

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

EDUARDO DOMINGUES DE OLIVEIRA JUNIOR

Uso de pós de rocha e biocarvão para a produção do tomateiro

Montes Claros
2024

Eduardo Domingues de Oliveira Junior

Uso de pós de rocha e biocarvão para a produção do tomateiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes

Coorientador: Gustavo Leal Teixeira

Montes Claros
2024

Oliveira Junior, Eduardo Domingues de.

O48u
2024 Uso de pós de rochas e biocarvão para a produção do tomateiro[manuscrito]/
Eduardo Domingues de Oliveira Junior. Montes Claros, 2024.
50 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes.

Banca examinadora: Luiz Arnaldo Fernandes, Samuel Petraccone Caixeta, Érika Manuela Gonçalves Lopes.

Inclui referências: f. 42-50

1. Solos -- Correção -- Teses. 2. Rochas -- Adubos e Fertilizantes -- Teses.
3. Carvão vegetal (Biocarvão) -- Teses. 4. Tomate -- Teses. 5. Cerasiforme -- Teses.
I. Fernandes, Luiz Arnaldo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8

ELABORADA PELA BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA DO ICA/UFGM
Nádia Cristina Oliveira Pires / CRB-6/2781

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 03 dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e quatro, às 16:00 horas, sob a Presidência do Professor Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação do Professor Samuel Petraccone Caixeta, D. Sc. (UFSJ) e Érika Manuela Gonçalves Lopes, D. Sc. (Aubos Real), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de Defesa de Dissertação de **Eduardo Domingues de Oliveira Junior**, aluno do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Após avaliação da defesa de Dissertação da referida aluna, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa de Dissertação intitulada: **“Uso de pós de rochas e biocarvão para a produção do tomateiro”**, sendo o aluno considerado aprovado. E, para constar, eu, Professor Luiz Arnaldo Fernandes, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 65 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 03 de maio de 2024.

Documento assinado digitalmente
SAMUEL PETRACCONI CAIXETA
Data: 06/05/2024 10:35:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Samuel Petraccone Caixeta
Membro

Documento assinado digitalmente
ERIKA MANUELA GONCALVES LOPES
Data: 03/05/2024 19:18:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Érika Manuela Gonçalves Lopes
Membro

Documento assinado digitalmente
LUIZ ARNALDO FERNANDES
Data: 03/05/2024 19:11:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luiz Arnaldo Fernandes
Orientador

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha mãe, Dona Maria Eny, a mulher mais forte, inteligente e corajosa que eu já conheci. Uma senhora de 68 anos que cursou apenas o Segundo Ano do Primário e que sempre me incentivou a ler, escrever e estudar. Sem ela, nada disso seria possível. Mesmo não tendo acesso aos estudos, devido às várias adversidades da vida, possuí uma sabedoria incomparável e sempre me disse que a única e mais valiosa herança que eu teria seriam os meus estudos e conhecimentos adquiridos dentro e fora da Universidade. Em paralelo, dedico, também, ao Professor Doutor Luiz Arnaldo Fernandes, que, além de orientador, é meu Chefe Imediato no Laboratório de Análise de Fertilidade de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. Ele é um exemplo de chefe, de professor e fonte de inspiração tanto profissional quanto pessoal.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, pela estrutura para realização deste trabalho. À Oliva Azul, por financiar as análises de solo e foliares. Ao CNPQ, à CAPES e à FAPEMIG, pelo financiamento e bolsas. Ao Professor Doutor Luiz Arnaldo Fernandes, pela orientação, pelo apoio e pela compreensão e acolhimento nos momentos difíceis ao longo de todo o Mestrado. Ao Professor Doutor Cândido Alves da Costa, pelo apoio nas análises de qualidade dos frutos. E aos Professores Doutores Samuel Petraccone Caixeta e Érika Manuela Gonçalves Lopes, membros da Banca Examinadora, por terem atendido ao convite para desempenhar este papel, dispondo de seu tempo e conhecimento para analisar este trabalho.

“Nada é suficientemente bom. Então vamos fazer o que é certo, dedicar o melhor de nossos esforços para atingir o inatingível, desenvolver ao máximo os dons que Deus nos concedeu, e nunca parar de aprender. ”

(Ludwig van Beethoven, s.d.)

Uso de pós de rochas e biocarvão para a produção do tomateiro

RESUMO

O tomate é uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas no Brasil, muito exigente em nutrientes, especialmente cálcio (Ca) e susceptível às pragas e doenças. A utilização de fontes ricas em magnésio (Mg) e silício (Si) é uma alternativa para equilibrar a relação Ca/Mg e contribuir para a maior tolerância das plantas às pragas e doenças. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de biocarvão combinado com pós de rochas para a produção e nutrição de tomate cereja. O experimento foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, realizada em vasos em casa de vegetação, os solos foram incubados com corretivo da acidez do solo e com os respectivos tratamentos por 90 dias. Na segunda etapa foram cultivadas plantas de tomate. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 2x5+3 (sem e com biocarvão, quatro pó-de-rochas e três tratamentos adicionais) com quatro repetições. O biocarvão foi produzido pela pirólise lenta de madeira de eucalipto. Os pós de rochas foram ardósia, verdete, dunito e dunito calcinado. Na primeira etapa, no estudo de incubação, de acordo com as análises químicas do solo, houve diferenças entre os tratamentos apenas para os teores potássio (K), magnésio (Mg), ferro (Fe) e níquel (Ni). Os maiores valores de K foram obtidos nos tratamentos com verdete, enquanto os maiores teores de Mg, Fe e Ni, nos tratamentos com dunito e dunito calcinado. No experimento com plantas, os maiores teores de Mg também foram obtidos nos tratamentos com dunito e dunito calcinado. Para a produção e qualidade dos frutos de tomate, não houve diferenças entre os tratamentos.

Palavras-chave: Remineralizadores de solo; rochagem; biochar; *Solanum lycopersicum* var; cerasiforme.

Stone powder and biochar for production of cherry tomatoes

ABSTRACT

Tomato is one of the most cultivated and consumed vegetables in Brazil, very demanding in nutrients, especially calcium (Ca) and susceptible to pests and diseases. The use of sources rich in magnesium (Mg) and silicon (Si) is an alternative to balance the Ca/Mg ratio and contribute to greater tolerance of plants to pests and diseases. In this context, this work aimed to evaluate the results of applying biochar combined with rock dust for the production and nutrition of cherry tomatoes. The experiment was carried out in two stages. In the first stage, developed in pots in a greenhouse, the soils were incubated with soil acidity corrector and the respective treatments for 90 days. In the second stage, tomato plants were cultivated. The experiment was conducted in a 2x5+3 factorial scheme (without and with biochar, four rock powder and three additional treatments) with four replications. The biochar was produced by the slow pyrolysis of *Eucalyptus* spp. The powder rocks were slate, verdigris, dunite, and calcined dunite. In the first stage, in the incubation study, according to the chemical analyzes of the soil, there were differences between the treatments only for the potassium (K), magnesium (Mg), iron (Fe) and nickel (Ni) contents. The highest K values were obtained in the siltstone treatments, while the highest Mg, Fe and Ni contents were obtained in the dunite and calcined dunite treatments. In the plant experiment, the highest Mg contents were also obtained in the dunite and calcined dunite treatments. For the production and quality of tomato fruits, there were no differences between treatments.

Keywords: Soil remineralizers; rocking; biochar; *Solanum lycopersicum* var; cerasiform.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Tomate	12
2.2 Remineralizadores de solo	13
2.3 Dunito	16
2.4 Verdete	17
2.5 Ardósia	19
2.6 Biocarvão	20
3. METODOLOGIA	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Atributos do solo após a incubação	25
4.2 Nutrientes e silício nas folhas	35
4.3 Produtividade e qualidade dos frutos de tomate	38
5. CONCLUSÃO	41
6. REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

A cultura do tomate demanda grandes quantidades de fertilizantes, não somente pela exigência nutricional das plantas, mas também pela baixa fertilidade dos solos altamente intemperizados das regiões tropicais. Para atender as tais demandas, o Brasil importa a maior parte dos fertilizantes ou de suas matérias primas (Almeida *et al.*, 2022).

Em função da necessidade crescente por fertilizantes, do esgotamento de fontes naturais de nutrientes e com carecimento da disposição correta de resíduo no ambiente, tem-se buscado fontes alternativas de nutrientes para as plantas. Nesse sentido, a conversão de resíduos orgânicos em biocarvão pode ser uma alternativa promissora, não somente como fonte de nutrientes, mas também como condicionadores das propriedades do solo e mitigação das emissões de gás carbônico para a atmosfera, uma vez que, nos biocarvões, o carbono encontra-se em formas mais estáveis (Domingues *et al.*, 2017; Ye *et al.*, 2019; Ipolito *et al.*, 2020).

Os biocarvões são produzidos pela pirólise de qualquer fonte de biomassa sob baixa ou nenhuma concentração de oxigênio (Kern *et al.*, 2017). Apesar dos efeitos positivos dos biocarvões para as propriedades do solo e para o estoque de carbono, as quantidades a serem aplicadas podem não ser viáveis, devido às grandes quantidades a serem aplicadas como fonte de nutrientes (Marousek *et al.*, 2017; Brtnicky *et al.*, 2021).

Assim como os biocarvões, os pó-de-rochas são alternativas potenciais de fonte de nutrientes para as plantas em complementação ou substituição aos fertilizantes solúveis (Zhang *et al.*, 2018; Manning; Theodoro, 2020; Almeida *et al.*, 2022). A prática da aplicação de pó-de-rocha é conhecida como rochagem ou remineralização do solo. A disponibilização de nutrientes dos pó-de-rocha depende de vários fatores da própria rocha, como origem, teor de sílica, granulometria, do solo e das plantas (Martins *et al.*, 2010; Alves *et al.*, 2021). Em relação ao solo, os microrganismos desempenham papel fundamental na solubilização dos nutrientes (Sattar *et al.*, 2019), de modo que práticas de manejo que favorecem a atividade biológica do solo são importantes.

A combinação de biocarvões com pó-de-rocha pode potencializar a melhoria das propriedades do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas, assim como viabilizar o uso desses insumos na agricultura em grandes áreas. Diante do

exposto, a hipótese do trabalho é que a combinação de biocarvão e pó-de-rochas pode melhorar as propriedades do solo e contribuir para produção do tomate cereja. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de biocarvão combinado com pó-de-rochas para a produção e nutrição do tomate cereja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tomate

Há uma enorme diversidade de tomates, com variações de formas, tamanhos e cores, sendo utilizadas cultivares híbridas bem difundidas ao redor do mundo (CONAB, 2019). Embora classificado como fruto, o tomate é amplamente estudado no grupo das hortaliças, uma vez que é parte integrante de saladas consumidas, principalmente na dieta brasileira (CONAB, 2019).

A agricultura de tomate cereja no Brasil é significativa, ocupando a 9ª posição mundial (2,5%) (Dossa; Fuchs, 2017; CONAB, 2019), devido à crescente demanda por esse tipo específico de tomate, sendo utilizado tanto em saladas, quanto na ornamentação de pratos e *couvert*, alcançando preços compensadores de mercado. Apresenta frutos pequenos em formato piriforme e coloração variável entre o vermelho, amarelo e mais recentemente preto (popularmente conhecido como *Indigo Rose* ou *Black*), com elevados teores de sólidos solúveis (CONAB, 2019; Wang *et al.*, 2020).

Com relação ao plantio, este pode ser feito em várias regiões do território brasileiro, bem como ao longo de todo o ano, variando o volume de acordo com a região e sazonalidade entre safras. Entretanto, problemas climáticos, sua grande demanda por fontes de cálcio, qualidade dos frutos, pragas e volume ofertado podem interferir no preço pago ao produtor, aumentando ou reduzindo seu valor (CONAB, 2019). Outra variável que pode afetar os valores de mercado são os insumos para manutenção da fertilidade de solo e mão de obra, que podem variar de R\$ 90 mil até R\$ 130 mil por hectare/ano (CONAB, 2019; EMATER, 2022).

