUND, F. Is wood ash amendment a suitable mitigation strategy for N_2O emissions from soil? **Science of the Total Environment**, v. 713, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136581.

BOŠNJAK, K.; VRANIĆ, M.; MAŠEK, T.; BRČIĆ, M. Application of biomass ash on grasslands. **Poljoprivreda**, v. 28, n. 1, p. 85–94, 2022. DOI: 10.18047/poljo.28.1.12. Disponível em: https://hrcak.srce.hr/en/file/405687.

BOUHIA, Y.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; BOUKHARI, M. M.; MPHATSO, C.; ZEROUAL, Y.; LYAMLOULI, K. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 21, n. 2, p. 425–446, 2022. DOI: 10.1007/s11157-022-09619-y.

BOUHIA, Y.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; ZEROUAL, Y.; LYAMLOULI, K. Organo-Mineral fertilization based on olive waste sludge compost and various phosphate sources Improves phosphorus agronomic efficiency, *Zea mays* agro-physiological traits, and water availability. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 249, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13010249. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4395/13/1/249.

BRAGA, G. J.; MACIEL, G. A.; GUIMARÃES JR., R.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, F. D.; FONSECA, C. E. L.; JANK, L. Performance of young Nellore bulls on guineagrass pastures under rotational stocking in the Brazilian Cerrado. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 7, n. 3, p. 214–222, 2019. DOI: 10.17138/TGFT(7)214-222.

BRAIS, S.; BÉLANGER, N.; GUILLEMETTE, T. Wood ash and N fertilization in the Canadian boreal forest: Soil properties and response of jack pine and black spruce. **Forest Ecology and Management**, v. 348, p. 1–14, 2015. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.021.

BRANDTBERG, P. O.; WANG, P.; OLSSON, B. A.; ARVIDSSON, H.; LUNDKVIST, H. Effects of wood ash, green residues and N-free fertiliser on naturally regenerated birch and field vegetation in a young Norway spruce stand in SW Sweden. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 36, n. 5, p. 364–373, 2021. DOI: 10.1080/02827581.2021.1936154.

BRASIL, DECRETO Nº 4. 954, DE 14 DE JANEIRO DE 2004. Altera o Anexo ao Decreto nº. 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº. 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para

plantas destinados à agricultura. **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília-DF, 2004. p. 1–41.

BRASIL, INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 61, DE 8. DE JULHO DE 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura **Diário Oficial da União (DOU)**, Brasília-DF, 2020. p. 1–33.

BRASIL, O. N. U. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2023. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs.

BRASIL. SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050: Uma estratégia para os fertilizantes no Brasil**. 1. ed. Brasília-DF: SAE, 2021.

BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 4, 2020. DOI: 10.3390/ijms21041424.

BUDZEŃ, M.; ZAJĄC, G.; SUJAK, A.; SZYSZLAK-BARGŁOWICZ, J.; KAFARSKI, M. Chemical composition of *Lavatera thuringiaca* L. biomass ash after pre-sowing stimulation of seeds with He–Ne laser light. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-27836-5.

CABRAL, C. E. A.; CABRAL, L. s.; BONFIM-SILVA, E. M.; CARVALHO, K. S.; ABREU, J. G.; CABRAL, C. H. A. Reactive natural phosphate and nitrogen fertilizers in Marandu grass fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 4, p. 729–736, 2018. DOI: 10.14295/cs.v9i4.1170.

CABRAL, F. L.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; SANTOS, L. N. S.; PAIXÃO, C. F. C.; VIDAL, V. M.; BASTOS, Á. V. S. Avaliação da fertilização mineral e organomineral na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e614995402, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.5402.

CABRAL, F.; RIBEIRO, H. M.; HILÁRIO, L.; MACHADO, L.; VASCONCELOS, E. Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8294–8298, 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.03.001.

CALDERON, M. A. L. **Potencial de novas cultivares da espécie Megathyrsus maximus na produção de silagem**. 2021. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Londrina-PR, 2021.

CARDOSO, A. F.; LUZ, J. M. Q.; LANA, R. M. Q. Productivity of potato tubers “Atlantic” as a function of organomineral fertilizer use. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 80–89, 2015. DOI: 10.1590/1983-21252015v28n409rc.

CARVALHO, C. L. M. **Inoculação com bactérias promotoras do crescimento no acúmulo de nutrientes, produção de massa seca e composição bromatológica do capim Zuri (*Megathyrsus maximus*)**. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena, Área do conhecimento: Produção Animal, Dracena, 2020.

CARVALHO, C. L. M.; DUARTE, A. N.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; MOREIRA, A.; SOARES FILHO, C. V. Nitrogen in shoots, number of tillers, biomass yield and nutritive value of Zuri guinea grass inoculated with plant-growth promoting bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 5, p. 437–463, 2020. DOI: 10.31686/ijier.vol8.iss5.2360.

CARVALHO, J. M. G.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOUSA, H. H. F.; GUIMARÃES, S. L.; PACHECO, A. B. Nitrogen and potassium in production, nutrition and water use efficiency in wheat plants. **Ciencia e Investigacion Agraria**, v. 43, n. 3, p. 442–451, 2016. DOI: 10.4067/S0718-16202016000300010.

CARVALHO, R. P.; MOREIRA, R. A.; CRUZ, M. C. M.; FERNANDES, D. R.; OLIVEIRA, A. F. Organomineral fertilization on the chemical characteristics of Quartzarenic Neosol cultivated with olive tree. **Scientia Horticulturae**, v. 176, p. 120–126, 2014. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.07.006.

CASAGRANDE, D. R.; RUGGIERI, A. C.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; GOMIDE, J. A.; REIS, R. A.; VALENTE, A. L. S. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 10, p. 2108–2115, 2010. DOI: 10.1590/S1516-35982010001000002. Disponível em: www.sbz.org.br.

