

Rochagem na produção sustentável de plantas forrageiras: Revisão sistemática da literatura

A utilização de pó de rocha na agricultura como remineralizador do solo pode diminuir os custos com o uso de fertilizantes, sendo uma excelente alternativa para melhoria da fertilidade do solo, principalmente para agricultura agroecológica. Neste sentido, o estudo teve por objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização do pó de rocha como remineralizador de solo de forma a otimizar o desempenho de plantas forrageiras. Para isso, a revisão de literatura foi conduzida conforme a metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Para identificar os artigos acerca do assunto da “Aplicação da rochagem na forragicultura”, realizaram-se buscas nas bases de dados SCIELO e EMBRAPA. Após desenvolvimento estabelecida estratégia de busca dos artigos, identificação dos critérios de inclusão e exclusão, avaliação crítica dos resultados selecionaram-se 30 artigos para estudo e refinamento propostos no trabalho. Quanto às características gerais, duas publicações dataram do ano 2000 e outros 12 artigos tiveram publicação nos últimos 5 anos, e os demais entre 6 e 10 anos ou acima de 10 anos. A maioria dos artigos selecionados no presente estudo está escrito na língua inglesa e 75% deles foram de estudos conduzidos no Brasil. Observou-se que a literatura é ampla quanto à utilização de pó de rocha na agricultura, entretanto, quando se trata da sua aplicação na produção e manejo da pastagem destinada à produção de forragem para ser colhida principalmente por pastejo, os artigos são escassos. Na análise técnica dos artigos, verificou-se que a maioria apresenta aspectos positivos da aplicação de pó de rocha no cultivo de plantas forrageiras. Mais estudos são necessários para confirmar esse fato, uma vez que se deve levar em conta o viés de publicação.

Palavras-chave: Pó de rocha; Remineralizador; Pastagem; Produção animal; Sustentabilidade.

Rockfall as a sustainable alternative for soil remineralization: Systematic literature review

The use of rock dust in agriculture as a soil remineralizer can reduce costs with the use of fertilizers, being an excellent alternative for improving soil fertility, especially for agroecological agriculture. In this sense, the study aimed to carry out a systematic review of the literature on the use of rock dust as a soil remineralizer in order to optimize the performance of forage plants. For this, the literature review was conducted according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) methodology. To identify the articles on the subject of “Application of rock stone in forage farming”, searches were carried out in the SCIELO and EMBRAPA databases. After developing an established article search strategy, identification of inclusion and exclusion criteria, critical evaluation of the results, thirty articles were selected for study and refinement proposed in the work. As for the general characteristics, two publications dated from the year 2000 and another twelve articles were published in the last 5 years, and the others between 6 and 10 years or over 10 years. Most of the articles selected in the present study are written in English and 75% of them were from studies conducted in Brazil. It was observed that the literature is extensive regarding the use of rock dust in agriculture, however, when it comes to its application in the production and management of pasture intended for the production of forage to be harvested mainly by grazing, the articles are scarce. In the technical analysis of the articles, it was found that most of them present positive aspects of the application of rock dust in the cultivation of forage plants. More studies are needed to confirm this fact, since publication bias must be taken into account.

Keywords: Rock dust; Remineralizer; Pasture; Animal production; Sustainability.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Received: **04/03/2022**

Approved: **17/05/2022**

Joyce Silva Prates

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Vítor Alves da Silva

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Hércules Otacílio Santos

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3063011012116382>
hercules.santos@ifnmg.edu.br

Tatiane Tozzi Martins Souza Rodrigues

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
tatiana.rodrigues@ifnmg.edu.br

Fernanda Soares Oliveira

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Eliane Macedo Sobrinho Santos

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0451966994155112>
eliane.santos@ifnmg.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2022.002.0008

Referencing this:

PRATES, J. S.; SILVA, V. A.; SANTOS, H. O.; RODRIGUES, T. T. M. S.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, E. M. S.. Rochagem na produção sustentável de plantas forrageiras: Revisão sistemática da literatura. **Nature and Conservation**, v.15, n.2, p.83-97, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2022.002.0008>

INTRODUÇÃO

A agricultura moderna passa por um novo paradigma, o de alimentar uma população mundial crescente sem aumentar as áreas produtivas. Para isso a intensificação da produção é necessária, apesar das diversas restrições ambientais, sociais, políticas e econômicas. De acordo com dado da FAO (2009), o modelo tecnológico atual está esgotado e observa-se redução nas taxas de crescimento da produtividade das principais lavouras nas últimas décadas. Assim, para aumentar a produção e disponibilidade de alimentos devem-se desenvolver métodos e iniciativas de produção agrícolas sustentáveis.

O avanço tecnológico das últimas quatro décadas, aliado às práticas de manejo adotadas pelos agricultores brasileiros, demonstrou a possibilidade de transformar solos de baixa fertilidade, como os do cerrado brasileiro, em solos férteis. Entretanto a prática do monocultivo, intensificação da mecanização no campo e a exaustão química, física e biológica do solo torna a agricultura vulnerável a perdas de produção e qualidade de produtos (BAULCOMBE et al., 2009; RAMBALDI et al., 2005, WEID, 2006). Os solos brasileiros são caracterizados por serem ácidos, intemperizados e de baixa fertilidade, o que exige um manejo adequado para sua exploração (LOPES et al., 1994; CARDOSO et al., 2015). Inclusive os solos mais férteis, após intenso uso, necessitam de uma adubação para repor os nutrientes fundamentais às plantas, papel atribuído aos fertilizantes químicos e orgânicos (THEODORO et al., 2010; FIGUEIREDO et al., 2003). Neste sentido, há necessidade de elevado investimento em fertilidades e corretivos para o bom desempenho das culturas no campo.

A agricultura nacional posiciona o Brasil na linha de frente entre os maiores consumidores de fertilizantes do mundo, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2020, foram importados 32,8 milhões de toneladas de fertilizantes. Dentre os nutrientes importados destaca-se o potássio, representando 38% das importações, seguido por cálcio, com 33%, e nitrogênio, com 29% (SAE, 2020).

A agricultura prioriza a redução dos custos de produção por meio da substituição de insumos ou o seu uso racional e de práticas sustentáveis, sendo estas definidas pelo uso eficiente dos recursos que se têm disponíveis no sistema produtivo (FAO, 1989). A remineralização de solos, através da rochagem, é uma técnica sustentável, pois incorpora ao solo rocha moída na granulometria de pó, ou ainda rejeitos de mineradoras, como fonte de nutrientes para as plantas (THEODORO et al., 2006), fornecendo para as culturas gradativamente macro e micronutrientes (STRAATEN, 2006), corrige o pH (PRIYONO et al., 2008), aumenta a retenção de água e atividade microbológica do solo (CHOE et al., 2018).

No Brasil, a pastagem é a principal fonte de alimento para grande parte do rebanho bovino, principalmente por proporcionar menor custo de produção. O sistema é caracterizado pelo extrativismo, onde a adoção de tecnologias e uso intensivo de capital se restringe a um pequeno conjunto de produtores (BARCELLOS et al., 2008).

