



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

LETÍCIA NUNES DE MORAES

USO DE PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Brasília, DF

2021

LETÍCIA NUNES DE MORAES

USO DE PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS

Brasília, DF

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

MORAES, Letícia Nunes.

“USO DO PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA BRASILEIRA”. Orientação: Maria Lucrécia Gerosa Ramos. Brasília, 2021. 40 páginas.

Trabalho de Conclusão de Curso (G) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2021.

1. Agrominerais 2. Rochagem 3. Condicionadores de solos 4. Solubilizadores 5. Nutrição mineral 6. Remineralizadores

I. RAMOS, M. L. G. II. Dr^a

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MORAES, L. N. **Uso de pó de rocha na agricultura brasileira**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2021, 40 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome da autora: Letícia Nunes de Moraes

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Uso de pó de rocha na agricultura

GRAU: 3º **Ano:** 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

LETÍCIA NUNES DE MORAES

CPF: 039.251.161-41

CEP: 71.010-190

(61) 991496330/e-mail: leticia.nunes.demoraes@gmail.com

LETÍCIA NUNES DE MORAES

USO DE PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

BANCA EXAMINADORA:

Maria Lucrécia Gerosa Ramos
PhD, Universidade de Brasília – UnB

Alessandra Monteiro de Paula
Doutora, Universidade de Brasília – UnB

Walter Quadros Ribeiro Júnior
PhD, EMBRAPA Cerrados

Brasília, DF

2021

“Aqueles que contemplam a beleza da terra, encontram reservas de forças que irão perdurar enquanto a vida durar. Há algo infinitamente curativo nos refrões repetidos da natureza: a garantia de que o amanhecer vem depois da noite e a primavera depois do inverno.”

Rachel Carson

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família.

À minha mãe, por todo suporte e amor incondicional ao longo desses anos, pelo cuidado, carinho, por todo incentivo e por sempre ter acreditado em mim. Por toda luta e por ter sido meu principal exemplo de integridade e motivação para nunca desistir dos meus sonhos.

À minha avó, pelo amor incondicional, palavras de afeto e por sempre se orgulhar, me apoiar e acreditar em tudo que eu me propus a fazer em minha vida.

À Camilla, pelo companheirismo, paciência, dedicação, incentivo e parceria incondicional que tanto contribuem pela minha busca por conhecimento. Obrigada por sempre desejar minha felicidade e me ajudar a acreditar em mim mesma.

Gostaria de agradecer também à Professora e orientadora Dr^a Maria Lucrécia Gerosa Ramos, por todos os conhecimentos que tem me passado ao longo dos últimos anos. Pela excelente orientação, pela dedicação, confiança, amizade e principalmente pela realização desse e outros projetos ao longo da minha graduação e por todas as palavras de incentivo.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica e Microbiologia do solo, Stefany Braz e Daniel Salas por sempre compartilharem comigo seus conhecimentos, obrigada por toda a ajuda e momentos de aprendizado dentro do laboratório.

Agradeço também a Estela Reis Andrade por toda paciência para me ensinar e instruir dentro do laboratório, pelas conversas e por me mostrar minha capacidade de aprendizado.

À Universidade de Brasília – UnB, por todo aprendizado e oportunidades que foram a mim concedidas durante esses anos de graduação. Agradeço também a todos os professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV, pela dedicação e inspiração ao longo dos anos, em especial a Dr^a Rosa Maria de Deus, Dr^a Alessandra de Paula, Dr^a Selma Maggiotto e Dr^a Michelle Souza Vilela.

A todos que contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal, agradeço.

