

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

CLÁUDIO ANDRÉ DOS PASSOS

**CRESCIMENTO DE FORRAGEIRAS EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA
MINERAÇÃO DE BAUXITA EM POÇOS DE CALDAS**

ALFENAS/MG

2023

CLÁUDIO ANDRÉ DOS PASSOS

**CRESCIMENTO DE FORRAGEIRAS EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA
MINERAÇÃO DE BAUXITA EM POÇOS DE CALDAS**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Tecnologias Ambientais Aplicadas.

Orientador: Prof. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro

Co-Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Kamila Rezende Dázio de Souza.

ALFENAS/MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

dos Passos, Cláudio André.

Crescimento de forrageiras em substrato remanescente da mineração de bauxita em Poços de Caldas / Cláudio André dos Passos. - Alfenas, MG, 2023.

59 f. : il. -

Orientador(a): Romero Francisco Vieira Carneiro.

Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Áreas degradadas. 2. Vermicomposto. 3. Resíduo de cogumelos shimeji. 4. Capim mombaça. 5. Capim marandu. I. Carneiro, Romero Francisco Vieira , orient. II. Título.

CLÁUDIO ANDRÉ DOS PASSOS

"CRESCIMENTO DE FORRAGEIRAS EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE BAUXITA EM POÇOS DE CALDAS"

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Tese apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 28 de julho de 2023.

Prof. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Breno Régis Santos

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Flávio Henrique Silveira Rabêlo

Instituição: Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Prof. Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)



Documento assinado eletronicamente por **Romero Francisco Vieira Carneiro, Professor do Magistério Superior**, em 28/07/2023, às 18:27, 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.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1043480** e o código CRC **B2650BA3**.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

RESUMO

A recuperação dos solos degradados pela atividade mineradora, com vistas à sustentabilidade produtiva e ambiental, frequentemente passa pela reposição de matéria orgânica. Sendo assim, a utilização de resíduos orgânicos nos manejos de adubação nestas áreas pode aliar a reposição de matéria orgânica à redução do impacto gerado pela deposição inadequada de resíduos orgânicos no ambiente. O uso de gramíneas forrageiras de alto rendimento pode representar alternativa viável para diversificação produtiva nestas áreas, no entanto requer atenção especial para o seu manejo nutricional, sobretudo em sua fase de estabelecimento. Assim, o objetivo desse trabalho, apresentado em dois capítulos subsequentes, foi de avaliar o estabelecimento de gramíneas forrageiras consideradas de médio a alto rendimento em substrato remanescente de mineração de bauxita, com aplicação de fertilizante químico convencional e orgânico obtido de vermicompostagem de resíduos da produção de cogumelos shimeji. No primeiro capítulo foi avaliado as taxas morfogênicas e produtivas da espécie *Urochloa brizantha* cv. Marandu. No segundo capítulo, avaliou-se as características morfogênicas, produtivas e as respostas fisiológicas do *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça e parâmetros microbiológicos do solo. No capítulo I, a aplicação de vermicomposto promoveu aumento nos níveis de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn) e pH no substrato estudado. A adubação com base apenas em fertilizantes químicos não promoveu acréscimos nas taxas morfogênicas e produtivas até 90 dias de crescimento inicial. No capítulo II, a adubação com vermicomposto resultou em aumentos nas taxas morfogênicas e na produção nos primeiros 90 dias de crescimento. As doses de 20 e 40 t h⁻¹ de vermicomposto, juntamente com o tratamento com adubo convencional e micronutrientes, apresentam a melhor resposta fisiológica no capim Mombaça. No entanto, altas doses iniciais de vermicomposto (60 t ha⁻¹) podem causar redução em carbono e atividade microbiana do solo, que pode indicar perda de sustentabilidade a longo prazo. Os resultados destacam que o estabelecimento de uma pastagem de alto rendimento nessas áreas é severamente comprometido se o manejo da adubação se limitar apenas à calagem e/ou adubação química convencional. Além de indicar o potencial do uso do vermicomposto proveniente de resíduos da produção de cogumelos shimeji na construção da fertilidade do solo no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita no município de Poços de Caldas-MG.

Palavras-chave: áreas degradadas, vermicomposto, resíduo de cogumelos shimeji, Capim Mombaça, Capim Marandu.

ABSTRACT

The recovery of soils degraded by mining activities, aiming for productive and environmental sustainability, often involves the replenishment of organic matter. Therefore, the use of organic waste in fertilizer management in these areas can combine organic matter replenishment with the reduction of the impact generated by the improper deposition of organic waste in the environment. The use of high-yield forage grasses may represent a viable alternative for productive diversification in these areas; however, it requires special attention to their nutritional management, especially during the establishment phase. Thus, the objective of this work, presented in two subsequent chapters, was to evaluate the establishment of forage grasses considered to have medium to high yield in the remaining substrate of bauxite mining, with the application of conventional chemical fertilizer and organic fertilizer obtained from vermicomposting of shimeji mushroom production residues. In the first chapter, the morphogenic and productive rates of the *Urochloa brizantha* cv. Marandu species were evaluated. In the second chapter, the morphogenic and productive characteristics and physiological responses of *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, as well as soil microbiological parameters, were assessed. In Chapter I, the application of vermicompost led to an increase in levels of potassium (K), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), and pH in the studied substrate. Fertilization based solely on chemical fertilizers did not promote increases in morphogenic and productive rates up to 90 days of initial growth. In Chapter II, vermicompost fertilization resulted in increases in morphogenic rates and production in the first 90 days of growth. Doses of 20 and 40 t ha⁻¹ of vermicompost, along with conventional fertilizer and micronutrient treatment, showed the best physiological response in Mombaça grass. However, high initial doses of vermicompost (60 t ha⁻¹) may cause a reduction in soil carbon and microbial activity, indicating potential long-term sustainability loss. The results emphasize that the establishment of high-yield pasture in these areas is severely compromised if fertilizer management is limited to liming and/or conventional chemical fertilization. In addition, they indicate the potential use of vermicompost derived from shimeji mushroom production residues in building soil fertility in the process of recovering areas degraded by bauxite mining in the municipality of Poços de Caldas-MG.

Keywords: degraded areas, vermicompost, shimeji mushroom residue, Mombaça grass, Marandu grass.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	8
2	REVISÃO DE LITERATURA / DESENVOLVIMENTO	11
2.1	ARTIGO 1 - MORFOGENESE E ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DO CAPIM MARANDU EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE BAUXITA	11
2.2	ARTIGO 2 - RESPOSTAS DO CAPIM MOMBAÇA À ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE BAUXITA	31
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO	56

1 INTRODUÇÃO GERAL

A degradação do solo, resultante do seu uso intensivo, acarreta alterações significativas em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, e dentre as principais causas de degradação estão o desmatamento, métodos extensivos de cultivo, sistemas agrícolas sem práticas conservacionistas, mineração e uso de agroquímicos (LAL; STEWART, 1992).

A atividade mineraria é um importante setor da economia brasileira, influencia a geração de empregos e impostos, além da expressiva relevância no Produto Interno Bruto do país, e no Índice de Desenvolvimento Humano nas regiões onde atua (BRIGIDA, 2014). Apesar dos diversos benefícios econômicos e sociais, a mineração é uma das atividades que causa maior impacto nos ecossistemas terrestres (SENGUPTA, 1993). Na sua enorme maioria, suas atividades implicam na supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Frequentemente, a camada superficial do solo, ou seja, a de maior fertilidade é também removida, e os solos ou substratos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos, afetando suas características físicas, químicas e biológicas, tornando o ambiente pós mineração de difícil desenvolvimento para as plantas, principalmente aquelas com maior potencial para diversificar e sustentar retorno econômico e ambiental nestas áreas (MECHI; SANCHES, 2010).

Aumentar a quantidade de matéria orgânica nos substratos provenientes de atividades de mineração pode contribuir para a revegetação dos mesmos. A matéria orgânica quando incorporada colabora com a regulação da disponibilidade de nutrientes e tamponamento da acidez, reduz a toxicidade de alumínio e metais pesados, otimiza processos naturais como a fixação de nitrogênio e melhora a capacidade de armazenamento de água (STEVENSON, 1994; FAGERIA, 2012; JOHNSTON *et al.*, 2009). Ademais, desempenha um papel importante na regulação da atividade e diversidade microbiana (RÓS *et al.*, 2013).

Neste sentido, o uso de fertilizantes gerados a partir da compostagem é uma alternativa importante nos planos de recuperação das áreas degradadas, pois podem representar importante fonte de matéria orgânica para o substrato remanescente, de baixo custo e alto potencial em promover condições adequadas para a revegetação (MARQUES, 2012).

A conversão de subprodutos em fertilizantes orgânicos é uma estratégia extremamente eficaz em trazer maior sustentabilidade nas cadeias produtivas, por evitar que parte desses resíduos sejam depositados incorretamente no meio ambiente, diversifica fontes de renda aos produtores e estimula os pilares da economia circular. Além disso, o cenário brasileiro de

fertilizantes é altamente dependente do mercado externo, sendo dominado por poucos fornecedores conforme Brasil (2021), ratificando a importância da ampliação do conhecimento sobre o potencial de uso de compostos orgânicos originados de subprodutos transformados em fertilizantes, para que se torne uma importante ferramenta na redução da demanda de fertilizantes químicos, além de possibilitar a ampliação da eficácia do estabelecimento de plantas nos diversos programas de recuperação de solos degradados.

Segundo Andrade (2008) diversas são as fontes de fertilizantes orgânicos comumente empregados em projetos de recuperação áreas. O setor da fungicultura movimenta bilhões de reais anualmente, sendo que na produção de cada quilograma de cogumelo fresco gera-se de 5 kg a 10 kg de resíduo sólido (AGRONEGÓCIO, 2018; FONSECA *et al.*, 2017). Este resíduo é um subproduto de origem vegetal, colonizado e degradado pelo micélio fúngico previamente inoculado, que representa um volume de aproximadamente 40 a 50% da massa inicial do cultivo (ABREU, 2019). Esse volume altamente expressivo pode representar importante fonte de fertilizante orgânico para a recuperação das áreas mineradas e estabelecimento de espécies vegetais.

O município de Poços de Caldas-MG está situado sobre uma formação geológica rica em bauxita, fonte natural do alumínio. Dessa forma, a mineração de bauxita é uma atividade altamente executada no município, sendo fundamental para o desenvolvimento econômico da região. A maioria dos projetos executados por grandes empresas do setor na região, prevê em seus planos de recuperação pós extração mineral, o estabelecimento de eucalipto, pastagem ou vegetação nativa.

As áreas degradadas são geralmente caracterizadas por terem uma extensão limitada de terras e com baixa fertilidade, tanto em parâmetros químicos, físicos e componentes biológicos; dessa forma, o crescimento e estabelecimento de uma pastagem é lento e com baixa capacidade suporte, proporcionando baixa produtividade nestas áreas.

O gênero *Urochloa*, anteriormente conhecido como *Brachiaria*, é o mais cultivado entre as espécies forrageiras no Brasil, dentre os seus cultivares, aquele com desempenhos mais consolidados nos parâmetros agrônômicos e zootécnicos é a *Urochloa brizantha* cv. Marandu (DUTRA, 2021).

As cultivares da espécie *Megathyrsus maximus* possuem características de produção e nutricional extremamente valiosas. O cultivar Mombaça destaca-se no cenário nacional, porém são mais exigentes em fertilidade do solo (BONI; LARA; FERREIRA, 2021).

Com este trabalho espera-se ampliar os conhecimentos sobre vias de destinação de resíduos aliadas a implantação de forrageiras em áreas pós mineração, e assim tem-se o

objetivo de avaliar o desenvolvimento de gramíneas consideradas de alto potencial de rendimento em solo pós mineração de bauxita, traçando um estudo comparativo entre a adubação convencional e uma alternativa com uso de fertilizante orgânico obtido da vermicompostagem de subproduto da produção de cogumelos shimeji.

2 REVISÃO DE LITERATURA / DESENVOLVIMENTO

2.1 ARTIGO 1 - MORFOGENESE E ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DO CAPIM MARANDU EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE BAUXITA

Resumo

A mineração impulsiona o desenvolvimento econômico, mas frequentemente altera a fertilidade do solo ou substratos remanescentes. Aumentar a matéria orgânica em tais substratos têm sido apontada como um fator crítico para o sucesso da recuperação e estabelecimento de plantas nestas áreas. Neste estudo, avaliou-se o desenvolvimento da *Urochloa brizantha* cv. Marandu em substrato de um Cambissolo, remanescente da mineração de bauxita no município de Poços de Caldas, em resposta a fertilizantes químicos e orgânico derivado da vermicompostagem de resíduos da produção de cogumelos shimeji. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, onde seis tratamentos, sendo: adubações convencionais (FertConv; FertConv + micro e Cal) e exclusivamente com uso do vermicomposto (20, 40 e 60 t ha⁻¹) foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado em quatro repetições. A adubação com vermicomposto resultou em incrementos significativos em nutrientes no substrato. As taxas de alongamento de colmos e de folhas, taxa de aparecimento foliar, filocrono, densidade de perfilhos e massa seca foram influenciadas tanto pela adubação orgânica quanto convencional, entretanto os maiores benefícios foram observados com a aplicação do vermicomposto. Após os primeiros 90 dias de crescimento (momento do primeiro corte), com uso da adubação química, não verificou-se incrementos significativos sobre as variáveis mencionadas em relação ao substrato orgânico. O uso do vermicomposto é eficaz para a melhoria das condições de fertilidade do substrato pós mineração, com reflexos expressivos sobre o desenvolvimento do capim marandu, fato que pode contribuir para a recuperação de áreas impactadas pela mineração.

Palavras-chaves: áreas degradadas, cambissolo, vermicomposto, resíduo de cogumelos shimeji, pastagem.