No Cerrado, a introdução de plantas forrageiras selecionadas possibilitou ganhos significativos na taxa de lotação animal em relação às espécies nativas (MARTHA et al., 2002). Estima-se que 80% dos 50-60

milhões de hectares de pastagens cultivadas na região Central do Brasil estão em algum estado de degradação (CARVALHO et al., 2017). A adubação das pastagens é muitas vezes considerada inviável para os produtores. Assim, o aproveitamento de resíduos da mineração pode ser uma boa alternativa como fonte de nutrientes, além de reduzir os impactos ambientais.

Alguns tipos de rochas fornecem os nutrientes necessários para o pleno crescimento das plantas, por um período de até cinco anos após sua incorporação ao solo (THEODORO et al., 2006; THEODORO et al., 2013). Como as plantas absorvem apenas o necessário para seu desenvolvimento, os demais nutrientes ficam retidos na estrutura cristalina dos minerais (ou argilas) que compõem as rochas adicionadas ao solo, formando uma espécie de banco de nutrientes, que será disponibilizado em colheitas subsequentes. Esse fato é extremamente relevante tanto do ponto de vista econômico (custos diluídos ao longo do tempo) quanto ambiental (não há contaminação ou poluição dos recursos naturais – solo, água e ar) (ISLAM et al., 2019; MORILLAS et al., 2019; PIGATTO et al., 2020; ZAMBERLAN et al., 2020; STREIT et al., 2021).

Esse processo pode tornar-se uma importante técnica de fertilização, complementar às práticas tradicionalmente utilizadas no Brasil, indicada, a princípio, para pequenos produtores e em escala regional, destacando-se pela diversidade de matérias-primas com potencial para uso como agrominerais e ampla distribuição geográfica. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização do pó de rocha como remineralizador de solo de forma a otimizar o desempenho no cultivo de plantas forrageiras.

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão sistemática da literatura obedeceu ao seguinte fluxo de ação: a) desenvolvimento do protocolo de revisão com as questões da pesquisa; b) desenvolvimento da estratégia de busca; c) identificação dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos; d) busca dos artigos relevantes; e) avaliação crítica dos resultados dos artigos; f) extração dos dados dos artigos e síntese.

Este estudo foi conduzido conforme a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (MOHER et al., 2015). Para identificar os artigos acerca do tema “Aplicação da rochagem na forragicultura”, realizaram-se buscas nas bases de dados no intervalo de tempo entre janeiro de 2000 e julho de 2021 (Quando 1).

Quadro 1: Base de dados para a pesquisa de artigos na área das Ciências Agrárias.

Base de dados	Link de acesso
Base Bibliográfica da Agricultura Brasileira: AGROBASE	https://snida.agricultura.gov.br/AGB
Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária EMBRAPA: BDPA	https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/
Biblioteca da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)	https://www.embrapa.br/en/web/portal/library
SciELO.org	https://scielo.org/
Sistemas de Produção Embrapa	https://www.spo.cnptia.embrapa.br/home
Infoteca-e: Repositório de Informação Tecnológica da Embrapa	https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/
AGRIS: International Information System for the Agricultural Sciences and Technology (FAO)	https://agris.fao.org/agris-search/index.do
Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec)	http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/
Acesso Livre à Informação Científica da Embrapa (Alice)	https://www.alice.cnptia.embrapa.br/

A revisão de literatura especializada foi realizada com o emprego das palavras-chave: “Rochagem e

pastagem”, “Pó de rocha e pastagem”, “Remineralizador de solo e pastagem”, “Rochagem e forragem”, “Pó de rocha e forragem”, “Remineralizador de solo e forragem”, “Rochagem e pecuária”, “Pó de rocha e pecuária”, “Remineralizador de solo e pecuária” e seus correspondentes em inglês. Somente foram utilizadas palavras-chave em inglês e português. Buscas manuais foram feitas nas referências bibliográficas dos artigos encontrados.

Os critérios para inclusão da literatura na pesquisa foram: (1) literaturas com foco na utilização do pó rocha em diferentes culturas; (2) literatura com estudos realizados no Brasil no período de 2000 a 2021; (3) artigo científico; (4) artigos nos idiomas português e inglês; e (5) artigos que se enquadraram nos critérios anteriores, mas que abordavam, especificamente, os impactos do uso do pó de rocha nas culturas e no solo. Como critério de exclusão foram excluídos os artigos que (1) abordavam outro tema que não o de interesse deste trabalho; (2) estudos publicados anteriormente a 2000; (3) artigos duplicados entre as bases de pesquisa.

Após a consulta às bases de dados e à aplicação das estratégias de busca foram identificados os artigos que apresentavam duplicidade entre as bases. Foram lidos todos os resumos dos artigos resultantes. Nos casos em que a leitura do resumo não era suficiente para estabelecer se o artigo era elegível para o estudo, este foi lido na íntegra.

Para extração dos dados dos artigos, elaborou-se um instrumento contendo as seguintes informações: autores, título, tipo de cultura, ano de publicação, idioma e conclusões dos autores. A análise dos artigos selecionados foi feita de forma descritiva e realizada em duas etapas. A primeira etapa descreveu os autores, local do estudo, cultura e a metodologia utilizada em cada estudo. A segunda etapa analisou os resultados correlacionando com os objetivos propostos no artigo.

A extração dos dados para o processo de elegibilidade dos artigos foi realizada utilizando-se uma ficha própria para revisão sistemática elaborada pelos pesquisadores em Programa Excel®. Para os dados obtidos dos estudos elegíveis, estes também foram transportados para uma planilha em mesmo programa, a fim de organizar os resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A população global exigirá uma oferta de alimentos e água suficientes e de boa qualidade crescente (GREDILLA et al., 2017; NORDIN et al., 2018). Até 2050, a produção de alimentos aumentará 70% em todo o mundo e 100% nos países em desenvolvimento. A quantidade e a qualidade nutricional dos alimentos contribuem para a saúde humana (CIVEIRA et al., 2016a; RODRIGUEZ et al., 2016). Noventa e cinco por cento da produção de alimentos depende do solo, mas somente solos saudáveis podem fornecer os serviços ecossistêmicos necessários e garantir o fornecimento de alimentos e fibras (FAO, 2009). Portanto, é relevante buscar alternativas sustentáveis, tais como a rochagem, capazes de restaurar os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos e, conseqüentemente, promover o aumento da produção de alimentos.

As pastagens estão entre os ecossistemas terrestres mais amplamente distribuídos no mundo (DIXON et al., 2014). A baixa produtividade de algumas dessas áreas, especialmente nas regiões tropicais,

muitas vezes tem limitado a competitividade das atividades agrícolas. Em alguns casos, essa situação gera pressão para a expansão dos campos da pecuária em áreas de vegetação nativa (GARRETT et al., 2018). A intensificação de produção de pastos em áreas pré-existentes é uma opção para reverter essa situação (OENEMA et al., 2014) e a rochagem pode colaborar para este cenário.

