

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
PATRIKY RANGELL LEAL SANTANA

**DOSES DE REJEITO FINO DA MINERAÇÃO DE ESMERALDAS NA CULTURA
DO MILHO**

CERES – GO
2023

PATRIKY RANGELL LEAL SANTANA

**DOSES DE REJEITO FINO DA MINERAÇÃO DE ESMERALDAS NA CULTURA
DO MILHO**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Roriz Luciano Machado.

**CERES – GO
2023**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S232d Santana, Patriky Rangell Leal
Doses de rejeito fino da mineração de Esmeraldas
na cultura do milho / Patriky Rangell Leal Santana;
orientador Roriz Luciano Machado. -- Ceres, 2023.
35 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Ceres, 2023.

1. Fertilidade do solo. 2. Condicionador de solo.
3. Talco Xisto. 4. Zea mays. I. Machado, Roriz
Luciano, orient. II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia - Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo:

Nome Completo do Autor: Patriky Rangell Leal Santana
Matrícula: 2019103200240021
Título do Trabalho: Doses de rejeito fino da mineração de esmeraldas na cultura do milho

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:
Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:
O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, 21 de junho de 2023.

Assinatura eletrônica do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura eletrônica do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Patriky Rangell Leal Santana, 2019103200240021 - Discente, em 21/06/2023 19:15:44.
- Roriz Luciano Machado, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/06/2023 18:12:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/06/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 506534
Código de Autenticação: bfaa1a3dc1



ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) sete dia(s) do mês de junho do ano de dois mil e cinzeiros realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) PATRIKY LANGELL LEAL SANTANA, do Curso de AGRONOMIA, matrícula 2019103200240071, cujo título é "DOSES DE REJEITO FINO DA MINERAÇÃO DE ESMERALDAS NA CULTURA DO MILHO". A defesa iniciou-se às 15 horas e 03 minutos, finalizando-se às 17 horas e 06 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 8,7 no trabalho escrito, média 8,6 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 8,6 de **pontos**, estando o(a) estudante APTO para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Roriz Luciano Machado

Assinatura Presidente da Banca

[Assinatura]

Assinatura Membro 1 Banca Examinadora

Seus Sérgio Rodrigues Vale

Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

RESUMO

Rejeitos de mineração podem ser uma alternativa de condicionador e fertilizante contribuindo para destinação adequada de resíduos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da cultura do milho a doses de rejeito da mineração de esmeraldas e adubação mineral. O experimento foi realizado no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, em casa de vegetação em vasos de 5 L. A cultivar de milho utilizada foi a Agroceres 7098. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x2, com 4 doses: 0; 266,8; 466,8 e 666,8 m⁻³ ha⁻¹ de rejeito, e com e sem adubação mineral recomendada para a cultura, com 4 repetições e dois vasos por parcela. A irrigação foi feita via clima por meio de mini tanque classe A instalado na casa de vegetação. As variáveis avaliadas foram: altura de primeira espiga (AE), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), diâmetro de espiga (DE) e comprimento da espiga (CE), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos (NG), número de grãos por fileira (NGPF), massa de 1000 grãos (MMG) e produtividade (PROD). As doses de rejeito sem adubação mineral de plantio responderam linearmente para as variáveis exceto, para diâmetro de caule e altura de espiga; com adubação, a maioria das variáveis não ajustou a modelos. Doses crescentes de rejeito sem adubação mineral de base promovem melhoria na resposta das variáveis testadas. Para produtividade e demais variáveis de produção o incremento na dose de rejeito com adubo mineral causou efeito negativo. O rejeito estudado se mostra promissor para a cultura do milho e deve-se ser melhor estudado para outras culturas.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Condicionador de solo. Talco xisto. *Zea mays*.

ABSTRACT

Mining tailings can be an alternative conditioner and or fertilizer contributing to proper waste disposal. The objective of this work was to evaluate the performance of the corn crop at doses of waste from emerald mining and mineral fertilization. The experiment was carried out at Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, in a greenhouse in 5 L pots. The maize cultivar used was Agrocerees 7098. The experimental design was randomized blocks in a 4x2 factorial scheme, with 4 doses: 0; 266.8; 466.8 and 666.8 m⁻³ ha⁻¹ of waste, and with and without mineral fertilizer recommended for the crop, with 4 replications and two pots per plot. Irrigation was done via weather through a class A mini tank installed in the greenhouse. The evaluated variables were: first ear height (AE), plant height (AP), stem diameter (DC), ear diameter (DE) and ear length (EC), number of grain rows (NFG), number of grains (NG), number of grains per row (NGPF), mass of 1000 grains (MMG) and productivity (PROD). The Dosages of tailings without mineral fertilization at planting responded linearly for the variables except for stem diameter and ear height; with fertilization, most variables did not fit models. Increasing waste dosages without base mineral fertilizer promote improvement in the response of the tested variables. For productivity and other production variables, the increase in the dose of waste with mineral fertilizer had a negative effect. The tailings studied show promise for the corn crop and should be used in systems with a low technological level and should be better studied for other crops.

Keywords: Soil fertility. Soil conditioner. Talc shale. *Zea mays*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista aérea do Campus Ceres do IF Goiano com destaque em amarelo para área experimental da fruticultura.....	12
Figura 2 – Experimento em casa de vegetação aos 25 DAS... ..	14
Figura 3 – Procedimentos na instalação do experimento. (A): ferramentas utilizadas na análise de capacidade de vaso; (B): coleta das amostras indeformadas do substrato para análise da capacidade de vaso; (C): gotejador autocompensante utilizado na irrigação do experimento; (D): sistema de irrigação.....	18
Figura 4 – Aplicação de diferentes doses do rejeito Talco Xisto sob adubação de produção da cultura de milho na variável altura de planta... ..	20
Figura 5 – Resultados médios de diâmetro do colmo da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base.....	21
Figura 6 – Resultados médios de diâmetro do colmo da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base.....	22
Figura 7 – Resultados médios de diâmetro da espiga da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base.....	23
Figura 8 – Resultados médios de comprimento da espiga da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base... ..	23
Figura 9 – Resultados médios de número médio de grãos por fileira da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base... ..	24
Figura 10 – Valores médios de quantidade de grãos por espiga da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base.....	24
Figura 11 – Resultados médios de Produtividade da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da análise física e química de amostras de solo e do rejeito Talco xisto utilizados como substrato.....	13
Tabela 2 – Resumo da análise de variância (quadrado médio) para altura de planta (AP), altura de espiga na planta (AE), diâmetro do colmo da planta à altura do solo (DC), diâmetro da espiga em sua base sem a palha (DE), comprimento da espiga sem a palha (CE), número de fileiras de grãos por espiga (NFE), número médio de grãos por fileira (NGPF), número de grãos por espiga (NG), massa média de mil grãos (MMG) e produtividade média (PROD) em função da aplicação de diferentes doses de rejeito Talco xisto e adubação de produção da cultura do milho cultivar Agroceres 7098. Ceres, GO, 2022.	19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cultura do milho no Cerrado brasileiro.....	3
2.2. Solos do cerrado: limitações químicas e físicas.....	5
2.3. O problema da geração de rejeitos de mineração no Brasil	7
2.4. Condicionadores de solo a base de rejeitos de mineração	8
2.5. Rejeito de mineração de esmeraldas Talco xisto: potencialidades.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

Dentre os setores produtivos que mais impactam o meio ambiente estão a mineração e a agricultura. O primeiro, apesar de ter uma atuação pontual (no entorno das jazidas), causa uma série de transformações e gera uma grande quantidade de rejeitos (THEODORO et al., 2006). Do mesmo modo, a agricultura moderna, dependendo do tipo de cultura e de manejo, também causa enormes transformações, devido abranger extensas áreas. Além disso, necessita transformar e adaptar as condições de fertilidade dos solos, de forma a sustentar os padrões de produção de larga escala. Este fato é especialmente problemático em regiões de climas tropicais, onde os solos já são desgastados pelos

processos intempéricos e antrópicos (LEONARDOS et al., 2000).

No viés da mineração, o Brasil já possui um extenso histórico no ramo de estudos e pesquisas do mapeamento da produção de rejeitos das empresas mineradoras e avaliação das tecnologias aplicadas para sua recuperação e possível comercialização. A recuperação dos rejeitos permite dar-lhes uma destinação comercial e reduz a quantidade de resíduos no meio ambiente (MEDEIROS et al., 2019). Segundo Brasil (2023b) a quantidade de rejeitos de mineração gerados pelas principais substâncias lavradas no Brasil (Alumínio, Ferro, Cobre, Cromo, Manganês, Nióbio e Níquel) no ano de 2021 foram de 419.814.013 toneladas (t).

Assim, dentro deste contexto o uso de rejeitos minerais como fonte de fertilizantes alternativos é um método que proporciona um destino adequado para resíduos que antes eram descartados, muitas vezes de formas inadequadas, e gera um suporte na necessidade nacional por fertilizantes, o que alivia a dependência brasileira por importação desses (GUELFY-SILVA, 2012). Assim é o caso da rochagem – termo que deriva de rocha – por exemplo, que significa a aplicação direta, na agricultura, de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante de aplicação direta (FERNANDES et al., 2010). No país são encontradas reservas de minerais primários com teores elevados de potássio (K^+) e outros minerais, entretanto, a maior parte possui esses minerais na estrutura de difícil solubilização ou pouco solúvel, o que dificulta a sua disponibilidade para as plantas, o que ocorre, por exemplo, com os silicatos (MARTINS et al., 2008).