MORPHOGENESIS AND DRY MATTER ACCUMULATION OF MARANDU GRASS IN RESIDUE SUBSTRATE FROM BAUXITE MINING

Abstract

Mining drives economic development but often alters soil fertility or residual substrates. Increasing organic matter in such substrates has been identified as a critical factor for the success of plant recovery and establishment in these areas. In this study, the development of *Urochloa brizantha* cv. Marandu was evaluated in a substrate derived from a Cambisol, a residue of bauxite mining in the municipality of Poços de Caldas, in response to chemical and organic fertilizers derived from vermicomposting of shimeji mushroom production waste. A greenhouse experiment was conducted, where six treatments, including conventional fertilization (FertConv; FertConv + micro and Cal) and exclusively using vermicompost (20, 40, and 60 t ha⁻¹), were evaluated in a completely randomized design with four replications. Vermicompost fertilization resulted in significant increases in nutrient content in the substrate. Stem and leaf elongation rates, leaf appearance rate, phyllochron, tiller density, and dry matter were influenced by both organic and conventional fertilization, but the greatest benefits were observed with vermicompost application. After the first 90 days of growth (time of the first cut), no significant increments were observed in the mentioned variables with conventional fertilization. The use of vermicompost is effective in improving the fertility conditions of post-mining substrates, with significant effects on the development of Marandu grass, which can contribute to the recovery of mining-affected areas.

Keywords: degraded areas, Cambisol, vermicompost, shimeji mushroom residue, pasture.

Introdução

A mineração é uma das atividades antrópicas mais impactantes aos recursos naturais, pois, além de suprimir a cobertura vegetal, muitas vezes de ecossistemas nativos bastante ameaçados, remove a camada superficial do solo e, com ela, a maior parte dos nutrientes e matéria orgânica (BRADY; NOSKKE, 2010), Isso compromete a dinâmica das atividades biológicas, e até mesmo os processos hidrológicos naturais (LONGO; RIBEIRO e MELO, 2005) o que afeta de maneira intensa sua qualidade e conseqüentemente o estabelecimento de

plantas nas áreas pós mineradas.

Nas áreas alteradas que passaram por atividades como a mineração, o que se constata é a prevalência de um remanescente não mais considerado um solo propriamente dito, mas sim uma matriz mineral, de pobre estrutura física, pouca ou nenhuma matéria orgânica e quantidade limitada de nutrientes essenciais para as plantas, o que dificulta a revegetação da área e retarda a sua recuperação (LONGO, RIBEIRO e MELO, 2011).

Griffith (1980) relatou que a única maneira de se mitigar os impactos no solo, causados pela mineração, é por meio do restabelecimento de uma cobertura vegetal perene sobre o local minerado em curto prazo, posto que o processo de sucessão é lento enquanto a erosão é imediata e acelerada, dificultando ainda mais o processo de recuperação.

O município de Poços de Caldas está situado sobre uma formação geológica rica em bauxita, fonte natural do alumínio. Dessa forma, a mineração representa uma atividade econômica importante, sendo fundamental para a estrutura econômica da região. Assim, nos contratos firmados entre as empresas mineradoras e proprietários de terras, é comum a previsão de que após a execução do processo de mineração, a área seja devolvida ao proprietário com a cobertura de eucalipto ou pastagens, estas normalmente estabelecidas com forrageiras do gênero *Urochloa*.

No Brasil, o gênero *Urochloa* é o mais representativo entre as forrageiras no mercado de sementes, sendo a espécie *Urochloa brizantha* cv. Marandu a que vem apresentando maior adaptação e destaque em parâmetros zootécnicos (VALLE et al., 2009; DUTRA, 2021). Esta gramínea possui hábito de crescimento cespitoso, resistente ao ataque de cigarrinha das pastagens, alta produção de sementes e biomassa foliar, além de raízes profundas (OURIVES et al., 2010; SILVA e FERRARI, 2012; LIMA et al., 2019); características que podem favorecer seu uso em áreas destinadas a atividade minerária e possibilitar maior recuperação ambiental, aliada aos benefícios em diversificação de renda por potencializar o estabelecimento da atividade pecuária, e conseqüentemente contribuir para a sustentabilidade econômica, social e ambiental de todo o setor.

Segundo Lopes et al. (2014) o conhecimento das condições edafoclimáticas ideais de cultivo, associadas ao manejo da adubação e das características do crescimento da forrageira, são de grande importância para a seleção das condições ideais em que a planta expresse seu máximo potencial produtivo. Sendo assim, a compreensão do comportamento morfogênico da gramínea submetida a condições específicas de produção, precede a adoção de ajustes no manejo da pastagem (MENESES et al., 2018), afim de proporcionar às forrageiras melhores condições para que atinjam maior eficiência em seus processos morfofisiológicos e com isso

maior crescimento e produção.

No tocante à fertilidade do solo, a restrição em matéria orgânica constitui um dos principais problemas da recuperação das áreas degradadas pela mineração (LONGO et al., 2011). Sua reposição com uso de compostos orgânicos pode aumentar o suprimento de nutrientes disponíveis, trazer reestruturação física e melhorias nas atividades biológicas no solo e, por consequência, promover maior produtividade nestas áreas. Além disso, o aproveitamento de resíduos orgânicos para uso como fertilizante é um mecanismo eficiente de sustentabilidade, pois reduz o descarte incorreto, gera renda aos produtores e diminui a dependência à fertilizantes químicos.

Estudos vêm indicando vantagens do uso de diversos resíduos orgânicos na fertilidade do solo e estabelecimento de plantas em áreas pós mineradas (DEY et al. 2019). No entanto, poucos até o momento avaliaram a eficácia da aplicação de adubo orgânico obtido da vermicompostagem de subproduto da produção de cogumelos shimeji. Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento morfogênico e produtivo da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, cultivada em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas, em resposta ao uso de fertilizantes tanto químico quanto orgânico proveniente da vermicompostagem de resíduo da produção de cogumelos shimeji.

Materiais e métodos

Inicialmente identificou-se uma área representativa da atividade de mineração de bauxita da região de Poços de Caldas, que de acordo com o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV et al., 2010), representava originalmente um solo classificado como Cambissolo Háptico. Na ocasião da coleta, a área apresentava características de Cambissolo. Contudo, durante a operação de mineração, houve a remoção do solo do horizonte A, além das camadas do subsolo, notadamente os horizontes B e C. Após a extração, o solo foi restituído à área de lavra, dando início às práticas de reconformação topográfica, com a devolução do solo previamente retirado, seguida pelo início do processo de revegetação com plantio de eucalipto.

Amostras da camada de 0-20 cm de profundidade do substrato remanescente, foram coletadas para um diagnóstico inicial e, assim, verificou-se um solo com 32,2% de argila e com as seguinte composição química: pH de 5,57; 1,60 mg dm⁻³ de P; 27,23 de mg dm⁻³ de K; 0 cmolc dm⁻³ de Al; 1,57 cmolc dm³ de Ca, 0,24 cmolc dm³ de Mg, 3,22 cmolc.dm³ de H, 5,10 cmolc.dm³ de CTC, 36,53 % de V, 3,54 dag dm³ de MO, 2,43 mg dm³ de Zn, 109,07

mg.dm³ de Fe, 49,33 mg.dm³ de Mn, 0,10 mg.dm³ de Cu, 0,20 mg.dm³ de B.

Foi conduzido um experimento em condições controladas de casa de vegetação, e para tal o substrato remanescente da mineração foi coletado na camada de 0-20 cm, submetida a peneiramento utilizando-se peneira com malha de 2 mm para homogeneização e descarte de materiais grosseiros e, em seguida, efetuou-se o preenchimento de vasos plásticos com capacidade de 4,5 kg destinados ao cultivo das plantas em sequência.

No momento do enchimento dos vasos, foi feita a correção da acidez do solo, buscando-se a elevação do teor da saturação de bases a 60%. A aplicação foi realizada com antecedência de 30 dias da semeadura. Durante esse período, os vasos foram mantidos com uma lâmina de água equivalente a 60 % do VTP (volume total de poros) ocupados com água, conforme metodologia de Bomfim-Silva et al. (2011), e monitorados por frequentes pesagens. Esta umidade também foi mantida ao longo de toda condução do experimento, com base no mesmo procedimento.

Previamente, um fertilizante orgânico foi obtido por meio do processo de vermicompostagem, utilizando 450 kg de resíduo de cogumelo Shimeji e 4,5 kg de minhocas (1% em massa). As minhocas utilizadas foram da espécie "caipira", coletadas no setor de cunicultura do Instituto Federal do Sul de Minas Campus Inconfidentes. O resíduo foi colocado em um coxo de 8 metros de comprimento, 0,5 metros de largura e 0,40 metros de altura, localizado no setor de vermicompostagem do Instituto Federal do Sul de Minas Campus Inconfidentes. As minhocas foram distribuídas uniformemente no resíduo, e todo o processo de produção durou seis meses. Durante esse período o processo de compostagem foi monitorada por irrigações; e no final, o composto foi peneirado e uma amostra foi retirada para análise química, onde obteve-se os seguintes resultados: 1,55 % de N, 0,35% de P, 0,27% de K, 5,45% de Ca, 0,84% de Mg, 0,25% de S, 210 mg kg⁻¹ de Zn, 2369 mg kg⁻¹ de Fe, 613 mg kg⁻¹ de Mn, 52 mg kg⁻¹ de Cu, 31,8 mg kg⁻¹ de B, com 36,84% de umidade e uma relação C:N de 9,5%.

Antes da semeadura foi realizado um teste de germinação no solo coletado, sem correção de calcário. Foi utilizado uma bandeja de 200 células, e monitorado a irrigação diariamente, porém, não houve germinação em nenhuma célula. Sendo assim, definiu-se os tratamentos todos com correção de calcário.

O experimento foi planejado e conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado, e seis tratamentos foram definidos como: FertConv + micro - Adubação convencional, seguindo as doses descrita por Lopes et al. (2014) mais aplicação de micro nutrientes nas concentrações de 1,8% de B, 9% de Zn, 1,00 % de Fe, 0,8% de Cu e 2,1% de

Mn via solução nutritiva; FertConv – Conforme Lopes et al. (2014), sem a aplicação de micro nutrientes; Cal – Apenas aplicação de calcário e tratamentos de doses do vermicomposto obtido de resíduos da produção de cogumelos shimeji, sendo: Org 20 – referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40 – referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60 – referente a dose de 60 t ha⁻¹; em quatro repetições. A semeadura foi realizada utilizando-se, 1,5 gramas por vaso de sementes comercial da espécie *U. brizantha* cv. Marandu.

As adubações potássicas (cloreto de potássio), fosfatada (superfosfato simples) e micronutrientes (solução nutritiva) foram planejadas com base tanto nos resultados da análise química inicial do solo quanto em aplicações realizadas por Lopes et al. (2014). Para a condução do primeiro ciclo de crescimento e, nos tratamentos exclusivamente de adubação química, uma dose inicial de fósforo (125 mg P₂O₅ dm⁻³) foi aplicada de uma só vez, no ato da semeadura. E neste momento, foram fornecidos os micronutrientes via solução nutritiva para compor o tratamento FertConv + micro. Aplicações de nitrogênio (ureia) e de potássio em cobertura foram realizadas de forma parceladas. A primeira metade da dose de nitrogênio (120 mg N dm⁻³) foi aplicada 45 dias após plantio (DAP) e a segunda 15 dias após a primeira. A primeira adubação potássica (120 mg K₂O dm⁻³) foi aplicada logo na implantação do experimento (momento da semeadura). A segunda aplicação (120 mg K₂O dm⁻³) foi realizada juntamente com a primeira dose de nitrogênio.

Um desbaste das plantas foi realizado aos 25 DAP, tendo sido mantidas 2 plantas na posição central do vaso, para posterior condução e coleta de parâmetros morfogênicos. Cada uma das plantas recebeu identificação com um anel de cor diferenciada. As plantas selecionadas foram as que apresentavam melhor desenvolvimento naquele período. As plantas marcadas foram avaliadas a cada 7 dias, com início ao 15º dia após a emergência. Aos 45 DAP foi retirada uma amostra de solo para caracterização química após aplicação dos tratamentos. O primeiro corte da parte aérea foi realizado 3 meses após a semeadura.

Para o segundo ciclo de crescimento (pós primeiro corte), nos tratamentos sem aplicação do vermicomposto, realizou-se uma adubação de cobertura com uso de adubo convencional formulado NPK 19-04-19; com dosagens correspondentes a 240, 50 e 240 kg ha⁻¹ em NPK, sendo a aplicação realizada em duas parcelas, onde a primeira foi efetuada uma semana após o corte da parte aérea e a segunda 25 dias após a primeira. O segundo corte foi realizado 75 dias após o primeiro; momento em que as raízes também foram coletadas.

As características avaliadas em ambos os períodos de crescimento foram: massa seca da parte aérea (MS, g vaso⁻¹); taxa de alongamento foliar (TAIF, mm folha⁻¹ dia⁻¹); taxa de alongamento dos colmos (TAIC, mm colmo⁻¹ dia⁻¹); número de folha vivas (NFV, número de

folhas expandidas), taxa de aparecimento foliar (TApF, folhas expandidas dia⁻¹) com base nesta variável foi calculado o filocrono (FILO, número de dias para uma folha aparecer) segundo metodologia proposta por Chapman & Lemaire (1993). Estimou-se a densidade populacional de perfilhos (DDP, perfilho vaso⁻¹) conforme Costa (2021). Ao final do segundo corte, obteve-se a massa seca das raízes (MSR, g vaso⁻¹), bem como a massa seca total da parte aérea (MST, g vaso⁻¹) pela soma dos cortes 1 e 2.

Todos os dados foram analisados quanto à normalidade e, em seguida, submetidos à análise de variância – ANAVA e utilizado o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$) para comparação entre médias de tratamentos. Com base na variância total foi realizado a Análise de Componentes Principais (PCA) para verificar quais nutrientes teriam maior correlação com os parâmetros de crescimento analisados.

Resultados e discussão

Quanto aos teores de nutrientes do solo, a dose de 60 t ha⁻¹ do vermicomposto proporcionou os maiores valores para P, Ca, Mg, Zn e pH. O Cu apresentou maior concentração no tratamento FertConv + micro. Para o teor de B, superioridade foi verificada nos tratamentos FertConv e FertConv+micro (Tabela 1).