Em geral, os pós de rocha apresentam composições químicas e mineralógicas que, quando adicionadas aos solos em quantidades adequadas, podem amplificar o processo de remineralização (RAMOS et al., 2014, RAMOS et al., 2015). A remineralização, como principal pressuposto da rochagem, é incentivada a partir do uso de insumos que estejam disponíveis local ou regionalmente, com intuito de redução de custos de aquisição (VAN STRAATEN, 2007) quando comparado ao preço dos fertilizantes químicos de alta solubilidade.

Essa tecnologia é utilizada há muito tempo no Brasil (THEODORO et al., 2014) e em outros países, como Uganda e África do Sul (STRAATEN, 2002, STRAATEN, 2006), Sri Lanka (WEERASURIYA et al., 1993), Noruega (BAKKEN et al., 1997) e Alemanha (HILDEBRAND et al., 2000).

Os resultados das pesquisas das buscas nas bases de dados retornaram 641 publicações, entre artigos, boletins técnicos, teses e trabalhos completos publicados a partir de 2000. Desses, 376 foram excluídos após refinamento da busca. Foram selecionados 33 artigos os quais atenderam aos critérios de inclusão de 1 a 4, citados anteriormente (Figura 1). Destes, 30 artigos atenderam o critério de inclusão 5.

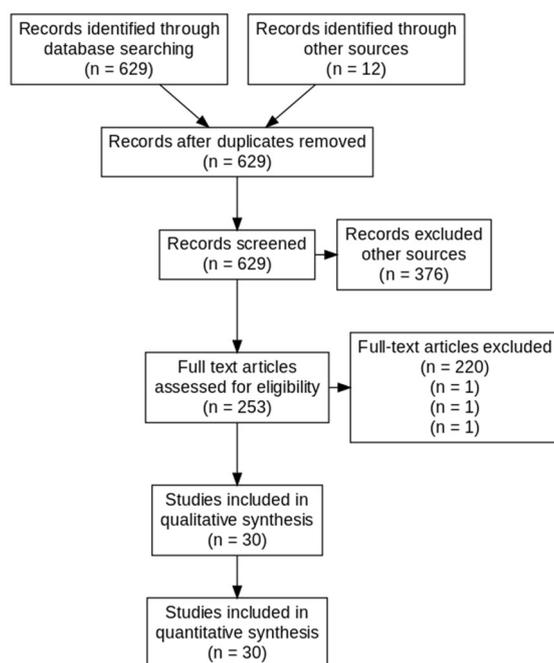


Figura 1: Fluxograma do número de artigos encontrados e selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Neste estudo é possível observar dados obtidos em diversos países sobre o uso da rochagem e como esta tecnologia pode contribuir para a sustentabilidade da pecuária. Embora os nutrientes minerais sejam liberados mais lentamente a partir desses tipos de insumos, eles permanecem no solo por mais tempo, estimulando a biota responsável pela decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (RAMOS et al., 2022). Os pós de rochas são aplicados in natura, têm efeitos residuais duradouros e reduzem as

emissões de gases de efeito estufa (RAMOS et al, 2022).

Na análise dos artigos as metodologias utilizadas nos trabalhos avaliados apresentaram alto grau de variação tanto da cultura, quanto de tratamento, o que demonstra a necessidade de padronização que permita a comparação entre estes. A maioria dos artigos foi publicada nos últimos cinco anos na análise do recorte temporal utilizado (Figura 2).

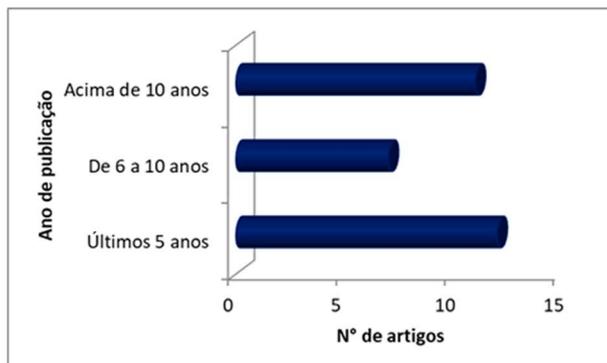


Figura 2: Quantidade de artigos em função do ano de publicação.

Apesar de um aumento recente no número de publicações com rochagem em relação ao recorte temporal dos últimos 20 anos, nas décadas de 1970 e 1980, estudos foram realizados no Brasil com rochas para fornecer K e outros nutrientes às plantas, como parte da busca de alternativas aos fertilizantes potássicos. Em um assentamento rural no estado de Minas Gerais, Theodoro et al. (2006) realizaram um experimento agrícola onde comparou os resultados produtivos de diversas culturas (milho, feijão, cana-de-açúcar, mandioca, entre outras) utilizando K de pó de rocha com adubação convencional (NPK) e adubação orgânica. Os resultados revelaram que houve mudanças significativas nos níveis de fertilidade do solo ao longo de cinco anos. A maioria dos artigos selecionados no presente estudo está escritos na língua inglesa (Figura 3).

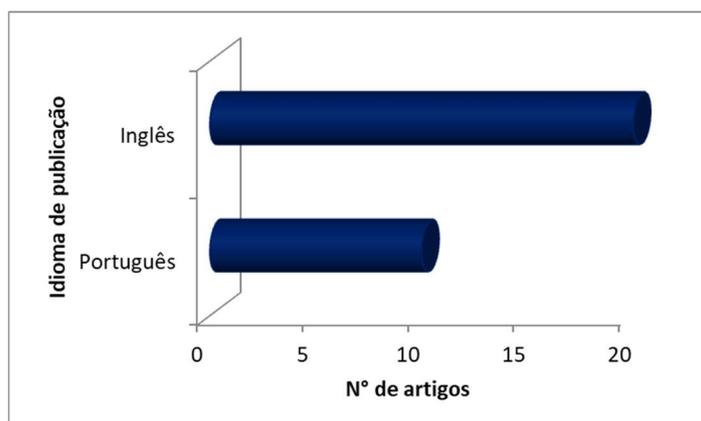


Figura 3: Quantidade de artigos em função do idioma de publicação

O Brasil se destaca nos estudos sobre remineralização de solos, uma vez que tal prática é adequada à recuperação da fertilidade dos solos intemperizados em regiões tropicais. Na atual revisão, 75% dos artigos selecionados são oriundos de trabalhos realizados em território Nacional (Figura 4). Pesquisadores brasileiros defendem que o uso do pó de rocha permite a expansão dos princípios da agroecologia, por meio da sustentabilidade ecológica e socioeconômica do sistema de produção (THEODORO et al., 2006).