RESUMO

Devido a fatores econômicos e, principalmente, ambientais tornou-se necessária a busca por formas alternativas de fornecer nutrientes e equilíbrio para o sistema solo-planta. Por isso vem se discutindo o uso da rochagem em forma de pó de rocha na agricultura como forma de fornecer aumento da capacidade de retenção de carbono no solo, melhoria da capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de retenção de água (CRA), além de fornecer nutrientes que contribuem para fertilização do solo. O termo rochagem designa a aplicação direta de rochas moídas ou contendo finos naturais, utilizados na agricultura como forma de complementar a fertilização do solo. A disponibilidade de nutrientes pelas rochas moídas é considerada baixa e insuficiente para atender a demanda pelas culturas para a obtenção de altas produtividades. Para contornar essa limitação, o desenvolvimento de estratégias de melhoria da disponibilidade dos nutrientes presentes no pó de rocha se faz necessário, afim de consolidar seu uso como fonte alternativa aos fertilizantes convencionais. Dentre essas estratégias que vem sendo adotada para aumento da disponibilidade de nutrientes está o uso dos mecanismos dos microrganismos solubilizadores de nutrientes, que através da liberação de ácidos orgânicos serão cruciais para aprimorar a eficiência e acelerar a disponibilidade de nutrientes contidos nas rochas. O uso de remineralizadores, complementar à aplicação de fertilizantes convencionais nos solos brasileiros, é um recurso com valor agregado baixo o que pode ser utilizado tanto na agricultura familiar como por produtores que utilizam agricultura tecnificada, pois é uma prática fundamental para o desenvolvimento de um sistema agrícola sustentável que poderá diminuir a dependência de importação de fertilizantes. A rochagem tem como vantagem o fornecimento de vários nutrientes simultaneamente, devido à composição dos agrominerais e sua disponibilidade gradual de nutrientes. Os agrominerais são produtos da indústria extrativa mineral que podem fornecer elementos químicos para a indústria de fertilizantes ou para utilização direta na agricultura. As avaliações dos efeitos da rochagem na fertilidade do solo e nutrição mineral das culturas devem ser avaliadas por um período mais longo (1 a 10 anos) que fertilizantes convencionais devido à sua solubilização lenta. Pesquisas vem demonstrando como principais resultados a redução da acidez ativa, aumento nos teores de cátions e aumento da disponibilidade de fósforo, potássio e enxofre para as plantas. Com isso, o objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica atualizadas sobre as pesquisas que vêm sendo realizadas, além do potencial do uso de rochas moídas como fontes de nutrientes para plantas e remineralização dos solos.

Palavras chaves: agrominerais, rochagem, condicionadores de solo, solubilizadores, remineralizadores, nutrição mineral.

ABSTRACT

Due to economic and, mainly, environmental factors, it became necessary to search for alternative ways to provide nutrients and balance to the soil-plant system. For this reason, the use of rock dust-shaped rock powder in agriculture has been discussed as a way to provide increased carbon retention capacity in the soil, improved cation exchange capacity (CTC), water retention capacity (CRA) in addition to providing nutrients that contribute to soil fertilization. The term rock refers to the direct application of ground rocks or natural fines used in agriculture as a means of supplementing soil fertilisation. The availability of nutrients by ground rocks is considered low and insufficient to meet the demand for crops to obtain high productivity. To overcome this limitation, the development of strategies to improve the availability of nutrients present in rock powder is necessary, in order to consolidate its use as an alternative source to conventional fertilizers. Among these strategies that have been adopted to increase the availability of nutrients is the use of the mechanisms of the microorganisms that through the release of organic acids will be crucial to improve efficiency and accelerate the availability of nutrients contained in rocks. The use of remineralizers, complementary to the application of conventional fertilizers in the Brazilian soils, is a resource with low added value that can be used both in family agriculture and by producers who use technified agriculture, because it is a fundamental practice for the development of a sustainable agricultural system that could reduce dependence on fertilizer imports. The advantage of rock powder is the supply of several nutrients simultaneously, due to the composition of the agrominerals and their gradual availability of nutrients. Agronominerals are products from mineral extractive industry that can provide chemical elements for the fertilizer industry or for direct use in agriculture. Assessments of the effects of rock powder on soil fertility and mineral nutrition of crops should be evaluated over a longer period (1 to 10 years) than conventional fertilisers due to their slow solubilisation. Research has shown as main results the reduction of active acidity, increased levels of cations and increased availability of phosphorus, potassium and sulfur for plants. Therefore, the objective of this work was to carry out an updated bibliographic review on the research being carried out, in addition to the potential of the use of ground rocks as sources of nutrients for plants and remineralization of soils.