Tabela 1 – Teores de nutrientes no substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas em resposta à adubação tanto com fertilizantes convencionais frequentemente recomendados (Fert.Conv= adubação convencional NPK, Fert + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹).

Fertilizantes aplicados	Nutrientes analisados									
	K mg.dm ³	P mg.dm ³	Ca cmol.dm ³	Mg cmol.dm ³	Zn mg.dm ³	Fe mg.dm ³	Mn mg.dm ³	Cu mg.dm ³	pH -	B mg.dm ³
FertConv + micro	27,35b	2,84d	3,84a	0,67b	1,10c	20,30b	11,55b	0,12a	6,51e	4,98a
FertConv	31,33b	3,16d	2,94b	0,58b	1,10c	19,58b	11,60b	0,00b	6,65d	5,02a
Cal	24,08b	1,38d	2,22c	0,59b	1,10c	28,23a	16,20b	0,01b	6,70d	1,09b
Org 20	30,73b	6,51c	2,87b	0,73b	2,38b	32,55a	24,43a	0,01b	6,92c	0,07b
Org 40	59,95a	12,72b	3,57	1,09a	3,88a	16,93b	21,23a	0,05b	7,07b	0,12b
Org 60	52,55a	25,26a	3,94a	1,25a	4,05a	10,20c	13,30b	0,05b	7,25a	0,15b

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste scott&knott ao nível de 0,05% de probabilidade.

De acordo com Dey et al. (2019) a mineralização do N a partir de adubos orgânicos é frequentemente relatada, no entanto, ainda é limitada informações sobre a disponibilização de outros nutrientes. Esta informação contribuiria com a calibração mais eficiente de dosagens a serem aplicadas, e assim possibilitar redução na dependência por fertilizantes químicos por parte dos agricultores, possibilitando maior sustentabilidade em seus sistemas produtivos. Os autores citados, estudaram a dinâmica de liberação em função do tempo (120 dias) de alguns macros e micronutrientes de esterco de curral, composto de cogumelos, esterco de aves, vermicomposto, chorume de biogás e bio carvão de Lantana sp. Verificaram maior concentração de Fe e Mn na aplicação de composto de cogumelo; K, Ca, Mg e S no esterco de curral; P, Zn e Cu no chorume de biogás e de B no biocarvão de Lantana sp. As porcentagens médias dos totais liberados foram de 30,5% P, 71,8% K, 23,1% Ca, 24,4% Mg, 29,3% S, 47,2% Zn, 22,9% Cu, 38,6% Fe, 46,6% Mn e 70,9% B.

Houve incremento de 889,44 e 799,37% da concentração de P quando se compara a dose do tratamento Org 60 em relação ao FertConv+micro e FertConv, respectivamente. A disponibilização do P no solo pela decomposição da matéria orgânica tende a variar de acordo com as características específicas de cada solo (PAVINATO, MERLIN e ROSOLEM, 2008), sendo assim, este resultado indica o potencial do vermicomposto na fertilização do substrato estudado, visto que originalmente possuía apenas 1,60 mg.dm⁻³ de P. O aumento dos níveis de

fósforo com a aplicação do composto orgânico, reflete a importância de seu uso na construção da fertilidade do solo, principalmente para os solos tropicais onde o fósforo é um dos nutrientes mais limitante da produtividade de biomassa (COSTA, SILVA e RIBEIRO, 2013).

Ourives et al. (2010) avaliaram os efeitos da aplicação do composto orgânico Bokashi sobre os teores de macro e micronutrientes do solo e nas folhas, além da produção de massa seca da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, avaliando o potencial do adubo orgânico como fonte de fósforo, em comparação à adubação química convencional. Os resultados demonstraram um incremento dos teores de fósforo em 4,32 vezes em relação ao tratamento sem adubação.

Para o B e o Cu, o tratamento FertConv+micro proporcionou acréscimos, respectivos, de 3320 e 80% em relação ao Org 60, sendo esperada a superioridade em razão da aplicação da solução com micro nutrientes no momento do plantio, para aquele tratamento. A dose de 20 t.ha⁻¹ promoveu incrementos de 160,34% para o Zn e 211,52% para o Mn em comparação ao tratamento FertConv+micro.

O pH apresentou valores satisfatórios em todos os tratamentos, sendo que o Org 20, Org 40 e Org 60 proporcionaram um acréscimo, respectivo, no pH de 103,28, 105,52 e 108,21% em relação ao solo apenas aplicação de calcário. O aumento no pH com a aplicação de compostos orgânicos também foi relatado por outros autores como Rout et al. (2012) e Malav, Khan e Gupta. (2015).

As concentrações de Mg e K foram incrementadas, respectivamente, em 889,44 e 102,60% com a aplicação do vermicomposto, quando se compara o tratamento Org 60 em relação ao FertConv+micro. Para o Ca houve uma equiparação entre os tratamentos Org 40, Org 60 e FertConv+micro. Os incrementos dos níveis de K e Mg proporcionados pelos tratamentos com vermicomposto, se deve muito provavelmente pela riqueza desses nutrientes na matriz residual, como a da produção de cogumelos shimeji.

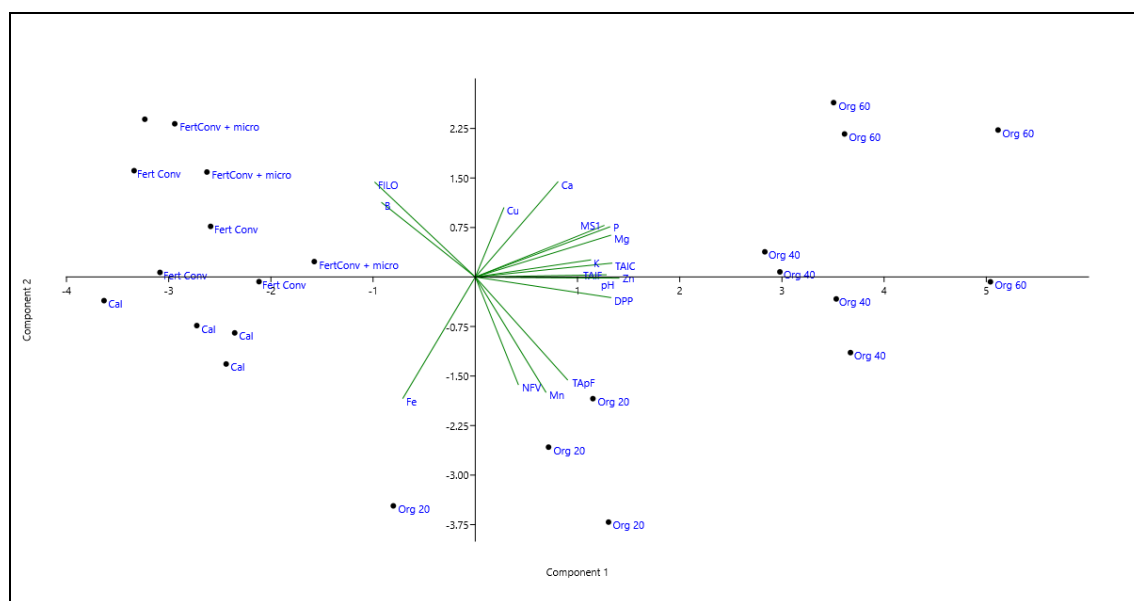
Os dados indicaram equilíbrio entre os nutrientes como Ca e Mg, este é um importante impacto das doses aplicadas do vermicomposto, uma vez que o excesso de Ca em relação ao Mg na solução do solo pode prejudicar a absorção deste último, assim como o excesso de Mg e de K também prejudica a absorção de cálcio (MOORE, OVERSTREET e JACOBSON, 1961).

Foi enfatizado por Medeiros et al. (2008), que a inter-relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Dessa forma, o desequilíbrio nesta relação pode sensivelmente prejudicar os processos de adsorção e

absorção de Ca, Mg e K (ARANTES e NOGUEIRA, 1986), com reflexos imediatos no desenvolvimento das plantas (SALVADOR, CARVALHO e LUCCHESI, 2011).

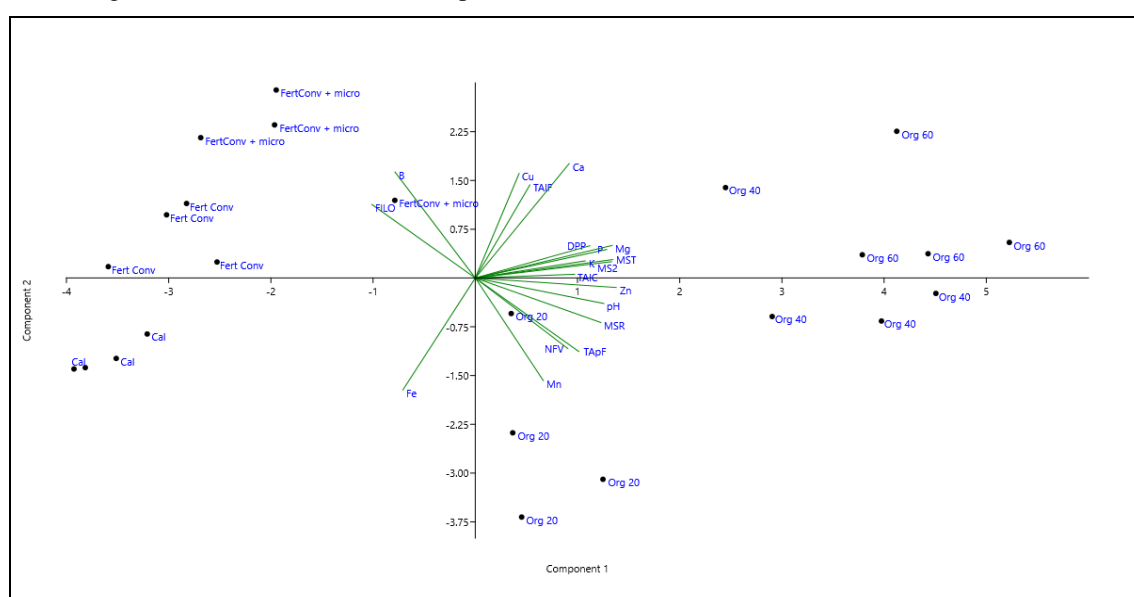
Pela a análise multivariada dos parâmetros principais observou-se a nítida separação entre os tratamentos com adubação orgânica e convencional nos dois cortes estudados (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Análise por componentes principais (PCA), considerando acúmulo de matéria seca e parâmetros morfológicos (MS1,) e atributos químicos do solo (pH, P.....) .., em resposta aos tratamentos de adubação química, sendo: Fert.Conv= adubação convencional NPK, FertConv + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn) e Cal (somente calagem) e orgânica com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji, sendo: Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹, para *Urochloa brizantha* cv. Marandu, em 1º ciclo de crescimento (90 dias após a semeadura) cultivada em substrato remanescente da atividade de mineração de bauxita do município de Poços de Caldas.



Fonte: Autor.

Figura 2 - Análise componente principal (PCA), *Urochloa brizantha* cv. Marandu, 2º ciclo de crescimento (75 dias após o corte). Fert.Conv= adubação convencional NPK, FertConv + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha-1; Org 40= referente a dose de 40 t ha-1 e Org 60= referente a dose de 60 t ha-1), cultivada em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas. TAIC = Taxa de alongamento de colmo; TAIF = Taxa de alongamento de folha; TApF = Taxa de aparecimento foliar; FILO = Filocrono; NFV = Número de folha vivas; DDP = densidade populacional de perfilhos; MS1 = Massa seca parte aérea do primeiro corte; MS2 = Massa seca parte aérea do segundo corte; MST = Massa seca parte aérea total; MSR = Massa seca das raízes.



Fonte: Autor.

Nos dois ciclos de crescimentos estudados, os tratamentos Org 20, Org 40 e Org 60 correlacionaram positivamente com todos os parâmetros de crescimento estudados. Os teores de níveis de boro B e Fe apresentaram correlação negativa com os demais nutrientes, e positiva com o filocrono.

Houveram diferenças significativas ($P < 0,05$) pelo teste de Scott&Knott entre os tratamentos estudados, para toda as variáveis morfogênicas e produtivas no primeiro corte do capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Tabela 2).

Tabela 2 - Características morfogênicas e acúmulo de matéria seca da forrageira *U. brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação tanto com fertilizantes convencionais frequentemente recomendados (Fert.Conv= adubação convencional NPK, Fert + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹), cultivada em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas.

Cortes	Variáveis	Fertilizantes aplicados					
		Fert. Conv + micro	Fert. Conv	Cal	Org 20	Org 40	Org 60
1º corte	TAIC* (mm.dia ⁻¹)	2,412c	2,739c	1,608c	3,79b	5,425 ^a	6,160a
	TAIF* (mm.dia ⁻¹)	2,297b	3,260b	1,692b	5,16a	5,725 ^a	7,041a
	TApF* (folha.dia ⁻¹)	0,099b	0,099b	0,101b	0,11a	0,115 ^a	0,108a
	FILO* (dias)	10,226a	10,194a	9,878a	8,72b	8,770b	9,143b
	NFV* (folhas)	4,250b	4,000b	4,000b	5,00a	4,250b	4,250b
	DPP* (perfilho planta ⁻¹)	1,000b	1,000b	1,000b	2,25a	2,750 ^a	3,000a
	MS1* (grama vaso ⁻¹)	0,251c	0,314c	0,091c	0,561c	1,194b	2,290a
2º corte	TAIC* (mm dia ⁻¹)	2,986b	1,806b	1,688b	3,819b	5,972 ^a	5,972a
	TAIF* (mm dia ⁻¹)	18,056a	16,111a	3,331b	10,417b	21,528 ^a	15,694a
	TApF* (folha dia ⁻¹)	0,153b	0,139b	0,139b	0,181a	0,181 ^a	0,181a
	Filo* (dias)	6,686a	7,200a	7,200a	5,657b	5,657b	5,657b
	NFV ^{NS} (folhas)	3,250a	3,250a	3,000a	3,750a	3,750 ^a	3,750a
	DPP* (perfilho planta ⁻¹)	3,500a	2,250b	1,250b	3,750a	4,250 ^a	4,750a
	MS2 (grama vaso ⁻¹)	5,318c	4,880c	2,453d	7,629b	10,248 ^a	11,850a
	MST (grama vaso ⁻¹)	5,569d	5,194d	2,543e	8,190c	11,442b	14,140a
MSR (grama vaso ⁻¹)	1,560b	1,270b	0,700b	9,700a	8,668 ^a	10,005a	

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste scott&knott ao nível de 0,05% de probabilidade.