CÉSAR SOARES, D. **Cultivares de trigo submetidos a déficit hídrico**. 2019. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis-MT, 2019.

CHAE, H. S.; NOH, H. J.; SONG, W. S.; CHO, H. H. Efficiency and effectiveness of vitamin C-substrate organo-mineral straight fertilizer in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 5, n. 1, 2018. DOI: 10.1186/s40538-017-0115-7.

CHOJNACKA, K.; MIKULA, K.; SKRYPCZAK, D.; IZYDORCZYK, G.; GORAZDA, K.; KULCZYCKA, J.; KOMINKO, H.; MOUSTAKAS, K.; WITEK-KROWLAK, A. Practical aspects of biowastes conversion to fertilizers. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 1, p. 1–19, 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02477-2.

COTTA, S. P. M.; MARINS, M. S.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Thermo-resistant enzyme-producing microorganisms isolated from composting. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.244205.

CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-62315-1.

CRUZ, N. C.; RODRIGUES, S. M.; CARVALHO, L.; DUARTE, A. C.; PEREIRA, E.; RÖMKENS, P. F. A. M.; TARELHO, L. A. C. Ashes from fluidized bed combustion of residual forest biomass: recycling to soil as a viable management option. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 17, p. 14770–14781, 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-9013-6.

CRUZ, P. J. R. **Fluxo de tecidos, fisiologia e produção de plantas forrageiras sob**

sombreamentos. 2019. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Diamantina, 2019.

CRUZ-PAREDES, C.; LÓPEZ-GARCÍA, A.; RUBÆK, G. H.; HOVMAND, M. F.; SØRENSEN, P.; KJØLLER, R. Risk assessment of replacing conventional P fertilizers with biomass ash: Residual effects on plant yield, nutrition, cadmium accumulation and mycorrhizal status. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1168–1176, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.194.

DEMEYER, A.; NKANA, J. C. V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 287–295, 2001. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00043-2.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms and physiological roles of K+ efflux from root cells. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 696–707, 2014. DOI: 10.1016/j.jplph.2014.01.015.

DEVI, R.; KAUR, T.; KOUR, D.; YADAV, A. N.; SUMAN, A. Potential applications of mineral solubilizing rhizospheric and nitrogen fixing endophytic bacteria as microbial consortium for the growth promotion of chilli (*Capsicum annum* L.). **Biologia**, 2022. DOI: 10.1007/s11756-022-01127-2.

DOMINGUES, A. A. et al. Nitrogen fertilization of paiaguás grass: production and nutrition. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 2, p. e5918, 2021. DOI: 10.32404/rean.v8i2.5918.

DU TOIT, Dawid J. J.; SWANEPOEL, P. A.; HARDIE, A. G. Effect of lime source, fineness and granulation on neutralisation of soil pH. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 39, n. 3, p. 163–174, 2022. DOI: 10.1080/02571862.2022.2043470.

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 Agricola e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 188–194, 2023. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v27n3p188-194.

ECHENIQUE, V.; AUTRAN, D.; LEBLANC, O. Proceedings of the 7th series of seminars on advances in apomixis research. **Plants**, v. 10, n. 3, p. 1–18, 2021. DOI: 10.3390/plants10030565.

ELLIOTT, A.; MAHMOOD, T.; KAMAL, A. Boiler ash utilization in the Canadian pulp and paper industry. **Journal of Environmental Management**, v. 319, p. 115728, 2022. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115728. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479722013019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **BRS Zuri, produção e resistência para a pecuária**. Campo Grande - MS. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123642/1/Folder-Zuri-Final-2014.pdf.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. ***Panicum maximum* - BRS Zuri**. 2014b. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-

tecnologicas.

ERTHAL, V. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 458–466, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010000500002.

ESPINOZA, A. L. F. **Potencial agronômico de fertilizantes organominerais a partir da compostagem de lodo de esgoto**. 2023. Dissertação (mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba, 2023.

ETIÉGNI, L.; CAMPBELL, A. G. Physical and chemical characteristics of wood ash. **Bioresource Technology**, v. 37, p. 173–178, 1991. DOI: 10.1016/0960-8524(91)90207-Z.

FAZAN, L. G. **Exploração de arquiteturas de redes neurais convolucionais para identificação de forrageiras do gênero *Brachiaria* e *Panicum***. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Curso de Mestrado Profissional em Computação Aplicada, Campo Grande, 2020.

FERNANDES, D. M.; GROHSKOPF, M. A.; GOMES, E. R.; FERREIRA, N. R.; BÜLL, L. T. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Irriga**, p. 14–27, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v1n1p14.

FERRARO, D. O.; OESTERHELD, M. Effect of defoliation on grass growth. A quantitative review. **OIKOS**, v. 98, p. 125–133, 2002. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2002.980113.x.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FERREIRA, G. W. et al. Effect of organic and mineral fertilizers applications in pasture and no-tillage system on crop yield, fractions and contaminant potential of Cu and Zn. **Soil and Tillage Research**, v. 225, 2023. DOI: 10.1016/j.still.2022.105523.

FOCHESATTO, E.; NIED, A. H.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; PINTO, D. G.; KOVALESKI, S.; CUNHA, G. R.; GOUVEA, J. A. Interception of solar radiation by the productive structures of spring canola hybrids. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 10, p. 1790–1796, 2016. DOI: 10.1590/0103-8478cr20151571.

FONSECA, J. A.; HANISCH, A. L. Is biomass ash an effective product for use in cereal crops in an agroecological system? **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 454–461, 2018. DOI: 10.5965/223811711732018454.

FÜZESI, I.; HEIL, B.; KOVÁCS, G. Effects of wood ash on the chemical properties of soil and crop vitality in small plot experiments. **Acta Silvatica et Lignaria Hungarica**, v. 11, n. 1, p. 55–64, 2015. DOI: 10.1515/aslh-2015-0004.