Key words: agrominerals, rock powder, soil conditioners, soothers, remineralizers, mineral nutrition.

Sumário

1 – INTRODUÇÃO.....	12
2 – OBJETIVO GERAL.....	15
2.1 Metodologia	15
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 O Cerrado	16
3.2 O Solo	17
3.3 Microrganismos.....	18
3.4 Uso de Pó de Rocha na agricultura brasileira.....	21
3.4.1. Principais rochas utilizadas no Brasil como remineralizadores.....	23
3.4.2 Pesquisas com o uso do pó de rocha	25
CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS.....	36

1 – INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro possui características ecológicas extremamente importantes para a sociedade brasileira e o desenvolvimento da agricultura. Por abrigar vários reservatórios hídricos e ter uma extensa biodiversidade, o cerrado torna-se um bioma único para o avanço da agricultura. Com a crescente demanda no aumento de produção de alimentos, a relação entre conservação e sustentabilidade saíram dos vieses ideológicos ganhando espaço nos pilares econômicos do capital natural, tendo como sua melhor forma para obedecer às exigências da agricultura, acoplar os conhecimentos científicos disponíveis para otimizar o uso do solo no bioma do cerrado (FILHO *et al.*, 2016).

Os solos do cerrado possuem como características: baixa CTC, pH ácido e baixa disponibilidade de nutrientes. Entretanto, o potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas e, as reservas desse nutriente nesse tipo de solo são baixas e ocorrem perdas por lixiviação. Para suprir a quantidade exigida pelas plantas cultivadas é necessária a reposição desse elemento via adubação para alcançar o ótimo desenvolvimento das culturas. A relação de todos esses fatores mostra que o manejo da adubação potássica, como: fontes, doses, métodos e época de aplicação possui uma grande importância para a manutenção e melhoria da produtividade de culturas em solos intemperizados do cerrado (JÚNIOR *et al.*, 2007).

Para se compreender a utilização de rochas como fonte de nutrientes para o solo, faz necessário o entendimento do termo “agrominerais” que, segundo Souza *et. al* (2010) são produtos da indústria extrativa mineral que fornecem elementos químicos para a indústria de fertilizantes ou para utilização direta pela agricultura, como :minerais de enxofre, fosfato, potássio e o calcário dolomítico utilizado para corretivo da acidez dos solos. Fontes de nutrientes presentes nesses agrominerais originam-se de diferentes formações geológicas, muitos dos quais ainda desconhecidos; em adição aos produtos e co-produtos de processos biológicos presentes na natureza e os microrganismos associados a esses produtos são capazes de promover o crescimento de plantas, ampliar a eficiência de absorção de nutrientes, dentre outras funções, que serão fundamentais para a consolidação de uma agricultura sustentável.

Na agricultura brasileira uma das principais fragilidades é a necessidade de importação de insumos que compõem as formulações dos fertilizantes solúveis (NPK). Com isso, mesmo com safras anuais batendo recordes indicando a eficiência da produção agrícola brasileira, futuramente pode ocorrer uma crise no setor devido à dependência externa de fertilizantes. Há, portanto, a necessidade de se obter fontes alternativas para suprir as demandas dos macros e

micronutrientes dos solos brasileiros como complementação à fertilização do solo (THEODORO *et al.*, 2011).

Uma das possibilidades, é o uso de pó de rocha que é um produto que irá funcionar como um remineralizador do solo, utilizado através da pratica de manejo denominada “rochagem”. O termo rochagem do inglês, *rock for crops*, designa a aplicação direta de rochas moídas ou contendo finos naturais (pó de rocha), utilizada na agricultura como forma de fertilizar o solo. Com exceção do nitrogênio, todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas são de origem mineral, portanto mesmo com a geodiversidade existente no Brasil, as rochas não possuem a capacidade de disponibilizar esses nutrientes de forma a acompanhar a alta demanda de produção exigida pelo agronegócio. Dessa forma se torna necessário a busca por modificações dessas rochas e minerais para disponibilizá-los como fertilizantes alternativos. (SOUZA *et al.*, 2010)

Várias pesquisas vêm sendo feitas para atender os parâmetros ambientais para o desenvolvimento das culturas, entre essas pesquisas, uma das que mais se destaca é a utilização de rochagem, que se baseia no uso de pó de rocha como fornecedor de nutrientes. A rochagem tem como principal objetivo a redução da utilização de fertilizantes minerais convencionais, tornando-se importante na remineralização do solo, fornecendo macro e micronutrientes a depender da rocha utilizada, alterando de forma positiva a fertilidade do solo sem afetar o equilíbrio ambiental. (BRITO *et al.*, 2019).