TAIC = Taxa de alongamento de colmo; TAIF = Taxa de alongamento de folha; TApF = Taxa de aparecimento foliar; FILO = Filocrono; NFV = Número de folha vivas; DDP = densidade populacional de perfilhos; MS1 = Massa seca parte aérea do primeiro corte; MS2 = Massa seca parte aérea do segundo corte; MST = Massa seca parte aérea total; MSR = Massa seca das raízes. TAIC = Taxa de alongamento de colmo; TAIF = Taxa de alongamento de folha; TApF = Taxa de aparecimento foliar; FILO = Filocrono; NFV = Número de folha vivas; DDP = densidade populacional de perfilhos; MS1 = Massa seca parte aérea do primeiro corte; MS2 = Massa seca parte aérea do segundo corte; MST = Massa seca parte aérea total; MSR = Massa seca das raízes.

Fonte: Autor.

Os resultados de crescimento das plantas demonstraram algumas limitações em fertilidade do substrato remanescente da mineração em questão, contudo, a adubação com o

fertilizante orgânico, obtido do resíduo da agroindústria do cogumelo comestível por meio da vermicompostagem, demonstrou ser uma promissora alternativa para a melhorias das condições de cultivo da *U.brizantha* cv Marandu na área em questão.

No primeiro corte, para as variáveis TAlF e TAIC, verificou-se uma nítida distinção entre as médias obtidas nos tratamentos de adubação orgânica daquelas obtidas nos tratamentos exclusivamente de adubação química. Para TAlF as doses 20, 40 e 60 t ha⁻¹ foram estatisticamente iguais entre si e, para a TAIC, as doses 40 e 60 foram estatisticamente iguais e superiores à dose 20 (Tabela 2). Os tratamentos exclusivamente de adubação química (FertConv e Fertconv + micro) não diferiram entre si e nem do tratamento que recebeu apenas a aplicação de calcário (Cal). Quando se comparou a aplicação do composto orgânico na dose de 20, 40 e 60 t ha⁻¹ com o tratamento FertConv, verificou-se um incremento com o uso do adubo orgânico de 138,37, 198,06 e 224,90% na TAIC e 158,28, 175,61 e 215,95% na TAlF.

No segundo corte, para a TAlF, destaca-se a equiparação dos tratamentos de adubação convencional + micro e convencional aos tratamentos de adubação orgânica nas doses 40 e 60 t ha⁻¹. A TAlF foi superior em 173,33% e 154,67% nos tratamentos Fert Conv+micro e Fert Conv, respectivamente, em comparação com Cal. Esse ganho de desenvolvimento para o segundo corte pode ser atribuído ao efeito da adubação de cobertura realizada nas plantas que receberam os tratamentos Fert Conv+micro e Fert Conv. Para a TAIC, as doses mais altas de composto diferiram dos demais tratamentos, e destaca-se a superioridade de 353,90% proporcionado pela dose de 60 t ha⁻¹ em comparação para o Cal.

O acréscimo nas taxas de alongamento de colmo e de folha é responsável, em grande parte, pelo aumento na MS nos dois cortes estudados. À medida que a TAlF aumenta, ocorre incremento na proporção de folhas (ALEXANDRINO et al., 2004) e, conseqüentemente, maior área foliar fotossinteticamente ativa, o que possibilita maior acúmulo de biomassa (LOPES et al. 2014).

A MS1 foi estatisticamente superior nas doses de 40 e 60 t ha⁻¹, com incremento respectivamente de 380,33 e 729,29%, em relação ao tratamento FertConv. Não houveram diferenças entre os demais tratamentos. Para a MS2, os tratamentos FertConv+micro e FertConv diferiram do Cal, com acréscimo de 216,84 e 198,97% respectivamente. Porém, foi estatisticamente inferior as doses de vermicomposto. A dose de 20 t ha⁻¹ diferiu das demais e obteve uma superioridade de 143,44 e 156,33% em relação aos tratamentos FertConv+micro e FertConv, respectivamente. A dose de 60 t ha⁻¹ promoveu respectivamente, um aumento de MS no segundo corte de 222,82 e 242,82% em comparação aos tratamentos FertConv+micro e FertConv.

Observou-se que a adubação de cobertura realizada nos tratamentos com adubação convencional, permitiu uma recuperação no desenvolvimento das plantas nestes tratamentos, com reflexos importantes na produção de massa seca do segundo corte, fazendo com que o acúmulo em MS neste ciclo contribuísse com participação mais expressiva na MST (soma corte 1 + corte 2). No entanto, a adubação orgânica, mesmo sem receber adubação química de cobertura, ainda manteve positivamente maior dinâmica de expansão dos tecidos vegetais, resultando em maiores acúmulos de MS, também ao longo do segundo ciclo de crescimento.

Os tratamentos FertConv+micro e Fert.Conv não diferiram entre si para a MST, mas com superioridade estatística de ambos para o Cal. Houveram diferenças significativas entre as doses de vermicomposto, sendo que a maior dosagem (Org 60) foi superior aos demais tratamentos, com os respectivos incrementos de 253,91 e 272,24% em comparação à MST proporcionada pelos tratamentos FertConv+micro e Fert.Conv.

A superioridade das plantas adubadas com o vermicomposto também pode ser atribuída ao maior desenvolvimento do sistema radicular, uma vez que a produção de raízes é o indutor para o suporte do crescimento aéreo (GURGEL et al., 2020). As plantas adubadas com o adubo convencional, não diferiram do tratamento apenas com correção de acidez do solo (Cal), mesmo sendo um tratamento de recomendação de doses adequadas ao desenvolvimento da planta. Todos os tratamentos com vermicomposto proporcionaram acréscimos significativos em comparação com os demais. A maior dose (60 t ha⁻¹) promoveu 641,34, 787,80 e 1.429,29% a mais de MSR, em comparação com os respectivos tratamentos FertConv, FertConv+micro e Cal.

O uso do vermicomposto promoveu incrementos em variáveis morfogênicas consideradas importantes para o manejo do pastejo. Destaca-se maior TA_{pF}, maior densidade populacional de perfilho e menor filocrono nos dois cortes estudados (Tabela 2).

Silva et al. (2018) avaliaram os métodos de adubação e correção do solo na produtividade de *Urochloa decumbens* e atributos químicos do solo, em área degradada. Os tratamentos estudados pelos autores foram: aplicações de 2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico, adubação convencional (45, 54 e 75 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente), 3 t.ha⁻¹ de cama de peru e a testemunha sem correção/fertilização. Foram avaliadas a produtividade de matéria seca e os atributos químicos do solo: MO, pH, P, K, Ca, Mg, CTC e V%. Verificaram que a maior produtividade de massa seca da *Urochloa decumbens* foi proporcionada pela adubação com a cama de frango e adubação convencional. A adubação com o adubo orgânico promoveu acréscimos nos teores de MO, P, Ca, Mg e V% em relação aos solos submetidos a adubação convencional ou apenas calagem. Já os teores de pH, K e CTC não foi afetado pelos manejos

de adubação.

Giostri et al. (2014) avaliaram o uso agrícola de resíduos líquidos da indústria de enzimas (LWE) e seu impacto na fertilidade do solo, no crescimento e nutrição mineral de um pasto nativo instalado em um Cambissolo Háptico distrófico. Amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm) e cinco cortes foram realizados. Segundo os autores o Ca e Mg aumentaram em resposta as doses de LWE, sendo que apenas na quarta amostragem o Mg apresentou ajuste quadrático com ponto de máxima, já nas demais, apresentou crescimento linear em função das doses de LWE. O teor de K, na profundidade de 0-10 cm, aumentou em quase duas vezes. O uso do LWE proporcionou melhorias nos parâmetros como acidez e disponibilidade de P, indicando sua ação como corretivo e fonte de nutrientes. Houve ainda, melhoria na qualidade da pastagem através do aumento dos teores de N, K e P nas plantas e maior produtividade.

A densidade populacional de perfilho foi inferior ao esperado. No primeiro corte apenas as plantas adubadas com o vermicomposto apresentaram perfilhamento, com o máximo de 3 perfilhos por planta. Após o corte, as plantas apresentaram maior densidade de perfilhos em todos os tratamentos, porém, o tratamento Cal não diferiu do Fert.Conv. Já a adubação convencional com adição de micro nutrientes não diferiu das plantas que receberam aplicação do vermicomposto.

Costa (2021) avaliou níveis de adubação potássica sob as características morfogênicas, estruturais e produtivas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em um solo arenoso e ácido. O autor verificou DPP variando de 35,50 a 56,50 perfilho planta⁻¹, porém, concluiu que as doses de potássio não alteraram as características morfogênicas, estruturais e produtivas do capim nas condições de solo estudado, evidenciando que o uso de potássio em solos sem correção não traz vantagens significativas.

A baixa DPP encontrada no trabalho indica as dificuldades de estabelecimento das forrageiras no solo pós mineração de bauxita, além disso, o presente estudo foi desenvolvido durante a estação mais fria do ano, que tende a promover menor DPP (FAGUNDES et al., 2005).

A superioridade da TApF nos tratamentos com o uso do vermicomposto em relação aos demais, se deu pelo melhor desenvolvimento radicular das plantas adubadas com o vermicomposto, o que promove melhor estabelecimento e desenvolvimento da parte aérea.

A redução do filocrono nos tratamentos com vermicomposto é justificado pelas respostas de desenvolvimento da TAIF e TApF (MARTUSCELLO et al., 2006) associado a taxa de alongamento dos colmos (GOMIDE; GOMIDE, 2000). Dessa forma, pode-se inferir

que as plantas fertilizadas com o vermicomposto atingirão seu número máximo de folhas vivas por perfilho mais precocemente, possibilitando colheitas mais frequentes da forragem produzida, a fim de minimizar perdas por senescência foliar, pois o balanço entre as taxas de alongamento da lâmina foliar e dos colmos, são determinantes para a dinâmica do filocrono (SKINNER; NELSON, 1995).

A aplicação do vermicomposto tende a reduzir o período de descanso adequado da pastagem, ou seja, as plantas adubadas com vermicomposto demonstraram uma TAIC, TAlF e TApF mais acentuada e com isso um período mais rápido de recuperação.

Estes resultados evidenciam o potencial do uso de fertilizantes orgânicos originados da indústria dos cogumelos na melhoria das condições de cultivo de forrageiras em solos degradados. Neste contexto, destaca-se que o sucesso do estabelecimento da *Urochloa brizantha* cv marandu em área pós minerada, é amplamente comprometido caso o planejamento do manejo de adubações seja feito apenas com calagem e/ou fertilizações químicas convencionais.

Conclusões

Aplicação de vermicomposto, nas doses de 40 e 60 t ha⁻¹, proveniente de resíduos da indústria do cogumelo shimeji promove incremento em K, P, Mg, Zn e pH em substrato de Cambissolo remanescente da atividade de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas.

A adubação com base apenas em fertilizantes químicos não promove acréscimos em TAIC, TAlF, TApF, DPP e MS até 90 dias de crescimento inicial da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, cultivada em substrato de Cambissolo remanescente da atividade de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas.

O crescimento da *Urochloa brizantha* cv. Marandu nos primeiros 90 dias, em substrato de Cambissolo remanescente de mineração, quando adubada com vermicomposto na dose de 60 t.ha⁻¹, tem incremento de 729,29% no acúmulo de matéria seca da parte aérea em comparação com a aplicação apenas de adubação química.

Referências bibliográficas

ALEXANDRINO, E. et al. Características morfogênicas e estruturais na rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a três doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1372-1379, 2004.

ALLEONI, L.R.F.; MELLO, J.W.V.; ROCHA, W.S.D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. eds. **Química e mineralogia do solo: Parte I - Conceitos Básicos**. Viçosa: SBCS, p.69-129. 2009.

ARANTES, E. M.; NOGUEIRA, F. D. Efeito da relação Ca/Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, nas concentrações de K, Ca e Mg, e nas relações catiônicas da parte aérea. **Ciência Prática**, v. 10, p. 136-145, 1986.

BOMFIM-SILVA, E. M. et al. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

BRADY, C. J.; NOSKE, R. A. Succession in Bird and Plant Communities over a 24-year Chronosequence of Mine Rehabilitation in the Australian Monsoon Tropics. **Estoration Ecology**, v. 18, n. 6, p. 855-864, nov. 2010.

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. (1993) Morphogenetic and structural determinants of 226 plant regrowth after defoliation. In: BAKER, M.J. (Ed.). **Grasslands for our world**. Sir Publishing, Wellington.

COSTA, A. B. G. **Capim-marandu sob doses crescentes de nitrogênio e potássio em solo ácido**. 2021. Dissertação (mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021.

COSTA, E.; SILVA, H.; RIBEIRO, P. R. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

CRUZ, N. T. et al. Factors affecting the morphogenic and structural characteristics of forage plants. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7. 2021.

DEY, A. et al. Time-dependent release of some plant nutrients from different organic amendments in a laboratory study. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 173-188, 2019.

DHALIWAL et. Al. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as

influenced by organic matter build-up: A review. **Environmental and Sustainability Indicators**, 1-2, 2019.

DUTRA, I.C. **Brachiaria brizantha cv. marandu com e sem calagem sob diferentes adubações**. 2021. Dissertação (mestrado em zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2021.

FAGUNDES, J. L. et al. Índice de área foliar, densidade de perfilhos e acúmulo de forragem em pastagem de capim-braquiária adubada com nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, v. 62, n. 2, p. 125-133, 2005.

GARCEZ, T. B.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen use of *Panicum* and *Brachiaria* cultivars vary with nitrogen supply: I. differences in plant growth. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 614-621, 2016.