Na mineração de esmeraldas em Campos Verdes de Goiás, o talco xisto são rochas de subordinação biotítico e clorita xisto, que são produtos de alteração avançada de rochas ultramáficas, que resultam em enriquecimento residual em Cr_2O_3 , MgO e Fe_2O_3 e lixiviação de Na_2O , SiO_2 , FeO , F , Ni e Cu , retidos no mineral primário (FUCK et al., 2007) demonstrando uma fonte rica em nutrientes, com um potencial a ser estudado para nutrição alternativa de plantas.

Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar diferentes doses de rejeito Talco xisto na presença e ausência de adubação mineral de base em variáveis de crescimento e produção na cultura do milho sob cultivo protegido, em Ceres - GO.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do milho no Cerrado brasileiro

O Cerrado brasileiro é um bioma com características muito peculiares de solo, clima e vegetação, tanto que o uso agrícola desse ambiente é relativamente recente, tendo sido iniciado, sobretudo a partir da década de 1970, o que pode ser considerado um marco do desenvolvimento da agricultura e pesquisa brasileira (SANTOS et al., 2021).

Esse bioma apresenta uma grande diversidade de solos, com variações de textura, profundidade, teor de nutrientes e pH. A nutrição das plantas no Cerrado é influenciada por essas variações, bem como pela sazonalidade das chuvas e pelas características das espécies vegetais, o que faz com que aqueles entusiastas da agricultura no Cerrado tenham certos cuidados para que consigam resultados promissores (BOZZI ZEFERINO et al., 2021).

Levando em consideração as culturas anuais, a cultura do milho é uma das principais atividades agrícolas no Cerrado. Para seu cultivo bem-sucedido, é importante entender a classificação do solo e as características nutricionais necessárias para o desenvolvimento da planta.

E sabendo que o solo será a base nutricional e de sustentação da planta, esse pode ser classificado em vários grupos, como latossolo, argissolo, neossolo e cambissolo, cada um com suas peculiaridades (MENDES, 2022). Dos tipos de solos que compõem o bioma os latossolos são os mais comuns no Cerrado, caracterizados por serem profundos, de boa textura e com baixa fertilidade natural (DE OLIVEIRA et al., 2022). Para o cultivo do milho nesses solos, é essencial a aplicação de adubos ricos em nutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio, bem como o uso de técnicas de conservação do solo para evitar a sua degradação prematura.

Já os argissolos apresentam maior fertilidade natural, mas podem ser mais rasos e apresentar variações de textura, o que pode afetar a retenção de água e nutrientes (MELLO et al., 2020). Nesses solos, é importante garantir uma boa cobertura vegetal e o uso de técnicas de manejo que promovam a sanidade do solo e o aumento da capacidade produtiva.

Os neossolos e cambissolos são solos mais rasos e com maior presença de rochas, o que pode limitar a mecanização e o desenvolvimento das plantas (SANTOS

et al., 2022a). Nestes casos, a aplicação de calcário, além de adubação equilibrada, é importante para melhorar a fertilidade do solo e permitir o cultivo de milho de forma mais eficiente.

O cultivo do milho no Cerrado brasileiro é uma atividade de grande importância econômica para o país, sendo responsável por uma grande parcela da produção nacional. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (CONAB, 2023) a produção nacional do grão na safra 2022/23 foi de 125.535.900 t na primeira safra, um aumento de 11% em comparação com a safra anterior. O bioma Cerrado é responsável por mais da metade dessa produção – GO, TO, MT, MS, MG, BA, PI (BRASIL, 2023a). No entanto, o manejo do solo e a adaptação das variedades de milho são cruciais para garantir altos rendimentos nessa região.

Ao comparar com o cultivo de milho em outros biomas, pode-se observar algumas diferenças nos rendimentos. Por exemplo, em áreas com solos mais férteis, como as regiões Sul e Sudeste do Brasil, a produtividade pode ser significativamente maior do que no Cerrado. Por outro lado, em áreas de solos mais pobres e sazonalidade das chuvas como na região Nordeste, o rendimento do milho pode ser semelhante ao do Cerrado (NOGUEIRA et al., 2023).

Além disso, é importante ressaltar que as condições climáticas também influenciam na produtividade do milho (PELLOSO et al., 2023). Regiões com clima mais ameno, como no Sul do país, tendem a apresentar maior rendimento devido a um menor estresse hídrico e temperaturas mais adequadas para o desenvolvimento da cultura (NOGUEIRA et al., 2023).

No entanto, vale salientar que o Cerrado apresenta vantagens competitivas em relação a outros biomas, como o potencial de produzir milho em áreas extensas, com menor custo de produção e maior escala. Além disso, o uso de variedades adaptadas ao solo e clima da região pode resultar em produtividades comparáveis ou até superiores a outras regiões (SANTOS et al., 2022a).

Existem desafios como a acidez do solo, a toxidez de alumínio e a necessidade de manejo eficiente da água que ainda demandam atenção para maximizar o potencial produtivo (MAGALHÃES et al., 2020).

2.2. Solos do cerrado: limitações químicas e físicas

Os solos do bioma Cerrado apresentam características distintas devido à sua formação geológica e interação com fatores ambientais (LATIF et al., 2022). A acidez é uma característica comum nos solos do Cerrado. O pH ácido é resultado da presença de altos teores de alumínio e ferro, o que pode afetar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Estudos evidenciam que cerca de 80% dos solos do Cerrado apresentam pH de 5,5, demonstrando assim, uma característica ácida desse solo (AUGUSTO et al., 2023; EVALDO et al., 2023; PAULA et al., 2022).

Em relação à fertilidade, os solos do Cerrado tendem a apresentar baixos teores de nutrientes essenciais para as plantas (SERAFIM et al., 2023). Dados quantitativos comprovam que os teores médios de fósforo disponíveis nos solos do Cerrado são inferiores a 5 mg dm^{-3} , enquanto em outros biomas, como a Mata Atlântica, esses teores podem ser duas vezes maiores (MAYUMI et al., 2020; VOURLITIS et al., 2023). A disponibilidade de potássio também é baixa, com resultados médios abaixo de 100 mg dm^{-3} (SOUSA E LOBATO, 2004).

Além do fósforo e do potássio, outros nutrientes também são encontrados em baixas concentrações como o cálcio e o magnésio, por exemplo, apresentam teores médios em torno de $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, indicando baixa disponibilidade desses nutrientes (JACOMINE, 1969; SOUSA E LOBATO, 2004). Já o teor médio de matéria orgânica no solo do Cerrado é estimado em cerca de 2%, muito relacionado ao clima tropical que acelera o processo de decomposição do material orgânico e também ao ciclo das queimadas que acometem o bioma todos os anos, mineralizando rapidamente o material orgânico e ficando suscetível a perda e carreamento pelos ventos (DANTAS; BATALHA, 2011; LARRISA et al., 2021; WANTZEN et al., 2012). Isso evidencia a necessidade de práticas de manejo conservacionistas para aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar sua fertilidade como o plantio direto, cultivo mínimo e até mesmo confecção de terraços (DOS REIS et al., 2021; SERAFIM et al., 2023).

É importante ressaltar que as características químicas dos solos do Cerrado podem variar espacialmente. Diferenças na geologia, topografia e vegetação influenciam na composição e fertilidade do solo (FARHANGI-ABRIZ; GHASSEMI-GOLEZANI; TORABIAN, 2021). Por exemplo, solos derivados de arenito podem ter maior acidez e baixa capacidade de retenção de nutrientes em comparação com solos derivados de rochas basálticas. Isso mostra a especificidade das características

químicas do bioma, compreender essas características é fundamental para o manejo adequado dos solos do Cerrado, visando à melhoria da produtividade e o aumento da produtividade agrícola (MAYUMI et al., 2020).

Outro fator de grande importância no solo são suas características físicas, característica essa desempenha um papel fundamental no bioma Cerrado, influenciando a disponibilidade de água, a retenção de água e nutrientes e a estrutura do solo. Os solos do Cerrado são bastante intemperizados, com uma grande quantidade de minerais de argila e matéria orgânica, o que confere uma alta capacidade de retenção, entretanto, a porosidade e permeabilidade do solo são fatores que apresentam variações espaciais, sendo esses indicadores de limitação física do solo (EVALDO et al., 2023; SANTOS et al., 2022b).

De acordo com dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a porosidade do solo no Cerrado pode variar de 30% a 70%, sendo que a porosidade total média é de 51%. Já a permeabilidade varia de 0,4 a 39 cm h⁻¹, com uma média de 8 cm h⁻¹. Essas variações estão relacionadas à textura do solo, que pode ser argilosa, média ou arenosa e ao teor de matéria orgânica (FILIZOLA et al., 2019).

A densidade do solo é um parâmetro que indica a compactação do solo e sua capacidade de reter ar e água. No Cerrado, os solos geralmente apresentam baixa densidade, o que pode estar relacionado à predominância de solos arenosos (PAULA et al., 2022; SERGIO et al., 2021). Dados quantitativos indicam que a densidade média dos solos do Cerrado varia entre 1,2 a 1,5 g cm⁻³, o que contribui para uma boa drenagem, mas também para a necessidade de um manejo adequado para evitar a compactação excessiva (PAULA et al., 2022). E a estrutura do solo, que está relacionada à organização dos poros no solo, desempenha um papel fundamental na retenção de água, circulação de ar e desenvolvimento das raízes das plantas (PAULA et al., 2022). Ainda segundo o autor, teores de Mn e nódulos de óxido de Fe promovem a retenção de água. No Cerrado, a estrutura do solo é sustentada pela predominância de solos arenosos e pela baixa matéria orgânica, onde pesquisas indicam que a porosidade total dos solos do Cerrado varia de 40% a 60%, o que reflete uma boa capacidade de infiltração de água, mas também pode resultar em baixa retenção de nutrientes (SOUSA E LOBATO, 2004).