O cálcio é essencial para a formação da parede celular das plantas, ajudando na sua estrutura e integridade, porém, possui pouca mobilidade celular. A deficiência de cálcio pode levar a distúrbios fisiológicos, como a podridão apical do fruto, onde a extremidade do tomate pode ficar necrosada e apodrecida devido à falta desse mineral (EMPRAPA, 2006). O magnésio é um componente central da clorofila, a molécula responsável pela fotossíntese. Sua deficiência pode causar clorose foliar, onde as folhas se tornam amareladas devido à falta de clorofila (EMBRAPA, 2020).

Além disso, alguns nutrientes, como o potássio, podem competir com o cálcio e o magnésio pelo sítio de ligação nas membranas celulares. Isso pode afetar a

absorção desses minerais pelas plantas. Portanto, é importante equilibrar adequadamente os nutrientes no solo para evitar interferências na absorção de cálcio e magnésio (Benites *et al.* 2010).

2.2 Remineralizadores de solo

Os remineralizadores de solo têm ganhado notoriedade nos últimos anos em função da escassez das fontes convencionais de nutrientes de plantas, problemas ambientais relacionados a produção de fertilizantes e da adoção de modelos de produção agrícola mais sustentáveis, entre outros fatores.

De acordo a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº 1.890, de 10 de dezembro de 2023 (que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura e dá outras providências), remineralizador é definido como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo”. A Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura.

Embora a legislação brasileira que regulamenta a fiscalização, produção, comercialização e normatização dos remineralizadores seja relativamente recente, o uso de remineralizadores ou pó de rochas na agricultura é muito antigo. Relatos históricos sugerem o uso de pó de rochas como fontes de nutrientes desde os primórdios da agricultura. No ano de 1988, o alemão Julius Hensel publicou um livro, intitulado “Paes de pedra”, sobre a utilização de pós de rochas na agricultura (Hensel, 2003). No Brasil, as pesquisas com pó de rochas para uso na agricultura iniciaram na década de 1950 (Barros, 2021).

A prática de aplicação ao solo de remineralizados ao solo é conhecida por rochagem, sendo que há vários tipos de rochas que podem ser utilizadas, sendo o exemplo mais comum a utilização de rochas calcárias para corrigir a acidez do solo e

e elevar os teores de cálcio e magnésio, sendo denominada, nesse caso específico, por calagem. A utilização de rochas silicáticas permite a remineralização dos solos por meio da formação de novas fases minerais estáveis e de elevada superfície específica e capacidade de troca de cátions, além da disponibilização de nutrientes e alguns elementos úteis, como o silício (Martins *et al.* 2023). Os autores também utilizam o termo agrominerais para matérias-primas de origem mineral utilizadas na produção de insumos destinados ao manejo da fertilidade do solo, classificando-os em função do ânion, sempre associados a algum tipo de base, como, por exemplo, cloreto, sulfato, carbonato, fosfato, borato e silicato. Ainda de acordo com os autores, os agrominerais silicáticos são os mais abundantes e disponíveis regionalmente.

Além dos benefícios dos remineralizadores citados anteriormente, em função da preocupação com o aquecimento global decorrente da emissão de gases de efeito estufa, tem-se utilizado pó de rochas para a captura de gás carbônico atmosférico. Por meio de reações de carbonatação mineral, o cálcio e/ou o magnésio proveniente do intemperismo acelerado do pó de basalto, dunito, por exemplo, pode formar carbonatos de cálcio e, ou de magnésio e, assim, contribuir para a redução e/ou compensação das emissões de gases de efeito estufa (Berner; Lasaga, 1989; Haque *et al.*, 2019; Lefebvre *et al.*, 2019).

Do ponto de vista econômico, o uso de remineralizadores, obtidos de fontes locais e/ou regionais, pode diminuir a dependência de insumos importados em relação às demandas recentes por alimentos, fibras e energia em paralelo com os esgotamentos dos recursos naturais, disposição adequada de resíduos no ambiente e mudanças climáticas. Assim, vários modelos de transição para uma agricultura mais sustentável têm sido propostos (Viola; Mendes, 2022), entre eles o da agricultura regenerativa.

A agricultura regenerativa tem por objetivo proporcionar um ambiente sustentável para a produção de alimentos, sem o esgotamento dos recursos naturais solo e água, com foco no bem-estar ambiental, social e econômico, como um processo contínuo de inovação que melhora a saúde do solo e restaura um ambiente altamente degradado, contribuindo para a sua produtividade (Rhodes, 2017). Nesse sentido, os pós de rochas são uma alternativa potencial para favorecer os processos ecológicos naturais (Martins *et al.*, 2023).

Os pós de rochas para uso na agricultura podem ser obtidos pela moagem das rochas de interesse, exclusivamente para fins agrícolas, como ocorre com os calcários

e fosfatos, ou aproveitar os resíduos do corte para fins ornamentais, popularmente conhecidos como resíduos de marmoraria. Ainda visando a economicidade, é importante que as fontes se encontrem próximas aos locais de aplicação, diminuindo, assim, os custos com transporte. Nesse sentido, a Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, estabelece o limite máximo de sílica livre ou quartzo (SiO_2) considerado material inerte, que não tem efeito como condicionador do solo e aumenta o custo de nutrientes transportado por tonelada de remineralizador.

A classe mineral dos silicatos é de grande importância, pois cerca de 27% dos minerais conhecidos e próximo de 40% dos minerais comuns são silicatos. Além disso, eles constituem mais de 90% da crosta terrestre (Klein, 2002).

Os silicatos, além de disponibilizar nutrientes minerais e melhorar as características físico-químicas como nove condicionadores de solo, também disponibilizam silício, muito importante no desenvolvimento de diversas culturas de gramíneas e da cultura de cana-de-açúcar (Luz *et al.*, 2010a).

Os minerais primários podem passar por processos de diversos tipos. A moagem é o processo fundamental necessário para uso na agricultura. A pulverização da rocha permite o aumento da superfície de contato entre os minerais da rocha com o solo e a água para promover o intemperismo, a liberação de nutrientes e formação de novas fases minerais (Luz *et al.*, 2010a).

Esses silicatos são minerais formados por grupos tetraédricos de SiO_2 ligados por cátions e suas estruturas são muito estáveis, sendo rompidas, com dificuldade, somente através de meios artificiais (Martins *et al.*, 2008). O meio mais eficaz de aumentar a reatividade de rochas potássicas de baixa solubilidade é a introdução de uma fonte externa de energia, capaz de destruir ou alterar a estrutura cristalina do mineral (Leite, 1985). Os fornecimentos de energia podem ser de natureza química, física e biológica, e, em muitos casos, os métodos estão relacionados uns com os outros, de forma direta ou indireta (Moretti, 2012).

Para a comercialização com remineralizador de solo, as especificações dos produtos devem atender ao estabelecido na Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do MAPA. Recomenda-se observar a composição dos minerais constituintes das rochas, como os teores de nutrientes e de sílica (SiO_2) e, posteriormente, após a moagem, a granulometria do produto final. Em relação à composição, as rochas básicas (45 a 52% de sílica) e ultrabásicas (menos de 45% de sílica) são as mais recomendadas, uma vez que quanto menor o teor de sílica, mais fácil é o

intemperismo químico (Sah, 2005; Robin, 2014). Quanto à granulometria, para o remineralizadores comercializados na forma de pó, 100% das partículas devem ter tamanho menos que 2,0mm (Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do MAPA).

2.3 Dunito

O dunito é uma rocha ígnea plutônica, ultrabásica, rica em silicato de magnésio, com mais de 90% olivina ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$) (Moretti *et al.*, 2021). De acordo com a Série de Bowen, que representa de forma gráfica a ordem em que os minerais são cristalizados em função do resfriamento do magma, a olivina é um dos primeiros minerais a serem formados, em temperaturas em torno de 1.200°C.

De acordo com a Série de Goldich (Goldich, 1938), a estabilidade ou vulnerabilidade dos minerais constituintes de rocha ao intemperismo está relacionada à sua sequência de formação proposta na Série de Cristalização Bowen. Dessa forma, a susceptibilidade ao intemperismo químico de um mineral é equivalente à sua ordem de formação (Kämpf; Curi; Marques, 2009; Teixeira *et al.*, 2020). Assim, a olivina, principal mineral constituinte do dunito, é relativamente de fácil intemperização.

Os minerais que sofrem cristalização a temperaturas mais elevadas apresentam teores de sílica (SiO_2) menores que aqueles que cristalizam a temperaturas mais baixas durante o processo de resfriamento do magma. Em função dos teores de sílica, as rochas ígneas são classificadas quanto à acidez em: ácidas (mais de 66% de sílica), intermediárias (52 a 66% de sílica), básicas (45 a 52% de sílica) e ultrabásicas (menos de 45% de sílica) (Sah, 2005; Robin, 2014). O dunito, com aproximadamente 42 a 43% de sílica, é considerado uma rocha ultramáfica, com grande potencial para uso como remineralizador de solo, uma vez que apresenta teores de sílica inferiores a 51%.

De acordo com a Série de Cristalização Bowen, o quartzo (SiO_2) é o último mineral a ser formado, em temperaturas próximas a 600°C. De acordo com a Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, o teor de quartzo ou sílica livres nos remineralizadores é considerado material inerte, sendo o limite máximo permitido de 25%. Apesar de apresentar disponibilização relativamente rápida em relação a outros minerais de rochas, o pó de dunito, como remineralizador do solo é considerado uma fonte de liberação controlada de magnésio e silício (Crusciol *et al.*, 2019). A depender

da disponibilidade de nutrientes do solo e da demanda da planta, a liberação controlada aumenta a eficiência do pó de dunito como fonte de magnésio. Em termos de dissolução e hidrólise da olivina, principal mineral constituinte do dunito, a maior absorção dos produtos do equilíbrio, magnésio e silício, pelas plantas (dreno), favorece a disponibilização desses elementos (Crusciol *et al.*, 2019; Moretti *et al.* 2019).

Além do dreno da planta, outros fatores podem influenciar a disponibilização de nutrientes pelos remineralizadores, entre eles o pH do solo e a textura (Harley; Gilkes, 2000). Moretti *et al.* (2021), estudando a cinética de solubilização do dunito em solos argilosos, de textura média e arenosos, verificaram aumentos significativos dos valores de magnésio, silício e de pH, independentemente da textura do solo durante um período de seis meses.

O pó de dunito, como remineralizador, além de alterar os atributos do solo, proporcionou maiores produtividades e maiores teores foliares de magnésio, silício, açúcares redutores e sacarose em plantas de soja (Moretti *et al.*, 2019) e em plantas de milho (Crusciol *et al.*, 2019). De acordo com esses autores, o dunito pode ser uma estratégia para mitigar os impactos ambientais relacionados com as atividades agrícolas, pois, assim como outros pós de rochas, é um importante mecanismo de remineralização do solo para a agricultura tropical sustentável.

2.4 Verdete

Verdete é o nome atribuído às rochas areno-pelíticas e pelíticas de cor verde encontradas na formação geológica Serra da Saudade, Minas Gerais, cujas cristas interplanálticas acompanham os interflúvios das bacias hidrográficas do alto rio São Francisco e do rio Indaiá, sendo os principais municípios Abaeté, Paineiras, Biquinhas, Cedro do Abaeté, Quartel, São João, São Gotardo e Matutinha (Lima *et al.*, 2007; Silva, 2017). A cor verde dos verdetes é devido a presença do mineral glauconita ($\text{KMg}(\text{Fe,Al})(\text{SiO}_3)_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), um filossilicato hidratado de potássio, formado em ambientes marinhos e encontrado em arenitos, folhelhos e calcários (Smith; Hiscott, 1987).