Além do Brasil possuir um grande geodiversidade englobando diferentes tipos de rochas, o pó de rocha também se destaca comparado a fertilizantes solúveis, por ser uma prática que se enquadra nos princípios dos 3 R's (do inglês: reciclar, reduzir e reutilizar), proposto durante a Convenção da Terra (ECO92), realizada no Rio de Janeiro, em 1992 (PARSON *et al.*, 1992)

O uso do pó de rocha no solo, altera ainda suas propriedades biológicas do solo, pois tanto os microrganismos do solo como as plantas liberam extracelularmente ácidos orgânicos que solubilizam minerais contidos no pó de rocha, dentre eles o potássio e fontes de fósforo insolúveis (GYANESHWAR *et al.* 2002; PENHA, 2016). Sabe-se que alguns dos elementos minerais são a fonte primária de nutrientes e no solo, as raízes e os microrganismos tem papel crucial no desenvolvimento das plantas (UROZ *et al.*, 2010). Os ácidos orgânicos aumentam a solubilidade de fosfatos e diminuem sua adsorção aos minerais de argila, aumentando sua disponibilidade. Além disso, os ácidos orgânicos quelam metais como Fe e Al e atuam como fonte de carbono para os microrganismos, estimulando suas populações na rizosfera com consequente efeito no desenvolvimento radicular (BOLAN *et al.* 1998). Outra vantagem é que

o uso de pó de rocha facilita o desempenho e a dinâmica dos fungos micorrízicos, promovendo uma melhor absorção dos nutrientes disponíveis ao solo (BRITO *et al.*, 2019).

Todavia, o aumento da fertilidade do solo através do uso do pó de rocha ocorre de médio ao longo prazo, pois sua solubilidade é baixa. Com isso é necessário não só a busca por formas alternativas de fornecer nutrientes aos solos e as plantas, mas também o desenvolvimento de pesquisas para melhorá-las, aumentando a solubilização dos minerais para disponibilizar os nutrientes de forma mais rápida e eficiente para as plantas (SUSTAKOWSKI, 2021).

2 – OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre o uso de pó de rocha na agricultura brasileira, aprofundando os resultados obtidos nos estudos desenvolvidos no bioma Cerrado

2.1 Metodologia

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica atualizada, a partir de: artigos, livros e teses, extraídos do banco de dados Scielo e de repositórios de algumas universidades. Estão sendo utilizados como descritores para realização das pesquisas; “técnicas de rochagem”, “uso de pó de rocha na agricultura”, “geodiversidade das rochas brasileiras”, “agrominerais do Brasil” e “vias alternativas de fornecimento de nutrientes para o solo”, com o principal objetivo de mostrar a importância e o desenvolvimento dessa tecnologia sustentável que é o uso do pó de rocha na agricultura brasileira.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Cerrado

O cerrado ocupa 24% do território nacional e é um bioma extremamente rico em diversidade da fauna e flora; é uma das regiões em que a agricultura brasileira mais avançou nas últimas décadas, com uma produção de culturas agrícolas anuais correspondendo a 40% da produção nacional e com a expansão da pecuária no país. Esses atributos fazem com que gerem debates quanto à sua preservação e o uso sustentável de seus recursos naturais (ARAGÃO *et al.*, 2020).