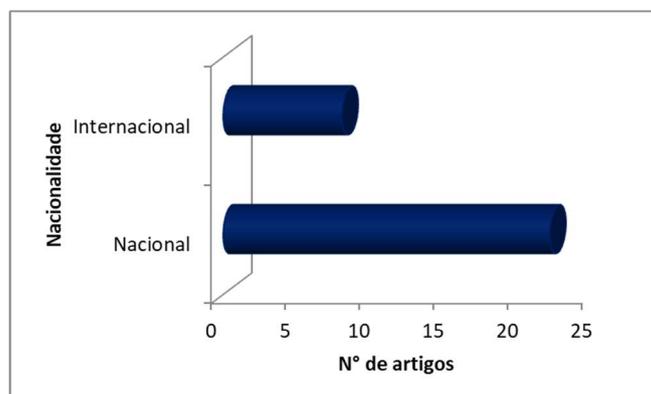


Figura 4: Quantidade de artigos em função da nacionalidade

Observou-se que a literatura é ampla quanto à utilização de pó de rocha na agricultura, entretanto, quando se trata do seu uso na produção e manejo da pastagem destinada à produção de forragem para ser colhida principalmente por pastejo, os artigos são escassos. No presente estudo, verificou-se que, dos 30 artigos analisados, 15 abordam a aplicação do pó de rocha no desenvolvimento na pastagem (Figura 5).

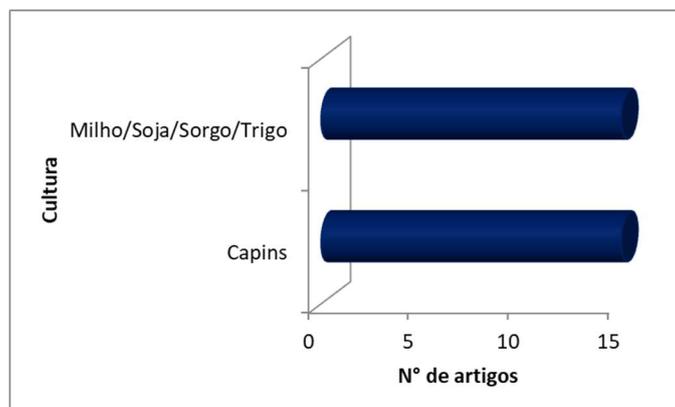


Figura 5: Quantidade de artigos em função da cultura.

As pastagens representam a principal fonte alimentar dos animais ruminantes, constituindo a base de sustentação da pecuária. No entanto, devido às razões inerentes à fenologia das plantas forrageiras tropicais e às condições climáticas adversas, a produção de forragem torna-se sazonal, resultando na sazonalidade da produção vegetal e animal, exigindo estratégias que possam minimizar tais efeitos (VILELA et al., 2012; SILVA et al., 2016). Entre as alternativas de manejo para equilibrar a estacionalidade da produção forrageira está justamente a rochagem.

Na análise técnica dos artigos, verificou-se que a maioria apresenta aspectos positivos da aplicação de pó de rocha no cultivo de plantas forrageiras (Figura 6), recomendando esta tecnologia como alternativa viável para a remineralização de solos destinados à pastagem. Poucos artigos estudados pontuaram negatividade quanto à aplicação do pó de rocha como remineralizador do solo. A maioria dos estudos mostrou uma alternativa eficaz, o que confirma a ideia de que esse tipo de aplicação pode fornecer bons frutos para a agricultura.

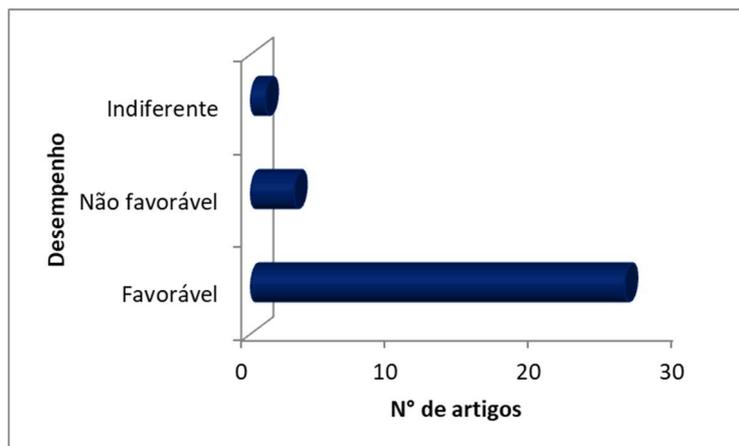


Figura 6: Análise de desempenho do pó de rocha

A utilização da tecnologia da rochagem pelos pecuaristas é facilitada pela simplicidade de suas premissas, pelos resultados obtidos em termos de produtividade e pelos baixos custos, uma vez que há uma grande disponibilidade de rochas (ou seus subprodutos) adequadas para esse uso (RAMOS et al, 2022).

Estudos antigos avaliando a aplicação do pó de rocha em áreas de pastagem encontraram efeitos pequenos, mas estatisticamente insignificantes, no crescimento e absorção de K para uma mistura de forragem de capim *Brachiaria dyctioneura* e da leguminosa *Pueraria phaseoloides*. A falta de resposta significativa foi relacionada às quantidades inesperadamente altas de K nativo no solo e, portanto, bons rendimentos na parcela de controle, sugerindo que o K não era uma limitação séria neste local (SCOVINO et al., 1988).

Em estudos mais recentes de Tavares et al. (2019), Bakken et al. (2000) e Franzosi et al. (2014) resultados semelhantes foram observados. O pó de rocha quando aplicado sozinho não afeta o rendimento quando comparado com sua combinação com o composto, sendo que a combinação dos mesmos não diferiu significativamente do rendimento do composto sozinho. No entanto, os compostos enriquecidos com pó de rocha resultaram nos maiores teores de K e Si na grama e no solo residual (TAVARES et al., 2018). Bakken et al. (2000), estudando o uso do pó de rocha no crescimento de pastagens observaram que o feldspato foi ineficaz e o KCl superou os tratamentos de rocha no primeiro e segundo ano, enquanto no terceiro e último ano, quando não foram fornecidos fertilizantes K ou feldspato, os carbonatitos residuais ricos em nefelina/biotita suportaram o crescimento da grama tanto quanto o KCl residual. Comparando KCl e glauconita para uma mistura de grama cultivada em um solo ácido (pH 4,9) que não foi especificado, verificou-se que o KCl produziu rendimentos ligeiramente superiores nas primeiras colheitas, embora a glauconita tenha tido rendimentos globais mais elevados após 5 colheitas (FRANZOSI et al., 2014).

Por outro lado, alguns estudos apontam aspectos benéficos da aplicação do pó de rocha no desenvolvimento de plantas forrageiras. Campbell (2009), avaliando os efeitos em uma pastagem mista, assim como Ramezani et al. (2013), cultivando duas cultivares de trigo (*Triticum aestivum*) e uma mistura de forragem/grama, encontraram efeitos significativos na produtividade, química do solo ou microbiologia. Curiosamente, Dahlin et al. (2015), encontraram aumentos significativos na produção de trevo vermelho (*Trifolium pratense L., cv. Nancy*), mas não para azevém perene (*Lolium perenne L., cv. Helmer*), enquanto

Ramezani et al. (2015), relatam resultados opostos para a mesma espécie de planta, com maior produtividade para azevém, mas não para trevo.