A Formação Serra da Saudade, homônima da Serra da Saudade, é uma unidade estratigráfica que se destaca pela presença de verdetes e de depósitos areno-fosfáticos de interesse para a agricultura (Lima *et al.*, 2007). Assim, o verdete é

uma rocha composta principalmente por feldspatos e minerais micáceos da formação geológica Serra da Saudade. Em relação a outros silicatos, o verdete apresenta teor relativamente elevado de K_2O . Os verdetes com teores de K_2O acima de 9% e com menor granulometria, como os que ocorrem na região de São Gotardo – MG, recebem o nome de siltitos glauconíticos. Já o verdete propriamente dito tem menores teores de K_2O , é ritmito areno-pelítico, com menores teores de K_2O e teores mais altos em SiO_2 na forma de quartzo, em função da menor proporção de glauconita (Lima *et al.*, 2007).

Os nutrientes dos silicatos fazem parte da rede cristalina do mineral e, portanto, o processo de dissolução é lento. Nesse caso, os verdetes, quando utilizados como remineralizadores, podem ser considerados fertilizantes de liberação lenta (Silva, 2012). Arrieta (2017), trabalhando com doses crescente de verdete da região de Cedro de Abaeté-MG como fonte de potássio e silício para arroz, verificou menor disponibilidade no solo e menor acúmulo pelas plantas desses elementos quando comparados às fontes de referência, cloreto de potássio e Wollastonita, devido, respectivamente, segundo o autor, à baixa solubilidade, tanto do potássio quanto do silício presentes no verdete.

Além da moagem, os tratamentos térmico ou químico aumentam a dissolução do potássio dos verdetes, embora seja aumentem os custos do produto final. Eichler; Lopes (1983) verificaram que a calcinação, tratamento térmico a 800°C, da mistura de verdete calcário magnesiano aumentou a disponibilidade de potássio para a cultura de milho. Da mesma forma, Silva (2017) verificou que o tratamento térmico do silito glauconítico da Região de São Gotardo, na presença de calcário aumentou em até 95% a conversão do potássio para uma forma solúvel em solução de ácido cítrico. Em função da baixa disponibilização de potássio pelos verdetes, alguns autores sugerem a calcinação, tratamento térmico, para a maior eficiência agrônômica dessas rochas (Leite, 1985; Silva *et al.*, 2012; Arrieta, 2017; Silva, 2017).

Em relação aos tratamentos químicos, Santos (1984) avaliou diferentes tipos e concentrações de ácidos para a acidificação do verdete de Abaeté. O autor verificou que o ácido sulfúrico a 30% e o ácido fosfórico a 40% de concentração proporcionaram maior extração de potássio pelas plantas de milho já no primeiro cultivo.

2.5 Ardósia

As ardósias são rochas metamórfica de granulação extremamente fina, formadas de material sedimentar, argilas ou cinzas vulcânicas, expostos a altas temperatura e pressão (Wichert, 2020; Chiodi Filho *et al.*, 2003). As ardósias são fracamente metamorfizadas e desenvolvem planos preferenciais de partição que favorece a sua exploração e seu corte em placas de espessuras variadas, sendo mundialmente utilizada na construção cível como revestimentos. De acordo com Chiodi Filho *et al.* (2003), a produção brasileira anual corresponde a, aproximadamente, 500.000 toneladas, sendo 90% produzidas no Estado de Minas Gerais

Em Minas Gerais, as ardósias são exploradas na Província Geológica Ardósia de Minas Gerais, do Grupo Bambuí, cuja sequência estratigráfica, do topo para a base, é representada pela Formação Três Marias, Subgrupo Paraopeba, constituído pelas Formações Lagoa do Jacaré e Santa Helena, e Formação Sete Lagoas, assentada sobre o Complexo Basal (Grossi-Sad *et al.*, 1998; Chiodi Filho *et al.*, 2003). A Província Geológica Ardósia de Minas Gerais ocupa uma área de cerca de 7.000 km² e abrange os municípios de Papagaios, Curvelo, Pompéu, Paraopeba, Caetanópolis, Felixlândia, Leandro Ferreira, Martinho Campos e Pitangui, sendo que a Formação Geológica Serra de Santa Helena é a principal responsável pelo fornecimento de ardósias (Grossi-Sad *et al.*, 1998; Chiodi Filho *et al.*, 2003).

A composição mineralógica modal das ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais, de coloração cinza, apresenta em média 26 a 30% de quartzo, 32 a 34% de mica branca, 18 a 20% de clorita, 12 a 15% de feldspato, 2 a 3% de carbonato, 2 a 3% de óxido de ferro e 0,2 a 0,6% de material carbonoso (Grossi-Sad *et al.*, 1998).

A extração de rochas ornamentais e de revestimentos, como as ardósias, teve grande crescimento a partir da década de 1980 no Estado de Minas Gerais (FEAM, 2014; Fuscaldi, 2018), o que aumentou significativamente a produção de resíduos oriundos dessa atividade. De acordo com Oliveira (2017), o aproveitamento da rocha extraída na lavra de ardósia é cerca de 10%, ou seja, 90% da extração é considerada rejeitos, que quando descartados inadequadamente podem causar danos ao meio ambiente.

Com objetivos de aproveitamento econômico e evitar danos ambientais, alguns estudos têm proposto a utilização na construção civil (Fuscaldi, 2018) e na agricultura (Barros; Ribeiro, 2021).

2.6 Biocarvão

Biocarvão ou biochar, idealizado a partir do conhecimento da denominada Terra Preta de Índio da Região Amazônica, refere-se a um material sólido, rico em carbono, obtido da transformação termoquímica da biomassa sob baixa atmosfera de oxigênio, denominado pirólise (Lal *et al.*, 2016). Difere do carvão vegetal devido ao uso, uma vez que o biochar não é utilizado como combustível (Kookana *et al.*, 2011; Mukherjee; Lal, 2016).

O uso do biochar se justifica primeiramente pela possibilidade de reciclagem de grandes quantidades de resíduos orgânicos (Abdelhafez; Li; Abbas, 2014), diminuindo os riscos de poluição associados ao descarte desses resíduos no ambiente (Ahmad *et al.*, 2014). Em segundo lugar, diferentemente da incorporação ao solo de resíduos orgânicos in natura, o biochar eleva o armazenamento de carbono no solo, já que esse material apresenta alta concentração de carbono estável, de degradação lenta (Novotny, 2012; Novotny *et al.*, 2015), reduzindo, assim, as emissões de gases de efeito estufa (Gwenzi *et al.*, 2016). Como condicionador do solo, o biochar eleva o pH, aumenta a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátions e a retenção de água pelo solo (Novak *et al.*, 2014), diminui a densidade, altera a microbiota do solo, com efeitos positivos para as associações plantas - microrganismos (Hammer *et al.*, 2014), influencia no metabolismo de plantas e microrganismos do solo, alterando a produção de compostos relacionados ao crescimento das plantas (Viger *et al.*, 2015) e eficiência de aquisição de nutrientes (Di Lonardo *et al.*, 2013).

No entanto, a viabilidade do uso do biochar na agricultura ainda é controverso, devido às quantidades a serem aplicadas (Marousek *et al.*, 2017; Brtnicky *et al.*, 2021) - haja vista os altos custos, principalmente energéticos, quando produzidos em carbonizadores que necessitam de energia externa, à disponibilidade de matéria prima e a grandes quantidades a serem aplicadas como fontes de nutrientes. Além disso, um outro problema citado é a inalação de partículas de pequeno tamanho e de baixa densidade pelos aplicadores (Li; Bair; Parikh, 2018).

Uma alternativa para amenizar as quantidades de biocarvão a serem aplicadas é a sua utilização combinada com outras fontes de nutrientes, como os remineralizadores de solo. Além dos benefícios anteriormente citados, os biocarvões podem contribuir para a aceleração da liberação dos nutrientes dos remineralizadores, haja vista que melhora a atividade microbiológica do solo (Lopes *et al.*, 2021). Os microrganismos desempenham papel fundamental na solubilização dos nutrientes (Sattar *et al.*, 2019), de modo que práticas que favorecem a atividade biológica do solo favorecem também a liberação dos nutrientes presentes nos minerais de rochas.

3. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em Montes Claros. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2x4+3 (com e sem biocarvão, quatro pós de rochas e três tratamentos adicionais) com quatro repetições. Os pós de rochas utilizados foram ardósia, verdete, dunito (Optein Dunito) e silicato de magnésio (Optein Silicato de Magnésio).

As doses das fontes minerais de nutrientes corresponderam a 2 Mg ha⁻¹ e, do biocarvão, a 4 Mg ha⁻¹. A composição das rochas utilizadas está na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das fontes minerais de nutrientes.

Composição	Teor (%)
Optein Dunito	
Mg Total	24
Si teor Total	16
Optein Silicato de Magnésio	
Mg Total	21
Si teor Total	24
Verdete	
K ₂ O total	8
K ₂ O solúvel em ácido tartárico+0,5NaF	4
Si total	25
Ardósia	
P ₂ O ₅ total	0,13
K ₂ O Total	3,80
Ca Total	0,29
Mg Total	1,59
Fe total	5,43
Mn Total	0,10
Si Total	30,34

O biocarvão foi produzido por meio de pirólise (carbonização) de restos de madeira de floresta plantada de eucalipto, onde as temperaturas variam entre 400 e 450 °C, por um longo período de tempo de residência, geralmente de 48 a 72 horas. As características físico-químicas do biocarvão estão apresentadas conforme dados da Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química e física do biocarvão de resíduos de madeira de eucalipto.

Rend.	Ds	Cinzas	H	O	C	N	H/C	O/C	C/N
%	g cm ⁻³		----- % -----			-	-	-	-
31,4	0,45	10	2,46	22,6	56,7	0,50	0,04	0,040	113,4
P	Ca	Mg	K	S	CTC	PN	NI	pH	CE
----- g kg ⁻¹ -----					cmol _c kg ⁻¹	mL HCl/ud.	mg I ₂ g ⁻¹	-	dS m ⁻¹
					1	pH	1		1
8,00	13,8	12,4	1,0	2,60	9,5	0,64	204	6,10	0,36
Cu	Zn	Fe	Mn	Si	Ni	Pb	Cd	C fixado	
----- mg kg ⁻¹ -----								%	
51,5	270,0	1,43	56,9	798,6	5,20	3,03	4,50	69,5	

Rend = rendimento; Ds = densidade; PN = poder de neutralização; NI = número de iodo.

As parcelas experimentais foram vasos preenchidos com três litros da camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho – Amarelo, classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), sob vegetação de Cerrado. As propriedades físicas e químicas do solo, determinadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017), foram: textura da camada superficial classificada como arenosa (areia = 780 g kg⁻¹; silte = 100 g kg⁻¹; argila = 120 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 5,0; P disponível (resina método) = 1,8 mg dm⁻³; K = 17 mg dm⁻³; Ca = 0,25 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,12 cmol_c dm⁻³; Al = 0,42 cmol_c dm⁻³; saturação de base = 12,7%; capacidade de troca catiônica pH 7,0 = 3,25 cmol_c dm⁻³ e C orgânico do solo = 10,6 g kg⁻¹. O P remanescente, 28 mg L⁻¹, foi determinado de acordo com Alvarez *et al.* (2000).

Em cada vaso (parcela experimental), foi aplicado corretivo da acidez do solo para elevar a saturação por bases para 70% e as respectivas doses das fontes minerais de nutrientes e de biocarvão. O corretivo utilizado possuía 40% de CaO, 14% de MgO e 86% de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). O solo de cada vaso ficou incubado com o corretivo da acidez, com o biocarvão e com as fontes minerais de nutrientes e silício, de acordo com os respectivos tratamentos, por um período de três meses, de 12 de setembro de 2022 a 12 de dezembro de 2022, mantendo-se a umidade próxima capacidade de campo, utilizando água destilada para reposição da umidade, quando necessário.