GIOSTRI, A.F et. al. The effects of industrial waste from enzyme production on pasture growth and soil chemical properties. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 36, n. 2, 2014.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq.. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.675-680, 1999.

GRIFFITH, J.J. **Recuperação conservacionista da superfície de áreas mineradas: Uma revisão de literatura**. Viçosa. Sociedade de Investigações Florestais, 1980. 106p. (Boletim Técnico n. 79)

GURGEL, A. L. C. et al. Carbon and nitrogen stocks and soil quality in an area cultivated with guinea grass under the residual effect of nitrogen doses. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 9381, 2020.

LIMA, V. H. R. et al. Avaliação do capim-vetiver e capim-marandu na remediação de solo contaminado com óleo lubrificante usado. **Sustentare**, v. 3, n. 1, p. 122-142, 2019.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 101-107, 2005.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, v. 70, p. 139-146, 2011.

LOPES, M. N. et al. Características morfogênicas de dois tipos de perfilhos e produção de biomassa do capim-massai adubado com nitrogênio durante o estabelecimento. **Biosci. J.**, v.

30, p. 666-677, 2014.

MALAV, L. C.; KHAN, S. A.; GUPTA, N. Impacts of biogas slurry application on soil environment, yield and nutritional quality of baby corn. **Society for Plant Research**, v. 74, p. 194, 2015.

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M. da; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; SANTOS, P.M.; CUNHA, D. de N.F.V. da; MOREIRA, L. de M. Características morfológicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.665-671, 2006.

MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MENESES, A. J. G. et al. Morfogênese do capim-elefante adubado com composto orgânico proveniente de resíduos sólidos de pequenos ruminantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 699-707, 2018.

MOORE, D. P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. **Plant Physiology**, Washington, v. 36, p. 290-295, 1961.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. et al. Características produtivas, morfológicas e estruturais do capim Piatã submetido à adubação orgânica. **Ciência rural**, v. 43, p. 1238-1244, 2013.

OURIVES, O. E. A. et al. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 126-132, 2010.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Organic compounds from plant extracts and their effect on soil phosphorus availability. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1379-1388, 2008.

RAMOS, S.J et al. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**, v.69, p.149-155, 2010.

ROUT, K. K. et al. Assessment of quality of different organic manures used by the farmers of Khurda district in Orissa and their effect on microbial activity of an acid soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 60, n. 1, p. 30-37, 2012.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SILVA, A. et. Al. Replacement of liming and NPK fertilization with turkey litter in degraded areas grown with *Urochloa decumbens*. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 467-475, 2018.

SILVA, S. F.; FERRARI, J. L. Descrição botânica, distribuição geográfica e potencialidades de uso da *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A. Rich) Stapf. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 14, p.302-314, 2012.

SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. **Crop Science**, v. 35, n. 1, p. 4-10, 1995.

UFV, CETEC; UFLA, FEAM. **Mapa de Solos de Minas Gerais**. Belo Horizonte, p. 49, 2010.

VALLE, C.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S. Forage breeding in Brazil. **Revista Ceres**, v. 56, p. 460-472, 2009.

2.2 ARTIGO 2 - RESPOSTAS DO CAPIM MOMBAÇA À ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA EM SUBSTRATO REMANESCENTE DA MINERAÇÃO DE BAUXITA

Resumo

Objetivou-se avaliar as respostas produtivas e morfofisiológicas da espécie forrageira *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, bem como parâmetros microbiológicos do solo, em resposta à fertilizantes químicos convencionais e a um vermicomposto derivado de resíduos da produção de cogumelos shimeji. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, onde seis tratamentos, sendo: adubações convencionais (FertConv; FertConv + micro e Cal) e doses exclusivamente do vermicomposto (20, 40 e 60 t ha⁻¹) foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado em quatro repetições. Houveram incrementos significativos nas taxas morfogênicas e produtivas para as doses do vermicomposto no primeiro corte. Para o segundo corte, nos parâmetros TAIF, TAIC, TApF e NFV, não foram verificadas diferenças entre os tratamentos. Mesmo assim, ao fim do segundo ciclo de crescimento, a produção de massa seca foi estatisticamente superior nos tratamentos adubados com o vermicomposto. Na avaliação final da produção, a MST (soma corte 1 + corte 2) foi estatisticamente superior nos tratamentos com vermicomposto, com acréscimos respectivos de 371,37, 512,50 e 614,51% para os tratamentos Org 20, Org 40 e Org 60 em comparação à aplicação apenas do calcário (Cal) e 160,45, 221,43 e 265,50% em relação à adubação química mais completa (Fert Conv+micro). As doses do vermicomposto influenciaram a dissipação não fotoquímica (qN) e fluorescência inicial (F0), na avaliação realizada no segundo ciclo de crescimento. No solo, houveram diferenças significativas entre os tratamentos para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), da respiração basal (C-CO₂) e do quociente metabólico (qCO₂). A utilização do vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji, além da viabilidade técnica, demonstra ser um fator crítico para o estabelecimento do capim mombaça em substrato remanescente de mineração.

Palavras-chaves: áreas degradadas, vermicomposto, resíduo de cogumelos shimeji, pastagem.

RESPONSES OF MOMBASA GRASS TO MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION IN BAUXITE MINING REMNANT SUBSTRATE

Abstract

The aim of this study was to evaluate the productive and morphophysiological responses of the forage species *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça, as well as soil microbiological parameters, in response to conventional chemical fertilizers and vermicompost derived from shimeji mushroom production waste. A greenhouse experiment was carried out, where six treatments, including conventional fertilization (FertConv; FertConv + micro and Lime) and exclusively vermicompost doses (20, 40, and 60 t ha⁻¹), were evaluated in a completely randomized design with four replications. There were significant increases in morphogenic and productive rates for the vermicompost doses in the first cut. For the second cut, there were no differences observed between the treatments in the parameters TAIF, TAIC, TApF and NFV. Nevertheless, at the end of the second growth cycle, dry mass production was statistically higher in the vermicompost-fertilized treatments. In the final production assessment, the TDM (sum of cut 1 + cut 2) was statistically higher in the vermicompost treatments, with respective increases of 371.37%, 512.50%, and 614.51% for the Org 20, Org 40, and Org 60 treatments compared to the application of lime only (Cal) and 160.45%, 221.43%, and 265.50% compared to the complete chemical fertilization (FertConv + micro). The vermicompost doses influenced non-photochemical quenching (qN) and initial fluorescence (F0) in the evaluation conducted during the second growth cycle. In the soil, there were significant differences between the treatments for soil microbial biomass carbon (C-BMC), basal respiration (C-CO₂), and metabolic quotient (qCO₂). The use of vermicompost derived from shimeji mushroom production waste, in addition to its technical feasibility, demonstrates to be a critical factor for the establishment of Mombaça grass in mining residual substrates.

Keywords: degraded areas, vermicompost, shimeji mushroom waste, pasture.

Introdução

A degradação do solo ocasionada pela mineração é um tema de grande relevância no contexto ambiental, social e econômico do país. As áreas degradadas pela atividade mineradora sofrem comprometimento de suas funções essenciais, acarretando impactos negativos na produtividade agrícola, biodiversidade e equilíbrio dos ecossistemas. A recuperação dessas áreas afetadas pela mineração é de extrema importância para o desenvolvimento sustentável da atividade minerária e para a economia das regiões onde essas áreas estão localizadas.

Após a conclusão da extração mineral, as áreas com seus respectivos remanescentes do processo minerário, devem ser reutilizadas com base em seus planos de recuperação previamente aprovado, e as atividades agropecuárias são frequentemente previstas. No município de Poços de Caldas-MG, a mineração de bauxita é amplamente realizada, e, comumente, após o encerramento da exploração do minério, a área é restituída ao proprietário com o estabelecimento de pastagens.

O capim-mombaça (*Megathyrus maximus* cv. Mombaça) destaca-se como uma das espécies forrageiras tropicais mais produtivas disponíveis no mercado para os pecuaristas (FREITAS et al. 2007). No entanto, em áreas de baixa fertilidade do solo, como é o caso das áreas pós mineradas, a produção dessa forragem é reduzida, devido as suas exigências nutricionais.

A construção da fertilidade do solo visando proporcionar um desenvolvimento adequado da cultura implantada requer consideração de diversos fatores de natureza química, física e biológica. No entanto, os processos bióticos influenciam diretamente a maioria dos atributos químicos e físicos do solo (LEE, 1994). A matéria orgânica influencia fortemente a produtividade das plantas, condiciona diversas propriedades físicas, químicas e físico-hídricas do solo, tampona a acidez e é substrato para a biota do solo (BETTIOL et al. 2023). Assim, a adição de matéria orgânica nos solos pós minerados pode se tornar em fator crítico para a recuperação da fertilidade e por consequência o estabelecimento de plantas nessas áreas.

A utilização de resíduos como adubo orgânico emerge como uma alternativa relevante e econômica para suprir a demanda por matéria orgânica em áreas degradadas, ao mesmo tempo em que contribui em mitigar os impactos decorrentes do descarte inadequado de resíduos no meio ambiente. Além do mais, o Brasil possui uma alta demanda de fertilizantes, mercado dominado por poucos fornecedores (BRASIL, 2021), sendo fundamental o desenvolvimento de pesquisas que visam o reaproveitamento de resíduos, gerando fontes alternativas de fertilizantes.

A avaliação das características morfofisiológicas e produtivas das plantas em uma

pastagem, representa a avaliação prévia fundamental para a adoção de práticas adequadas no seu manejo e na compreensão da adaptação das forrageiras ao ambiente (LUNA, et al. 2014).

Neste contexto objetiva-se avaliar as características morfogênicas, produtivas e as respostas fisiológicas do *Megathyrus maximus* cv. Mombaça e parâmetros microbiológicos em substrato de um Cambissolo pós minerado, em função de adubação química convencional e doses de vermicomposto oriundo de resíduos da produção de cogumelos shimeji.

Materiais e métodos

Inicialmente identificou-se uma área representativa da atividade de mineração de bauxita da região de Poços de Caldas-MG, que de acordo com o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV et al., 2010), representava originalmente um solo classificado como Cambissolo Háplico. Contudo, durante a operação de mineração, houve a remoção do solo do horizonte A, além das camadas do subsolo, notadamente os horizontes B e C. Após a extração, o solo foi restituído à área de lavra, dando início às práticas de reconformação topográfica, com a devolução do solo previamente retirado, seguida pelo início do processo de revegetação com plantio de eucalipto.

Amostras da camada de 0-20 cm de profundidade do substrato remanescente, foram coletadas para um diagnóstico inicial e, assim, verificou-se um solo com 32,2% de argila e com as seguinte composição química: pH de 5,57; 1,60 mg dm⁻³ de P; 27,23 de mg dm⁻³ de K; 0 cmolc dm⁻³ de Al; 1,57 cmolc dm³ de Ca, 0,24 cmolc dm³ de Mg, 3,22 cmolc.dm³ de H, 5,10 cmolc.dm³ de CTC, 36,53 % de V, 3,54 dag dm³ de MO, 2,43 mg dm³ de Zn, 109,07 mg.dm³ de Fe, 49,33 mg.dm³ de Mn, 0,10 mg.dm³ de Cu, 0,20 mg.dm³ de B.

Foi conduzido um experimento em condições controladas de casa de vegetação, e para tal o substrato remanescente da mineração foi coletado na camada de 0-20 cm, submetida a peneiramento utilizando-se peneira com malha de 2 mm para homogeneização e descarte de materiais grosseiros e, em seguida, efetuou-se o preenchimento de vasos plásticos com capacidade de 4,5 kg destinados ao cultivo das plantas em sequência.

Foi conduzido um experimento em condições controladas de casa de vegetação, e para tal uma amostra do substrato remanescente da mineração foi coletada na camada de 0-20 cm, submetida a peneiramento utilizando-se peneira com malha de 2 mm para homogeneização e descarte de materiais grosseiros e, em seguida, efetuou-se o preenchimento de vasos plásticos com capacidade de 4,5 kg destinados ao cultivo das plantas em sequência.

No momento do enchimento dos vasos, foi feita a correção da acidez do solo,

buscando-se a elevação do teor da saturação de bases a 60%. A aplicação foi realizada com antecedência de 30 dias da semeadura. Durante esse período, os vasos foram mantidos com uma lâmina de água equivalente a 60 % do VTP (volume total de poros) ocupados com água, conforme metodologia de Bomfim-Silva et al. (2011), e monitorados por frequentes pesagens. Esta umidade também foi mantida ao longo de toda condução do experimento, com base no mesmo procedimento.

Previamente, um fertilizante orgânico foi obtido por meio do processo de vermicompostagem, utilizando 450 kg de resíduo de cogumelo Shimeji e 4,5 kg de minhocas da espécie “caipira”(1% em massa). O resíduo foi colocado em um coxo de 8 metros de comprimento, 0,5 metros de largura e 0,40 metros de altura, localizado no setor de vermicompostagem do Instituto Federal do Sul de Minas – Campus Inconfidentes. As minhocas foram distribuídas uniformemente no resíduo, e todo o processo de produção teve duração de seis meses. Durante esse período o processo de compostagem foi monitorada por irrigações; e no final, o composto foi peneirado e uma amostra foi retirada para análise química, onde obteve-se os seguintes resultados: 1,55 % de N, 0,35% de P, 0,27% de K, 5,45% de Ca, 0,84% de Mg, 0,25% de S, 210 mg kg⁻¹ de Zn, 2369 mg kg⁻¹ de Fe, 613 mg kg⁻¹ de Mn, 52 mg kg⁻¹ de Cu, 31,8 mg kg⁻¹ de B, com 36,84% de umidade e uma relação C:N de 9,5%.

Posteriormente, o experimento foi planejado e conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado, e seis tratamentos foram definidos como: FertConv + micro - Adubação convencional, seguindo as doses descrita por Lopes et al. (2014) mais aplicação de micro nutrientes nas concentrações de 1,8% de B, 9% de Zn, 1,00 % de Fe, 0,8% de Cu e 2,1% de Mn via solução nutritiva; FertConv – Conforme Lopes et al. (2014), sem a aplicação de micro nutrientes; Cal – Apenas aplicação de calcário; doses do vermicomposto obtido de resíduos da produção de cogumelos shimeji, sendo: Org 20 – referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40 – referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60 – referente a dose de 60 t ha⁻¹; em quatro repetições. A semeadura foi realizada utilizando-se, 1,5 gramas por vaso de sementes comercial da espécie *Megathyrus maximus* cv. Mombaça.