Ainda há relatos de que o pó de rocha aumentou vários reservatórios de K do solo (solúvel em água, trocável e não trocável), absorção de K e produção de capim do Sudão (*Sorghum vulgare*) em dois alfissolos (BASAK et al., 2009). Nesse mesmo trabalho e os rendimentos também aumentaram com a inoculação de moscovita com bactérias solubilizadoras de silicato (*Bacillus mucilaginosus*). Hanly et al. (2005), encontraram significativo suprimento de Mg para gramíneas cultivadas em solos incorporados com pó de rocha. Após 29 meses, o rendimento não foi aumentado pelo uso do pó de rocha.

Além disso, um resultado interessante foi observado por Shah et al. (2018). Estes autores misturaram um pó de rocha comercial com composição basáltica, com esterco bovino, o que reduziu significativamente as emissões de NH₃ do esterco após a aplicação em campo. O crescimento da grama e do milho aumentou e a recuperação aparente de nitrogênio foi 2 a 3 vezes maior em comparação com o esterco não modificado.

Alguns autores encontraram resultados similares entre a utilização de pó de rocha e remineralizadores convencionais. Santos et al. (2016), testaram rocha verde pura e alterada (acidificada e calcinada, rica em glauconita e K-feldspato) em um latossolo em dois experimentos de cultivo. O verde não tratado foi eficaz para melhoria das características produtivas do milho e eucalipto, mas alcançou o maior rendimento e fornecimento de K para o crescimento subsequente da grama. As rochas alteradas e o KCl aumentaram igualmente a absorção de K no eucalipto e no milho, enquanto a produção de matéria seca aumentou apenas no milho.

Diante dos resultados dos artigos selecionados nesta revisão, quanto à interação do pó de rocha e os atributos químicos, físicos e biológicos do solo interferindo ou não na produção de forrageiras observa-se que são necessários o estabelecimento de protocolos específicos para avaliação da fertilidade do solo a partir de um insumo de disponibilidade lenta de multinutrientes. Sendo assim, faz-se necessário reavaliar desde a proposta de coleta de amostras de solo até os extratores dos nutrientes para as análises químicas do solo. Adicionalmente, a implementação da análise biológica do solo contribuirá para melhor entendimento da tecnologia da rochagem na modificação da fertilidade do solo, nutrição da planta, em especial a médio e longo prazo. Tais padronizações de rotina na coleta, processamento e interpretação dos dados científicos podem evitar as várias controvérsias que são observadas nas literaturas quanto aos resultados das pesquisas com a tecnologia da rochagem.

Faz-se necessário a análise dos custos financeiros para afirmar a viabilidade do uso da tecnologia. Por mais que a substituição total dos fertilizantes solúveis não seja possível e viável, integrar o uso de materiais disponíveis e com condições de utilização pode vir até a ser uma forma de atenuar problemas relacionados a estrutura de solo, controle de plantas daninhas, doenças, tendo como consequência uma diminuição nos custos totais da produção (DETTMER et al., 2020). Além disso, Tebar et al. (2021), sugere que os trabalhos desenvolvidos na área da rochagem avaliem os atributos físicos, como a porosidade do solo, e os microbiológicos, como as enzimas microbianas e a formação de micorrizas, pois estes atributos podem influenciar a solubilização do pó de rocha, afetando, conseqüentemente, os atributos químicos do solo. No

quadro 2, estão sumarizados os dados que foram extraídos dos artigos analisados neste estudo.

Quadro 2: Extração de dados dos artigos selecionados informando o título do artigo, autor e ano de publicação, cultura estudada, o desempenho da cultura na presença do pó de rocha e as principais conclusões do trabalho.

Título Original	Tipo de cultura	Desempenho da cultura na presença do pó de rocha	Autor (Ano de publicação)	Conclusões dos autores
Efeito residual do pó de rocha basáltica nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no estado nutricional da cultura da soja	Soja	Indiferente	Tebar et al. (2021)	O efeito residual da aplicação do pó de basalto ocasionou aumento nos teores de Fe na camada de 0-10 cm, do pH em água e do Mn na camada de 10-20 cm, porém não interferiu no quociente metabólico e microbiano do solo.
Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland	Mistura de pastagem - timothy (<i>Phleum pratense</i> L.) e meadow fescue (<i>Festuca pratensis</i> L.)	Não favorável	Bakken et al. (2000)	A liberação de K a partir da biotita e/ou nefelina em carbonatitos triturados, concentrado de biotita e epidoto xistos é lenta para repor o estoque nativo de K disponível para plantas dentro de um período de três anos com cinco colheitas. O K do K-feldspato foi praticamente indisponível para as gramíneas.
Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss	Milho, azevém, pak-choi	Favorável	Wang et al. (2000)	A liberação líquida do mineral K foi muito influenciada pelas espécies vegetais, ocorrendo uma maior liberação do mineral potássio no milho e no azevém. A disponibilidade do K a partir da rocha do tipo gnaisse foi significativamente estimulada pelas raízes da pak-choi, do milho e do azevém em especial pelas duas últimas espécies.
Atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído	Soja e Sorgo	Favorável	Batista et al. (2017)	A utilização de pó de basalto em pastagem degradadas em Latossolo Vermelho Amarelo proporcionou aumento do pH do solo sem uso de calagem, liberação de Ca, P e Si no solo cultivado com soja em sucessão com sorgo.
Nutrição de milho após adição de sienito e substâncias húmicas	Milho	Favorável	Santos et al. (2017)	De maneira geral a relação remineralizador x AH foi benéfica para as plantas de milho ao incrementar maiores teores de K ⁺ , de P-PO ₄ ³⁻ nas amostras em presença do AH e maiores doses de remineralizador. A presença do remineralizador no solo reduziu a absorção de Al ³⁺ e Na ⁺ dos tecidos vegetais das plantas.
Efeito do emprego de fonte alternativa de potássio na produtividade de pastagem	Capim Mombaça	Favorável	Cunha e Neto (2015)	A adubação potássica, independente da fonte usada, não afetou a produtividade de matéria seca da pastagem de Mombaça. O pó de rocha não afetou a produtividade de matéria seca da pastagem, contudo seu efeito foi semelhante ao observado, quando foi usado o cloreto de potássio.
Uso de "pó de rocha" em sistemas de produção agrícola: breve análise sobre viabilidade técnica	Milho	Favorável	Dettmer et al. (2020)	Ocorreu superioridade em termos de produtividade do basalto em cobertura, quando se comparou o uso de adubação química solúvel na base de plantio.
Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado	Milho	Favorável	Resende et al. (2006)	Os fosfatos naturais apresentaram relação benefício/custo melhor em comparação ao superfosfato triplo e ao termofosfato independente se aplicados no sulco de plantio em dose única ou parcelado, ou em área total. O custo/benefício foi determinado pelos índices de eficiência agrônômica e econômica.
Desempenho de um fertilizante mineral misto produzido a partir de fosfato natural sedimentar	Milho e feijão	Não favorável	Dias et al. (2020)	O superfosfato simples foi mais eficiente que fertilizante mineral misto na produção de massa seca e no acúmulo de P. O fertilizante mineral misto proporcionou maiores valores de P disponível no solo após os três cultivos em comparação ao superfosfato simples.
Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate	Soja	Favorável	Oliveira et al. (2011)	A aplicação conjunta de fontes de P parece ser uma opção agronomicamente viável, uma vez que o efeito residual do pó de rocha permanece no solo por pelo menos dois anos-safra. É possível determinar as doses de P não só em função da produtividade, mas também em função de aspectos relacionados ao custo de cada fonte e ao efeito residual do pó de rocha, possibilitando um melhor planejamento da aplicação do fertilizante P na cultura da soja.
Phosphorus acquisition from phosphate rock by soil cover crops, maize, and a buckwheat-maize cropping	Milho e trigo	Favorável	Lopes et al. (2022)	O trigo sarraceno pode ser cultivado em solos que recebem fertilizantes de P de dissolução lenta para mobilizar o P da rocha e torná-lo disponível para as safras subsequentes em sistemas consorciados.