Outras características que são importantes destacar referentes ao cerrado é o fato desse bioma abrigar uma grande diversidade climática, com características equatoriais, tropicais e subtropicais. Também possui duas estações bem definidas; uma estação seca de inverno e uma outra úmida de verão, a distribuição de chuvas influencia toda a vegetação, que ao longo do tempo geológico, essas precipitações foram responsáveis pela lixiviação dos solos deixando-os pobres em minerais essenciais para o cultivo de plantas de interesse agrícola (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Os solos do cerrado possuem duas classes dominantes que são os Latossolos (44,1%) e os Neossolos Quartzarênicos (21,4%) (ARAGÃO *et al.*, 2020). Os Latossolos são solos altamente intemperizados, com pouca diferenciação entre as camadas no perfil de solo, são profundos e bem drenados; são extremamente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos o que configura uma baixa fertilidade, com isso para seu uso agrícola faz-se necessária a correção e adubação para aumentar sua saturação por bases, sua capacidade de troca catiônica e deixar seu pH adequado para disponibilidade de nutrientes para as culturas (SANTOS *et al.*, 2018).

A abrangência da ciência e tecnologia no setor agrário do cerrado tem promovido a modernização e a sustentabilidade da agricultura nessa região. Nas últimas décadas, o Cerrado tornou-se uma das regiões mais promissoras do país em relação à produção de culturas em alta escala. Essa visibilidade ocorreu a partir da década de 70 com investimentos governamentais, de empresas privadas e, principalmente, com o avanço técnico-científico desenvolvido nessa região. A produção das culturas nos últimos anos é caracterizada pelo cultivo de culturas voltadas para o mercado externo, assim como também, para as agroindústrias brasileiras,

consolidando-se como uma das principais regiões produtoras de grãos do país, onde destacam-se principalmente a soja e o milho (ARAGÃO *et al.*, 2020).

Os investimentos em pesquisas são fundamentais para a obtenção de tecnologias e inovações, principalmente nas alterações físico-químicas dos solos para que a região possa atender às novas demandas exigidas pela sociedade. Com isso a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) teve papel fundamental para tornar as terras do Cerrado produtivas (MATOS *et al.*, 2014).

Contudo, embora a modernização do campo nessa região tenha trazido avanços econômicos, pesquisas vem mostrando que essa exploração trouxe problemas sociais e ambientais, o que torna necessário o desenvolvimento tecnológico e científico que promovam sustentabilidade para essa região (MATOS *et al.*, 2014).

3.2 O Solo

O solo é um ambiente vivo que está em constante transformação, portanto para desenvolver quaisquer práticas de manejo, é necessário compreender a dinâmica do seu meio, assim como a contribuição da matéria viva para seu desenvolvimento. Abaixo encontra-se uma breve discussão acerca de pontos gerais importantes para o entendimento dos mecanismos presentes nos solos.

O solo é um recurso natural que deve ser manejado de forma sustentável. Esse sistema armazena e filtra a água, e atua como um regulador de temperatura e na emissão de gases do efeito estufa, além de ser importante para a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Os solos possuem diferentes composições devido ao processo de pedogênese que é entendido como o processo de formação dos solos, que envolve os processos de intemperismos físico e químico, o que irá determinar as características geoquímicas e morfológicas dos solos, e consequentemente irá configurar determinadas especificidades que contribuirão de maneiras positivas ou negativas para esse ecossistema (LINHARES *et al.*, 2021).

O solo possui uma dinâmica constituída por componentes sólidos, líquidos e gasosos que se origina de materiais orgânicos e minerais. Possui uma estrutura dividida em horizontes onde ocorrem diversas transformações, através de adições, remoções e translocações de origem química, biológica e física. A composição mineralógica do solo depende do material de origem e é bastante variável, sendo a maioria dos minerais que compõe as rochas: silicatos e óxidos,

contendo silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) (MENDONÇA, 2006).

O solo também é um importante reservatório biológico, com grande biodiversidade microbiana e metabólica que é essencial para que as transformações que mantêm o funcionamento desse sistema e os microrganismos são os principais agentes desencadeadores dessas reações. Os fatores bióticos e abióticos determinam a diversidade microbiana do solo e os microrganismos são importantes na liberação de nutrientes para o sistema solo-planta (CARDOSO *et al.*, 2016).