As adubações potássicas (cloreto de potássio), fosfatada (superfosfato simples) e micronutrientes (solução nutritiva) foram planejadas com base tanto nos resultados da análise química inicial do solo quanto em aplicações realizadas por Lopes et al. (2014) para a cultura. Na condução do primeiro ciclo de crescimento e, nos tratamentos exclusivamente de adubação química, uma dose inicial de fósforo (125 mg P₂O₅ dm⁻³) foi aplicada de uma só vez, no ato da semeadura. E neste momento, foram fornecidos os micronutrientes via solução

nutritiva para compor o tratamento FertConv + micro. Aplicações de nitrogênio e de potássio em cobertura foram realizadas de forma parceladas. A primeira metade da dose de nitrogênio (120 mg N dm^{-3}) foi aplicada 45 dias após plantio (DAP) e a segunda 15 dias após a primeira. A primeira adubação potássica ($120 \text{ mg K}_2\text{O dm}^{-3}$) foi aplicada logo na implantação do experimento (momento da sementeira). A segunda aplicação ($120 \text{ mg K}_2\text{O dm}^{-3}$) foi realizada juntamente com a primeira dose de nitrogênio.

Um desbaste das plantas foi realizado aos 25 DAP (dias após plantio), tendo sido mantidas 2 plantas na posição central do vaso, para posterior condução e coleta de parâmetros morfológicos. Cada uma das plantas recebeu identificação com um anel de cor diferenciada. As plantas selecionadas foram as que apresentavam melhor desenvolvimento naquele período. As plantas marcadas foram avaliadas a cada 7 dias, com início ao 15º dia após a emergência. Aos 45 DAP foi retirada uma amostra de solo para caracterização química após aplicação dos tratamentos. O primeiro corte da parte aérea foi realizado 3 meses após a sementeira.

Para o segundo ciclo de crescimento (pós primeiro corte), nos tratamentos sem aplicação do vermicomposto, realizou-se uma adubação de cobertura com uso de adubo convencional formulado NPK 19-04-19; com dosagens correspondentes a 240, 50 e 240 kg ha^{-1} em NPK, sendo a aplicação realizada em duas parcelas, onde a primeira foi efetuada uma semana após o corte da parte aérea e a segunda 25 dias após a primeira. O segundo corte foi realizado 75 dias após o primeiro; momento em que as raízes também foram coletadas.

As características morfológicas avaliadas em ambos os períodos de crescimento foram: massa seca da parte aérea (MS, g vaso^{-1}); taxa de alongamento foliar (TAIF, $\text{mm folha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); taxa de alongamento dos colmos (TAIC, $\text{mm colmo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); número de folha vivas (NFV, número de folhas expandidas), taxa de aparecimento foliar (TApF, folhas expandidas dia^{-1}) com base nesta variável foi calculado o filocrono (FILO, número de dias para o aparecimento de uma folha) segundo metodologia proposta por Chapman & Lemaire (1993). Estimou-se a densidade populacional de perfilhos (DDP, perfilho vaso^{-1}) conforme Costa (2021). Ao final do segundo corte, obteve-se a massa seca das raízes (MSR, g vaso^{-1}), bem como a massa seca total da parte aérea (MST, g vaso^{-1}) pela soma dos cortes 1 e 2.

A eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII) foi analisada 60 dias após o primeiro corte com o auxílio do fluorômetro de pulso modulado Mini-Pam II (Heinz Walz, Effeltrich, Germany) para o claro e o escuro. Para adaptação ao escuro, foram colocadas pinças no terço médio da primeira folha totalmente expandida durante 30 minutos, sendo obtidas fluorescência inicial (F_0) e fluorescência máxima (F_m), eficiência fotoquímica calculada pela razão entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima (F_v/F_m), taxa

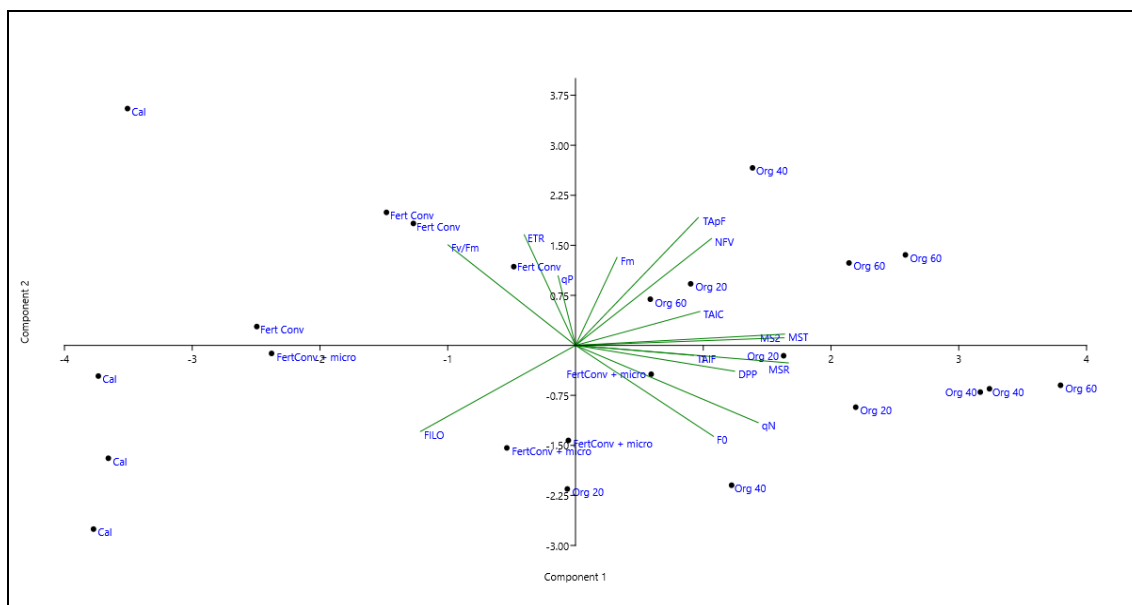
aparente de transporte de elétrons (ETR), dissipação fotoquímica (qP) e dissipação não fotoquímica (qN).

Ao final do segundo corte, foi coletado o solo para a avaliação da atividade microbiana do solo, por meio da avaliação do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), da respiração basal (C-CO₂), e do quociente metabólico (qCO₂). O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método de Irradiação-extração proposto por Islam e Weil (1998). A respiração basal mensurada de acordo com Alef (1995). O quociente metabólico (qCO₂) foi calculado utilizando a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo.

Todos os dados foram analisados quanto à normalidade e, em seguida, submetidos à análise de variância – ANAVA e utilizado o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$) para comparação entre médias de tratamentos. Com base na variância total foi realizado a Análise de Componentes Principais (PCA) para verificar quais nutrientes teriam maior correlação com os parâmetros de crescimento analisados.

Resultados e discussão

Houve distinção entre os tratamentos de adubação orgânica e convencional. O filocrono teve maior correlação com o tratamento FertConv+micro. A produção de massa seca e os parâmetros morfogênicos correlacionaram entre si e com os tratamentos de adubação orgânica, para os dois ciclos de crescimento estudados (Figuras 1 e 2).



Fonte: Autor.

As plantas adubadas com o vermicomposto obtiveram maiores taxas de alongamento de folha e de colmo, maior taxa de aparecimento foliar, maior número de perfilhos, menor filocrono e maior produção de massa seca no primeiro corte. Para o segundo corte, nos parâmetros TAIF, TAIC, TApF e NFV, não se verificaram diferenças entre os tratamentos. Houve maior perfilhamento e produção de massa seca da parte aérea e de raízes. O filocrono também foi inferior nos tratamentos com uso do vermicomposto (Tabela 1).

Tabela 1 - Características morfológicas e acúmulo de matéria seca da forrageira *Megathyrus maximus* cv Mombaça em resposta à adubação tanto com fertilizantes convencionais frequentemente recomendados (Fert.Conv= adubação convencional NPK, Fert + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹), cultivada em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas-MG.

Corte	Variáveis	Tratamentos					
		Fert + micro	Fert Conv	Cal	Org 20	Org 40	Org 60
1º corte	TAIC* (mm.dia ⁻¹)	1,24c	1,10c	0,61c	2,71b	3,35a	3,5a
	TAIF* (mm.dia ⁻¹)	3,80b	3,29b	1,39c	7,78a	9,56a	9,39a
	TApF* (folha.dia ⁻¹)	0,10b	0,09b	0,094b	0,11a	0,11a	0,12a
	Filo* (dias)	10,49a	10,89a	10,68a	9,22b	9,35b	8,74b
	NFV ^{NS} (folhas)	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a	4,25a	4,50a
	DPP* (perfilho. planta ⁻¹)	1,50b	1,00b	1,00b	2,25a	2,50a	2,50a
	MS1* (grama.vaso ⁻¹)	0,42d	0,23d	0,02d	1,58c	2,467b	3,39a
2º corte	TAIC ^{NS} (mm.dia ⁻¹)	4,93a	3,51a	2,01a	4,05a	7,05a	5,24a
	TAIF ^{NS} (mm.dia ⁻¹)	1,67a	2,22a	2,22a	3,33a	3,52a	3,70a
	TApF ^{NS} (folha.dia ⁻¹)	0,17a	0,21a	0,16a	0,20a	0,20a	0,22a
	Filo* (dias)	5,93a	4,88b	7,22a	5,04b	5,04b	4,66b
	NFV ^{NS} (folhas)	3,50a	3,75a	3,25a	3,75a	3,75a	4,00a
	DPP* (perfilho. planta ⁻¹)	2,50b	1,50b	1,75b	3,25a	3,25a	4,00a
	MS2* (grama.vaso ⁻¹)	5,32c	4,88c	2,45d	7,63b	10,25a	11,85a
	MST* (grama.vaso ⁻¹)	5,74d	5,11d	2,48e	9,21c	12,71b	15,24a
MSR* (grama.vaso ⁻¹)	7,38b	4,84b	0,97b	15,65a	24,26a	18,71a	

* Médias seguidas de mesma letra, sentido das linhas, não diferem entre si pelo teste scott&knott ao nível de 0,05% de probabilidade.

TAIC = Taxa de alongamento de colmo; TAIF = Taxa de alongamento de folha; TApF = Taxa de aparecimento foliar; FILO = Filocrono; NFV = Número de folha vivas; DDP = densidade populacional de perfilhos; MS1 = Massa seca parte aérea do primeiro corte; MS2 = Massa seca parte aérea do segundo corte; MST = Massa seca parte aérea total; MSR = Massa seca das raízes.

Fonte: Autor.

No primeiro ciclo estudado a TAIC e TAIF apresentaram, respectivamente, superioridade de 282,26 e 247,11% na comparação entre Org 60 e Fert Conv+micro. A adubação com o vermicomposto influenciou também a TApF, com incremento de 120% na

comparação entre a dose de 60 t ha⁻¹ em relação ao tratamento Fert Conv+micro. Este acréscimo na TApF influenciou a redução do filocrono nos tratamentos com adubação orgânica.

Verificou-se baixa densidade populacional de perfilho em todos os tratamentos, porém com o tempo, acréscimos foram percebidos nas plantas adubadas com o vermicomposto.

Os incrementos nas características morfológicas e estruturais nas plantas adubadas com o vermicomposto refletiram nos ganhos de produção para o primeiro ciclo de estudo. As doses de 20, 40 e 60 t ha⁻¹ proporcionaram, respectivamente, um incremento de 224,09, 476,41 e 913,86% de produção de massa seca da parte aérea em comparação ao tratamento que recebeu adubação convencional e micronutrientes. Verificou-se uma notória dificuldade do estabelecimento das plantas na ausência de adubação orgânica, pois os tratamentos com adubação convencional não diferiram nem mesmo do tratamento que recebeu apenas calagem (Cal), fato que revelou as limitações do uso de adubação química nas condições do remanescente estudado.

Para o segundo corte, nas variáveis TAIC, TAIF, TApF e NFV não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3), podendo esta equiparação ser atribuída a adubação de cobertura realizada nos tratamentos FertConv e FertConv+micro. A adubação orgânica promoveu redução no filocrono e maior perfilhamento das plantas.

Mesmo com a equiparação entre os tratamentos, para as variáveis morfológicas no segundo ciclo, a produção de massa seca foi estatisticamente superior nos tratamentos adubados com o vermicomposto (Tabela 3). As doses de 20, 40 e 60 t ha⁻¹ promoveram, respectivamente, 143,42, 192,67 e 222,74% de incremento na produção de MS em comparação ao tratamento FertConv+micro. A adubação convencional promoveu acréscimos significativos em comparação ao Cal, com superioridade de 217,14% para FertConv+micro e 199,18% para FertConv, efeito que se atribui à melhor resposta à adubação de cobertura para estes tratamentos.

Ao final do segundo ciclo de crescimento, a MST (soma dos cortes 1 e 2) foi estatisticamente superior nos tratamentos com vermicomposto, com acréscimos, respectivos, de 371,37, 512,50 e 614,51% para os tratamentos Org 20, Org 40 e Org 60 em comparação com o Cal e 160,45, 221,43 e 265,50% em relação ao tratamento Fert Conv+micro. Com o aumento de produção no segundo corte, houve superioridade estatística da adubação química convencional em relação as plantas com apenas correção da acidez (Cal), com incremento de 217,14% no tratamento Fert Conv+micro e 199,18% Fert Conv.