Após o período de três meses, nos dias 13 e 14 de dezembro de 2022, foram coletadas amostras de solo de cada vaso para análise química. Na sequência, foi realizada uma adubação básica em todos os tratamentos, exceto na testemunha, com: 100 mg dm⁻³ de N, 300 mg dm⁻³ de P; 150 mg dm⁻³ de K; 40 mg dm⁻³ de S; 5 mg

dm⁻³ de Zn, 0,8 de B, 1,5 de Cu. As fontes utilizadas foram reagentes PA.: Fosfato de Amônio (NH₄H₂PO₄); Cloreto de Potássio (KCl); Sulfato de Potássio (K₂SO₄); Ácido Bórico (H₃BO₃); Cloreto de Cobre (CuCl) e Cloreto de Zinco (ZnCl₂). As sementes de tomate cereja, foram plantadas em sementeira no dia 21 de setembro de 2022 e no dia 9 de dezembro de 2022, duas mudas foram transplantadas em cada vaso. Além disso, foi realizada no dia 9 de janeiro de 2023 uma aplicação de solução nitrogenada em cobertura para suprir a necessidade desse nutriente durante o desenvolvimento das plantas.

No período de florescimento, cujo início se deu no dia 31 de dezembro de 2022, a quarta folha (limbo e pecíolo) de cada planta foi coletada, seca em estufa e analisada quanto aos teores de macro e micronutrientes e silício. Para os frutos comerciais, cuja produção iniciou-se no dia 11 de janeiro de 2023 e a colheita se deu entre os dias 12 de fevereiro a 15 de março de 2023, avaliou-se a produção de massa fresca, a classificação por tamanho (Fernandes; Corá; Braz, 2007) e o grau Brix (açúcares e sólidos totais). Para a análise do grau Brix foi utilizado Refratômetro portátil com compensação automática, da Quimis modelo Q767A1.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo (teste de F, $p < 0,5$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos do solo após a incubação

De acordo com os resultados obtidos, após 90 dias de incubação do solo com os tratamentos, verificou-se que o valor de pH do solo do tratamento controle testemunha foi menor que os obtidos nos demais tratamentos, uma vez que na testemunha não foi aplicado corretivo da acidez do solo (Tabela 3). Os valores de pH do solo dos tratamentos com pó-de-rochas (ardósia, verdete, dunito e dunito calcinado) não diferiram dos tratamentos controles, convencional e biocarvão (Tabela 3). Apesar de o biocarvão (Torres *et al.*, 2020) e o dunito (Crusciol *et al.*, 2019) terem potencial para alterar o pH do solo, a aplicação do corretivo da acidez para elevar a saturação por bases para 70% não permitiu que os efeitos, tanto do biocarvão quanto do dunito, fossem significativos.

Tabela 3 – Acidez ativa (pH) e teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo após 90 dias de incubação com corretivo da acidez, biocarvão e pó-de-rochas.

Tratamentos		pH	P	K	Ca	Mg
			----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----	
Testemunha		5,3	0,5	11,8	0,5	0,25
Convencional		6,8*	0,4	11,8	1,27*	0,42*
Biocarvão		6,7*	1,0	15,3**	1,33*	0,45*
Sem biocarvão	Ardósia	6,6a*	0,7a	11,8b [#]	1,12b*	0,43b*
	Verdete	6,8a*	0,5a	14,9a**	1,38a*	0,42b*
	Dunito	6,5a*	0,6a	11,6b [#]	1,36a*	0,42b*
	Dunito Calcinado	6,7a*	0,5a	11,8b [#]	1,41a*	0,65a** ^{##}
	Média	6,6A	0,6A	12,5B	1,32A	0,48A
Com biocarvão	Ardósia	6,5a*	0,4a	15,9a**	1,43a*	0,51c*
	Verdete	6,7a*	0,8a	18,2a**	1,40a*	0,47c*
	Dunito	6,4a*	0,5a	15,6a**	1,41a*	0,63b** ^{##}
	Dunito Calcinado	6,6a*	0,5a	14,5a**	1,37a*	0,78a** ^{##}

Média	6,5A	0,6A	16,1A	1,40A	0,60A
Médias seguidas por *, + e # diferem dos tratamentos controles Testemunha, Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$).					

O dunito é uma rocha ígnea plutônica, ultrabásica, rica em silicato de magnésio, com mais de 90% olivina ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$) (Moretti et al., 2021). A calcinação de rochas silicatadas, como o dunito, pode aumentar significativamente o potencial de correção da acidez do solo e a disponibilização de nutrientes e silício. De acordo com Alcarde; Rodella (2003), os silicatos (SiO_3^{2-}) reagem com água e libera íons hidroxila (OH^-) que neutralizam a acidez do solo.

A rigor, o termo calcinação refere-se à reação química de decomposição térmica para transformar o calcário (CaCO_3) em cal (CaO), com liberação de gás carbônico (CO_2), bem como outras reações análogas, nos quais está (esta) remoção de gás está envolvida (Silva, 2017). No entanto, o termo calcinação é utilizado para o processo térmico que quaisquer minérios são submetidos com o objetivo de remover a fase volátil, decompor ligações químicas, produzir óxidos ou alterar a estrutura cristalina (Lúcio, 1977). A calcinação é um tratamento térmico que acelera a dissolução do magnésio e do silício do dunito. Durante a calcinação a estrutura dos minerais de rochas ficam desordenadas, formando compostos mais reativos que a da rocha original (não calcinada), apresentando assim uma dissolução mais rápida em meio ácido. Raschaman *et al.* (2013), trabalhando com serpentinito (rocha metamórfica, $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), verificaram que a calcinação em temperatura entre 600 a 800°C aumentou a taxa de dissolução inicial de magnésio em soluções de ácido clorídrico, ácido acético e cloreto de amônio em 30, 125 e 165 vezes, respectivamente.

O pó-de-rocha de dunito, mesmo não calcinado tem potencial para elevar o pH do solo. Crusciol *et al.* (2019), verificaram que aumento linear do pH de um solo arenoso com o aumento das doses de pó-de-dunito, enquanto que, no solo argiloso, os valores de pH do solo tiveram um comportamento quadrático em função das doses de pó-de-dunito. De acordo com Alcarde (2005), o poder relativo de neutralização do MgO e SiO_2 é de 2,5 e 1,0 vezes a do CaCO_3 , respectivamente. O pó de dunito utilizado nesse estudo apresentou 40% de MgO (24% de Mg) e 34,22% de SiO_2 (16% de Si) (Tabela 2).

Para o fósforo disponível, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3), uma vez que os teores naturais de fósforo do solo são muito baixos (Alvarez V *et al.*, 1999). Apesar dos biocarvões serem fontes de fósforo e contribuírem para a redução das reações de fixação desse elemento em solos ácidos (Torres *et al.*, 2020), as quantidades de fósforo adicionada ao solo foram muito pequenas. Considerando os teores de fósforo do biocarvão (8 g kg^{-1}) e as quantidade aplicada (2 g dm^{-3} de biocarvão), foram adicionado 16 mg dm^{-3} de fósforo nos tratamentos com biocarvão. Deve se considerar ainda que no biocarvão o fósforo pode estar ligado a compostos de carbono e, portanto, não prontamente disponível.

Os pós de rocha utilizados não são fontes de fósforo (Tabela 2). No entanto, o silício pode contribuir para o aumento da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas, principalmente quando calcinados. Com o processo de calcinação, ocorre a formação de silicatos que podem corrigir a acidez do solo. De acordo com Alcarde; Rodella (2003), os silicatos (SiO_3^{2-}) regem com água e liberam íons hidroxila (OH^-), que neutralizam a acidez do solo, evitando a fixação do fósforo, assim como o silicato pode dessorver o fosforo fixado (Carvalho *et al.*, 2001).

Processos semelhantes ocorrem com os termofosfatos, que, além de serem fontes de fósforo, têm efeito corretivo da acidez do solo. Os termofosfatos magnesianos são obtidos pelo tratamento térmico da rocha fosfática (calcinação a 900 a 1200°C ou fusão a 1400 a 1500°C), com a adição de compostos magnesianos e silícicos (silicato de magnésio, como olivinas). A calcinação aumenta solubilidade do fósforo em ácido cítrico e a hidrolise dos silicatos (SiO_3^{2-}) presentes nos temofosfatos magnesianos contribuem para elevar o pH do solo (Souza; Yasuda, 1995).

O teor de potássio no tratamento controle com biocarvão foi maior que os obtidos nos tratamentos testemunha e convencional. Considerando os teores de potássio do biocarvão (1 g kg^{-1} de potássio) e a quantidade aplicada (2 g dm^{-3} de biocarvão), foram adicionados 2 mg dm^{-3} de potássio. Nos biocarvões, de modo geral, o potássio está na forma de bases (KOH e/ou KHCO_3) que, além de disponibilizar potássio, podem contribuir para a correção da acidez do solo (Domingues *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2017),

Nos tratamentos com pó de rocha sem aplicação de biocarvão, o teor de potássio no tratamento com verdete foi maior que os obtidos nos tratamentos testemunha e convencional. Nos tratamentos com pós de rocha e com biocarvão, os teores de potássio foram superiores aos obtidos nos tratamentos controles

testemunha e convencional e, não houve diferença significativa entre os pó-de-rochas (Tabela 3). O teor médio de potássio dos tratamentos com pó-de-rochas e biocarvão foi maior que o teor médio dos tratamentos com pós de rocha e sem biocarvão (Tabela 3). No entanto, os teores de potássio são classificados como muito baixos ou baixos, de acordo com as classes de interpretação dos teores de potássio para fins de avaliação da fertilidade do solo (Alvarez V *et al.*, 1999).

O verdete é uma rocha composta principalmente por feldspatos e minerais micáceos da formação geológica Serra da Saudade, que ocorre no Estado de Minas Gerais, nos municípios de São Gotardo, Matutina e Cedro do Abaeté. Em relação a outros silicatos, o verdete apresenta teor relativamente elevado de K_2O . Os verdetes com teores de K_2O acima de 9% e com menor granulometria, como os que ocorrem na região de São Gotardo – MG, recebem o nome de siltitos glauconíticos (maiores teores de glauconita, que confere a cor verde). Por outro lado, os verdetes com teores menores que 9% de K_2O , como o utilizado no presente estudo, encontrados na região de Cedro do Abaeté-MG, são ritmitos areno-pelíticos, com menores teores de K_2O e teores mais altos em SiO_2 na forma de quartzo, em função da menor proporção de glauconita (Lima *et al.*, 2007). Arrieta (2017), trabalhando com doses crescente de verdete da região de Cedro de Abaeté-MG para o arroz cultivado sob inundação em solo arenoso e em solo argiloso, verificou menor disponibilidade no solo e menor acúmulo pelas plantas de potássio e silício quando comparado as fontes de referência, cloreto de potássio e Wollastonita, respectivamente. Segundo o autor, esses resultados são devidos à baixa solubilidade, tanto do potássio quanto do silício presentes no verdete. Em função da baixa disponibilização de potássio pelos verdetes, alguns autores sugerem a calcinação, tratamento térmico, para a maior eficiência agrônômica dessas rochas (Leite, 1985; Silva *et al.*, 2012; Arrieta, 2017; Silva, 2017).

Os teores de cálcio, tanto dos tratamentos controles, convencional e biocarvão, quanto dos tratamentos com pó de rocha, foram maiores que o teor da testemunha (Tabela 3). Os maiores teores de cálcio nos demais tratamentos em relação a testemunha se justificam pelo uso de calcário para a correção da acidez do solo. Nos tratamentos com pó-de-rochas sem biocarvão, o teor de cálcio no tratamento ardósia foi menor que nos demais, enquanto que, nos tratamentos com biocarvão não houve diferença entre os pó-de-rochas (Tabela 3).