Dessa maneira percebe-se que o solo é um ambiente único, com várias propriedades que requerem práticas de manejo sustentável, sendo um ambiente que necessita de abundante biodiversidade para sua manutenção.

3.3 Microrganismos

A fração viva do solo tem papel extremamente importante na sua funcionalidade, pois é através dela que ocorre a manutenção do solo. Com isso, torna-se importante compreender a composição e funcionamento metabólico do microbioma dos solos brasileiros (CARDOSO *et al.*, 2016).

Os microrganismos estão diretamente ligados a processos, como: ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e remoção de toxinas, processos esses que mantêm a estrutura e a fertilidade dos solos. (PEIXOTO *et al.*, 2008)

A biodiversidade dos solos é fundamental para o estabelecimento de uma agricultura mais sustentável, devido aos danos ambientais causados pela agricultura convencional e torna-se essencial o conhecimento dos microrganismos e dos processos por eles desempenhados para utilizá-los como mediadores da preservação e conservação ambiental (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

A microbiota do solo, principalmente da rizosfera, que está presente no sistema solo-raiz constitui um dos principais grupos de organismos que contribuem com o crescimento e a sanidade da planta, pelo fato dessa comunidade realizar processos de decomposição da matéria orgânica, mineralização, solubilização, fixação de nitrogênio, dentre outros que disponibilizam os nutrientes necessários às plantas. Com isso, a interação entre as plantas e os microrganismos será responsável por grande parte da funcionalidade do solo, e quando ocorre de maneira

adequada irá influenciar diretamente no aumento da produtividade agrícola (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Contudo, devido a importância da microbiota para o solo discutida acima, é importante mencionar que os processos de mineralização e solubilização de nutrientes são processos-chaves mediados pelos microrganismos e de influência direta na eficiência da prática de rotação na agricultura. Por isso o presente capítulo irá discutir os mecanismos de solubilização e mineralização exercido pelos microrganismos em dois nutrientes, fósforo (P) e potássio (K), que são de extrema importância para o desenvolvimento das plantas.

As rochas são os principais reservatórios de P, sendo sua fonte primária de P_i as apatitas. No solo, o íon fosfato pode ser absorvido pelas plantas e os microrganismos que irão utilizá-lo para formar compostos orgânicos e converter P_i em P_o ; posteriormente essas formas orgânicas serão decompostas pela microbiota do solo retornando para sua forma inorgânica que poderá ser absorvido novamente pela biomassa microbiana, assimilado pelas plantas ou fixado no solo. Quando o P é fixado no solo, torna-se indisponível para as plantas, e, pela ação dos microrganismos solubilizadores de P poderá ser disponibilizado em formas disponíveis para as plantas e os microrganismos (CARDOSO *et al.*, 2016).

O P é um dos elementos mais importante para o crescimento das plantas, e está associado diretamente ao processo de produção de energia (ATP), fotossíntese e respiração e, dada a sua importância, é essencial conhecer sua dinâmica para a maior disponibilidade para as plantas. No solo, o P é encontrado na forma orgânica (P_o) e na fração inorgânica (P_i), representada pelo fosfato ($H_2PO_4^-$) que é a forma assimilável pelas plantas e microrganismos do solo, possui como característica uma baixa mobilidade e uma alta adsorção nos óxidos de Fe e Al, tornando-o deficiente na maioria dos solos brasileiros. Dada a sua importância para o desenvolvimento das plantas, vários estudos vêm sendo desenvolvidos para se aumentar a disponibilidade de P no solo, dentre esses estudos, está o conhecimento das transformações de P por meio da microbiota do solo e com isso promover o aumento da sustentabilidade em áreas agrícolas (CARDOSO *et al.*, 2016).