Os dados de produção de massa seca da parte aérea evidenciam que, nestas áreas, altos

investimentos com adubação convencional não são viáveis, mesmo com o evidente aumento de produção no segundo ciclo de crescimento, não igualaram com os tratamentos de adubação orgânica. Além disso, os tratamentos FertConv+micro e Fert Conv não diferiram do tratamento Cal para a MSR (matéria seca de raízes), indicando baixo desenvolvimento do sistema radicular, o que pode resultar em menor persistência da pastagem futura. A aplicação do vermicomposto promoveu nas doses de 20,40 e 60 t ha⁻¹, respectivamente, superioridade estatística no acúmulo de matéria seca de raízes de 212,06, 328,73 e 253,52% em relação ao tratamento Fert Conv+micro.

Avaliando o efeito da adubação com cama sobreposta de suíno (CSS) de forma exclusiva e associada com fertilizantes minerais na produtividade e qualidade de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, Guerrero et al. (2020) testaram em condições de campo, 5 doses de CSS (0; 5; 10; 15 e 20 t ha⁻¹), com e sem adubação de NPK (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 10 kg ha⁻¹ de K₂O e 10 kg ha⁻¹ de N) nas variáveis massa seca (MS), teor de proteína bruta (PB), produtividade de massa seca total (TDMP), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA); em 4 cortes. Verificaram que tanto a adubação convencional como a base orgânica interferem na produtividade e qualidade do capim Mombaça. A massa seca apresentou ajustes lineares em função das doses de CSS. No primeiro corte o tratamento com a maior dose do composto orgânico possibilitou um incremento superior a 200% em relação ao tratamento que não recebeu nenhuma adubação.

Ainda segundo os autores citados anteriormente, na comparação dos tratamentos associados em relação aos que receberam apenas adubação química verificou-se um ganho superior a 100% na massa seca. A análise global considerando o somatório de todos os cortes, observaram que os melhores resultados foram obtidos com as doses de cama de suínos mais adubação mineral. Para os tratamentos que receberam apenas CSS na soma de todos os cortes, houve comportamento quadrático, atingindo ponto máximo com dose de CSS de 19,72 t ha⁻¹. As variáveis bromatológicas também apresentaram ajustes lineares, sendo que os tratamentos associados ocasionaram aumento nos teores de proteína bruta (PB) e menores teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA).

A adubação de cobertura proporcionou um incremento de 47,37, 42,68 e 39,19% na altura de planta e 96,45, 72,80 e 53,88% na quantidade de perfilhos, em relação às plantas testemunhas, para as fontes Basifós, SS e FCO respectivamente. A produção foi influenciada pela fonte utilizada e pela adubação de cobertura, houve uma redução na produção de massa seca da parte aérea de 1,59% para Basifós e 7,06% para FCO, em relação a aplicação destes fertilizantes na ausência de cobertura de N e K. Já a cobertura junto aos fertilizantes

superfosfato simples promoveu um aumento de 11,88% em relação ao efeito somente da adubação fosfatada. O incremento promovido pela adubação de cobertura na produção de massa seca da parte aérea corrobora com o presente trabalho, que apesar da não significância para TAIC, TAIF, TApF e NFV houve incremento significativo na MS2, mas inferior aos tratamentos com adubação orgânica.

Verificou-se que o uso do vermicomposto produzido com resíduos de cogumelo shimeji tem potencial para otimizar a implantação de forrageira de alto rendimento em áreas pós mineradas, e por consequência trazer maior sustentabilidade a atividade. A produção de massa seca final, tanto na parte aérea quanto nas raízes, pode ser atribuída aos benefícios proporcionados pela matéria orgânica no solo, como disponibilidade de nutrientes e ação tampão da acidez, reduzindo a toxicidade de alumínio e metais pesados, controle do teor de água, otimizando também processos naturais como a fixação de nitrogênio (STEVENSON, 1994; FAGERIA, 2012). Ademais, a matéria orgânica também serve como substrato e fonte de energia e nutrientes para a biota do solo, influenciando a atividade e a diversidade microbianas. Ela desempenha um papel importante na regulação das taxas de diversos processos no solo, como a hidrólise da ureia, nitrificação, mineralização, denitrificação, humificação, solubilização, complexação e outros, que são mediados por microrganismos e suas enzimas (BETTIOL, 2023).

O incremento de matéria orgânica no solo, tem a capacidade de modificar relações hídricas do solo, prover equilíbrio no metabolismo do carbono orgânico pela regulação das relações funcionais entre os microrganismos do solo e, assim, contribuir com aumento gradual de disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo (DHALIWAL et al. 2019). Além disso, a sua influência na capacidade de trocas catiônicas interfere na capacidade de armazenamento e reposição de nutrientes para a solução do solo (ALLEONI, MELLO e ROCHA, 2009). Formas humificadas melhoram o ambiente radicular, mesmo em solos mais pobres, o que aumenta a absorção de nutrientes pelas plantas (OURIVES et. al, 2010), fato também destacado por (GARCEZ E MONTEIRO, 2000) como um fator crítico para a persistência sobretudo de gramíneas nos sistemas de produção. Neste contexto, o vermicomposto promoveu maior recuperação da fertilidade do solo em relação aos tratamentos com adubação convencional, aumentando os níveis de K, P, Ca e Mg, além de maior pH, e por consequência maior desenvolvimento da parte aérea e de raízes das plantas.

Não houveram diferenças significativas entre os tratamentos para a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), dissipação fotoquímica (qP), fluorescência máxima (F_m) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m). Na dissipação não fotoquímica (qN)

e fluorescência inicial (F_0) os tratamentos diferiram entre si (Tabela 2).

Tabela 2 – Respostas fisiológicas da forrageira Megathyrus maximus cv Mombaça em função à adubação tanto com fertilizantes convencionais frequentemente recomendados (Fert.Conv= adubação convencional NPK, Fert + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹), cultivada em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas-MG.

Variáveis	Tratamentos					
	FertConv + micro	Fert Conv	Cal	Org 20	Org 40	Org 60
ETR ^{NS}	1,95a	3,18a	2,5a	2,40a	2,63a	1,60a
qP ^{NS}	0,42a	0,46a	0,33a	0,30a	0,38a	0,40a
qN*	0,86a	0,79b	0,74b	0,86a	0,88a	0,85a
F ₀ *	508,00a	389,5b	328,5b	530,25a	499,75a	420,5b
F _m ^{NS}	2958,25a	2934a	2905,25a	2905,25a	2950,75a	2953,25a
F _v /F _m ^{NS}	0,82a	0,87a	0,88a	0,82a	0,82a	0,86a

* Médias seguidas de mesma letra, no sentido das linhas, não diferem entre si pelo teste scott&knott ao nível de 0,05% de probabilidade.

F₀ = fluorescência inicial; F_m = fluorescência máxima; F_v/F_m = eficiência fotoquímica calculada pela razão entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima, ETR = taxa aparente de transporte de elétrons; qP = dissipação fotoquímica; qN = dissipação não fotoquímica.

Fonte: Autor.

A aplicação com vermicomposto nas doses de 20 e 40 t ha⁻¹, assim como o tratamento FertConv+micro foram estatisticamente superiores para a F₀. Já para a F_m não se verificou diferenciação entre os tratamentos.

A F₀ é o mínimo sinal de fluorescência quando os centros de reação do fotossistema II (PSII) encontram-se abertos, ou seja, com a Quinona (Qa) oxidada (FONTES, 2019), indicando o início das reações fotoquímicas. Segundo Baker e Rosenqvst (2004) o aumento excessivo da fluorescência inicial indica danos ao centro de reação do PSII ou uma diminuição na capacidade de transferir a energia de excitação da antena para o PSII.

A F_m representa o máximo valor de fluorescência da clorofila obtido sob uma intensidade de luz contínua, quando todos os centros de reação do PSII estão totalmente oxidados e adaptados ao ambiente escuro (CATUNDA et al., 2005). A F_v/F_m corresponde a máxima eficiência do PSII quando os centros de reação encontram-se abertos (FONTES, 2019). Para ambas as variáveis os tratamentos não diferiram entre si, porém, a relação entre a

fluorescência variável e a fluorescência máxima pode variar em condições ideais de crescimento entre 0,75 e 0,85 (SILVA et al., 2019), resultado que indica melhores condições nos tratamentos Org 20, Org 40 e Fert Conv+micro.

A taxa de transporte de elétrons (ETR), sendo a luz absorvida pela clorofila que promove a transferência de energia para os centros de reação dos fotossistemas II e I, pode refletir condições ambientais de estresses bióticos e abióticos, e indicar danos que muitas vezes podem ser irreversíveis, em ambos os fotossistemas II e I (PSII e PSI) (YOUNG e FRANK, 1996; BOWN et al., 2002). Entretanto, a ETR não foi influenciada pelas diferentes fontes de adubação utilizadas no presente estudo.

A qP representa a utilização da energia luminosa para os processos fotoquímicos da fotossíntese (TERRA, 2020). A qN é a produção de calor na forma de radiação infravermelha (CAMPOSTRINI, 2001). O decréscimo do qP é um indicativo do estado reduzido do primeiro aceptor de elétrons estável do PSII, QA, o qual reflete a capacidade do PSII em utilizar a energia luminosa para reduzir o NADP⁺, um processo indispensável para a assimilação fotossintética do carbono. Em contrapartida, o qN denota a eficiência da dissipação de calor, resultante do aumento no gradiente de prótons entre o lúmen e o estroma do cloroplasto (SILVA et al., 2006).

A qP não diferiu entre os tratamentos estudados, já a dissipação não fotoquímica (qN) foi estatisticamente superior nos tratamentos Org 20, Org 40, Org 60 e Fert Conv+micro.

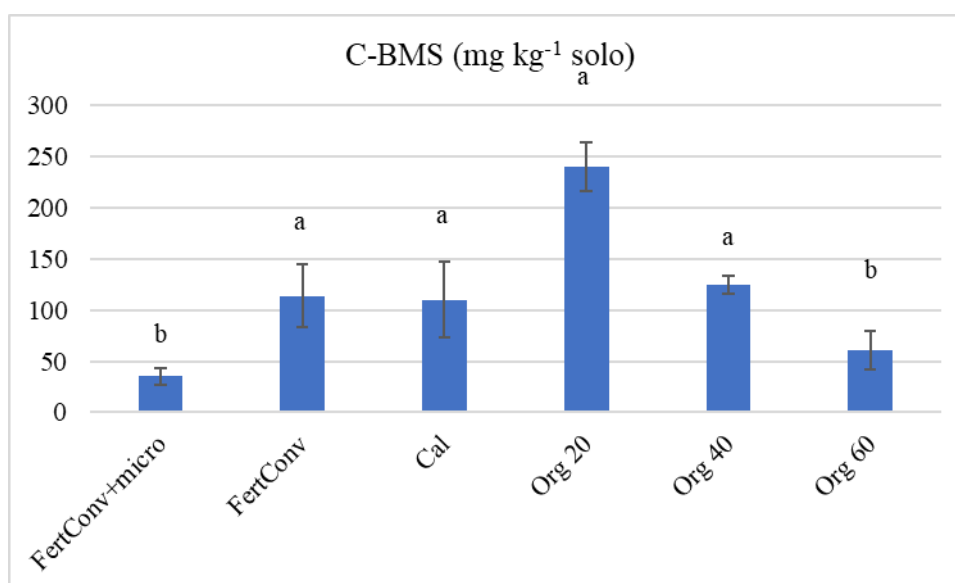
A equiparação entre o tratamento Fert Conv+micro aos adubados com o vermicomposto pode ser atribuída à adubação de cobertura realizada nos tratamentos com adubação convencional. Além disso, a diferença significativa nos parâmetros fotossintéticos entre os tratamentos Fert Conv+micro e Fert Conv pode ser explicada pela presença dos micronutrientes e suas funções essenciais na fotossíntese. O ferro (Fe), por exemplo, desempenha um papel fundamental na formação da clorofila e no transporte de elétrons nesse processo. O manganês (Mn) também desempenha um papel essencial na formação da clorofila, bem como na divisão celular durante a fotossíntese. O zinco (Zn) é necessário para a atividade de várias enzimas envolvidas no processo fotossintético. O cobre (Cu) participa na produção de clorofila e na transferência de elétrons em certas reações fotossintéticas. Por fim, o boro (B) desempenha um papel importante na síntese de carboidratos e na estabilidade da membrana celular durante a fotossíntese (KERBAUY, 2004).

De maneira geral, constata-se que as plantas adubadas com vermicomposto e o tratamento FertConv+micro apresentaram características morfológicas melhores que os demais tratamentos.

Os resultados evidenciam os benefícios da aplicação de matéria orgânica no substrato pós-minerado, proporcionando a recuperação de sua capacidade produtiva e, conseqüentemente, um ambiente mais propício para o desenvolvimento e estabelecimento das plantas.

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi alterado pelos tratamentos estudados, sendo que a tratamento Org 60 e FertConv+micro não diferiram entre si, mas foram estatisticamente inferiores aos demais (Figura 3).

*Figura 3 - Carbono da biomassa microbiana em função à adubação tanto com fertilizantes convencionais frequentemente recomendados (Fert.Conv= adubação convencional NPK, Fert + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn e Cal = apenas calagem) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹), em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas-MG cultivado com *Megathyrus maximus* cv mombaça.*



Fonte: do autor.

A diminuição do carbono da biomassa microbiana na área pode ser um indicativo significativo da perda gradual do potencial de atividade biológica do solo (CARDOZO JÚNIOR, 2023).