Em comparação com outros biomas do Brasil, os solos do Cerrado apresentam uma maior porcentagem de argila e uma menor porcentagem de areia, o que resulta em uma maior capacidade de retenção de água e nutrientes, porém, a limitação física do solo pode afetar a produtividade das culturas, sendo necessário adotar práticas de manejo para minimizar esses efeitos (JACOMINE, 1969; SOUSA E LOBATO 2004).

2.3. O problema da geração de rejeitos de mineração no Brasil

A geração de rejeitos de mineração é um grave problema enfrentado pelo setor minerário no Brasil, que vem se intensificando nos últimos anos com a atividade mineradora em expansão, especialmente nos setores de minério de ferro, ouro e outros minerais (GARCIA-TRONCOSO et al., 2022). Esses rejeitos são compostos por materiais muitas vezes não aproveitáveis durante o processo de beneficiamento do minério, como rochas, terra e água, e muitas vezes contêm substâncias tóxicas como metais pesados e substâncias químicas nocivas ao homem (DE CASTRO PAES et al., 2023).

Um dos episódios mais trágicos relacionados à geração de rejeitos de mineração no Brasil ocorreu em 2015, no município de Mariana, Minas Gerais. O rompimento da barragem de rejeitos da Samarco, uma *Joint Venture* entre a Vale S.A. e a BHP Billiton, resultou em uma enorme tragédia ambiental, com o vazamento de aproximadamente 45 milhões de metros cúbicos de lama tóxica que percorreram centenas de quilômetros ao longo do Rio Doce. O desastre causou a morte de 19 pessoas, destruição de comunidades e ecossistemas, além de graves impactos socioeconômicos (ASSIS; CORDEIRO; SCHIAVON, 2023; HANSON PASTRAN; MALLETT, 2020).

Esse desastre alertou para a necessidade de revisão das práticas de gestão de rejeitos de mineração, que são regidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a) e pela Política Nacional de Segurança de Barragens, Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010b). Apesar dessas regulamentações, ainda há muitas lacunas tanto na fiscalização, quanto em uma destinação mais adequada, como o reaproveitamento de alguns rejeitos e também o beneficiamento desses para que transforme o rejeito em bem econômico (HANSON PASTRAN; MALLETT, 2020).

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, dentre os estados com maior geração de rejeitos estão Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul (BRASIL, 2020), demonstrando uma crescente produção desses com o passar dos anos. Esse volume de rejeitos gerados requer uma gestão adequada, que envolve a seleção de técnicas de provisão e armazenamento de rejeitos que minimizam os riscos ambientais e sociais. Atualmente, as principais técnicas de disposição de rejeitos de mineração utilizadas no Brasil são a disposição em barragens, o empilhamento a seco e a disposição subterrânea (GAN et al., 2022; RAMIREZ-LLODRA et al., 2022; SERVI et al., 2022; XIAOLONG et al., 2021).

Essas técnicas impactam a paisagem e por infiltração podem contaminar o solo, águas subterrâneas e através de escoamento superficial contaminar corpos d'água superficiais. Isso apresenta riscos e desafios específicos, e é fundamental que sejam adotadas medidas de controle e monitoramento rigorosos para garantir a segurança das comunidades e do meio ambiente (ARAÚJO; SILVA; TEIXEIRA, 2021; BOULARBAH et al., 2006).

É importante destacar que a geração de rejeitos de mineração é um problema global, e que diversos países têm enfrentado desafios semelhantes na gestão desses resíduos (BOULARBAH et al., 2006). Porém, é fundamental que o Brasil avance na adoção de práticas mais seguras e responsabilize a gestão de rejeitos de mineração, para evitar novos desastres ambientais e proteger a saúde e o bem-estar das comunidades. Medidas como o uso de tecnologias de fotodegradação, metabolismo com enzimas, biossorventes, filtração, desidratação, reprocessamento, reutilização e reuso somados a fiscalização rigorosa são essenciais para evitar desastres e minimizar os impactos ambientais negativos (ADRIANTO et al., 2023; GIRALDO-BAREÑO et al., 2023; KOSAI; NAKAJIMA; YAMASUE, 2023; POGGERE et al., 2023).

2.4. Condicionadores de solo a base de rejeitos de mineração

O uso de condicionadores de solo a base de rejeitos de mineração tem sido uma alternativa estudada e explorada para promover a recuperação e melhoria das propriedades de solos degradados. Essa prática busca transformar resíduos da indústria mineradora em produtos úteis, reduzindo o impacto ambiental associado à disposição desses materiais (LEITE et al., 2022).

Os rejeitos de mineração, que geralmente são ricos em minerais como argilas, carbonatos e óxidos metálicos, podem ser utilizados como condicionadores de solo devido às suas propriedades físicas e químicas. No entanto, é importante ressaltar que a utilização desses materiais requer estudos e avaliações cuidadosas para garantir que não apresentem riscos à saúde humana e ao meio ambiente (NASCIMENTO et al., 2022).

Um dos benefícios do uso de condicionadores de solo a base de rejeitos de mineração é a melhoria da estrutura do solo. Esses materiais podem contribuir para a formação de agregados estáveis, aumentando a porosidade e melhorando a capacidade de retenção de água e nutrientes. Além disso, a adição de rejeitos de mineração ao solo pode auxiliar na redução da erosão, evitando a perda de nutrientes e matéria orgânica (RODRIGUEZ et al., 2022).

A composição química dos rejeitos de mineração também pode desempenhar um papel importante na fertilidade do solo. Alguns rejeitos podem conter nutrientes essenciais para as plantas, como potássio, cálcio e fósforo. A presença desses nutrientes pode contribuir para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, favorecendo o crescimento das plantas e a produtividade agrícola (LEITE et al., 2022).

No entanto, é necessário considerar as características específicas dos rejeitos de mineração e dos solos em que serão aplicados. A toxicidade de certos elementos presentes nos rejeitos, como metais pesados é uma preocupação importante. Portanto, é fundamental realizar análises laboratoriais e estudos de impacto ambiental para avaliar a segurança e a viabilidade do uso desses materiais como condicionadores de solo (BILIBIO et al., 2021).

Além disso, é necessário estabelecer diretrizes e regulamentações claras para o uso de condicionadores de solo a base de rejeitos de mineração, garantindo a proteção ambiental e a segurança dos trabalhadores e consumidores. O monitoramento constante e o controle da qualidade dos rejeitos utilizados são essenciais para evitar riscos à saúde e ao meio ambiente (MARDONOVA; HAN, 2023).

Assim, o uso de condicionadores de solo a base de rejeitos de mineração pode representar uma oportunidade para a recuperação de solos degradados. No entanto, é importante que seja realizado de forma responsável, levando em consideração a

composição química, os possíveis riscos ambientais e a compatibilidade com as características do solo em questão.

2.5. Rejeito de mineração de esmeraldas Talco xisto: potencialidades

O rejeito Talco Xisto, um subproduto da mineração de esmeraldas, possui potenciais aplicabilidades na agricultura. Esse material é rico em minerais primários que podem fornecer benefícios para o solo e as plantas (FERNANDES et al., 2010).

Ao analisar estudos relacionados ao uso do rejeito de Talco Xisto na agricultura, observa-se que ele possui potencial para a melhoria da fertilidade do solo. Em termos de nutrientes, estudos demonstram que o Talco Xisto contém elementos como magnésio, cálcio e potássio, que são essenciais para o crescimento das plantas (GUELFY-SILVA, 2012).

A aplicação do rejeito Talco Xisto no solo se enquadra como rochagem. Esta tecnologia tem a capacidade de alterar positivamente os parâmetros de fertilidade do solo, e também, a reestruturação física dos solos. De modo geral, apesar de sua liberação lenta de nutrientes, devido a necessidade de ação do intemperismo sobre o material, as rochas ou seus subprodutos são fontes naturais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de uma série de outros micronutrientes indispensáveis a nutrição das plantas (THEODORO, 2008 apud GUELFY-SILVA, 2012).

Outra característica relevante do rejeito de Talco Xisto é a sua capacidade de melhorar a estrutura do solo. Estudos realizados utilizando folhelhos de Marcellus e folhelhos orgânicos, matérias de subordinação de rochas Ultramáficas, mesma subordinação do rejeito Talco Xisto, indicaram que o uso desse material pode favorecer a aeração e promover a formação de agregados no solo (KUTCHKO et al., 2020; MUSSA et al., 2021). Isso resulta em um ambiente mais propício para o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes pelas plantas.

Além disso, o comportamento de materiais de subordinação de rochas ultramáficas pode desempenhar um papel importante na redução da compactação do solo. Dados quantitativos mostram que a adição desse material pode contribuir para a diminuição da densidade do solo, melhorando a permeabilidade e facilitando a penetração das raízes (GUELFY-SILVA, 2012).

Contudo, é necessário considerar alguns aspectos antes de utilizar o rejeito de Talco Xisto na agricultura. Primeiramente, é fundamental realizar análises

laboratoriais detalhadas para determinar a composição química do material e avaliar sua adequação para diferentes culturas e tipos de solo. Também é importante considerar a dosagem correta a ser aplicada, a fim de evitar excessos que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas ou causar impactos ambientais indesejáveis (HALDAR, 2020).

Assim, esse rejeito apresenta potencialidades no contexto agrícola. Com sua composição rica em nutrientes e capacidade de melhorar a estrutura do solo, pode contribuir para a fertilidade e a produtividade das culturas. No entanto, é essencial realizar estudos mais aprofundados e considerar as especificidades do rejeito, bem como as necessidades do solo e das plantas, para uma aplicação adequada e segura desse material na agricultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres (IF Goiano – Campus Ceres), localizado nas coordenadas 15°21'03" S e 49°35'55" W e altitude de 581m, em casa de vegetação em vasos de 5 L (Figura 1), de janeiro a abril de 2022 com a cultura do milho cultivar Agroceres 7098. O clima da região é classificado como Aw segundo Koppen e Geiger 1928 (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014), de temperaturas média mínima de 20,8 °C e máxima de 25,3 °C, com chuvas concentradas no verão e inverno seco.