GARAY, A. H.; MATTHEW, C.; HODGSON, J. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures 2. Tiller and growing point densities and population dynamics. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 40, n. 1, p. 37–50, 1997. DOI: 10.1080/00288233.1997.9513228.

GHOSH, K.; SWAROOP, N.; THOMAS, T.; RAVINDRA, J. Soil physico-chemical properties as Influenced by combined use of NPK and zinc at varying levels under blackgram (*Vigna mungo* L.) cultivation in an inceptisol of Prayagraj, Uttar Pradesh, India. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 34, n. 22, p. 1172–1182, 2022. DOI: 10.9734/ijpss/2022/v34i2231482.

GIONGO, P. R.; MORAIS, K. C. B.; SILVA, M. V.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; RIBON, A. A.; PANDORFI, H. Chemical and granulometric characterization of soil and its influence on the bromatologic composition of pastures in savannah region, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 114, p. 103703, 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2021.103703.

GONÇALVES, C. A.; CAMARGO, R.; SOUSA, R. T. X.; SOARES, N. S.; OLIVEIRA, R. C.; STANGER, M. C.; LANA, R. M. Q.; LEMES, E. M. Chemical and technological attributes of sugarcane as functions of organomineral fertilizer based on filter cake or sewage sludge as organic matter sources. **PLoS ONE**, v. 16, n. 12, p. 1–21, 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0236852.

GONDAL, A. H. et al. A detailed review study of zinc involvement in animal, plant and human nutrition. **Indian Journal of Pure & Applied Biosciences**, v. 9, n. 2, p. 262–271, 2021. DOI: 10.18782/2582-2845.8652. Disponível em: http://www.ijpab.com/vol9-iss2a34.php.

GORSKI, M. R.; SOARES, J. C. W.; KRUM, D. N.; BRUM, L. N.; LIMA, T. H.; FREITAS, H. M. Spatial variability of base saturation and of aluminum saturation of soil, on a catena of pampa, cultivated with soybean. **BrazilianJournal of Development**, v. 5, n. 4, p. 3660–3667, 2019.

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1–2, p. 5–21, 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1567-y.

GUIMARÃES, M. G. **Efeitos da aplicação de escória de siderurgia no desenvolvimento do capim BRS Zuri e nos atributos químicos do solo**. 2019. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biossistemas, Niterói, 2019.

HACISALIHOGLU, G. Zinc (Zn): The last nutrient in the alphabet and shedding light on zn efficiency for the future of crop production under suboptimal zn. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1–9, 2020. DOI: 10.3390/plants9111471.

HAMIDI, N. H.; AHMED, O. H.; OMAR, L.; CH'NG, H. Y. Soil nitrogen sorption using charcoal and wood ash. **Agronomy**, v. 11, n. 9, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11091801.

HANNAM, K. D. et al. Wood ash as a soil amendment in Canadian forests: What are the barriers to utilization? **Canadian Journal of Forest Research**, v. 48, n. 4, p. 442–450, 2018. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0351.

HANSEN, M.; BANG-ANDREASEN, T.; SØRENSEN, H.; INGERSLEV, M. Micro vertical changes in soil pH and base cations over time after application of wood ash on forest soil. **Forest Ecology and Management**, v. 406, p. 274–280, 2017. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.09.069.

HARE, M. D. Herbage yield and quality of Megathyrsus cultivars in Northeast Thailand. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 3, p. 187–194, 2020. DOI: 10.17138/TGFT(8)187-194.

HATFIELD, J. L.; DOLD, C. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 103, p. 1–14, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00103.

HAWKESFORD, M. J.; CAKMAK, I.; COSKUN, D.; DE KOK, L. J.; LAMBER, H.; SCHJOERRING, J. K.; WHITE, P. J. Functions of macronutrients. *Em*: **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**. [s.l.] : Elsevier, 2023. p. 201–281. DOI: 10.1016/B978-0-12-819773-8.00019-8. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128197738000198.

HAWROT-PAW, M.; MIKICIUK, M.; KONIUSZY, A.; MELLER, E. Influence of organomineral fertiliser from sewage sludge on soil microbiome and physiological parameters of maize (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 12, n. 1114, p. 1–15, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12051114.

HEJCMAN, M.; ONDRÁČEK, J.; SMRŽ, Z. Ancient waste pits with wood ash irreversibly increase crop production in Central Europe. **Plant and Soil**, v. 339, n. 1, p. 341–350, 2011. DOI: 10.1007/s11104-010-0585-x.

HIGASHIKAWA, F. S.; MENEZES JÚNIOR, O. g. Mineral, organic and organomineral fertilization: effects on nutrition, yield, postharvest of onion and soil fertility. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 1–10, 2017. DOI: 10.5747/ca.2017.v13.nesp2.000213.

HOSSAIN, M. B.; KHAN, M. H. R.; KHANOM, S.; HOSSAIN, S. A. Amelioration of soil acidity by the application of maize straw ash in mixed soil. **Dhaka University Journal of Biological Sciences**, v. 30, n. 2, p. 207–219, 2021. DOI: 10.3329/dujbs.v30i2.54647.

HOUMANI, H.; PALMA, J. M.; CORPAS, F. J. High salinity stimulates the adaptive response to potassium deficiency through the antioxidant and the NADPH-generating systems in the roots and leaves of the halophyte *Cakile maritima*. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2022. DOI: 10.1007/s00344-022-10819-7. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s00344-022-10819-7.

HU, W.; LV, X.; YANG, J.; CHEN, B.; ZHAO, W.; MENG, Y.; WANG, Y.; ZHOU, Z.; OOSTERHUIS, D. M. Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Field Crops Research**, v. 191, p. 139–149, 2016. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.02.025.