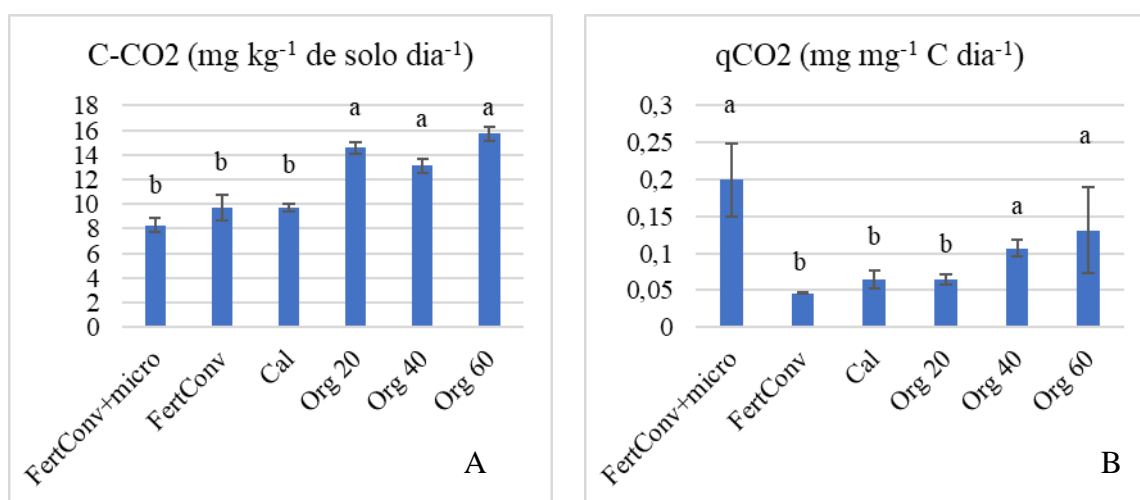
Constatou-se que o tratamento Org 60 obteve o maior valor de MS1 e junto ao Org 40 a maior produção de massa seca no segundo corte, resultando em uma MST estatisticamente

superior aos demais tratamentos (Tabela 1). Porém, esta maior produtividade não está associada a alta contribuição da atividade microbiológica, tornando cada vez mais necessário adubações posteriores para suprir a demanda nutricional das plantas, uma vez que a redução da C-BMS indica probabilidade de perdas de entradas de nutrientes no sistema solo-planta pela via biológica (MULLER et al. 2014).

A variável C-CO₂ (respiração basal) deve ser analisada em conjunto com o qCO₂ (quociente metabólico do solo), uma vez que ela representa a respiração mais específica dos microrganismos do solo ao tempo das condições ambientais atuais. Essa combinação possibilita a identificação dos ecossistemas que possuem biomassa capaz de converter de maneira mais eficiente o carbono da matéria orgânica do solo em energia metabolizável para os microrganismos. Essa análise auxilia na indicação de tratamentos com baixo ou elevado grau de distúrbio (DADALTO et al. 2015).

Os menores valores da respiração basal do solo foram detectados nos tratamentos com adubação convencional e no Cal, diferindo dos tratamentos com aplicação do vermicomposto. O qCO₂ foi estatisticamente inferior nos tratamentos FertConv, Cal e Org 20 (Figura 3).

Figura 4 - A) C-CO₂ = Respiração Basal do solo (mg.kg⁻¹) e B) qCO₂ = coeficiente metabólico (mg mg⁻¹ C dia⁻¹) em função à adubação tanto com fertilizantes convencionais frequentemente recomendados (Fert.Conv= adubação convencional NPK, Fert + micro= adubação convencional NPK mais aplicação de micronutrientes B, Fe, Cu, Zn, Mn e Cal=somente calagem) quanto com vermicomposto de resíduos da produção de cogumelos shimeji (Org 20= referente a dose de 20 t ha⁻¹; Org 40= referente a dose de 40 t ha⁻¹ e Org 60= referente a dose de 60 t ha⁻¹), em substrato remanescente da atividade de mineração do município de Poços de Caldas-MG cultivado com *Megathyrus maximus* cv Mombaça.



Fonte: Do autor.

De acordo com Pereira et al. (2020), o aumento na respiração basal e no coeficiente metabólico do solo pode ser interpretado como um indicativo de maior atividade metabólica dos microrganismos presentes, ou pode também refletir um estresse ambiental. Desta forma, a variável C-CO₂ (respiração basal) deve ser analisada em conjunto com o qCO₂ (quociente metabólico do solo), uma vez que ela representa a respiração mais específica dos microrganismos do solo ao tempo das condições ambientais atuais. Essa combinação possibilita a identificação dos ecossistemas que possuem biomassa capaz de converter de maneira mais eficiente o carbono da matéria orgânica do solo em energia metabolizável para os microrganismos. Essa análise auxilia na indicação de tratamentos com baixo ou elevado grau de distúrbio (DADALTO et al. 2015).

Nesse contexto, é fundamental considerar que as taxas morfogênicas e produtivas mais elevadas alcançadas pelo capim Mombaça com a aplicação da maior dosagem do vermicomposto (60 t ha⁻¹) podem não ser um parâmetro adequado para avaliar a sustentabilidade do sistema a longo prazo.

No entanto, a utilização do vermicomposto derivado dos resíduos da produção de cogumelos shimeji demonstrou ser uma alternativa promissora para a recuperação da capacidade produtiva do solo pós minerado e na adubação do capim Mombaça.

Conclusões

A adubação da *Megathyrsus maximus cv Mombaça* com vermicomposto em substrato de Cambissolo remanescente da atividade de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas promove incremento na TAlF, TAlC, TApF e DPP e MS nos primeiro 90 dias de crescimento.

As doses de 20 e 40 t ha⁻¹ de vermicomposto e a adubação com FertConv+micro promovem melhores resposta fisiológicas para os parâmetros qN e F0 da *Megathyrsus maximus cv Mombaça* cultivada em substrato de Cambissolo remanescente da atividade de mineração de bauxita no município de Poços de Caldas.

A maior produtividade da *Megathyrsus maximus cv Mombaça* alcançada com a dose de 60 t ha⁻¹ de vermicomposto de resíduo da produção de cogumelos shimeji, coincidi com perda de C-microbiano no solo e maior qCO₂.

Referências bibliográficas

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry** New York: Academic, 1995. p. 464-470.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

BETTIOL, W. et al. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. **CEP**, v. 13918, p. 110, 2023.

BOMFIM-SILVA, E. M. et al. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

BOWN, A.W.; MUNINCIPAL, A.E.; MACGREGOR, K.B. Insect footsteps on leaves stimulate the accumulation of 4aminobutyrate and can be visualized through increased chlorophyll fluorescence and superoxide production. **Plant Physiology**, v.129, n.4, p.430-34, 2002.

BRASIL; Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050** (PNF 2050) Brasília: SAE, 2021, 195 p.1v.: il.

CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. **Rio de Janeiro: UFNF**, 2001.

CATUNDA, M. G., FREITAS, S. P., OLIVEIRA, J. G., & SILVA, C. M. M.. (2005). Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). **Planta Daninha**, 23(1), 115–121.

DADALTO, J. P. et al. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.35, n.3, p.506-513, maio/jun. 2015.

FAGERIA, N. K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, p. 2063-2113, 2012.

FONTES, P. T. N. **Características fisiológicas, produtivas e nutricionais do capim faixa-branca submetido a estratégias de desfolhação intermitente**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

FREITAS, K. R. et al. Avaliação da composição químico-bromatológica do capim mombaca

(*Panicum maximum*) submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v.23, p.1-10, 2007.

GUERRERO, M.C. et al. Productivity and quality of Mombasa grass under fertilization with pig deep-litter and NPK. R. **Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.24, n.7, p.437-443, 2020.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, New York, v. 29, n. 12, p. 2269-2284, 1988.

JÚNIOR, F. C. et al. Microbiological characterization of soil in Guadalupe Plateau, Piauí: Caracterização microbiológica do solo no Platô de Guadalupe, Piauí. **Concilium**, v. 23, n. 12, p. 388-401, 2023.

KERBAUY, G. B., Fisiologia Vegetal, Guanabara Koogan SA. Rio de Janeiro, 2004.

LEE, K.E. The functional significance of biodiversity in soils. In: World congress of soil science, 15. **Anais...** Acapulco: International Society of Soil Science, 1994. p. 168-182.

LOPES, M. N. et al. Características morfogênicas de dois tipos de perfilhos e produção de biomassa do capim-massai adubado com nitrogênio durante o estabelecimento. **Biosci. J.**, v. 30, p. 666-677, 2014.

LUNA, A. A. et al. Características morfogênicas e acúmulo de forragem de gramíneas forrageiras sob corte. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1803-1810, 2014.

MÜLLER, D. H. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob aplicação de resíduos orgânicos. **Revista Internacional de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 71-82, 2014.

PEREIRA, M. M. et al. Influência de doses de biofertilizante nos atributos biológicos do solo no cultivo da bananeira 'BRS Platina'. **International Journal Semiarid**, v. 3, n. 3, 2020.

SILVA, M. M. P. da et al. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 67-74, 2006.

SILVA, P. S. O. et al. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 171-177, 2019.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2nd ed. New York: John Wiley 1994.

TERRA, L. E. M.. **Modificações fisiológicas e produtivas do capim-marandu proporcionadas por bactérias promotoras do crescimento vegetal**. 2020. 50 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG.

UFV, CETEC; UFLA, FEAM. **Mapa de Solos de Minas Gerais**. Belo Horizonte, p. 49, 2010.

YOUNG, A. L.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, **Lausanne**, v. 36, n. 1, p. 3-15, 1996.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou os desafios inerentes ao estabelecimento de forrageiras de médio e alto rendimentos nos substratos pós-mineração na região de Poços de Caldas. Adicionalmente, foram identificados os benefícios da adição de fertilizante orgânico ao solo, potencializando os efeitos positivos na construção da fertilidade e conseqüentemente sobre as plantas.

A utilização do vermicomposto derivado do resíduo de cogumelo shimeji resultou em aumentos significativos nos teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn) e no pH do solo, evidenciando o potencial desse composto como uma opção viável para a fertilização do substrato investigado. No entanto, observou-se que a sua dose mais elevada (60 t ha⁻¹) pode trazer benefícios imediatos em crescimento das plantas, porém pode comprometer a sustentabilidade do sistema em longo prazo, fato demonstrado pela análise da biomassa e atividade microbiana do solo.

A aplicação do vermicomposto resultou em respostas positivas nas taxas morfogênicas e produtivas do Capim Marandu nos dois cortes analisados. Foram observadas maiores taxas de alongamento foliar, alongamento de colmo, aparecimento foliar, densidade de perfilho e massa seca das raízes, o que resultou em um aumento na produção de massa seca da parte aérea durante ambos os períodos de produção investigados. Esse resultado é de grande relevância nas condições deste estudo, uma vez que as áreas mineradas geralmente possuem menores extensões de áreas. A diminuição no período de repouso indica uma recuperação mais rápida da pastagem e assim seu uso mais eficiente.

O Capim Mombaça apresentou respostas positivas às aplicações do vermicomposto, exibindo maiores taxas morfogênicas e produtivas. Foi observado uma resposta significativa à adubação de cobertura realizada nos tratamentos com adubação convencional, porém, essa melhora não foi capaz de equiparar-se às plantas adubadas com o vermicomposto em termos de produção. Os resultados da eficiência fotossintética indicam não haver uma fotoinibição, ocasionada por algum dano no aparelho fotossintético das plantas nos tratamentos avaliados.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial do vermicomposto derivado do resíduo da produção de cogumelos shimeji como uma opção eficaz para a fertilização do substrato pós-minerado. Além disso, os resultados destacam que o estabelecimento de uma pastagem de alto rendimento nessas áreas é severamente comprometido se o manejo da adubação se limitar apenas à calagem e/ou adubação química convencional.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. G. de. **Utilização do substrato pós-cultivo (SMS) de *Agaricus subrufescens* e *Pleurotus ostreatus* na produção de alface e rúcula.** 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- AGRONEGÓCIO. Consumo e produção de cogumelos cresce no Brasil. **Correio Braziliense**, Brasília, 29 jan. 2018. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/01/29/internas_economia,656318/consumo-e-producao-de-cogumelos-no-brasil.shtml. Acesso em: 29 jan. 2020.
- ANDRADE, A. P. A. **Avaliação da utilização de protetor físico de germinação e semeadura direta das espécies *Copaifera langsdorffi* Desf. E *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong em área degradada pela mineração.** 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- BONI, D; LARA, O. Q.; FERREIRA, E. Aproveitamento do esterco de poedeiras na adubação do capim Mombaça na Zona da mata Rondoniense. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 903-919, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (Pnf 2050).** Brasília, 2021.
- BRIGIDA, M. B. S. **Uso de composto orgânico e espécies vegetais para condicionamento de rejeito de beneficiamento de minério de ferro.** 2014. 58f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.
- CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação.** Brasília: Universa, 2005.
- COSTA, E; SILVA, H.; RIBEIRO, P. R. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.
- DUTRA, I. C., ***Brachiaria brizantha* CV. marandu com e sem calagem sob diferentes adubações.** 2021. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2021.
- FAGERIA, N. K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, p. 2063-2113, 2012.

FONSECA, L. S. *et al.* Caracterização química do resíduo pós cultivo de cogumelos destoxicantes em torta de algodão. ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 4., 2017, Brasília, DF. **Anais[...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; COLEMAN, K. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. **Advances in Agronomy**, v. 101, p. 1-57, 2009.

LAL, R.; STEWART, B. A. Need for land restoration. *Advan. Soil Sci.*, v. 17, p. 1-11, 1992.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARQUES, I. C. **Uso de composto orgânico e espécies do cerrado na revegetação de área remanescente da extração de cascalho em Diamantina - MG**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C. S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 247-254, 2013.

SANTOS, D. C. *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo construído após mineração de carvão e submetido a diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.14, n. 3-4, p. 135-146, 2008.

SENGUPTA, M. **Environmental impacts of mining: monitoring, restoration, and control**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 494p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1994.

TEIXEIRA, S. O. *et al.* Doses de fósforo e nitrogênio na produção de *Brachiaria* híbrida cv. Mulato II. **Revista Ceres**, v. 65, n.1, p.28-34, 2018.

VALLE, C.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S. Forage breeding in Brazil. **Revista Ceres**, v. 56, p. 460-472, 2009.

ANEXO A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DO TRABALHO

*Figura 1 - A – Início do processo de vermicompostagem
B – Final do processo de vermicompostagem*



Figura 2 – Coleta para amostragem do substrato pós minerado,

Poços de Caldas-MG



*Figura 3 – Coleta para amostragem do substrato pós minerado,
Poços de Caldas-MG*



Figura 4 - Coleta do solo para experimento.



Figura 5 - Preparo dos vasos.



Figura 6 - Preparado e montagem dos experimentos.



Figura 7 - Vasos dispostos no Jardim Botânico, Poços de Caldas/MG.



Figura 8 – Análise eficiência fotoquímica.