As ardósias são rochas de derivação sedimentar e granulação fina, fracamente metamorfizadas, que desenvolvem planos preferenciais de partição (Chiodi Filho *et al.*, 2003). No presente estudo, foi utilizada a ardósia de cor cinza, do município de Pompéu, MG. De acordo com Sad *et al.* (1998), a composição mineralógica modal das ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais, de coloração cinza, apresenta em média 26 a 30% de quartzo, 32 a 34% de mica branca, 18 a 20% de clorita, 12 a 15% de feldspato, 2 a 3% de carbonato, 2 a 3% de óxido de ferro e 0,2 a 0,6% de material carbonoso. Além de ser uma rocha metaforizada, apresenta baixa disponibilidade de nutrientes (Tabela 2), explicando os resultados obtidos para o cálcio no presente estudo.

Para o magnésio, os teores obtidos nos tratamentos controles, convencional e biocarvão, e nos tratamentos com pós de rocha foram maiores que o teor da testemunha (Tabela 3). Os maiores teores de magnésio nos demais tratamentos em relação a testemunha, semelhantemente ao discutido para o cálcio, se justificam pelo uso de calcário para a correção da acidez do solo. Nos tratamentos sem biocarvão, os maiores teores de magnésio foram obtidos com dunito calcinado, enquanto que nos tratamentos com biocarvão os maiores teores foram obtidos nos tratamentos dunito e dunito calcinado. Esses resultados podem ser atribuídos a presença de magnésio na rocha dunito (Crusciol *et al.*, 2019). Além disso, a calcinação aumentou a solubilidade do magnésio, como discutido anteriormente.

O valor de acidez potencial (H+Al) do tratamento testemunha foi maior que os obtidos nos demais tratamentos, uma vez que na testemunha não foi aplicado corretivo da acidez do solo (Tabela 4). Semelhantemente à acidez ativa (pH do solo), os valores de acidez potencial dos tratamentos com pó-de-rochas (ardósia, verdete, dunito e dunito calcinado) não diferiram dos tratamentos controles, convencional e biocarvão (Tabela 4).

A capacidade de troca de cátions efetiva (t) foi menor no tratamento testemunha, quando comparada aos demais tratamentos (Tabela 4). Os valores de CTC efetiva obtido no tratamento sem biocarvão e com dunito calcinado e nos tratamentos com biocarvão e pós de rocha foram maiores que os tratamentos controle convencional e testemunha. Esses resultados se justificam pelos maiores teores de magnésio nos tratamentos com dunito calcinado e pelos maiores teores de potássio nos tratamentos com biocarvão (Tabela 4), uma vez que a CTC efetiva é estimada pela soma de bases trocáveis (Ca, Mg e K) e alumínio trocável.

Em relação aos tratamentos sem e com biocarvão, verificou que a CTC efetiva do tratamento sem biocarvão e ardósia apresentou menor valor em relação aos demais pós de rocha, enquanto que no tratamento com biocarvão não houve diferença entre os pós de rocha (Tabela 4). Esses resultados são explicados pela adição de bases trocáveis, principalmente potássio, pelo biocarvão. Considerando os valores médios, não houve diferença entre os tratamentos sem e com biocarvão (Tabela 4).

Para a CTC potencial (T), estimada pela soma de bases trocáveis e acidez potencial (H+Al) verificou-se que não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4). Esses resultados são explicados pela redução da acidez ativa e aumento das bases trocáveis pela aplicação do corretivo da acidez do solo e dos tratamentos. Dessa forma, apesar do tratamento testemunha ter menor valor de soma de bases trocáveis, apresenta maior valor de acidez potencial (Tabela 4).

Tabela 4 – Acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions potencial (T), saturação por bases (V) e carbono orgânico (COS) no solo após 90 dias de incubação com corretivo da acidez, biocarvão e pó-de-rochas.

Tratamento		H+Al	t	T	V	COS
		----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----%-----	
Testemunha		1,78	1,15	2,56	30,5	0,31
Convencional		1,02*	1,52*	2,54	59,9*	0,29
Biocarvão		1,04*	1,82*	2,86	63,6*	0,35
Sem biocarvão	Ardósia	0,93a*	1,58b*	2,51a	63,0a*	0,22a
	Verdete	1,01a*	1,84a*	2,85a	64,5a*	0,35a
	Dunito	1,05a*	1,81a*	2,86a	63,3a*	0,22a
	Dunito Calcinado	0,84a*	2,09a**	2,93a	71,3a*	0,29a
	Média	0,96A	1,83A	2,79A	65,5A	0,27A
Com biocarvão	Ardósia	1,02a*	1,98a**	3,00a	66,0a*	0,29a
	Verdete	1,08a*	2,02a**	3,10a	65,1a*	0,29a
	Dunito	1,05a*	2,08a**	3,13a	66,5a*	0,35a
	Dunito Calcinado	0,95a*	2,19a**	3,14a	69,7a*	0,35a

Média	1,02A	2,07A	3,10A	66,8A	0,32A
Médias seguidas por *, + e # diferem dos tratamentos controles Testemunha, Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$).					

A saturação por bases (V), estimada pela relação entre a soma de bases e a CTC potencial, foi menor no tratamento testemunha (Tabela 4). Não houve diferença entre os pós de rocha nos tratamentos sem biocarvão e nos tratamentos com biocarvão (Tabela 4). A aplicação de corretivo da acidez do solo elevou os valores de saturação por bases para valores que variaram de 59,9 (tratamento convencional) a 71,3 (tratamentos sem biocarvão com dunito calcinado). Esses resultados indicam que, além do corretivo da acidez do solo, os tratamentos contribuíram para a elevação da saturação por bases, principalmente o dunito calcinado, que elevou os teores de magnésio do solo, conforme discutido anteriormente.

Apesar de o biocarvão ser uma fonte de carbono estável (Torres *et al.*, 2020), não houve diferenças entre os tratamentos quanto ao teor de carbono orgânico do solo (Tabela 4). Os resultados podem ser explicados pela pequena quantidade de biocarvão aplicada ao solo. Além de ser fonte de carbono do solo, os biocarvões favorecem a atividade microbiana do solo (Lopes *et al.*, 2021), que pode atuar na disponibilização de nutrientes dos minerais de rochas.

Há vários estudos evidenciando a solubilização de nutrientes presentes nos minerais de rochas por microrganismos, principalmente para fósforo (Gomes *et al.*, 2014; Abreu *et al.*, 2017; Kalayu *et al.*, 2019; Bargaz *et al.*, 2021) e potássio (Etesami *et al.*, 2017; Sattar *et al.*, 2019; Alves *et al.*, 2021). No caso do potássio, os mecanismos de solubilização podem ser classificados em: solubilização direta, por meio da produção de ácidos orgânicos fortes; solubilização indireta, pela quelação dos cátions ligados a silicatos; complexação, pela secreção de polissacarídeos extracelulares; e formação de biofilme, onde as células dos microrganismos se fixam nas superfícies dos minerais, liberando ácidos orgânicos (Sattar *et al.*, 2019).

Para o ferro, verificou-se apenas diferenças para os tratamentos com biocarvão e com pó-de-rochas (Tabela 5). Os teores de ferro dos tratamentos com biocarvão e dunito e com biocarvão e dunito calcinado foram superiores aos demais e

semelhantes entre si (Tabela 5). Esses resultados indicam que tanto o biocarvão quanto o dunito são fontes potenciais de ferro.

Para o manganês, exceto para os tratamentos sem biocarvão e ardósia, sem biocarvão e dunito e com biocarvão e ardósia, os teores desse micronutriente foram menores nos tratamentos controles testemunha e convencional (Tabela 5). Nos tratamentos com biocarvão, o menor teor foi obtido com a ardósia, enquanto que, nos tratamentos com biocarvão não houve diferença entre os pós de rocha (Tabela 5).

Tabela 5 – Teores de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e níquel (Ni) no solo após 90 dias de incubação com corretivo da acidez, biocarvão e pó-de-rochas.

Tratamento		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
		----- mg dm ⁻³ -----				
Testemunha		60,21	2,89	0,21	0,45	0,03
Convencional		68,2	4,51	0,19	0,47	0,06
Biocarvão		75,23	6,87*	0,20	0,62**	0,14**
Sem biocarvão	Ardósia	55,48a	3,87b [#]	0,26a	0,52a	0,05d
	Verdete	68,54a	5,42a*	0,25a	0,39b [#]	0,08c
	Dunito	68,92a	4,21a	0,31a	0,45b [#]	0,14b**
	Dunito Calcinado	78,21a	5,21a*	0,29a	0,56a	0,21a** [#]
	Média	67,79A	4,68A	0,28A	0,48A	0,12B
Com biocarvão	Ardósia	55,24c	4,28a	0,21a	0,56a	0,12b**
	Verdete	85,21b	6,14a*	0,23a	0,55a	0,15b**
	Dunito	121,23a** [#]	7,45a*	0,39a	0,52a	0,21a** [#]
	Dunito Calcinado	114,21a** [#]	6,48a*	0,21a	0,58a	0,25a** [#]
	Média	93,97A	6,09A	0,26A	0,55A	0,18A

Médias seguidas por *, + e # diferem dos tratamentos controles Testemunha, Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,5).

Os teores de cobre do solo não diferiram entre os tratamentos, enquanto que os teores de zinco foram significativamente diferentes entre os tratamentos (Tabela 5). O teor de zinco no tratamento controle com biocarvão foi maior que nos

tratamentos controles testemunha e convencional. Nos tratamentos sem biocarvão combinado com verdete e sem biocarvão e dunito, os teores de zinco foram menores que no tratamento controle com biocarvão (Tabela 4). Nos tratamentos sem biocarvão, os teores de zinco foram menores quando os pós de rocha eram verdete e dunito (Tabela 5). Por outro lado, nos tratamentos com biocarvão não houve diferença entre os pós de rochas.

Para o níquel, exceto para os tratamentos sem biocarvão e ardósia e sem biocarvão e verdete, os teores obtidos nos tratamentos controles testemunha e convencional foram menores que nos demais tratamentos (Tabela 5). Tanto nos tratamentos sem biocarvão quanto nos tratamentos com biocarvão, os maiores teores de níquel foram obtidos nos tratamentos com dunito calcinado, seguido pelo dunito.

O níquel pode estar associado a ocorrência de dunito, como na região de Pratápolis-MG (Lima *et al.*, 2021), local de obtenção do pó-de-dunito utilizado no presente estudo. Dias (2020) verificou que o teor de níquel no dunito encontrado no Morro do Engenho, Estado de Goiás, variaram de 1,40% a 1,47%.

Para os elementos potencialmente tóxicos, cromo e chumbo (Tabela 6), não houve diferença entre os tratamentos, enquanto os teores cádmio ficaram abaixo do limite de detecção do método utilizado no presente estudo, extração com DTPA e quantificado por espectrômetro de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES). Tanto os teores de cádmio quanto de chumbo ficaram abaixo dos limites de referência estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Os teores de silício, elemento benéfico para algumas espécies vegetais, semelhantemente aos elementos potencialmente tóxicos, não diferiu entre os tratamentos. Por outro lado, Correa (2022), estudando a reatividade e eficiência do silicato de magnésio de dunito como fonte de silício para o arroz, verificou que o fornecimento de silício ao solo com silicato de magnésio foi semelhante ao da Wollastonita (fonte de referência - padrão internacional para experimentos com silício) na dose de 100 kg ha⁻¹ de silício.

Moretti *et al.* (2021), verificaram que aplicação de dunito aumentou a disponibilidade de magnésio e silício e contribui para a correção da acidez do solo. De

acordo com os autores, a liberação controlada de nutrientes e silício pelo dunito, ou seja, cinética de dissolução é mais lenta que as fontes solúveis, aumenta a sua eficiência como fertilizante, uma vez que diminui as perdas de magnésio por lixiviação, além do efeito residual para culturas subsequentes.