system				
Yield, nutritional status and soil chemical properties as response to cattle manure, reactive natural rock phosphate and biotite schist in Massai grass	Capim Massai	Favorável	Moreira et al. (2009)	A aplicação de fosfato natural reativo aumentou a produção de matéria seca de capim Massai, porém esse efeito não foi observado no tratamento com esterco bovino e biotita xisto. Os teores foliares de N, K e Mg (esterco bovino), P e B (fosfato natural) e K (biotita xisto) foram influenciados significativamente pelos tratamentos.
Rochas moídas como fontes de potássio para o milho em solo de cerrado	Milho	Favorável	Resende et al. (2015)	O extrator Mehlich 1 mostra boa eficiência na predição da disponibilidade de potássio no solo, após a aplicação das rochas. A rocha ultramáfica se destaca por apresentar maior eficiência relativa no suprimento de K, além de efeitos benéficos adicionais ao desenvolvimento das plantas, como poder corretivo da acidez e liberação de outros nutrientes, atuando como um condicionador de solo.
Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas	<i>Brachiaria ruziziensis</i>	Favorável	Andrade et al. (2009)	A maior produção de matéria seca (MS) de <i>Brachiaria ruziziensis</i> foi atingida com a aplicação de 200kg P ₂ O ₅ /ha na forma solúvel. Não houve efeitos significativos do carbonatito como fonte de P no incremento de MS em comparação com o tratamento em que não foi aplicado fosfato ao solo. No entanto, quando uma quantidade de fosfato solúvel (100 kg P ₂ O ₅ /ha) foi aplicada com a dose mais elevada de carbonatito (200 kg P ₂ O ₅ /ha), o aumento MS foi significativo. O P acumulado no tecido das plantas nos tratamentos com carbonatito foi significativamente menor do que nas plantas tratadas com fosfato solúvel.
Evaluation of the agricultural potential of the serpentinite rock as a soil remineralizer	Feijão e Milho	Favorável	Viana et al. (2021)	Análises químicas e mineralógicas mostraram que o serpentinito apresentou altos teores de MgO total. Não foi observada diferença estatisticamente significante para a produção de massa seca de milho nos tratamentos com serpentinito e calcário dolomítico, bem como nos tratamentos com serpentinito puro e mistura com fonolito. O serpentinito foi capaz de fornecer e suprir as necessidades de Mg para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho e feijão. Infere-se que os remineralizantes testados (serpentinito puro e a mistura com fonolito), foram capazes de suprir o Mg e atender as necessidades da planta, e o maior teor de Mg da planta no controle com uso do calcário dolomítico foi atribuído ao consumo luxu do elemento.
Biossolubilização de fosfatos naturais e crescimento de milheto (<i>Pennisetum americanum</i>)	Milheto	Favorável	Dias et al. (2011)	Aplicação direta do microrganismo solubilizador no solo proporcionou o aumento da massa seca do milheto o que não ocorreu quando se aplicou a rocha pré-inoculada com o microrganismo. O efeito do microrganismo e da rocha sobre o acúmulo de massa na cultura do milheto aumenta em cultivos sucessivos.
Maize yield influenced by the residual effects of sedimentary phosphates in high-calcium soil	Milho	Favorável	Souza et al. (2020)	Os fosfatos de rocha influenciaram o rendimento de grãos do milho mesmo quatro anos após sua aplicação inicial, mas apenas em tratamentos sem a adição anual de fertilizante fosfatado solúvel. Altas produtividades de grãos foram obtidas quando a aplicação de fosfato natural a lanço e incorporada foi complementada com uma aplicação anual de fosfato de 60 e 120 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ano ⁻¹ durante o período de 2013 a 2015.
Production, nutritional status and chemical properties of soils with addition of cattle manure, reactive natural phosphate and biotite schist in Massai cultivar	Capim Massai	Favorável	Moreira et al. (2010)	O fosfato de rocha natural é mais eficiente no aumento da matéria seca da cultivar Massai do que esterco de gado fresco e xisto de biotita. A concentração de Na e K na produção de matéria seca aumenta com a adição de esterco bovino, enquanto o fosfato natural de rocha aumenta o P e o B e o xisto de biotita a concentração de K. A aplicação de esterco bovino melhora o teor de matéria orgânica e S-SO ₄ , o fosfato natural aumenta o nível de P, a matéria orgânica do solo e o H + Al trocável, e a biotita xisto o K trocável.
Nepheline syenite and phonolite as alternative potassium sources for maize.	Milho	Favorável	Nogueira et al. (2021)	A aplicação de doses de K através de fontes de nefelina sienito, fonólito e KCl não influenciou o pH do solo. A aplicação de nefelina sienito e fonólito teve efeito semelhante nos atributos químicos do solo (MO, pH, SB, CEC e BS), bem como nas concentrações de K, Ca, Mg e S, em ambos os solos. Todas as três fontes de K (NS, PN e KCl) aumentaram o acúmulo de K nas plantas de milho. Esta pesquisa demonstrou a eficiência de nefelina sienito e fonolito como fontes alternativas de K para o milho.
Successive off take of elements by maize grown in pure basalt powder	Milho	Favorável	Krahl et al. (2020)	A esmectita presente no basalto contribuiu para a alta capacidade de troca catiônica, indicando uma possível capacidade de transformar cátions em ambiente de solo. Portanto, as aplicações de basalto em Latossolos do Cerrado podem melhorar a qualidade do solo. O basalto foi capaz de fornecer nutrientes às plantas de milho em um curto período.
Agronomic efficiency of two	Soja	Favorável	Moreira et	As fontes e doses de P ₂ O ₅ e os dois tipos de calcário (dolomítico e