Como mecanismos que as plantas e os microrganismos possuem para a solubilização de P fixado no solo, estão a produção e liberação de ácidos orgânicos e ácidos inorgânicos. Os microrganismos excretam ácidos orgânicos, como: láctico, glicólico, cítrico, oxálico, málico, succínico e tartárico; e seus prótons associados que vão atuar dissolvendo diretamente o material fosfatado ou quelando os cátions (Ca, Mg, Al, Fe, Mn e Zn) que acompanham o ânion fosfatado e assim conseguem liberá-lo no solo e esse processo irá ocorrer através da oxidação do N-amoniacal e do enxofre, respiração microbiana e respiração das raízes que ao liberar seus

ácidos podem atuar nas rochas fosfatadas e elevar o P lábil no solo (CARDOSO *et al.*, 2016). Diante do exposto pode-se observar que a microbiota do solo possui extrema relevância para que a ciclagem de P possa ocorrer de maneira adequada nos ecossistemas, devido à sua capacidade de oxidação da matéria orgânica e solubilização do fosfato, além da mineralização de P orgânico.

Outro importante nutriente que deve ser discutido é o potássio (K), e é comum a utilização de rochagem para fertilização de solos, como exemplo: as rochas silicáticas que contem altas concentrações potássio. Entretanto, a liberação desse nutriente pode tornar seu uso inviável para atender a demanda da agricultura e com isso surge a possibilidade de utilizar microrganismos para liberar o potássio das rochas através do processo de solubilização.

A começar pelas bactérias que possuem mecanismos solubilizadores de potássio, classificados por: 1) solubilização direta, 2) solubilização indireta, 3) complexação pela secreção de polissacarídeos extracelulares, e 4) formação de biofilme. Através da solubilização direta, os microrganismos solubilizam potássio por meio da produção de ácidos orgânicos fortes, como ácidos oxálico, tartárico e cítrico e íons H^+ ; pela acidólise da rizosfera e de minerais. A exsudação de ácidos orgânicos é um mecanismo importante de solubilização de minerais potássicos, como mica, biotita, muscovita, feldspato, ilita e ortoclase. Outros ácidos orgânicos, como ácidos acético, glicólico, glicônico, lático, propiônico, malônico e fumárico, também demonstraram ter eficiência na solubilização de minerais potássicos. Já no mecanismo indireto de solubilização, os microrganismos irão solubilizar minerais potássicos por quelação dos cátions ligados a silicatos, por reações de troca e por fixação direta dos microrganismos solubilizadores de potássio nas superfícies dos minerais (ALVES *et al.*, 2021).

Os fungos solubilizam potássio através dos ácidos orgânicos, principalmente ácido oxálico, cítrico e glucônico, o que leva à dissolução de minerais silicáticos; outra importante ação exercida por fungos filamentosos é a capacidade de quebrar os minerais diminuindo o tamanho das partículas e criando superfícies reativas mais acessíveis à ação dos outros microrganismos (ALVES *et al.*, 2021).

Dessa forma podemos observar que as estratégias exercidas pelos microrganismos na solubilização e mineralização dos nutrientes são complexas e extremamente necessárias para estabilidade do solo. Assim sendo, também foi constada a importância que os microrganismos exercem para a liberação de nutrientes importantes, como o fosforo (P) e o potássio (K) que são altamente exigidos na agricultura brasileira, tornando-os disponíveis para as plantas através de seus mecanismos.

3.4 Uso de Pó de Rocha na agricultura brasileira

O Brasil conquistou sua posição de destaque como potência agrícola devido às tecnologias de manejo do solo e uso adequado de fertilizantes. A tropicalização dos cultivos e as diferenciações dos ciclos das culturas permitiram que se conseguisse cultivar em todas as condições climáticas brasileiras (LOPES, 2017).

Porém, a agricultura brasileira ainda necessita reagir a uma sociedade cada vez mais exigente quando se trata do desenvolvimento sustentável e também a mercados dinâmicos e competitivos, assim sendo, o futuro sustentável da agricultura no Brasil vai depender de atributos que vão precisar integrar uso de fontes alternativas de fertilizantes que possam tornar o processo de produção de alimentos renovável (LOPES, 2017).