As cinzas dos biocarvões podem ter elevados teores de silício que contribuem para o aumento da disponibilidade para as plantas e contribui para a redução das reações de fixação de fósforo (Liu *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2020).

Tabela 6 – Teores de cromo (Cr), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e silício (Si) no solo após 90 dias de incubação com corretivo da acidez, biocarvão e pós de rocha.

Tratamento		Cr	Pb	Cd	Si
		----- mg dm ⁻³ -----			
Testemunha		0,12	0,10	Não detectado	22,47
Convencional		0,12	0,11	Não detectado	24,51
Biocarvão		0,09	0,11	Não detectado	26,41
Sem biocarvão	Ardósia	0,05a	0,09a	Não detectado	24,57a
	Verdete	0,12a	0,11a	Não detectado	25,42a
	Dunito	0,10a	0,12a	Não detectado	25,48a
	Dunito Calcinado	0,08a	0,09a	Não detectado	26,34a
	Média	0,09A	0,10A	-	25,45A
Com biocarvão	Ardósia	0,11a	0,10a	Não detectado	24,56a
	Verdete	0,11a	0,11a	Não detectado	23,47a
	Dunito	0,10a	0,09a	Não detectado	25,34a
	Dunito Calcinado	0,11a	0,14a	Não detectado	27,21a
	Média	0,11A	0,11A	-	25,15A

Médias seguidas por *, + e # diferem dos tratamentos controles Testemunha, Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$).

4.2 Nutrientes e silício nas folhas

As plantas do tratamento testemunha não sobreviveram até a época de coleta de folhas para análise devido a deficiência nutricional acentuada. Dessa forma, não foi possível avaliar as plantas desse tratamento.

Para os tores foliares de macronutrientes, não houve diferença entre os tratamentos para nitrogênio, fósforo e enxofre (Tabela 7). Para o potássio, apenas o tratamento sem biocarvão e com ardósia ($7,17 \text{ g kg}^{-1}$), os teores foram menores que o obtido no tratamento controle convencional ($9,69 \text{ g kg}^{-1}$). Para o cálcio, os teores obtidos nos tratamentos sem biocarvão e com ardósia e com biocarvão e com ardósia, foram menores que o tratamento controle convencional (Tabela 7).

Para o magnésio, os teores obtidos no tratamento sem biocarvão e com ardósia foram menores que os obtidos nos tratamentos controles, convencional e biocarvão. Por outro lado, tanto sem quanto com biocarvão, os teores de magnésio com dunito e com dunito calcinado foram maiores que os verificados nos tratamentos convencional e biocarvão. Crusciol *et al.* (2019) verificaram que os teores foliares de magnésio em plantas de milho aumentaram linearmente com as doses de dunito variando de 320 a 1600 mg kg^{-1} , evidenciado que o dunito pode ser uma fonte de liberação lenta de magnésio para as plantas.

Para os micronutrientes, não houve diferença entre os tratamentos para boro e cobre (Tabela 8). Para o ferro, no tratamento sem biocarvão e com ardósia o teor foi menor que os obtidos para os tratamentos convencional e biocarvão, enquanto que, nos tratamentos com verde e com dunito calcinado, os teores foram menores que no tratamento controle convencional. Por outro lado, no tratamento com dunito, independentemente de estar combinado ou não com biocarvão, os teores de ferro foliares foram maiores que no tratamento convencional (Tabela 8).

Tabela 7 – Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre nas folhas de tomateiro.

Tratamento		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- g kg ⁻¹ -----					
Convencional		23,07	2,72	9,69a	9,56a	11,34	1,71
Biocarvão		23,02	3,17	7,94a	7,91a	11,00	1,48
Sem biocarvão	Ardósia	22,29a	3,17a	7,17b*	7,74b*	8,84c**	1,21a
	Verdete	20,24a	2,81a	7,83a	8,16a	11,93b	1,59a
	Dunito	25,37a	3,94a	8,09a	8,26a	15,07a**	1,49a
	Dunito Calcinado	24,29a	3,14a	8,62a	7,98a	14,21a**	1,36a
	Média	23,05A	3,27A	7,93A	8,04A	12,51A	1,41A
Com biocarvão	Ardósia	22,45a	3,13a	7,87a	6,91b*	10,92b	1,22a
	Verdete	22,09a	3,66a	9,83a	9,76a	12,45b	1,53a
	Dunito	21,76a	3,37a	8,31a	8,77a	14,54a**	1,31a
	Dunito Calcinado	23,57a	3,21a	8,70a	8,11a	15,62a**	1,22a
	Média	22,47A	3,34A	8,68A	8,39A	13,38A	1,32A

Médias seguidas por * e + diferem dos tratamentos controles Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$).

Nos tratamentos sem biocarvão e com biocarvão, os maiores teores de ferro nas folhas foram obtidos no tratamento com dunito, seguido pelos tratamentos dunito calcinado, verdete e ardósia, respectivamente (Tabela 8), indicando que o dunito foi uma fonte potencial de ferro para as plantas.

Para o manganês, nos tratamentos sem biocarvão, os teores foliares obtidos com ardósia, verdete e dunito calcinado foram menores que dos tratamentos convencional e biocarvão (Tabela 8). Nos tratamentos com biocarvão, os teores obtidos com ardósia foram menores que aqueles dos tratamentos controles, enquanto que os teores encontrados para o dunito foram maiores que aqueles dos tratamentos convencional e biocarvão. Tanto nos tratamentos sem e com biocarvão, os maiores teores foliares de manganês foram obtidos com a aplicação de dunito. Os teores

médios obtidos com biocarvão foram maiores que os teores médios sem biocarvão (Tabela 8).

Os teores foliares de zinco nos tratamentos sem biocarvão com ardósia e sem biocarvão e verdete foram menores que o obtido no tratamento controle convencional (Tabela 8). Nos tratamentos sem biocarvão, o dunito e o dunito calcinado proporcionaram maiores teores foliares de zinco, enquanto que, não houve diferença entre os pó-de-rochas nos tratamentos com biocarvão (Tabela 8).

Tabela 8 – Teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si) nas folhas de tomateiro.

Tratamento		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
		----- mg kg ⁻¹ -----					
Convencional		41,3	4,5	139,2	67,8	32,5	110a
Biocarvão		40,00	5,0	154,7	64,3	27,3	190b
Sem biocarvão	Ardósia	39,8a	4,4a	105,4c**	59,4b**	23,6b*	140d**
	Verdete	36,6a	4,10a	121,5b ⁺	58,4b**	20,1b*	230c*
	Dunito	40,2a	5,6a	168,6a*	72,3a	34,2a	390b**
	Dunito Calcinado	33,4a	4,4a	129,8b ⁺	53,3b**	31,6a	460a**
	Média	37,50	4,63A	131,33A	60,85B	27,36A	305A
Com biocarvão	Ardósia	39,5a	3,7a	134,4c	53,3c**	29,9a	180c*
	Verdete	40,5a	4,7a	135,4c	73,5b	37,8a	260b**
	Dunito	38,9a	4,9a	184,5a*	82,7a**	33,4a	420a**
	Dunito Calcinado	36,2a	5,3a	158,8b	71,4b	28,3a	480a**
	Média	38,78	4,65A	153,28A	70,23A	32,35A	335A

Médias seguidas por * e + diferem dos tratamentos controles Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$).

Para o silício foliar, verificou-se que todos os pós de rocha, independentemente se combinados ou não com biocarvão, apresentaram teores superiores aos obtidos no tratamento convencional (Tabela 8). Independentemente da combinação ou não com biocarvão, os tratamentos com pó-de-rochas apresentaram teores de silício superiores aos tratamentos controle com biocarvão, exceto os tratamentos sem biocarvão e verdete e com biocarvão e ardósia (Tabela 8). Crusciol *et al.* (2019), também verificaram aumento dos teores foliares de silício em plantas de milho adubadas com dunito.

Fernandes *et al.* (2006), estudando o desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja, verificaram que os tores foliares de magnésio variaram de 4,5 a 6,4 g kg⁻¹, o de boro de 107 a 137 mg kg⁻¹ e o de zinco de 38 a 67 mg kg⁻¹. Comparando os valores obtidos no presente estudo, verificou-se que os teores de magnésio foram superiores e os de boro e zinco inferiores aos obtidos por Fernandes *et al.* (2006).

Fernandes *et al.* (2006), estudando o desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja, verificaram que os seguintes teores foliares de nutrientes: N de 58,1 a 63,6 g kg⁻¹, P de 5,1 a 5,8 g kg⁻¹, K de 29,0 a 33,7 g kg⁻¹, Ca de 16,0 a 18,0 g kg⁻¹, Mg de 4,5 a 6,4 g kg⁻¹, S de 10,5 a 11,6 g kg⁻¹, B de 107 a 137 mg kg⁻¹, Cu de 368 a 540 mg kg⁻¹, Fe de 438 a 1975 mg kg⁻¹, Mn de 162 a 500 mg kg⁻¹ e Zn 38 a 67 mg kg⁻¹. Comparando os resultados obtidos no presente estudo, verificou-se que apenas o magnésio e o zinco apresentam teores foliares próximos aos obtidos por Fernandes *et al.* (2006), enquanto para os demais nutrientes, os teores ficaram abaixo.

4.3 Produtividade e qualidade dos frutos de tomate

A produtividade de frutos de tomate nos tratamentos com pó-de-rochas, independentemente da aplicação de biocarvão, foi maior que nos tratamentos convencional e biocarvão (Tabela 9). A maior produtividade nos tratamentos com pó de rocha pode ser justificada pela melhoria das propriedades do solo, como discutido anteriormente. Em relação ao tamanho, mais de 50% dos frutos apresentaram tamanhos que variaram de médio (25 a 30 mm) a pequeno (20 a 25 mm) (Tabela 10). Corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, Fernandes; Corá; Braz

(2007), em cultivo de tomate cereja em hidroponia, verificaram que apenas 5% dos frutos apresentaram tamanho gigante (30 a 35 cm).

Quanto ao grau Brix, não houve diferença entre os tratamentos e os valores variaram de 4,21 a 4,98°Brix (Tabela 9). Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores, trabalhando como minitomates. Outros autores encontram valores semelhantes aos do presente estudo, 3,73 a 4,95°Brix (Silva *et al.*, 2011) e 2,73-4,50°Brix (Mattedi *et al.*, 2011).

Preczenhak *et al.* (2014), estudando 64 genótipos de minitomate e mais a cultivar Sweet Grape como testemunha, encontraram valores variando de 4,77 a 7,37°Brix. O valor obtido para a Sweet Grape foi 5,80°Brix, menor do que o esperado para essa cultivar. De acordo com os autores, além do genético, outros fatores, como condições edafoclimáticas e época de colheita dos frutos influenciam no Brix dos tomates.

Tabela 9 – Produção, grau Brix e classificação por tamanho dos frutos de tomate.

Tratamento		Produção g/vaso	Grau Brix	Classificação (% de frutos)			
				Gigante	Grande	Médio	Pequeno
				>35mm	30-35mm	25-30mm	20-25mm
Convencional		156,21	4,38	5,56	16,67	44,44	33,33
Biocarvão		128,14	4,98a	0,00	5,26	31,58	63,16
Sem biocarvão	Ardósia	182,07a**	4,35	8,00	20,00	32,00	40,00
	Siltitito	179,23a**	4,35a	4,76	14,29	42,86	38,10
	Dunito	173,74a**	4,88a	9,09	9,09	36,36	45,45
	Silicato	196,12a**	4,71a	9,52	14,29	38,10	38,10
	Média	182,79A	4,57A	-	-	-	-
Com biocarvão	Ardósia	190,11a**	4,67a	0,00	8,33	41,67	50,00
	Siltitito	183,45a**	4,91a	4,76	4,76	38,10	52,38
	Dunito	208,03a**	4,56a	4,76	19,05	47,62	28,57
	Silicato	188,67a**	4,21a	0,00	10,00	40,00	50,00
	Média	192,57A	4,88A	-	-	-	-

Médias seguidas por *, + e # diferem dos tratamentos controles Testemunha, Convencional e Biocarvão, respectivamente. Letras minúsculas comparam os pós de rocha dentro dos tratamentos sem biocarvão e dentro dos tratamentos com biocarvão. Letras maiúsculas comparam os tratamentos sem e com biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$).