Figura 1 – Vista aérea do campus Ceres do IF Goiano com destaque em amarelo para área experimental da fruticultura e marcação com seta amarela sinalizando local da casa de vegetação.

Fonte: Google Earth, com modificações, 2022.

Foram coletadas amostras do substrato (Latossolo Vermelho, 0-20 cm) e do rejeito Talco Xisto para caracterização da fertilidade e textura conforme Tabela 1. A análise de terra foi feita no laboratório de solos do IF Goiano – Campus Ceres. O rejeito da mineração de esmeraldas (Talco xisto) de granulação fina foi disponibilizado pela secretaria de agricultura do município de Campos Verdes – GO, a qual representará as associações de mineradores locais.

Tabela 1 – Resultados da análise física e química de amostras de solo e do rejeito Talco Xisto utilizados como substrato.

Amostra	-----Textura-----			K	P	V	m	
	Areia	Silte	Argila					
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----		----- % -----		
Solo 0-20 cm	460	132	408	128,8	37,5	71,75	0,00	
	pH	M.O.	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T
	em H ₂ O	g dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
	5,5	17,5	4,7	1,3	0,0	2,5	0,3	8,8
Amostra	-----Textura-----			K	P	V	m	
	Areia	Silte	Argila					
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----		----- % -----		
Talco Xisto	-	-	-	111,2	4,4	76,47	0,00	
	pH	M.O.	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T
	em H ₂ O	g dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
	6,6	3,0	1,8	1,5	0,0	1,1	0,3	4,7

M.O.: matéria orgânica realizado pelo método colorimétrico; P e K: fósforo e potássio realizado pelo método de Mehlich-1; Ca, Mg, Al: cálcio, magnésio e alumínio realizado com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: hidrogênio mais alumínio realizado pelo método tampão SMP a pH 7,5; T: capacidade total de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Fonte: Laboratório de solos IF Goiano – Campus Ceres (2021).

Com base nos resultados foi averiguada a não necessidade de calagem procedendo o cálculo de adubação de acordo com a recomendação para a cultura (SOUSA, LOBATO, 2004).

O experimento foi implantado no mês de agosto de 2021. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC) em arranjo fatorial 4x2, sendo o fator dose, com 0; 266,8; 466,8 e 666,8 m³ ha⁻¹ de rejeito, e o fator adubação mineral (semeadura, com e sem, com 4 repetições e 2 vasos por parcela amostral. As doses de rejeito foram definidas em função do seu teor de K₂O (111,2 mg dm⁻³), dose recomendada (30-40 kg ha⁻¹ de K₂O) e pela análise para a cultura e considerando 0, 1, 2 e 3 vezes a dose recomendada, equivalendo a 0; 35,7; 62,5; 89,3 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. O substrato final foi incubado por 30 dias com irrigação antes da semeadura, a qual foi feita com 3 sementes e deixando-se uma planta vaso⁻¹, dispostos no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,3 m entre plantas (Figura 2).



Figura 2 – Experimento em casa de vegetação aos 25 DAS-dias após semeadura.

Fonte: arquivo pessoal (2021).

A adubação de plantio foi de 30, 60 e 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O conforme Sousa e Lobato (2004), utilizando ureia, 03-17-00 e KCl, respectivamente; e a de cobertura, com 15 kg ha⁻¹ de N (ureia) e 20 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl) após 20 DAS em todos os vasos.

O manejo da irrigação foi realizado através do mini Tanque Classe A instalado na casa de vegetação. A partir daí seguindo a metodologia de Albuquerque (2010) e Nogueira (2018) calculou-se a evapotranspiração da cultura (E_c), capacidade de água disponível no solo (CAD), lâmina líquida a ser aplicada (LL), lâmina bruta a ser aplicada (LB), frequência de irrigação (F) e tempo de irrigação (T_i) detalhados a seguir:

Os cálculos de lâmina se iniciaram com a capacidade de vaso (Figura 3), para determinar a lâmina máxima de irrigação que os vasos retêm sem drenar. Logo, 4 amostras dos substratos preparados nos vasos foram utilizadas. Esses vasos foram saturados com água durante 24h (imersos até 70% da altura do vaso). Após a saturação foram retiradas amostras indeformadas de cada vaso a cada 24h e pesadas até a estabilização do seu peso. Com os dados foi calculado a capacidade de vaso através das equações abaixo:

$$Ug = (p_{sat} - p_{sec}) / p_{sec}$$

Equação 1

Onde:

→ Ug: umidade gravimétrica;

- p sat: peso da amostra indeformada saturada;
- p sec: peso da amostra indeformada seca em estufa a 105 °C por 24h.

$$D_s = M_s / V_t$$

Equação 2

Onde:

- Ds: densidade da amostra indeformada;
- Ms: massa seca da amostra indeformada seca em estufa a 105 °C por 24h;
- Vt: volume do anel da amostra indeformada.

$$\theta = D_s * U_g$$

Equação 3

Onde:

- θ : umidade volumétrica;
- Ds: densidade da amostra indeformada;
- Ug: umidade gravimétrica.

A umidade gravimétrica média referente à capacidade de vaso (capacidade de campo) após 96h de estabilização na média dos tratamentos foi 0,3093 g g⁻¹ e a densidade do solo média foi de 1,31 g cm⁻³, resultando em θ de 0,4053 cm³ cm⁻³ ou (0,4053 dm³ dm⁻³). Com isso temos o dado de umidade volumétrica da capacidade de vaso (capacidade de campo) por vaso de 5 dm³ por uma regra de três:

Ug	dm³
0,4053	1
X	5

$$X = 5 * 0,4053$$

$$X = 2,0265 \text{ dm}^3 \text{ vaso}^{-1}$$

Esse resultado de 2,03 litros vaso⁻¹ é o máximo de água que se pode aplicar em cada irrigação e considerando que o solo não tenha umidade. Como não se pode esperar o solo secar completamente, os cálculos seguintes demonstram a determinação da lâmina de irrigação atendendo critérios recomendados.

$$Etc = Ev * Kc$$

Equação 4

Onde:

- Etc: evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);
- Ev: evaporação média do tanque – mini tanque classe A – (mm dia⁻¹);
- Kc: coeficiente da cultura (adm).

$$CAD = (CC - PMP) * Ds$$

Equação 5

Onde:

- CAD: capacidade de água disponível no solo (mm cm⁻¹ de solo);
- CC: capacidade de campo (% peso) = capacidade de vaso supracitado;
- PMP: ponto de murcha permanente (% peso) – foi considerado de 20,0% em função de trabalhos anteriores nesse solo;
- Ds: densidade do solo (g cm⁻³).

$$LL = CAD * f * z$$

Equação 6

Onde:

- LL: lâmina líquida de irrigação (mm);
- CAD: capacidade de água disponível no solo (mm cm⁻¹ de solo);
- f: fator de disponibilidade (adm) = 0,7;
- z: profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

$$LB = LL / Ea$$

Equação 7

Onde:

- LB: lâmina bruta de irrigação (mm);
- Ea: eficiência da aplicação (%);
- LL: lâmina líquida de irrigação (mm).

$$F = LB / Etc$$

Equação 8

Onde:

- F: frequência de irrigação (dias);
- LB: lâmina bruta de irrigação (mm);
- Etc: evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

$$Ti = \frac{\left\{ \left[\frac{(Ev * Av * Kc)}{Ea} \right] * (Re * 60) \right\}}{Q}$$

Equação 9

Onde:

- Ti: tempo de irrigação (min);
- Ev: evaporação média do tanque – mini tanque classe A – (mm dia⁻¹);
- Av: área de abertura do vaso (m²);
- Kc: coeficiente da cultura (adm);
- Ea: eficiência da aplicação (%);
- Re: taxa de reposição em decimal;
- 60: transformação do tempo de horas para minutos;
- Q: vazão do gotejador (L h⁻¹).

Aplicando os cálculos com os dados pertinentes à cultura chegou a um valor de tempo de irrigação que variou em função do coeficiente da cultura (Kc), que está diretamente relacionado ao estágio da cultura e a evaporação do mini tanque classe A. Assim, no período em que o experimento foi instalado e manejado (dezembro a abril), o tempo de irrigação para a cultura nessas condições variou de 5 a 7 min diários.

A irrigação foi por gotejamento, utilizando gotejadores autocompensantes de vazão igual a 2 L h⁻¹ (Figura 3). O controle de invasoras foi semanal realizado de forma manual.



Figura 3 – Procedimentos na instalação do experimento. (A): ferramentas utilizadas na análise de capacidade de vaso; (B): coleta das amostras indeformadas do substrato para análise da capacidade de vaso; (C): gotejador autocompensante utilizado na irrigação do experimento; (D): sistema de irrigação via gotejamento já instalado nos vasos.

Fonte: arquivo pessoal (2021).

As variáveis avaliadas do experimento foram: altura de planta (AP), altura da espiga na planta (AE), diâmetro do colmo da planta à altura do solo (DC), diâmetro da espiga em sua base sem a palha (DE), comprimento da espiga sem a palha (CE), número de fileiras de grãos por espiga (NFE), número médio de grãos por fileira (NGPF), número de grãos por espiga (NG), massa média de mil grãos (MMG) e produtividade média (kg ha^{-1}) (PROD). As variáveis resposta foram coletadas aos 110 DAS, no momento da colheita, coletando todo material necessário.