types of lime and phosphate fertilizer sources in Brazilian Cerrado soils cultivated with soybean			al. (2014)	calcítico) influenciaram significativamente a produtividade da soja, com a máxima eficiência técnica (MTE) sendo alcançada por aplicações estimadas entre 232 e 325 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ no tratamento com cal. dolomítico e de 249 a 382 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ no solo tratado com cal. calcítico dependendo da fonte de P utilizada.
Technical evaluation of glauconies as alternative potassium fertilizer from the salamanca formation, Patagonia, Southwest Argentina	Mistura de gramíneas (<i>Festuca rubra</i> , <i>Poa trivialis</i> , <i>Lolium perenne</i> e <i>Lolium multiflorum</i>)	Favorável	Franzosi et al. (2014)	Os resultados indicam que as areias verdes da formação salamanca são uma fonte alternativa eficaz de K de liberação lenta para fertilizantes com baixo custo de produção e tratamento em comparação com os custos de operação necessários para a mineração de sais solúveis de K em profundidade.
Influence of potassium solubilizing microorganism (<i>Bacillus mucilaginosus</i>) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (<i>Sorghum vulgare</i> Pers.) grown under two Alfisols	Capim-sudão (<i>Sorghum vulgare</i> Pers.)	Favorável	Basaki et al. (2009)	A aplicação de resíduos de mica inoculados com microrganismo solubilizador de K melhorou significativamente o rendimento de biomassa, a absorção e a porcentagem de recuperação de K pelo capim do Sudão comparado ao controle (sem K).
Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock	Capim em sucessão com milho e eucalipto	Favorável	Santos et al. (2016)	A rocha de silicato pode ser beneficiada para ser um fertilizante de K eficaz. Processos térmicos e químicos são eficientes para aumentar a disponibilidade de K por essas rochas e se mostram promissores para a produção de fertilizantes solúveis em K.
Waste recovered by-products can increase growth of grass-clover mixtures in low fertility soils and alter botanical and mineral nutrient composition	Azevém perene (<i>Lolium perenne</i>) e trevo vermelho (<i>Trifolium pratense</i>)	Favorável	Dahlin et al. (2014)	O pó de rocha, piroxênio-andesito, aumentou a produção geral de biomassa e interferiu nas concentrações de nutrientes das espécies vegetais em graus variados. Além disso, o equilíbrio competitivo entre capim e trevo foi alterado levando a diferentes composições botânicas nos diferentes tratamentos e consequentemente diferenças nas concentrações de nutrientes da mistura de espécies. Os dados indicam que o pó de rocha pode melhorar tanto a quantidade quanto a qualidade da forragem em solos pobres em nutrientes na ausência de fertilizantes ou como complemento à fertilização com macronutrientes.
The use of rockdust and composted materials as soil fertility amendments	Azevém	Não favorável	Campbell (2009)	Concluiu-se que o pó de basalto não demonstrou influenciar o rendimento ou a qualidade das plantas no ambiente agrícola do ensaio de campo, nem mostrou ser uma adição útil ao meio de crescimento de plantas. Portanto, o pó de rocha não pode ser provado como uma correção útil da fertilidade do solo.
Assessing biogas digestate, pot ale, wood ash and rockdust as soil amendments: effects on soil chemistry and microbial community composition	Azevém perene (<i>Lolium perenne</i> L., cv. Helmer) e trevo vermelho (<i>Trifolium pratense</i> L., cv. Nancy)	Favorável	Ramezani et al. (2015)	O pó de rocha vulcânica, cinza e biogás foram moderadamente benéficos e não alteraram a comunidade microbiana do solo comparados ao tratamento com o uso de fertilizantes químicos. Os autores discutem sobre a dinâmica populacional dos microrganismos do solo e a disponibilidade dos nutrientes em cada tratamento.
Bedding additives reduce ammonia emission and improve crop Nuptake after soil application of solid cattle manure	Campo de pastagem e milho	Favorável	Shah et al. (2018)	A aplicação de aditivos como pó de rocha de zeolito, farinha de lava e camada superficial de solo arenoso em cama de frango reduziu notavelmente as emissões de NH ₃ . A cama de frango ao ser usada como condicionador de solo, devido a redução das perdas de N, resultou em recuperação aparente 2 e 3 vezes mais das culturas forrageiras e de milho (no início do enchimento de grãos), respectivamente. O estudo demonstrou com sucesso que o uso de aditivos durante a cama dos animais tem grande potencial para melhorar o valor agroambiental do esterco através da redução das perdas de N gasoso e melhoria na absorção do N nas lavouras.
Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions	Capim brachiaria (<i>Urochloa decumbens</i>)	Favorável	Tavares et al. (2018)	Não houve evidências de que o processo de compostagem promoveu o biointemperismo dos fonólitos. Por outro lado, a aplicação conjunta de fonólito em pó com compostos orgânicos, seja como componente inicial da pilha de compostagem ou aditivo aos compostos estabilizados, é uma estratégia que potencializa a bioliberação de nutrientes da fonte mineral.
Effect of serpentine rock and its acidulated products as magnesium fertilizers for pasture, compared with magnesium oxide and Epsom	Pastagem	Favorável	Hanly et al. (2005)	O efeito do óxido de magnésio na concentração de Mg da forragem foi semelhante ao da rocha serpentinito durante o primeiro ano, mas o desempenho subsequente do óxido de magnésio foi semelhante ao dos fertilizantes de Mg mais solúveis.

salts, on a Pumice Soil. 1. Dry matter yield and magnesium uptake				
---	--	--	--	--

CONCLUSÕES

As publicações de cunho científico com rochagem vêm crescendo ao longo dos últimos anos, abordando a caracterização de rochas ou dos rejeitos de mineradoras e seu uso e impacto nos processos físicos, químicos e biológicos no solo, na presença de diversas espécies vegetais e tipos de solos.

Neste estudo, o uso do pó de rocha demonstrou, na maioria das vezes, ganho em fertilidade do solo e/ou produtividade da planta avaliada, o que o classifica como um insumo que pode substituir parcialmente a adubação química solúvel, ou até mesmo a substituição total dos adubos químicos nos sistemas agroecológicos e orgânicos, por exemplo. Além disso, é possível caracterizar o pó de rocha como insumo agrícola que reduz os resíduos de mineradoras, por dar um fim nobre ao rejeito, agregando valor ao minerador. Destaca-se a necessidade de estudos relacionados à aplicação de pó de rocha em pastagem, pois estas culturas constituem fortes agentes biológicos recuperadores dos solos, além de serem necessárias nos sistemas de produção animal. Além disso, a padronização de protocolos, o desenvolvimento de ferramentas para melhor análise de insumos de liberação lenta de nutrientes no solo, o estudo de custo-benefício da rochagem são pontos importantes de investigação científica. A rochagem é uma tecnologia com grande potencial para a agricultura tropical que carece de pesquisa, de forma a atender as demandas dos agricultores/produtores como um insumo alternativo aos fertilizantes químicos solúveis que dominam o mercado atual.

Os autores agradecem à Companhia Brasileira de Lítio - CBL pela doação do pó de rocha e demais contrapartidas não financeiras. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG pelo apoio técnico, logístico e financeiro.

Nada declarado pelos autores em conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; SVEISTRUP, T.; MYHR, K.. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.56, p.53-57, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009709914578>

BASAK, B. B.; BISWAS, D. R.. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. **Plant Soil**, v. 317, p.35-255, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9805-z>

BAULCOMBE, D.. **Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture**. London: The Royal Society, 2009.