Considerando que o biocarvão e os pós de rochas utilizados são fontes potenciais de silício para as plantas e que, nos tratamentos com dunito e dunito calcinado, os teores foliares de silício foram significativamente maiores que no tratamento convencional, esse elemento pode ter contribuído para a produtividade do tomateiro. Pereira; Vitti; Korndorfer (2003), utilizando o xisto, duas escórias e um termofosfato sobre a disponibilidade de silício para o tomateiro verificaram aumento dos teores de silício no solo e nas plantas, mas não houve efeito sobre a produtividade. Embora, em alguns casos, não se tenha efeitos significativos sobre a produtividade, o silício pode conferir às plantas de tomateiro maior tolerância ao ataque de pragas e doenças e ao estresse hídrico. No presente estudo, as plantas foram irrigadas durante todo o ciclo e cultivadas em casa-de-vegetação, o que confere uma barreira física as pragas e doenças. Provavelmente, em condições de campo, o silício pode contribuir significativamente para a produtividade do tomateiro.

O tomateiro não é considerado uma planta acumuladora de silício (Pereira *et al.*, 2003) e esse elemento não é essencial para a maioria das plantas (Epstein, 2009). No entanto o silício é considerado um elemento útil ou até elemento “semi essencial” para algumas plantas, por estar relacionado aos vários efeitos indiretos, como maior capacidade fotossintética, tolerância ao acamamento e ao déficit hídrico redução do efeito tóxico por alguns elementos, aumento da absorção de outros nutrientes e maior tolerância às pragas e doenças (Lana *et al.*, 2003; Epstein; Bloom, 2004; Marodin *et al.*, 2014; Korndörfer; Souza, 2018).

5. CONCLUSÃO

Em relação ao solo, não houve diferenças entre os tratamentos para o fósforo, cálcio, enxofre, manganês, cobre, zinco, cromo, chumbo e silício. Por outro lado, houve diferenças entre os tratamentos para potássio, magnésio, ferro e níquel. Os maiores valores de potássio foram obtidos nos tratamentos com verdete, e os maiores teores de magnésio, ferro e níquel, nos tratamentos com Dunito e com Silicato de Magnésio. Nas folhas, os maiores teores de magnésio e silício foram obtidos com a aplicação de Dunito e de Silicato de Magnésio.

Quanto à produção de frutos comerciais, independentemente do tratamento, a maioria dos frutos foi de tamanho pequeno e médio e não houve diferenças significativas para o grau Brix entre os tratamentos. Apesar dos efeitos das fontes de nutrientes e silício e de biocarvão observados no solo e nas folhas, não houve diferenças significativas na produção de frutos de tomates comerciais entre os tratamentos.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAFEZ, A. A.; LI, J.; ABBAS, M. H. H. Feasibility of biochar manufactured from organic wastes on the stabilization of heavy metals in a metal smelter contaminated soil. **Chemosphere**, v.117, p.66-71, 2014.
- ABREU, C. S.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L.; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017
- AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A.U.; LIM, J.E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S.S.; OK, Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. **Chemosphere** **99**, p.19-33. 2014.
- ALCARDE, J. C.. Soil Acidity Correctives: Characteristics And Technical Interpretations [Corretivos Da Acidez Dos Solos: Características E Interpretações Técnicas. **ANDA**, São Paulo, v.24, 2005.
- ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, G.O. de M. HEBERLE, D.A.; MAFRA, Á.L. Potential of olivine melilitite as a soil remineralizer according to particle size and rates. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.57, e01445, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01445>.
- ALVES, V. M. C. et al. Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2021. 20 p.
- ARRIETA, Rafael Gómez et al. Reatividade E Eficiência Agronômica Do Verdete E Verdete Calcinado Como Fertilizantes Multinutrientes No Arroz Inundado. **Universidade Federal De Uberlândia Instituto De Ciências Agrárias**. Dissertação de Mestrado. Programa De Pós-Graduação Em Agronomia. 2017. 88 f.: il.
- BARGAZ, A.; WISSAL ELHAISSOUFI, W.; KHOURCHI, S.; BENMRID, B.; BORDEN, K. A.; RCHIAD, Z. Benefits of phosphate solubilizing bacteria on belowground crop performance for improved crop acquisition of phosphorus. **Microbiological Research**, v. 252, n. 126842, 2021.
- BARROS, Maiccon Martins. Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais: estado da arte / BARROS, Maiccon Martins; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição – Rio de Janeiro: **CETEM/MCTI**, 2021. 98p. - (Série Tecnologia Ambiental; 116).
- BENITES, Vinicius de Melo; CARVALHO, Maria da Conceição; RESENDE, Álvaro Vilela; POLIDORO, José Carlos; BERNARDI, Alberto C. C.; DE OLIVEIRA, Fabio Alvares. Potássio, Cálcio E Magnésio na Agricultura Brasileira. **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2010
- BERNER, R. A.; LASAGA, A C. (1989) Modeling the Geochemical Carbon Cycle, **Sci. Am.**, v. 260, p. 74-81.
- BRTNICKY, M.; DATTA, R.; HOLATKO, J.; BIELSKA, L.; GUSIATIN, Z. M.; KUCERIK, J.; HAMMERSCHMIEDT, T.; DANISH, S.; RADZIEMSKA, M.; MRAVCOVA, L.; FAHAD, S.; KINTL, A.; SUDOMA, M.; AHMED, N.; PECINA, V. A

critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. **Sci. Total Environ.**, v. 796, p. 2-14, 2021.

BRTNICKY, M.; DATTA, R.; HOLATKO, J.; BIELSKA, L.; GUSIATIN, Z. M.; KUCERIK, J.; HAMMERSCHMIEDT, T.; DANISH, S.; RADZIEMSKA, M.; MRAVCOVA, L.; FAHAD, S.; KINTL, A.; SUDOMA, M.; AHMED, N.; PECINA, V. A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. **Science of the Total Environment.**, v. 796, p. 2-14, 2021.

C. A. C. Crucial, L. G. Moretti, J. W. Bossolani, A. Moreira, P. H. Micheri & R. Rossi. 2019: Can Dunite Promote Physiological Changes, Magnesium Nutrition and Increased Corn Grain Yield?, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, DOI: 10.1080/00103624.2019.1659304

CARVALHO, R.; FURTINI NETO A. E.; SANTOS, C. D. dos; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. de C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 557-565, mar. 2001.

CHIODI FILHO, Cid; RODRIGUES, Eleno de Paula; ARTUR; Antonio Carlos. Ardósias de Minas Gerais, Brasil: características geológicas, petrográficas e químicas. **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 119-127, 2003.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Brasília: **Compêndio de Estudos**. 2019.

CORREA, Higor Túlio. Reatividade e eficiência do Silicato de Magnésio de Dunite como fonte de Silício. 2017. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenheiro Ambiental) – **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2022.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Can dunite promote physiological changes, magnesium nutrition and increased corn grain yield?. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 50, n. 18, p. 2343-2353, 2019.

DI LONARDO, S., F.P. VACCARI, S. BARONTI, M. CAPUANA, L. BACCI, F. SABATINI, M. LAMBARDI, AND F. MIGLIETTA. Biochar successfully replaces activated charcoal for in vitro culture of two white poplar clones reducing ethylene concentration. **Plant Growth Regulation**, v. 69, p. 43–50, 2013.

DIAS, Caracterização petrográfica e geoquímica do depósito de níquel laterítico de Morro do Engenho, extremo oeste de Goiás. - Salvador, 2020. – 126 f. Trabalho de conclusão de curso – **Universidade Federal da Bahia**. Curso de Geologia.

DOMINGUES, R. R. *et al.* Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos One**, v. 12, n. 5, p. 1-19, 2017.

DOMINGUES, R. R., TRUGILHO, P. F., SILVA, C. A., MELO, I. C. N. D., MELO, L. C., MAGRIOTIS, Z. M., & SANCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **PloS one**, v. 12, p. 5, p. e0176884, 2017.

DOSSA, D.; FUCHS, F. Tomate: análise técnico-econômica e os principais indicadores da produção nos mercados mundiais, brasileiro e paranaense. **Boletim Técnico 03 Tomate**, Curitiba, ago. 2017.

EICHLER, V. e LOPES, A. S. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solo de textura argilosa. **Ciência e Prática**, v. 7, p. 136-146, 1983.

EMBRAPA. Cultivo de Tomate para Industrialização. **Sistemas de Produção**, 1 - 2ª Edição. 2006.

EMBRAPA. Magnésio: Manejo para o equilíbrio nutricional da soja. **Documentos** 430. 2020.

EMBRAPA. Tomate - **Portal Embrapa**. Brasília-DF. 2022.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. **Sunderland: Sinauer Associates**, p. 418. 2004.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-649, 2009.

ERNANDES C; CORÁ JE; BRAZ LT. 2006. Desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 42-46.

ETESAMI, H.; EMAMI, S.; ALIKHANI, H. A. Potassium solubilizing bacteria (KSB): mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 4, p. 897-911, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>.

FEAM. Plano de ação para sustentabilidade do setor de rochas ornamentais - Ardósia em Papagaios. **FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente**. [S.l.], p. 128. 2014. 3 Vol.

FERNANDES C; CORÁ JE; BRAZ LT. Classificação de tomate-cereja em função do tamanho e peso dos frutos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 275-278, 2007.

FUSCALDI, Filipe Miranda. Estudo da influência do tratamento termo-mecânico nas propriedades do resíduo de ardósia. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. **Universidade Federal e Minas Gerais**. 2018. 150p.

GILL, Robin. **Rochas e processos ígneos: um guia prático**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GOLDICH, S. S. A study in rock-weathering. **The Journal of Geology**, Chicago, v. 46, n. 1, p. 17-58, 1938.

GOMES, E.; SILVA, U.; MARRIEL, I.; OLIVEIRA, C.; LANA, U. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014.

GOMES, E.; SILVA, U.; MARRIEL, I.; OLIVEIRA, C.; LANA, U. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014.

GREWAL, A.; ABBEY, L.; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 135, p. 152-159, 2018.

GWENZI, W.; MUZAVA, M.; MAPANDA, F.; TAURO, T. P. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake

of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 1395-1406, 2016.

HAQUE, F.; SANTOS, R.M.; DUTTA, A.; THIMMANAGARI, M.; CHIANG, Y.W., 2019a. Co-benefits of wollastonite weathering in agriculture: CO₂ sequestration and promoted plant growth. **ACS Omega**, v. 4, n. 1, p. 1425–1433. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02477>

HARLEY, A. D. GILKES, R. J. 2000. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: A geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 11–36, 2000. doi: 10.1023/A:1009859309453.

HENSEL, J. Pães de Pedra. 2003. Traduzido do original: **Brot aus Steinen, durch mineralische Düngung der felder** -1898- por: Landgraf, H.; Riveira, J. R. & Pinheiro, J. Canoas: Salles Editora, 2003.

IPPOLITO, J.A., CUI, L., KAMMANN, C. et al., Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. **Biochar**, v. 2, p. 421–438 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x>

JINDO, K.; GORON, T. L.; KUREBITO, S.; MATSUMOTO, K.; MASUNAGA, T.; MORI, K.; MIYAKAWA, K.; NAGAO, S.; TOKUNARI, T. Sustainable Plant Growth Promotion and Chemical Composition of Pyroligneous Acid When Applied with Biochar as a Soil Amendment. **Molecules**, v. 27, n. 11, p. 1-16, 2022.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, article ID 4917256, 2019.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. v. 1, p. 333-379.