HUANG, W.; LIN, M.; LIAO, J.; LI, A.; TSEWANG, W.; CHEN, X.; SUN, B.; LIU, S.; ZHENG, P. Effects of potassium deficiency on the growth of tea (*Camelia sinensis*) and strategies for optimizing potassium levels in soil: A critical review. **Horticulturae**, v. 8, n. 7, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae8070660.

HUOTARI, N.; TILLMAN-SUTELA, E.; MOILANEN, M.; LAIHO, R. Recycling of ash - For the good of the environment? **Forest Ecology and Management**, v. 348, p. 226–240, 2015. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.008.

IMEA-INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Custo de**

produção aumenta em 2022. Cuiabá, MT: Boletim Semanal - Bovinocultura de Corte, 2023.

INDIRAMMA, P.; SUDHARANI, Ch.; NEEDHIDASAN, S. Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment - An experimental study. **Materials Today: Proceedings**, v. 22, n. 3, p. 694–700, 2019. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.09.147.

INOVA STORE. **Vaso auto irrigável - Como funciona - Inova Store**. 2022. Disponível em: https://www.inovastore.com.br/p/vaso-auto-irrigavel-como-funciona.

IREN, O. B.; OKON-INYANG, P. O.; OFEM, K. I. Soil nutrient status and yield of waterleaf (*Talinum triangulare* Jacq.) as influenced by rates of organomineral fertilizer in a rainforest Ultisol, Nigeria. **International Journal of Applied Research**, v. 3, n. 5, p. 581–585, 2017.

ISSIFU, M.; SONGORO, E. K.; ONGUSO, J.; ATEKA, E. M.; NGUMI, V. W. Potential of *Pseudarthrobacter chlorophenolicus* BF2P4-5 as a biofertilizer for the growth promotion of tomato plants. **Bacteria**, v. 1, n. 4, p. 191–206, 2022. DOI: 10.3390/bacteria1040015.

JAIN, K.; DHAKA, R. K. Sustained release fertilizers for modern agriculture. **Just Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 1–4, 2022.

JANK, L.; SANTOS, M. F.; BRAGA, G. J. **O capim-BRS Zuri (*Panicum maximum* Jacq.) na diversificação e intensificação das pastagens**. Brasília,DF: Embrapa (Comunicado Técnico, 163), 2022.

JOHAN, P. D.; AHMED, O. H.; OMAR, L.; HASBULLAH, N. A. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. **Agronomy**, v. 11, n. 10, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11102010.

JOHANSEN, J. L. et al. The complexity of wood ash fertilization disentangled: Effects on soil pH, nutrient status, plant growth and cadmium accumulation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 185, 2021. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104424.

JOHANSEN, J. L.; DAVID, M. F.; EKELUND, F.; VESTERGÅRD, M. Wood ash decreases cadmium toxicity to the soil nematode Caenorhabditis elegans. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 172, p. 290–295, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.092.

KANT, S.; BI, Y. M.; ROTHSTEIN, S. J. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1499–1509, 2011. DOI: 10.1093/jxb/erq297.

KARPS, O.; ABOLTINS, A.; PALABINSKIS, J. Biomas ash utilization opportunities in agriculture. *Em*: **Proceedings of International Scientific Conference "Rural Development"**. Lithuania: Aleksandras Stulginskis University, 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. v. I

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; ROSSO, E. R. B. Height of plants and diameter of stems of sorghum forage irrigated by cuts. **IRRIGA**, v. 25, n. 2, p. 223–233, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n2p223-233.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The possibility of organo-mineral fertilizer

production from sewage sludge. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 5, p. 1781–1791, 2017. DOI: 10.1007/s12649-016-9805-9.

KUNHIKRISHNAN, A. et al. Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. *Em*: SPARKS, D. L. (org.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] : Academic Press Inc., 2016. v. 139p. 1–71. DOI: 10.1016/bs.agron.2016.05.001. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065211316300591.

KWON, M. J.; BOYANOV, M. I.; YANG, J. S.; LEE, S.; HWANG, Y. H.; LEE, J. Y.; MISHRA, B.; KEMNER, K. M. Transformation of zinc-concentrate in surface and subsurface environments: Implications for assessing zinc mobility/toxicity and choosing an optimal remediation strategy. **Environmental Pollution**, v. 226, p. 346–355, 2017. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.01.066.

LAGO, B. C.; SILVA, C. A.; MELO, L. C. A.; MORAIS, E. G. Predicting biochar cation exchange capacity using Fourier transform infrared spectroscopy combined with partial least square regression. **Science of the Total Environment**, v. 794, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148762.

LI, X.; FAROOQI, T. J. A.; JIANG, C.; LIU, S.; SUN, O. J. Spatiotemporal variations in productivity and water use efficiency across a temperate forest landscape of northeast china. **Forest Ecosystems**, v. 6, n. 1, 2019. DOI: 10.1186/s40663-019-0179-x.

LIU, X.; WEI, Z.; MA, Y.; LIU, J.; LIU, F. Effects of biochar amendment and reduced irrigation on growth, physiology, water-use efficiency and nutrients uptake of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) on two different soil types. **Science of the Total Environment**, v. 770, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144769.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

LOPES, M. N.; CÂNDIDO, J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; BEZERRA, F. M. L. After cut structural components of massai grass under five nitrogen fertilizer levels. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 518–525, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000200035. Disponível em: www.ccarevista.ufc.br.

MACHADO, L. A. Z. et al. Principais espécies forrageiras utilizadas em pastagens para gado de corte. *Em*: PIRES, Alexandre Vaz (org.). **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: Fealq, 2010. p. 375–417.

MAGELA, M. L. M.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q.; MIRANDA, M. C. C. Application of organomineral fertilizers sourced from filter cake and sewage sludge can affect nutrients and heavy metals in soil during early development of maize. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 863–873, 2019. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.06.p1538.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. Disponível em: https://www.editoraufv.com.br/produto/manual-de-quimica-agricola-adubos-e-adubacoes/1111317.