Os dados foram submetidos às análises estatísticas de pressuposições da análise paramétrica, análise de variância (ANOVA; teste F) e, para os tratamentos e ou interações significativas para doses, foi aplicada a análise de regressão utilizando o software estatístico SISVAR 5.7 (FERREIRA, 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentado o resumo da análise de variância das características vegetativas e de produção do milho para os tratamentos testados.

Todas as variáveis apresentaram interação entre dose de rejeito x adubação mineral ($p < 0,05$ ou $p < 0,01$), exceto para NFE e MMG. Nos tratamentos com interação significativa, os fatores isolados dose e/ou adubação também foram significativos para todas variáveis com exceção de NG. A seguir são discutidos os tratamentos que foram significativos para interação adubação x doses.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância (quadrado médio) para altura de planta (AP), altura de espiga na planta (AE), diâmetro do colmo da planta à altura do solo (DC), diâmetro da espiga em sua base sem a palha (DE), comprimento da espiga sem a palha (CE), número de fileiras de grãos por espiga (NFE), número médio de grãos por fileira (NGPF), número de grãos por espiga (NG), massa média de mil grãos (MMG) e produtividade média (PROD) em função da aplicação de diferentes doses de rejeito Talco xisto e adubação de produção da cultura do milho cultivar Agrocerees 7098. Ceres, GO, 2022.

FV	GL	AP	AE	DC	DE	CE	NFE
Adubação	3	1152,00**	228,44*	0,31**	1,91**	74,88**	32,00 ^{ns}
Doses	1	650,26**	238,01**	0,12**	0,54 ^{ns}	4,85*	25,18 ^{ns}
Adub x dose	3	1804,94**	533,78**	0,05**	1,04*	9,76**	34,81 ^{ns}
Erro	9	104,38	29,38	0,01	0,23	1,56	14,70
CV (%)	-	5,85	6,85	5,20	13,43	11,32	31,70
FV	GL	NGPF	NG	MMG	PROD		
Adubação	3	176,58*	28590,38 ^{ns}	10025,99 ^{ns}	8963198,06**		
Doses	1	6,94 ^{ns}	1522,22 ^{ns}	7595,62 ^{ns}	198225,34 ^{ns}		
Adub x dose	3	134,03*	33470,72*	1015,98 ^{ns}	4788592,21**		
Erro	9	33,58	7833,70	4090,55	921973,26		
CV (%)	-	45,76	48,69	33,62	41,50		

ANOVA: análise de variância; FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; adub x dose: análise da interação adubação x doses de rejeito; CV: coeficiente de variação (%); ^{ns}: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

Analisando a variável altura de planta - AP (Figura 4) verifica-se que rejeito com adubo mineral (base) se ajustou ao modelo quadrático (descendente), onde a

resposta da planta diminuiu com o incremento de rejeito até a dose de 410,68 m³ ha⁻¹, obtido pela derivada da equação e igualando a função a zero. Para AP sem adubação, houve ajuste ao modelo linear sendo a maior resposta na maior dose de rejeito. A resposta de doses sem adubação mineral só se igualou a com adubação a partir da dose de aproximadamente 420 m³ ha⁻¹ de rejeito.

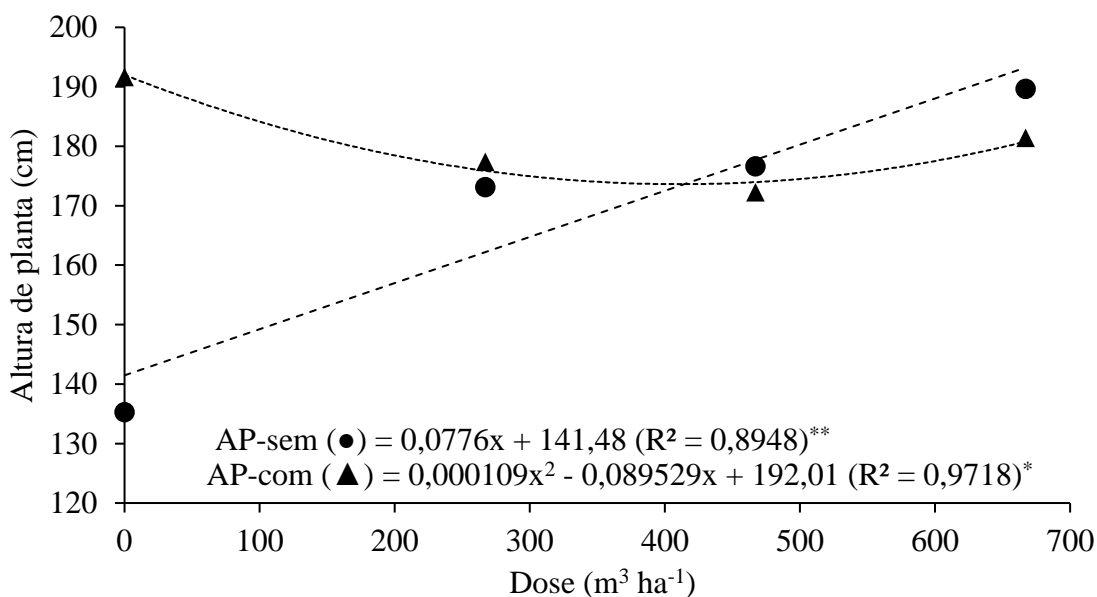


Figura 4 – Aplicação de diferentes doses do rejeito Talco Xisto sob a adubação de produção da cultura do milho na variável altura de planta. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% (p<0,01) e 5% (p<0,05) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

Em relação à altura de espiga (AE) na planta (Figura 5), rejeito x adubo mineral não se ajustou a modelos de regressão. Para rejeito x sem adubação houve ajuste ao modelo quadrático, com dose de máxima eficiência técnica em 514,87 m³ ha⁻¹. Esse resultado foi similar à variável AP nas menores doses de rejeito sem adubação, com valores baixos. A sem se igualou a com adubação a partir de cerca de 320 m³ ha⁻¹ de rejeito para AE, provavelmente, pelo aumento da disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, verifica-se efeito negativo no aumento de doses na presença de adubação mineral.

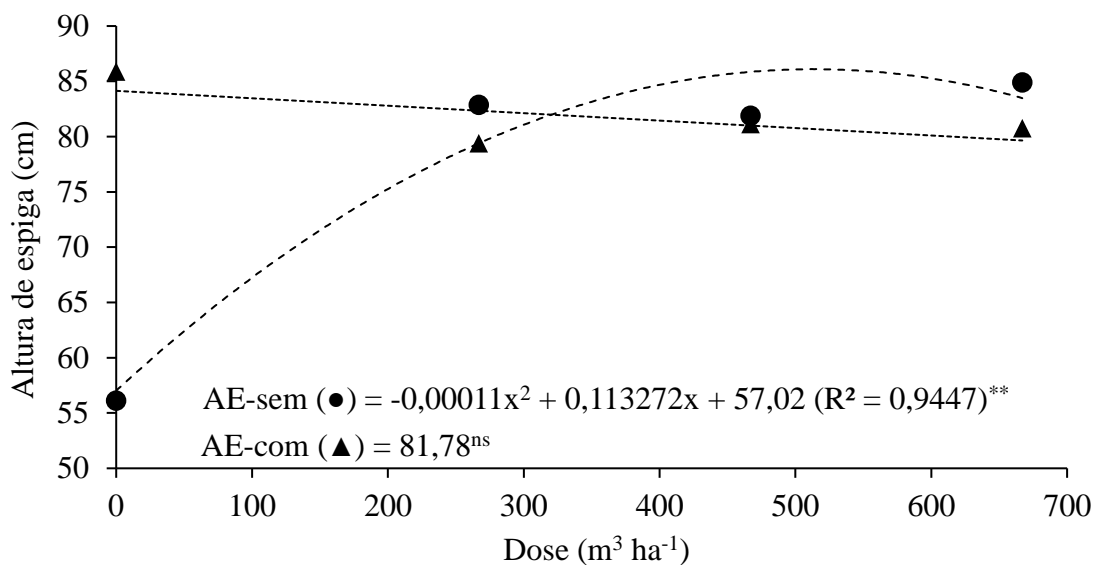


Figura 5 – Resultados médios de diâmetro do colmo da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

Em experimento com uso de rejeito de rochas basálticas de mineradora de brita na cultura e desenvolvimento do milho, Teixeira et al. (2021) observaram que na dose de 5 t ha^{-1} houve acréscimo em altura de plantas e também na altura da primeira espiga na planta, o que corrobora com os resultados observados nesta pesquisa.

Quanto à variável diâmetro de colmo – DC, rejeito x com adubo mineral se ajustou ao modelo linear (R^2 baixo, mas modelo significativo), e rejeito x sem adubação mineral teve ajuste ao modelo quadrático, com máxima resposta na dose de $460 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do rejeito. A adubação mineral de plantio resultou em plantas mais grossas que nos tratamentos somente com rejeito (Figura 6).