KERN, D. C.; LIMA, H. P.; COSTA, J. A.; LIMA, H. V.; RIBEIRO, A. B.; MORAES, B. M., KAMPF, N. Terras pretas: approaches to formation processes in a new paradigm. **Geoarchaeology**, v. 32, p. 694–706, 2017.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. Formulation and evaluation of organo-mineral fertilizers based on sewage sludge optimized for maize and sunflower crops. **Waste Management**, v. 136, p. 57-66, 2021.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. **Journal of Environmental Management**, v. 248, n. 109283, p. 1-13, 2019.

KOOKANA, R.S., SARMAH, A.K., ZWIETEN, L., VAN KRULL, E., SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 1112, p.103-143, 2011.

KORNDÖRFER, G. H.; SOUZA, S. R. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. N.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**, cap. 15, 563-599. 2018.

LAL, R. Biochar and Soil Carbon Sequestration. Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers. M. Guo, Z. He and S. M. Uchimiya. Madison, WI, **Soil Science Society of America, Inc.**, p. 175-198, 2016.

LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A., SILVA, A. F.; LANA, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, v. 19, p. 15-20, 2003.

LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A., SILVA, A. F.; LANA, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Biosci. J.**, v. 19, p. 15-20, 2003.

LEFEBVRE, D.; GOGGIO, P.; WILLIAMS, A.; MANNING, D. A. C., de Azevedo, A. C., BERGMANN, M., Smith, P. (2019). Assessing the potential of soil carbonation and enhanced weathering through Life Cycle Assessment: A case study for Sao Paulo State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 468–481. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.099>

LEITE, P. C. 1985. Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo. Dissertação de Mestrado - **Escola Superior de Agricultura de Lavras**, Lavras. 146p.

LIMA, Filipe Goulart; FARIA JÚNIOR, Ilio Rodarte; ZANARDO, Antenor; SZABÓ, Gergely Andres Julio; MONTIBELLER, Cibele Carolina. 2021. Caracterização Textural E Mineralógica Das Rochas Do Morro Do Níquel (Mg) E Correlações Com O Processo De Serpentinização. **Geociências**, v. 40, n. 3, p. 567 - 581.

LIMA, O. N. B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, v. 4) p. 204 -215, 2007.

LIU, X. et al. Effect of biochar amendment on soil-silicon availability and rice uptake. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 1, p. 91-96, 2014.

LOPES, Érika Manuela Gonçalves; REIS, Matheus Mendes; FRAZÃO, Leidivan Almeida; DA MATA TERRA, Lorena Emanuelle; LOPES, Ernesto Filipe; DOS SANTOS, Marinalva Martins; FERNANDES, Luiz Arnaldo. 2021. Biochar increases enzyme activity and total microbial quality of soil grown with sugarcane. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101270.

LÚCIO A. Calcinação, seus fornos e seus combustíveis, **Associação Brasileira de Produtores de Cal**, Boletim no 2, 1977.

LUO, X.; WANG, Z.; MEKI, K.; WANG, X.; LIU, B.; ZHENG, H.; YOU, X.; LI, F. Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 3934-3944, 2019.

MACDONALD, H. M.; HARDCASTLE, A. C.; JUGDAOHSINGH, R.; FRASER, W. D.; REID, D. M.; POWELL, J. J. Dietary silicon interacts with oestrogen to influence bone health: evidence from the Aberdeen Prospective Osteoporosis Screening Study. **Bone**, v. 50, p. 681-687, 2012.

MANNING, D.A.C.; THEODORO, S.H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. **The Extractive Industries and Society**, v.7, n. 2, p.480-487, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>.

MARODIN, J. C.; RESENDE, J. T. V.; MORALES, R. G. F.; SILVA, M. L. S.; GALVÃO, A. G.; ZANIN, D. S. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 220-224, 2014.

MAROUSEK, J.; VOCHOZKA, M.; PLACHY, J. ZAK, J. Glory and misery of biochar. **Clean Techn Environ Policy**, v. 19, p. 311–317, 2017.

MARTINS, E. de S.; MARTINS, E. S.; HARDOIM, P. R. Princípios geoquímicos, mineralógicos e biológicos do manejo de remineralizadores de solos. **Informe Agropecuário**, v. 44, n. 321, p. 26-39, 2023.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (org.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010, p. 89-104.

MONTAGNER, D. B.; DE ARAÚJO, A. R.; EUCLIDES, V. P.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; ANDRADE, R. A. S. **Potencial produtivo dos capins BRS Piatã e BRS Paiguás em sistema de integração lavoura-pecuária**. 1 Ed. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2018.

MORETTI, L. G.; BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; MOREIRA, A., MICHERI, P. H.; ROSSI, R.; imaizumi, C. Dunite in agriculture: Physiological changes, nutritional status, and soybean yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 14, p. 1775–84. doi: 10.1080/00103624.2019.1635143.

MORETTI, Luiz Gustavo Crusciol; BOSSOLANI, Carlos; ROSSI, João; MOREIRA, Ricardo Adonis. 2021. Dunite solubilization kinetics in silicon-magnesium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1080/01904167.2021.1899214.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. **Biochar and Soil Quality**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, p. 471-550.

NOVOTNY, E. H. Properties of pyrolysis residues produced and utility as Biochars **DIBANET AND SMART CHP NETWORKING DAY**, 2012, Thessaloniki. Anais... Thessaloniki: DIBANET, 2012.

NOVOTNY, E. H.; FREITAS, C.M. B. de; MELO, M. T. de; MADARI, B. E. Biochar: Pyrogenic Carbon For Agricultural Use – A Critical Review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 39, p. 321-344, 2015.

OLIVEIRA, E. C. de. **Comportamento de misturas ternárias constituídas de cimento Portland, ardósia e escória de alto forno finamente moídas e sem uso de aditivos dispersantes**. 2017. 202 f. Tese (Doutorado) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO.

PEREIRA, H. S.; G. C. VITTI, G. C.; G. H. KORNDORFER, G. G. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 101-108, 2003.

PRECZENHAK AP; RESENDE JTV; CHAGAS RR; SILVA PR; SCHWARZ K; MORALES RGF. 2014. Caracterização agronômica de genótipos de minitomate. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 348-356. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000300018>.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A. R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biol Fertil Soils**, v. 48, n. 3, p. 271-284, 2012.

RASCHMAN, P; FEDOROCKOVÁ, A; SUCIK, G. Thermal activation of serpentine prior to acid leaching. **Hydrometallurgy**, v. 139, July 2013, p. 149-153.

RAVENNI, G.; ELHAMI, O. H.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U. B.; NEUBAUER, Y. Adsorption and decomposition of tar model compounds over the surface of gasification char and active carbon within the temperature range 250-800 °C. **Applied Energy**, v. 241, p. 139-151, 2019.

REIS, Elias Almeida dos; Guimarães, Washington Pinheiro; DAMASCENO, Giuliana Alves; ARAÚJO, Marcos Franco de Paiva Guia de Frutas e Hortalicas – Tomate. **CEASA-DF**, 2023.

RHODES, C. The Imperative for Regenerative Agriculture. **Science Progress**, v. 100, p. 80-129, 2017.

RONIX, A.; GAZZETA, A. L.; XIMENEZ, G. R.; SPESSATO, L.; SILVA, M. C.; FONSECA, J. M.; YOKOYAMA, J. T. C.; LOPES, G. K. P.; ZANELLA, H. G.; ALMEIDA, V. C. Biochar from the mixture of poultry litter and charcoal fines as soil conditioner: Optimization of preparation conditions via response surface methodology. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, p. 1-10, 2021.

RUBIN, Cezar Augusto; Schneider, Luana; CAMPOS, Marcelo Siste; OLIVEIRA, Ricardo Cunha de. Compêndio De Estudos Da Conab - V.21 - Tomate: Análise Dos Indicadores Da Produção E Comercialização No Mercado Mundial, Brasileiro E Catarinense. **CONAB**, v. 21, 2019

SAD, João Henrique Grossi; FILHO, Cid Chiodi; CHILODI, Denize Kistemann. Panorama do setor de ardósias do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Secretaria De Estado De Minas E Energia**. Belo Horizonte, MG, Volume II. 1988. 85p.

SANTOS, E. A. **Efeito da acidificação do verdete de Abaeté na disponibilidade de potássio para o milho em casa-de-vegetação**. 1984, 113f. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras, MG, 1984.

SATTAR, A.; NAVEEDA, M.; ALIA, M.; ZAHIRA, Z.; NADEEMB, S.; YASEENA, M.; MEENAC, V. S.; FAROOQD, M.; SINGHE, R.; RAHMANF, M.; MEENA, H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: a review. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 146-159, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>.

SIKARWAR, V. S.; POHOŘELÝ, M.; MEERS, E.; SKOBLIA, S.; MOŠKO, J.; JEREMIÁŠ, M. Potential of coupling anaerobic digestion with thermochemical technologies for waste valorization. **Fuel**, v. 294, n. 120533, p. 1-22, 2021.

SILVA, A.A.S.; MEDEIROS, M.B.; SAMPAIO, J.A.; GAMIDO, F.M.S. Verdete de cedro de Abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO. **Revista Matéria**, v. 17, p. 1062-1073, 2012a.

SILVA, I. C. B. *et al.* Growth and production of common bean fertilized with biochar. **Ciência Rural**, v. 47, n. 11, p. 1-8, 2017.

SILVA, R. R. **Liberação do potássio contido em silito glauconítico por processo térmico**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFMG, 2017, 103p.

SIYAL, A. A.; LIU, Y.; ALI, B.; MAO, X.; HUSSAIN, S.; FU, J.; AO, W.; ZHOU, C.; WANG, L.; LIU, G.; DAI, J. Pyrolysis of pellets prepared from pure and blended biomass feedstocks: Characterization and analysis of pellets quality. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 161, n. 105422, p. 1-15, 2022.

SMITH, S. A., and R. N. Hiscott. 1987: Latest precambrian to Early Cambrian basin evolution, Fortune Bay, Newfoundland fault–bounded basin to platform. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 21, p. 1379–1392.

SOUZA, E. C. A.; YASUDA, M. **Uso agrônomo do termofosfato no Brasil**. São Paulo: **Fertilizantes Mitsui**, 1995.

SOUZA, E. C. A.; YASUDA, M. **Uso agrônomo do termofosfato no Brasil**. São Paulo: Fertilizantes Mitsui, 1995.

TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, Maria Cristina Mota de; FAIRCHILD, Thomas Rich; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, p. 285-304.

TORRES, W. G. A. *et al.* Phosphorus availability in soil amended with biochar from rice rusk and cattle manure and cultivated with common bean. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e014620, 2020.

VIOLA, E.; Mendes, V. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. **Ambient. soc.**, v. 25, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200246r2vu2022L3AO>.

WANG, Haijing *et al.* Rapid analysis of anthocyanin and its structural modifications in fresh tomato fruit. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127439, 2020.

WICHERT, J. The Origin of Slate. In: **Slate as Dimension Stone**. Springer **Mineralogy**. Springer, Cham., 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-35667-5_2.

YE, S.; ZENG, G.; WU, H.; LIANG, J.; ZHANG, C.; DAI, J.; XIONG, W.; SONG, B.; WU, S.; YU, J. The effects of activated biochar addition on remediation efficiency of co-composting with contaminated wetland soil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 278–285, 2019.

YE, Shujing *et al.* The effects of activated biochar addition on remediation efficiency of co-composting with contaminated wetland soil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 278-285, 2019.

ZHANG, G.; KANG, J.; WANG, T.; ZHU, C. Review and outlook for agromineral research in agriculture and climate mitigation. **Soil Research**, v.56, p.113-122, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR17157>.

ZHANG, G.; KANG, J.; WANG, T.; ZHU, C. Review and outlook for agromineral research in agriculture and climate mitigation. **Soil Research**, v. 56, p.113-122, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR17157>.