MALAVOLTA, E. **A prática da calagem**. 3. ed. Sorocaba: Indústria Mineradora Pagliato Ltda (Boletim Técnico, 2), 1984.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, SP: Agronomica Ceres, 2006.

MANDRE, M.; PÄRN, H.; OTS, K. Short-term effects of wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of *Pinus sylvestris* L. **Forest Ecology and Management**, v. 223, n. 1–3, p. 349–357, 2006. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.11.017.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Fertilizantes**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacio…1/4.

MAPBIOMAS. **A evolução da pastagem nos últimos 36 anos**. **Coleção 6**, 2021. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_PASTAGEM_13.10.2021_ok_ALTA.pdf.

MAPBIOMAS. **Qualidade da pastagem**. 2022a. Disponível em: https://mapbiomas.org/.

MAPBIOMAS. **Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2021**. **Coleção 7**, 2022. b. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-Sheet-Colecao7.pdf.

MARTINS, A. P.; DENARDIN, L. G. O.; TIECHER, T.; BORIN, J. B. M.; SCHAIDHAUER, W.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; KUMAR, S. Nine-year impact of grazing management on soil acidity and aluminum speciation and fractionation in a long-term no-till integrated crop-livestock system in the subtropics. **Geoderma**, v. 359, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113986.

MARTINS FILHO, M. C. F.; HANKE, D.; NASCIMENTO, S. G. S.; ÁVILA, M. R.; MANRIQUEZ, D. E. T. Efeito da aplicação da cinza da casca de arroz sobre atributos de solo sob pastagem. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 2, p. 146, 2020. DOI: 10.18542/ragros.v11i2.7483.

MASHAMAITE, C. V.; NGCOBO, B. L.; MANYEVERE, A.; BERTLING, I.; FAWOLE, O. A. Assessing the usefulness of *Moringa oleifera* leaf extract as a biostimulant to supplement synthetic fertilizers: A Review. **Plants**, v. 11, n. 17, 2022. DOI: 10.3390/plants11172214.

MAYER, E.; EICHERMÜLLER, J.; ENDRISS, F.; BAUMGARTEN, B.; KIRCHHOF, R.; TEJADA, J.; KAPPLER, A.; THORWARTH, H. Utilization and recycling of wood ashes from industrial heat and power plants regarding fertilizer use. **Waste Management**, v. 141, p. 92–103, 2022. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.01.027.

MAZERO, H. M. **Cinza vegetal no desenvolvimento produtivo em cultivares de *Panicum maximum***. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis-MT, 2020.

MBAH, C. N.; NWITE, J. N.; NJOKU, C.; NWEKE, I. A. Response of maize (*Zea mays* L.) to different rates of wood-ash application in acid ultisol in Southeast Nigeria. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 7, p. 580–583, 2010. DOI: 10.5897/AJAR09.321. Disponível em: http://www.academicjournals.org/AJAR.

MENEGHETTI, L. A. M. **Cultivo de crisântemo sob adubação mineral, cinza vegetal e organomineral associado à calagem**. 2022. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2022.

MERIÑO-GERGICHEVICH, C.; ALBERDI, M.; IVANOV, A. G.; REYES-DÍAZ, M. Al^{3+} - Ca^{2+} interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments. **Journal of soil science and plant nutrition**, p. 217–243, 2010.

MISHRA, S.; BHUYAN, S.; MALLICK, S. N.; BISWAL, S.; CHAUHAN, V. B. S. Role of biofertilizer in agriculture. **Biotica Research Today**, v. 4, n. 6, p. 461–463, 2022. Disponível em: www.biospub.com.

MORAES, E. R.; MAGESTE, J. G.; LANA, R. M. Q.; SILVA, R. V.; CAMARGO, R. Sugarcane: Organo-mineral fertilizers and biostimulants. *Em*: OLIVEIRA, A. B. (org.). **Sugarcane - Technology and Research**. London: IntechOpen, 2017. a. p. 193–206. DOI: 10.5772/intechopen.71493.

MORAES, E. R.; SILVA, R. V.; LIMA, B. V.; MENEZES, F. G.; FERREIRA, M.; REIS, A. C.; PEIXOTO, J. V. M.; LANA, R. M. Q. Cana-de-açúcar: bioestimulantes e organominerais de lodo de esgoto. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 2, p. 90–101, 2017. b. DOI: 10.5747/ca.2017.v13.nesp2.000213.

MORAGUES-SAITUA, L.; ARIAS-GONZÁLEZ, A.; BLANCO, F.; BENITO-CARNERO, G.; GARTZIA-BENGOETXEA, N. Effects of biochar and wood ash amendments in the soil-water-plant environment of two temperate forest plantations. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, p. 1–14, 2023. DOI: 10.3389/ffgc.2022.878217. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2022.878217/full.

MORETTI NETO, M. J. **Cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para o capim massai inoculado ou não com *Azospirillum brasilense***. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, Ilha Solteira, 2020.

MOTA, R. P.; CAMARGO, R.; LEMES, E. M.; LANA, R. M. Q.; ALMEIDA, R. F.; MORAES, E. R. Biosolid and sugarcane filter cake in the composition of organomineral fertilizer on soybean responses. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, n. 2, p. 131–137, 2019. DOI: 10.1007/s40093-018-0237-3.

NATASHA, N. et al. **Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review**. **Science of the Total Environment**Elsevier B.V., , 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152024.

NOYCE, G. L.; FULTHORPE, R.; GORGOLEWSKI, A.; HAZLETT, P.; TRAN, H.; BASILIKO, N. Soil microbial responses to wood ash addition and forest fire in managed Ontario forests. **Applied Soil Ecology**, v. 107, p. 368–380, 2016. DOI: 10.1016/j.apsoil.2016.07.006.