CAMPBELL, N. S.. **The use of rockdust and composted materials as soil fertility amendments**. Tese (Doutorado em química - University of Glasgow, Glasgow, 2019.

CARDOSO, A. S.. Efeito do biochar sobre o pH de solo

tropical e temperado sob diferentes níveis de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35. **Anais**. Natal, 2015.

CHOE, Y.; KIN, M.; WOO, J.; LEE, M. J.; LEE, J. I.; JU, E. L.; KYOUNG, Y. L.. Comparing rock-inhabiting microbial communities in different rock types from a high arctic polar desert, **FEMS Microbiology Ecology**, Vol. 94, n. 6, p. 1-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy070>

DAHLIN, A. S.; RAMEZANIAN, A; CAMPBELL, C. D; HILLIER, S.; ÖBORN, I. Waste recovered by-products can increase growth of grass-clover mixtures in low fertility soils and alter botanical and mineral nutrient composition. **Annals of Applied Biology**, v.166, n.1, p.105-117, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12168>

DIXON, A. P.; FABER-LANGENDOEN, D.; JOSSE, C.; MORRISON, J.; LOUCKS, C. J.. Distribution mapping of world grassland types. **Journal of Biogeography**, v.41, n.11, p.2003-2019, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.12381>

- FRANZOSI, C.; CASTRO, L. N.; CELEDA, A. M.. Technical Evaluation of Glaucconites as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina. **Nat. Resour. Res.**, v.23, p.311-320, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9232-1>
- FAO. **How to feed the world in 2050**. High level expert forum. Rome: FAO, 2009.
- FIGUEIREDO, M. G.; BARROS, A. L. M.; GUILHOTO, J. J. M.; SPOLADOR, H. F. S.. As Funções da Agricultura na Economia do Estado do Mato Grosso. **MPRA**, n.54565, 2003.
- GARRETT, R. D.; KOH, I.; LAMBIN, E. F.; DE WAROUX, Y. L. P.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. C.. Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v.53, p.233-243, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011>
- HANLY, J. A.; LOGANATHAN, P. L.; CURRIE, L. D.. Effect of serpentine rock and its acidulated products as magnesium fertilisers for pasture, compared with magnesium oxide and Epsom salts, on a Pumice Soil. 1. Dry matter yield and magnesium uptake. **Journal of Agricultural Research**, v.48, p.451-460, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1080/00288233.2005.9513679>
- ISLAM, N.; RABHA, S.; SILVA, L. F. O.; SAIKIA, B. K.. Air quality and PM₁₀-associated poly-aromatic hydrocarbons around the railway traffic area: statistical and air mass trajectory approaches. **Environ. Geochem. Health**, v.41, p.2039-2053, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00256-z>
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. São Paulo: ANDA, 1994.
- LOPES, A. V.; CHAN, M. F.; CARDOSO, T. M.; MARTINS, E., S.; CASAGRANDE, J., C.; MARIANO, E. A.. Phosphorus acquisition from phosphate rock by soil cover crops, maize, and a buckwheat-maize cropping system. **Sci. Agric.**, v.79, n.4, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0319>
- LOPES, M. A.. Escolhas estratégicas para o agronegócio brasileiro. **Revista Política Agrícola**, Brasília, v.26, n.1, 2017.
- MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICREW, M.; SHEKELLE, P.; STEWART, L.; Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic Reviews**. Ottawa, vol. 4, n.1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- MORILLAS, H.; MAGUREGUI, M.; GALLEGU-CARTAGENA, E.; SILVA, L. F. O. Astete, F. Evaluation of the role of biocolonizations in the conservation state of Machu Picchu (Peru): the Sacred Rock. **Sci. Total Environ.**, vol. 654, p. 1379-1388, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.299>
- OENEMA, O.; DE KLEIN, C.; ALFARO, M. Intensification of grassland and forage use: Driving forces and constraints. **Crop. Pasture Sci.** Vol. 65, p. 524-537, 2014. DOI: <https://doi.org/DOI:10.1071/CP14001>
- PIGATTO, R. S.; FRANCO, D. S. P.; SCHADECK, M.; JAHN, S. L.; DOTTO, G. L.. An eco-friendly and low-cost strategy for groundwater defluorination: adsorption of fluoride onto calcinated sludge. **J. Environ. Chem. Eng.**, Santa Maria, v.8, n.6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104546>
- PRIYONO, J.; GILKES, R. J.. High-energy milling improves the effectiveness of silicate rock fertilizers: a glasshouse assessment. **Communications in soil science and plant analysis**, v.39, n.3-4, p.358-369, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620701826498>
- RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S.. **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2005.
- RAMEZANIAN, A. A.; DAHLIN, S.; CAMPBELL, C. D.; HILLIER, S.; ÖBORN, I.. Assessing biogas digestate, pot ale, wood ash and rockdust as soil amendments: effects on soil chemistry and microbial community composition. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.65, n.5, p.383-399, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1014831>
- RAMOS, C. G.; JAMES, H. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H.. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. **Geoscience Frontiers**, v.13, n.1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>
- SANTOS, W. O.; MATTIELLO, E. M.; VERGÜTZ, L.; COSTA, R. F.. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.179, n.4, p.547-556, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201500484>
- STRAATEN, P. V.. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.78, n.4, p.731-747, 2006.
- STREIT, A. F. M.; COLLAZZO, G. C.; DRUZIAN, S. P.; OLIVEIRA, L. F. S.; DOTTO, G. L.. Adsorption of ibuprofen, ketoprofen, and paracetamol onto activated carbon prepared from effluent treatment plant sludge of the beverage industry. **Chemosphere**, v.262, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128322>
- TAVARES, L. F.; CARVALHO, A. M. X.; CAMARGO, L. G. C.; PEREIRA, S. G. F. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v.7, p.89-98, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0194-x>
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E.. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. **Anais**. Pelotas, 2010.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**, Brasília, v.9, n.2, p.263-292, 2006.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHA, E.; MACEDO, I.; REGO, K. G.. Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization

of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation. **An.**

Braz. Acad. Soil Sci., v.85, p.23-34, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000100003>

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.. Sustainable farming

with native rocks: the transition without revolution. **Anais**

Acad. Bras. Ciências, v.78, n.4, p.715-720, 2006. DOI:

<https://10.1590/S0001-37652006000400007>

WANG, J. G.; CAO, Y. P.; ZHANG, F. S.; ZHANG, X. L.. Effect of

plant types on release of mineral potassium from gneiss.

Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.56, p.37-44, 2000.

DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009826111929>

WEID, J. M.. A transição agroecológica das políticas de

crédito voltadas para a agricultura familiar. **Revista**

agriculturas, v.3, n.1, p.18-20, 2006.

ZAMBERLAN, D. C.; HALMENSCHLAGER, P. T.; SILVA, L. F.

O.; DA ROCHA, J. B. T.. Copper decreases associative learning

and memory in *Drosophila melanogaster*. **Sci. Total Environ.**,

v.710, p.135306, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135306>

Os **autores** detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A **CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03)** detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561158074883173777409>