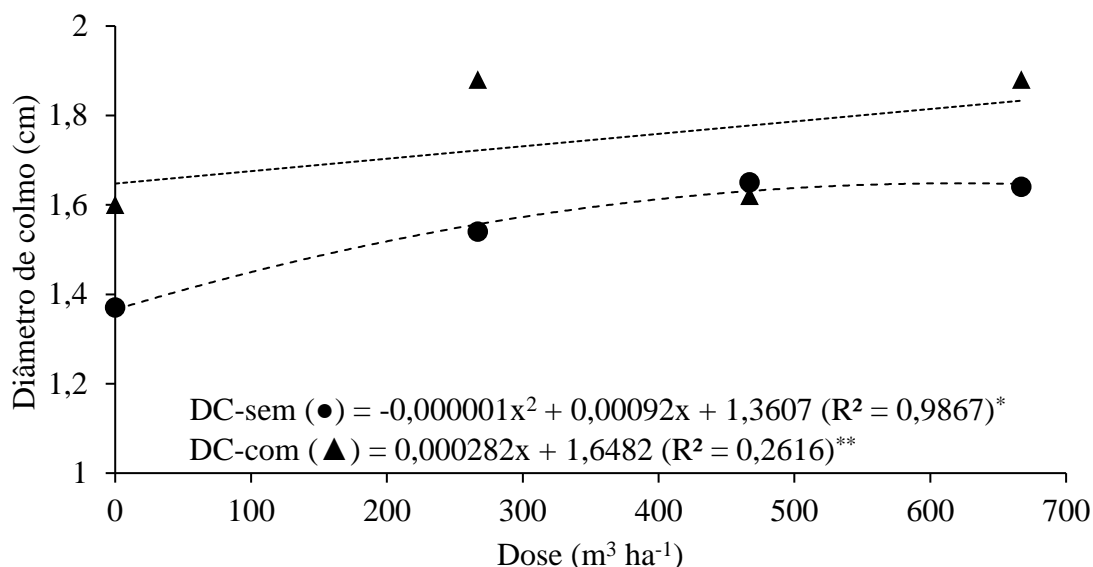


Figura 6 – Resultados médios de diâmetro do colmo da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

O diâmetro do colmo é fator determinante no desenvolvimento das plantas, estando associada ao tombamento nas fases iniciais de crescimento da planta para alguns casos (TRAJANO, 2010). Ribeiro et al. (2010) estudando a cultura da soja em resposta a adubação utilizando rochas ultramáficas obteve maior resposta em produção de raízes e, conseqüentemente, da parte aérea, especificamente caule e diâmetro de colmo. Isso pode ser explicado pelo seu maior poder de correção da acidez do solo (RIBEIRO et al., 2010), sua composição multi-nutriente devido a presença de minerais como os feldspatos, que em sua composição são capazes de liberar outros nutrientes além do K^+ tornando-a uma opção para adubação em sistemas de cultivo orgânico.

Para as variáveis DE, CE, NGPF e NG, embora tenham tido interação significativa dose rejeito x adubação mineral, essas não se ajustaram aos modelos linear e quadrático para dose de rejeito x com adubo mineral. Já para doses de rejeito sem adubação mineral houve ajuste ao modelo linear crescente onde quanto maior foi a dose do rejeito maior foi a resposta (Figuras 7, 8, 9 e 10).

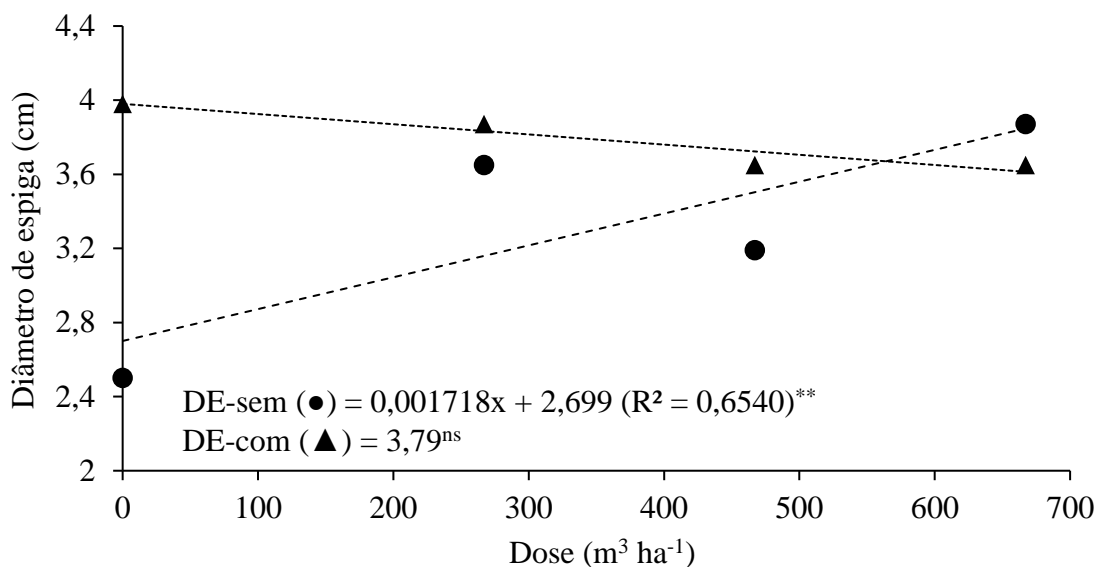


Figura 7 – Resultados médios de diâmetro da espiga da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% (p<0,01) e 5% (p<0,05) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

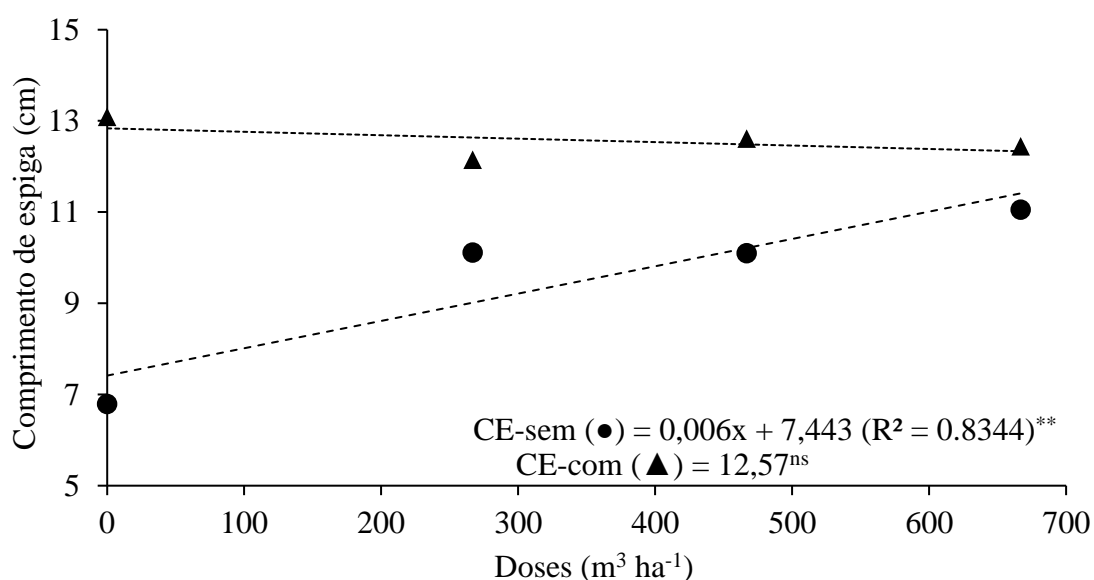


Figura 8 – Resultados médios de comprimento da espiga da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% (p<0,01) e 5% (p<0,05) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

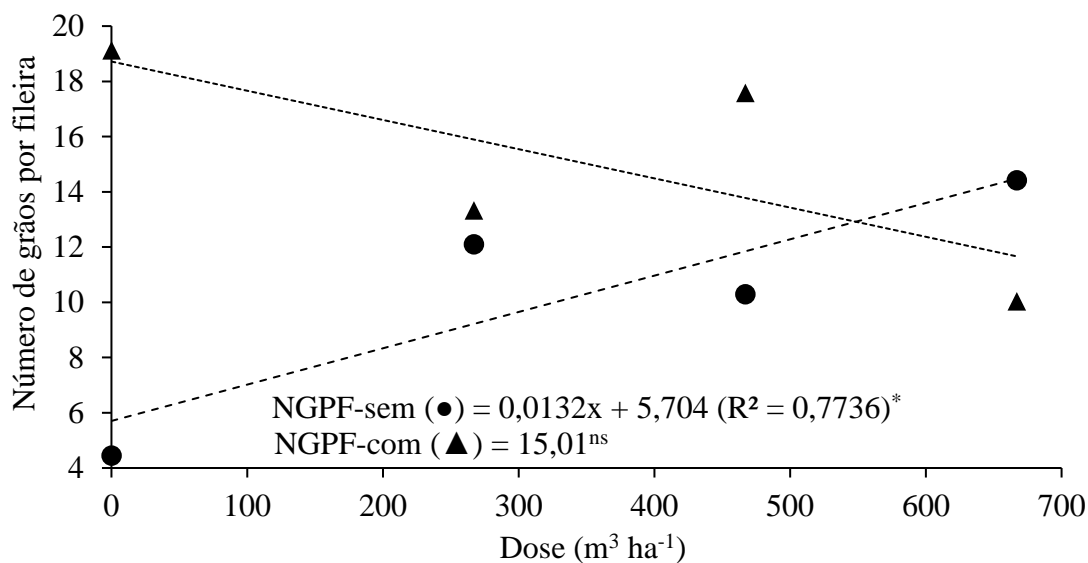


Figura 9 – Resultados médios de número médio de grãos por fileira da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