NWEKE, I. A. Contrasting tillage systems and wood ash effect on soil chemical properties. **British Journal of Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333582301.

OCHECOVÁ, P.; MERCL, F.; KOŠNÁŘ, Z.; TLUSTOŠ, P. Fertilization efficiency of wood

ash pellets amended by gypsum and superphosphate in the ryegrass growth. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 2, p. 47–54, 2017. DOI: 10.17221/142/2016-PSE.

OHNO, T. Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and potassium by wood ash. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, n. 3, p. 433–438, 1992. DOI: 10.2134/jeq1992.00472425002100030022x.

OLEGO, M. Á.; QUIROGA, M. J.; LÓPEZ, R.; GARZÓN-JIMENO, E. The importance of liming with an appropriate liming material: Long-term experience with a typic palexerult. **Plants**, v. 10, n. 12, 2021. DOI: 10.3390/plants10122605.

OLIVEIRA, R. C.; JUSTINO NETO, J. F.; LANA, R. M. Q.; SANTOS, L. C. M.; PEREIRA, A. I. A.; LUZ, J. M. Q. Soil organomineral fertilization in garlic crop. **Comunicata Scientiae**, v. 12, n. e3651, 2021. DOI: 10.14295/cs.v12.3651.

OLIVEIRA, W. C. M.; BONFIM-SILVA, E. M.; FERRAZ, A. P. F.; GUIMARÃES, S. L.; SILVA, T. J. A.; DUARTE, T. F. Soil quality indicators for *Urochloa brizantha* fertilized with wood ash. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 241–249, 2023. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v27n4p241-249.

OLLÉ, M. A.; ALFAYA, H.; FLUCK, A. C.; REIS, J. C. L.; SILVA, J. G. C. Seasonal dynamics of magnesium in rangeland areas of Southeastern region of Rio Grande do Sul State/Brazil: 1. field research. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 28, n. 1, p. 111–124, 2022. DOI: 10.36812/pag.2022281111-124.

PAHALVI, H. N.; RAFIYA, L.; RASHID, S.; NISAR, B.; KAMILI, A. N. Chemical fertilizers and their impact on soil health. *Em*: DAR, G. H.; BHAT, R. A.; MEHMOOD, M. A.; KAKEEM, K. R. (org.). **Microbiota and Biofertilizers, Vol 2**. [s.l.] : Springer,Cham, 2021. p. 1–20. DOI: 10.1007/978-3-030-61010-4_1.

PANDEY, V. C.; SINGH, N. Impact of fly ash incorporation in soil systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, n. 1–2, p. 16–27, 2010. DOI: 10.1016/j.agee.2009.11.013.

PANTALEÃO, A. A.; TEODORO, L. P. R.; MARTÍNEZ, L. A.; AGUILERA, J. G.; CAMPOS, C. N. S.; BAIO, F. H. R.; SILVA JÚNIOR, C. A.; TEODORO, P. E. Soybean base saturation stress: Selecting populations for multiple traits using multivariate statistics. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 208, n. 2, p. 168–177, 2022. DOI: 10.1111/jac.12564.

PARAMISPARAM, P.; AHMED, O. H.; OMAR, L.; CH'NG, H. Y.; JOHAN, P. D.; HAMIDI, N. H. Co-application of charcoal and wood ash to improve potassium availability in tropical mineral acid soils. **Agronomy**, v. 11, n. 10, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11102081.

PEKCAN, T.; TURAN, H. S. Importance of organomineral fertilizers in agriculture. *Em*: ÇELIK, A.; BELLITÜRK, K.; BARAN, M. F. (org.). **Agricultural researches resourcebook**. Turkey: Iksad Publishing House, 2021. p. 243–274. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355527535.

PENG, Y.; FORNARA, D. A.; WU, Q.; HEDĚNEC, P.; YUAN, J.; YUAN, C.; YUE, K.; WU, F. Global patterns and driving factors of plant litter iron, manganese, zinc, and copper concentrations. **Science of the Total Environment**, v. 857, 2023. DOI:

10.1016/j.scitotenv.2022.159686.

PEREIRA, M. G. **Produção e qualidade da forragem de cultivares de *Panicum maximum* implantadas no semiárido brasileiro**. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Animal, Macaíba, RN, 2020.

PERES, L. A. C.; TERRA, N. F.; REZENDE, C. F. A. Productivity of industrial tomato submitted to organo-mineral fertilization in cover. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10586–10599, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-075.

PERKIÖMÄKI, J.; FRITZE, H. Cadmium in upland forests after vitality fertilization with wood ash - A summary of soil microbiological studies into the potential risk of cadmium release. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, n. 2, p. 75–84, 2005. DOI: 10.1007/s00374-004-0816-5.

PETROVSKÝ, E.; REMEŠ, J.; KAPIČKA, A.; PODRÁZSKÝ, V.; GRISON, H.; BORŮVKA, L. Magnetic mapping of distribution of wood ash used for fertilization of forest soil. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 228–234, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.095.

QUADROS, L. P. et al. Effects of wood ash application on tree nutrition and soil dynamics in a *Pinus taeda* system. **Forest Science**, v. 67, n. 5, p. 618–628, 2021. DOI: 10.1093/forsci/fxab030.

RABEL, D. O.; MOTTA, A. C. V.; BARBOSA, J. Z.; MELO, V. F.; PRIOR, S. A. Depth distribution of exchangeable aluminum in acid soils: A study from subtropical Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 39320, 2018. DOI: 10.4025/actasciagron.v40i1.39320.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim Técnico 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997.

RAWAL, A.; CHAKRABORTY, S.; LI, B.; LEWIS, K.; GODOY, M.; PAULETTE, L.; WEINDORF, D. C. Determination of base saturation percentage in agricultural soils via portable X-ray fluorescence spectrometer. **Geoderma**, v. 338, p. 375–382, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.032.

RENGEL, Z. Role of calcium in aluminium toxicity toxicity. **New Phytologist**, v. 121, n. 4, p. 499–513, 1992. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1992.tb01120.x.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados (Documentos 195), 2007.

REZENDE, C. G. B.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; SCHLICHTING, A. F. Rock phosphate in fertilization of piatã grass Cerrado Oxisol. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 31, p. 55–62, 2013.

RISSE, M.; GASKIN, J. Best management practices for wood ash as agricultural soil amendment. *Em*: University of Georgia, Bulletin 1142 / Reviewed, 2013.

ROCHA, F. **Produção e nutrição do *Panicum maximum* BRS Zuri submetido a tipos de ureia**. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá, 2016.

ROCHA, R. A. S.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; DUARTE, T. F.; OLIVEIRA, N. P. R. Cultivation of *Urochloa brizantha* under different soil densities and doses of wood ash. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 230–238, 2023. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v27n3p230-238.

RODRIGUES, C. R.; MOURÃO, G. B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n. 3, p. 394–400, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008000300003. Disponível em: www.sbz.org.br.

RODRIGUES, M. M.; VIANA, D. G.; OLIVEIRA, F. C.; ALVES, M. C.; REGITANO, J. B. Sewage sludge as organic matrix in the manufacture of organomineral fertilizers: Physical forms, environmental risks, and nutrients recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127774.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8), 2010.

SAARSALMI, A.; SMOLANDER, A.; KUKKOLA, M.; MOILANEN, M.; SARAMÄKI, J. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 63–70, 2012. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.05.006.

SANNIKOVA, N.; SHULEPOVA, O.; BOCHAROVA, A.; KOSTOMAKHIN, N.; ILYASOV, O.; KOVALEVA, O. Natural reserves of diatomite are as a component of organomineral fertilizers based on chicken manure. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 937, p. 1–7, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032093.

SANTOS, C. O.; MESQUITA, V. V.; PARENTE, L. L.; SIQUEIRA PINTO, A.; FERREIRA JR, L. G. Assessing the wall-to-wall spatial and qualitative dynamics of the Brazilian pasturelands 2010–2018, based on the analysis of the Landsat data archive. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, 2022. DOI: 10.3390/rs14041024.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; BALBINO, E. M.; MONNERAT, J. P. I. S.; SILVA, S. P. Caracterização dos perfilhos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 643–649, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009000400008.

SANTOS, M. P.; CASTRO, Y. O.; MARQUES, R. C.; PEREIRA, D. R. M.; GODOY, M. M.; REGES, N. R. R. Importância da calagem, adubações tradicionais e alternativas na produção de plantas forrageiras: Revisão. **Pubvet**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2016. DOI: 10.22256/pubvet.v10n1.1-12.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R. M. M.; GAZOLA, R. P. D. Pigmentos fotossintéticos e sua correlação com nitrogênio e magnésio foliar em grama bermuda cultivada em substratos. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 1, p. 92–101, 2019.

SARITHA, M.; KUMAR, P.; PANWAR, N. R.; BURMAN, U. Plant response to novel organo-mineral fertilizers based on selective enrichment of P- and K-solubilizing microorganisms in soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 2392–2402, 2021. DOI: 10.1007/s42729-021-00530-z.

SARTIE, A. M.; EASTON, H. S.; MATTHEW, C. Plant morphology differences in two perennial ryegrass cultivars. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 52, n. 4, p. 391–398, 2009. DOI: 10.1080/00288230909510521.

SCHEEPERS, G. P.; DU TOIT, B. Potential use of wood ash in South African forestry: a review. **Southern Forests**, v. 78, n. 4, p. 255–266, 2016. DOI: 10.2989/20702620.2016.1230716.

SCHLICHTING, A. F.; BONFIM-SILVA, E. D.; SILVA, T. J. A. Application of solid waste from industry in pasture, as a destination alternative. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 16, p. 1912–1926, 2021. DOI: 10.1080/00103624.2021.1900227.

SCHMIDT, W.; THOMINE, S.; BUCKHOUT, T. J. Editorial: iron nutrition and interactions in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2019.01670.

SHARMA, G.; KAUR, M.; PUNJ, S.; SINGH, K. Biomass as a sustainable resource for value-added modern materials: a review. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 14, n. 3, p. 673–695, 2020. DOI: 10.1002/bbb.2079.

SILVA, C. T. R.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; PINHEIRO, E. A. R.; JOSÉ, J. V.; FERRAZ, A. P. F. Yield component responses of the *Brachiaria brizantha* forage grass to soil water availability in the brazilian Cerrado. **Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 13, 2020. a. DOI: 10.3390/agriculture10010013.

SILVA, E. B.; CARNEIRO, M. S. S.; FURTADO, R. N.; LOPES, M. N.; BRAGA, M. M. Chemical composition of *Panicum maximum* ‘BRS Zuri’ subjected to levels of salinity and irrigation depths. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 51, n. 1, 2020. b. DOI: 10.5935/1806-6690.20200016.

SILVA, G. L. S.; CARNEIRO, M. S. S.; FURTADO, F. M. V.; SANTOS, F. J. S.; SILVA, M. S.; COSTA, N. L.; MAGALHÃES, J. A. Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas forrageiras. **PUBVET**, v. 8, n. 6, 2014.

SILVA, M. A. S.; STONE, L. F.; CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, C. M.; NASCENTE, A. S.; SANTOS, B. M. Nutrição e adubação do arroz irrigado na região do Cerrado. *Em*: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. (org.). **Nutrição e adubação: de grandes culturas na região do Cerrado**. 1. ed. Goiânia: Gráfica UFV, 2019. p. 225–282.