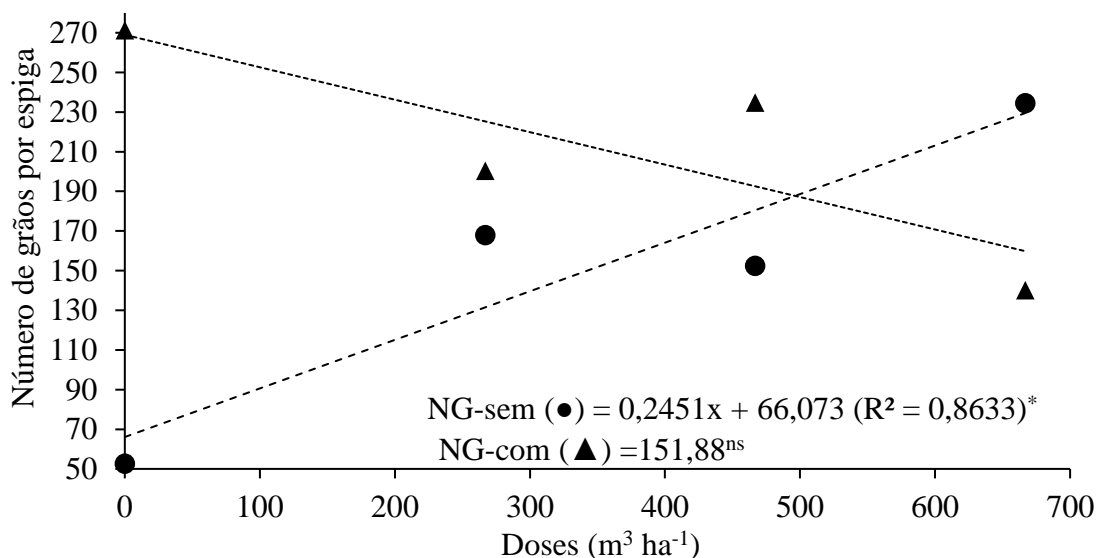


Figura 10 – Resultados médios de quantidade de grãos por espiga da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

A respeito da variável produtividade (PROD), doses de rejeito com e sem adubo mineral se adequaram ao modelo linear decrescente e crescente, respectivamente. Na interação adubação x rejeito a melhor resposta foi na dosagem zero de rejeito que resultou na produtividade de 3.569,2 kg ha⁻¹, resultado esse, abaixo da média nacional que é de 4.366 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022) (Figura 11). O cultivo em vasos pode ter influenciado na menor produtividade da cultura o que é esperado devido limitação para o desenvolvimento do sistema radicular.

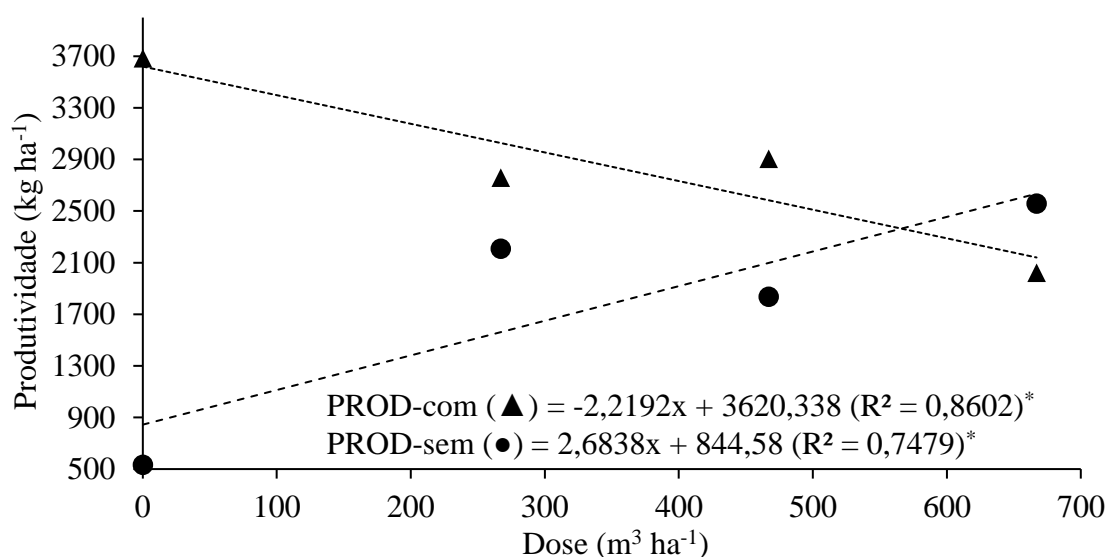


Figura 11 – Resultados médios de Produtividade da cultura do milho sob doses de rejeito de mineração e adubação mineral na base. ** e *: significativo pelo teste de Tukey a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal (2022).

Para o tratamento sem adubação mineral, a melhor resposta foi na maior dose de rejeito (666,8 m³ ha⁻¹) com 2.634,1 kg ha⁻¹ de grãos. O aumento em relação ao tratamento controle foi de 211,9%, e igualou com adubação na dosagem de cerca de 550 m³ ha⁻¹. Contudo, ao se analisar rejeito com adubação base houve redução de 69,1% na PROD entre não aplicar e adicionar a maior dose, devendo-se estudar melhor essa interação.

Aguiar (2013), estudando rejeito da mineração de esmeraldas, observou que a disponibilidade de K no solo aumentou até a dose de 20 t ha⁻¹. A partir desse ponto observou decréscimo, o que foi atribuído à associação de ânions existentes no mineral ao potássio formando compostos de menor solubilidade. Ainda segundo o autor,

dosagens elevadas de alguns nutrientes como K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} podem induzir a deficiência de Mg^{2+} ou influenciar a competição com outros elementos, como o Mn.

Pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa e de Universidades brasileiras (PADUA, 2020) observaram efeitos baixos a moderados, no desenvolvimento de plantas cultivadas em solos fertilizados com pó de rochas (biotita xisto, brecha alcalina e ultramáfica) aplicados de forma direta no solo.

5. CONCLUSÕES

- Dosagens crescentes de rejeito sem adubação mineral de base promovem melhoria na resposta para variáveis de crescimento e produção de milho se igualando à rejeito x adubação nas maiores doses testadas. Rejeito juntamente com adubação mineral mostra possíveis efeitos antagônicos.
- Nas condições do estudo a dose de 666,8 m³ ha⁻¹ de rejeito mais adubação de cobertura equivale a 73,8 % da produtividade com adubação mineral.
- O rejeito estudado pode ser interessante em sistemas de baixo investimento, devendo-se estudar melhor o rejeito sobretudo quanto a possíveis impactos ambientais como risco de metais pesados.

6. REFERÊNCIAS

- ADRIANTO, L. R. et al. Toward sustainable reprocessing and valorization of sulfidic copper tailings: Scenarios and prospective LCA. **Science of the Total Environment**, v. 871, n. November 2022, 2023.
- AGUIAR, A. de P., *et al.* **Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da Província Esmeraldífera de Nova Era em solo agrícola**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Mg, 2013.
- ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira de. **Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo**: circular técnica 136. Sete Lagoas, Mg: Embrapa, 2010. 25 p. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- ARAÚJO, L. S. S.; SILVA, S. Q.; TEIXEIRA, M. C. Developing a biosurfactant to attenuate arsenic contamination in mining tailings. **Heliyon**, v. 7, n. 2, 2021.
- ASSIS, T. P.; CORDEIRO, F. F.; SCHIAVON, L. C. How stock market reacts to environmental disasters and judicial decisions: A case study of Mariana's dam collapse in Brazil. **International Review of Law and Economics**, v. 73, n. November 2022, p. 106105, 2023.
- AUGUSTO, N. et al. Geoderma Mapping Brazilian soil mineralogy using proximal and remote sensing data. v. 432, n. May 2022, 2023.
- BILIBIO, C. et al. Drainage properties of technosols made of municipal solid waste incineration bottom ash and coal combustion residues on potash-tailings piles: A lysimeter study. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123442, 2021.
- BOULARBAH, A. et al. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 1. Use of a biotest to assess metal toxicity of tailings and soils. **Chemosphere**, v. 63, n. 5, p. 802–810, 2006.
- BOZZI ZEFERINO, L. et al. **Simulation of changes in C and N stocks with land use and cover in Amazon Forest-Cerrado transition environment** *Geoderma*, 2021.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (comp.). **Brasil em Síntese**. 2023a. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- BRASIL. Karina Andrade Medeiros. Agência Nacional de Mineração (org.). **Anuário Mineral Brasileiro**: principais substâncias metálicas. Brasília, Df: Agência Nacional

de Mineração, 2023b. 23 p. (Ano Base 2021). CDD 338.2098161. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>.

Acesso em: 01 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.. . Brasília, DF, 02 ago. Diário Oficial da União, 2010a.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000... Brasília, DF, 21 nov. Diário Oficial da União, 2010b.

BRASIL. Secretaria de Geologia Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia (comp.). **Boletim do Setor Mineral**. 6. ed. Brasília, Df: Ministério de Minas e Energia, 2020. 27 p. Atualizado em fev. de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/boletim-do-setor-mineral/boletim-do-setor-mineral-2013-4o-trim-2020.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2023.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de köppen-geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, p.40-55, 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15047> . Acesso em: 21 mai. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 8 oitavo levantamento, maio 2023.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento (org.). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**: segundo levantamento, novembro 2022 - safra 2022/23. 2. ed. Brasília, Df: Conab, 2022. 84 p. ISSN 2318 6852.

DANTAS, V. D. L.; BATALHA, M. A. Vegetation structure : Fine scale relationships with soil in a cerrado site. v. 206, p. 341–346, 2011.

DE CASTRO PAES, É. et al. Use of modeling to map potentially toxic elements and assess the risk to human health in soils affected by mining activity. **Catena**, v. 220, n.

July 2022, 2023.

DE OLIVEIRA, J. F. et al. Field-scale spatial correlation between soil and Vis-NIR spectra in the Cerrado biome of Central Brazil. **Geoderma Regional**, v. 30, n. May 2021, 2022.

DOS REIS, J. C. et al. Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, 2021.

IVALDO, M. et al. Science of the Total Environment Soil physicochemical and biological properties in soybean areas under no-till Systems in the Brazilian Cerrado. v. 862, n. September 2022, 2023.

FARHANGI-ABRIZ, S.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; TORABIAN, S. A short-term study of soil microbial activities and soybean productivity under tillage systems with low soil organic matter. **Applied Soil Ecology**, v. 168, n. May, p. 104122, 2021.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. DA L.; CASTILHOS, Z. C. (ed.). **AGROMINERAIS PARA O BRASIL**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2010. 380 p. ISBN 978-85-61121-61-7.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. v. 5.7, (1999-2018).

FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento 84**: diagnóstico de atributos físico-hídricos dos solos de textura arenosa em áreas de intensificação agrícola no bioma cerrado. Jaguariúna, Sp: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 74 p. ISSN 1516 - 4675.

FUCK, Reinhardt Adolfo et al. **Santa Terezinha de Goiás- SD.22-Z-A-III, escala 1:100.000**: nota explicativa. Brasília, DF: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007. 61 p. ISBN 978-85-7499-049-1.

GAN, C. DAN et al. Contrasted speciation distribution of toxic metal(loid)s and microbial community structure in vanadium-titanium magnetite tailings under dry and wet disposal methods. **Journal of Hazardous Materials**, v. 439, n. July, p. 129624, 2022.

GARCIA-TRONCOSO, N. et al. Comparative mechanical properties of conventional concrete mixture and concrete incorporating mining tailings sands. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, n. March, p. e01031, 2022.

GUELFY-SILVA, D. R. **Caracterização e avaliação agrônômica de rochas**

silicáticas com potencial de uso como fontes alternativas de nutrientes e corretivos da acidez do solo. 2012. 173 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GIRALDO-BAREÑO, Y. Y. et al. Efficient and easily scaled-up biosorbent based on natural and chemically modified macauba (*Acrocomia aculeata*) to remove Al^{3+} , Mn^{2+} and Fe^{3+} from surface water contaminated with iron mining tailings. **Talanta**, v. 256, n. January, 2023.

HALDAR, S. K. Chapter 9 - Mineral deposits: host rocks and genetic model. In: HALDAR, S. K. B. T.-I. TO M. AND P. (SECOND E. (Ed.). . Oxford: Elsevier, 2020. p. 313–348.

HANSON PASTRAN, S.; MALLETT, A. Unearthing power: A decolonial analysis of the Samarco mine disaster and the Brazilian mining industry. **Extractive Industries and Society**, v. 7, n. 2, p. 704–715, 2020.

JACOMINE, Paulo Klinger Tito. **Descrição das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de alguns perfis de solos sob vegetação de Cerrado.** 11. ed. Rio de Janeiro, Rj: Embrapa Memória, 1969. 130 p. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA: ESCRITÓRIO DE PESQUISAS E EXPERIMENTAÇÃO Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo.

KOSAI, S.; NAKAJIMA, K.; YAMASUE, E. Mercury mitigation and unintended consequences in artisanal and small-scale gold mining. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 188, n. April 2022, p. 106708, 2023.

KUTCHKO, B. et al. Quantifying pore scale and matrix interactions of SCCO 2 with the Marcellus shale. **Fuel**, v. 266, n. May 2019, p. 116928, 2020.

LARRISA, L. et al. Soil & Tillage Research Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil & Tillage Research**, v. 205, n. November 2019, p. 104785, 2021.

LATIF, A. et al. Agriculture , Ecosystems and Environment Effects of different tillage systems and cropping sequences on soil physicochemical properties and greenhouse gas emissions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 335, n. May, p. 108010, 2022.

LEITE, R. DA C. et al. Bauxite residue valorization — Soil conditioners production through composting with palm oil mill residual biomass. **Science of the Total**

Environment, v. 835, n. April, 2022.

LEONARDOS, O. H., THEODORO, S. H., ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. IN: Nutrient Cycling in Agroecosystems - **Formerly Fertilizer Research**. n 56, p. 3 – 9, out. 2000.

MAGALHÃES, I. B. et al. Brazilian Cerrado and Soy moratorium: Effects on biome preservation and consequences on grain production. **Land Use Policy**, v. 99, n. August, p. 105030, 2020.

MARTINS, E. S., OLIVEIRA, C. G., RESENDE, A. V., MATOS, M. S. F. **Agro minerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura**. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, 2008. p.205-221, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins.

MARDONOVA, M.; HAN, Y. S. Environmental, hydrological, and social impacts of coal and nonmetal minerals mining operations. **Journal of Environmental Management**, v. 332, n. December 2022, p. 117387, 2023.

MAYUMI, A. et al. Geoderma Regional Soil factors affecting phosphorus adsorption in soils of the Cerrado , Brazil. v. 22, 2020.

MEDEIROS, K. A., *et al.* (org.). **Sumario mineral**. Brasília, DF: Agência Nacional de Mineração – Anm, 2019. 201 p. ISSN 0101 2053.

MELLO, D. C. DE et al. Geoderma Soil magnetic susceptibility and its relationship with naturally occurring processes and soil attributes in pedosphere , in a tropical environment. **Geoderma**, v. 372, n. December 2019, p. 114364, 2020.

MENDES, W. D. S. Journal of South American Earth Sciences Digital soil mapping outputs on soil classification and sugarcane production in Brazil. v. 116, n. March, 2022.

MUSSA, A. et al. Journal of South American Earth Sciences Geochemical characterization of selected organic-rich shales from the Devonian Pimenteiras Formation , Parnaíba Basin , Brazil – Implications for methane adsorption capacity. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, n. P1, p. 103507, 2021.

NASCIMENTO, R. S. et al. From mining waste to environmental remediation: a nanoadsorbent from Amazon bauxite tailings for the removal of erythrosine B dye. **Applied Clay Science**, v. 222, n. March, 2022.

NOGUEIRA, Andréa Gomes. **DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) SOB NÍVEIS DE REPOSIÇÃO HÍDRICA**.

2018. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Irrigação no Cerrado, Departamento de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Ceres, Go, 2018.

NOGUEIRA, D. B. et al. Dry spells in a semi-arid region of Brazil and their influence on maize productivity. **Journal of Arid Environments**, v. 209, n. November 2021, p. 104892, 2023.

O BIOMA Cerrado. 2023. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html#portal-siteactions>. Acesso em: 01 mar. 2023.

PADUA, W. R. de. **AS DINÂMICAS SOCIOESPACIAIS NO GARIMPO DE ESMERALDAS EM CAMPOS VERDES/GO - (1981 a 2017)**. 2020. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiania, Go, 2020.

PAULA, A. et al. Catena Soil formation and properties along a sedimentary lithosequence in the ecotonal Cerrados of Mato Grosso , Brazil. v. 219, n. July 2021, 2022.

PELLOSO, M. F. et al. Agronomic performance and quality of baby corn in response to the inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization in the summer harvest. **Heliyon**, v. 9, n. March, p. e14618, 2023.

POGGERE, G. et al. Soil contamination by copper: sources, ecological risks, and mitigation strategies in Brazil. **Journal of Trace Elements and Minerals**, v. 4, n. July 2022, p. 100059, 2023.

RAMIREZ-LLODRA, E. et al. New insights into submarine tailing disposal for a reduced environmental footprint: Lessons learnt from Norwegian fjords. **Marine Pollution Bulletin**, v. 174, 2022.

RIBEIRO, L. S., *et al.* Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.891-897, 2010.

RODRIGUEZ, J. A. et al. Classifying the potential of biochars from agricultural and industrial waste for the recovery of Fe and Mg mining tailings. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 161, n. July 2021, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO Filho, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. De & CUNHA, T. J. F. 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed. rev. ampl. Embrapa, Brasília, DF. 390 pp.

- SANTOS, J. S. DOS et al. Landscape ecology in the Anthropocene: an overview for integrating agroecosystems and biodiversity conservation. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 1, p. 21–32, 2021.
- SANTOS, R. et al. Soil & Tillage Research Water retention and availability in Brazilian Cerrado (neotropical savanna) soils under agricultural use : Pedotransfer functions and decision trees. v. 224, n. September, 2022a.
- SANTOS, R. et al. Soil & Tillage Research Water retention and availability in Brazilian Cerrado (neotropical savanna) soils under agricultural use : Pedotransfer functions and decision trees. v. 224, n. July, 2022b.
- SERAFIM, M. E. et al. Soil physicochemical and biological properties in soybean areas under no-till Systems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 862, n. December 2022, 2023.
- SERGIO, A. et al. Rhizosphere Arbuscular mycorrhizal community in soil from different Brazilian Cerrado physiognomies. **Rhizosphere**, v. 19, n. April, p. 100375, 2021.
- SERVI, S. et al. Mechanical response of filtered and compacted iron ore tailings with different cementing agents: Focus on tailings-binder mixtures disposal by stacking. **Construction and Building Materials**, v. 349, n. July, 2022.
- SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson (ed.). **CERRADO**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p. (8ª impressão - 2017). ISBN 85-7075-230-4.
- TEIXEIRA, T. B., et al. **PÓ DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA UTILIZAÇÃO COMO REMINERALIZADOR DE SOLO EM CULTIVO DE *Zea mays* L.** 2021. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, Rs, 2021.
- THEODORO, S. H., et al. EXPERIÊNCIAS DE USO DE ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTE DE NUTRIENTES. **Espaço & Geografia**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 263-292, 25 out. 2006. Semestral. ISSN: 1516-9375.
- TRAJANO, É. V. de A. **REJEITOS DE MINERADORAS COMO SUBSTRATO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.)**. 2010. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos/Pb, Patos, Pb, 2010.
- VOURLITIS, G. L. et al. Trees , Forests and People Nitrogen and phosphorus pools and fluxes in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-

Pantanal transition of Brazil. **Trees, Forests and People**, v. 12, n. February, p. 100383, 2023.

WANTZEN, K. M. et al. Agriculture , Ecosystems and Environment Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. “**Agriculture, Ecosystems and Environment**”, v. 151, p. 70–79, 2012.

XIAOLONG, Z. et al. Disposal of mine tailings via geopolymerization. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124756, 2021.