SILVA, S. M.; LUZ, J. M. Q.; NOGUEIRA, P. A. M.; BLANK, A. F.; SAMPAIO, T. S.; PINTO, J. A. O.; WISNIEWSKI, A. Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 103, p. 133–140, 2017. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.04.004.

SIMEON, B. G. **Cinza vegetal e manejos de aplicação na implantação e manutenção de pastagem de *Urochloa brizantha* no Cerrado mato-grossense**. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2020.

SINGH, A. K.; SINGH, A. K.; SINGH, J. P. Boron in crop production from soil to plant system: A review. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 5, n. 2, p. 218–222, 2020. DOI: 10.26832/24566632.2020.0502020.

SKÓRKA, M.; SIEPRAWSKA, A.; TELK, A. The implication of manganese surplus on plant cell homeostasis: A Review. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2022. DOI: 10.1007/s00344-022-10637-x.

SOARES, K. A. R. S. C. **Avaliação nutricional da silagem de capim-Zuri (*Panicum maximum* cv. BRS Zuri) contendo diferentes aditivos**. 2017. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós-Graduação, Sinop-MT, 2017.

SOUSA, C. C. **Previsão de massa seca de *Brachiaria brizantha* e ganho de peso por bovinos**. 2018. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. *Em*: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (org.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 81–96.

SUN, X.; CHEN, F.; YUAN, L.; MI, G. The physiological mechanism underlying root elongation in response to nitrogen deficiency in crop plants. **Planta**, v. 251, n. 4, p. 1–14, 2020. DOI: 10.1007/s00425-020-03376-4.

SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of the Total Environment**, v. 807, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150976.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAYYIBA, L.; ZAFAR, H.; GONDAL, A. H.; FAROOQ, Q.; MUKHTAR, M. M.; HUSSAIN, R.; ASLAM, N.; MUZAFFAR, A.; SATTAR, I. Efficiency of zinc in plants, its deficiency and sensitivity for different crops. **Current Research in Agricultural Sciences**, v. 8, n. 2, p. 128–134, 2021. DOI: 10.18488/journal.68.2021.82.128.134.

THOMPSON, M.; GAMAGE, D.; HIROTSU, N.; MARTIN, A.; SENEWEERA, S. Effects of elevated carbon dioxide on photosynthesis and carbon partitioning: A Perspective on root sugar sensing and hormonal crosstalk. **Frontiers in Physiology**, v. 8, n. AUG, 2017. DOI: 10.3389/fphys.2017.00578.

TIECHER, T. et al. Base saturation is an inadequate term for Soil Science. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcs20220125.

TUYISHIME, J. R. M. et al. Phosphorus speciation in the organic layer of two Swedish forest soils 13–24 years after wood ash and nitrogen application. **Forest Ecology and**

Management, v. 521, p. 120432, 2022. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120432.

UNIPASTO. **Resistência da BRS Zuri para pastagem**. 2017. Disponível em: https://www.unipasto.com.br/resistencia-da-brs-zuri-para-pastagem/.

VALOTE, P. D. **Acúmulo de forragem e estrutura dos pastos das cultivares BRS Zuri e BRS Quênia (*Megathyrsus maximus*) sob manejo rotacionado**. 2018. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Seropédica, 2018.

VALOTE, P. D.; CARVALHO, C. A. B.; FREITAS, C. A. S.; MORENZ, M. J. F.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M. Forage mass and canopy structure of Zuri and Quênia guineagrasses pasture under rotational stock. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. 1–12, 2021. DOI: 10.37496/RBZ5020200225.

VENTURA, M.; PANZACCHI, P.; MUZZI, E.; MAGNANI, F.; TONON, G. Carbon balance and soil carbon input in a poplar short rotation coppice plantation as affected by nitrogen and wood ash application. **New Forests**, v. 50, n. 6, p. 969–990, 2019. DOI: 10.1007/s11056-019-09709-w.

VESTERGÅRD, M.; BANG-ANDREASEN, T.; BUSS, S. M.; CRUZ-PAREDES, C.; BENTZON-TILIA, S.; EKELUND, F.; KJØLLER, R.; MORTENSEN, L. H.; RØNN, R. The relative importance of the bacterial pathway and soil inorganic nitrogen increase across an extreme wood-ash application gradient. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 5, p. 320–334, 2018. DOI: 10.1111/gcbb.12494.

WANG, X.; HAO, L.; ZHU, B.; JIANG, Z. Plant calcium signaling in response to potassium deficiency. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 11, 2018. DOI: 10.3390/ijms19113456.

XIE, K.; CAKMAK, I.; WANG, S.; ZHANG, F.; GUO, S. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. **Crop Journal**, v. 9, n. 2, p. 249–256, 2021. DOI: 10.1016/j.cj.2020.10.005.

XU, C.; YANG, H.; HUANG, C.; LAN, M.; ZOU, Z.; ZHANG, F.; ZHANG, L. Interaction mechanism of Fe, Mg and Mn in karst soil-mango system. **Land**, v. 12, n. 1, p. 256, 2023. DOI: 10.3390/land12010256.

XU, X.; DU, X.; WANG, F.; SHA, J.; CHEN, Q.; TIAN, G.; ZHU, Z.; GE, S.; JIANG, Y. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00904.

YANG, F.; ZHANG, G. L.; YANG, J. L.; LI, D. C.; ZHAO, Y. G.; LIU, F.; YANG, R. M.; YANG, F. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v. 519, n. PD, p. 3010–3027, 2014. a. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.10.054.

YANG, H.; LI, J.; YANG, J.; WANG, H.; ZOU, J.; HE, J. Effects of nitrogen application rate and leaf age on the distribution pattern of leaf SPAD readings in the rice canopy. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, 2014. b. DOI: 10.1371/journal.pone.0088421.

ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. *Em*: BORGES, A. L. (org.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 263–303. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br.