Calcula-se que mais de 70% do total dos fertilizantes utilizados no país são derivados de fontes convencionais de nutrientes importadas para a formulação de fertilizantes químicos e esses possuem alta solubilidade (MARTINS *et al.*, 2010). O uso de fertilizantes à base de fósforo e o potássio são os mais intensivamente consumidos na cultura da soja e outras culturas (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Tem-se pesquisado a utilização de rochas in natura moídas, como fonte de fertilizante para a agricultura (Martins *et al.*, 2005) e a calagem é um dos tipos mais comuns de rochagem, pelo uso de rochas carbonáticas moídas (Martins *et al.*, 2010). O uso de pó de rocha na agricultura pode representar uma importante fonte de macronutrientes como fósforo, potássio, o que pode substituir parcialmente a adubação fosfática e potássica, pois, aproximadamente 50% dos fertilizantes consumidos no Brasil são importados, resultando em um alto custo de produção das culturas (Loureiro *et al.*, 2009).

Os agrominerais são matérias-primas de origem mineral, como: rochas, resíduos de mineração, garimpo e metalúrgica e podem ser usados na agropecuária, contribuindo de maneira positiva na fertilização, correção e condicionamento do solo (PÁDUA, 2012). A remineralização do solo foi explorada inicialmente pelo bioquímico Julius Hensel, considerado o pioneiro no ano de 1880, e a partir do seu livro *Bread from Stones* iniciou-se um movimento acerca do uso de remineralizadores. A moagem de rochas aumentou a escala do uso desses remineralizadores, abrindo um espectro para muitas pesquisas por meio de universidades, empresas comerciais e da Indústria de Pedra Natural, na Alemanha. Peter Von Fragstein e outros pesquisadores exploraram a remineralização como um tipo de fertilizante de liberação lenta, desenvolvendo essas pesquisas com diferentes tipos de rochas (CAMPE, 2013). De

acordo com este autor, o uso de pó de rocha tem sido bastante utilizado em vários países, principalmente no Canadá, Brasil, Tanzânia, Ilhas Canárias e África Ocidental.

O K é um dos nutrientes que compõem o pó de rocha e vários estudos foram desenvolvidos com o uso de pó de rochas para o fornecimento de potássio às plantas, sendo esta uma das rotas alternativas para a obtenção de fertilizantes potássicos (Resende et al., 2006). O efeito fertilizante ou remineralizador/condicionador das rochas depende de vários fatores, como a sua natureza mineralógica, composição química e grau de moagem, bem como, a sua interação com o solo, como os teores de matéria orgânica, sistema radicular das plantas e os microrganismos do solo e estes fatores podem interferir no processo de liberação de nutrientes do pó de rocha (Calvaruso *et al.*, 2010; Gyaneshwar *et al.* 2002; Penha, 2016; Martins *et al.*, 2015). Além disso, esse último autor cita que é possível diminuir a dependência de fontes externas de fertilizantes, além de ser uma alternativa para uma agricultura mais sustentável.

A adição de pó de rocha ao solo atua como uma fração silte e é reserva de nutrientes minerais (AMPARO, 2003). O basalto moído, por exemplo, tem sido uma alternativa positiva para restituir os nutrientes perdidos pelos processos de intemperismo e lixiviação no solo, que promovem perdas de K, Na, Ca e Mg, transformando argilas reativas (alta CTC) em grupos cada vez menos reativos (baixa CTC) (SILVA *et al.*, 2008).

Dentre os subprodutos da rochagem, tem-se o FMX (Finos de Mica Xisto), que é considerado um remineralizador de solo. A descrição petrográfica mostra que a rocha é um mica xisto composto por filos silicatos (biotita, muscovita e clorita) de granulação fina a média, intercalados por faixas de quartzo, plagioclásio e granada (Silva, 2017).

Também foi relatado que devido às chuvas intensas, em algumas regiões os fertilizantes NPK são perdidos por erosão superficial e lixiviados, tornando difícil seu armazenamento no solo e disponibilidade para as plantas, tornando-os inclusive, tóxicos para as águas subterrâneas. Com isso, os remineralizadores têm como vantagens, além do fornecimento de nutrientes para as plantas por períodos mais longos, a melhoria da capacidade de troca iônica dos solos, dando origem a novos minerais de argilas durante a sua liberação (CAMPE, 2013).

Tem-se observado que os remineralizadores apresentam efeito residual maior no solo, devido à ação de microrganismos, como bactérias oxidantes do enxofre, que também atuam na liberação de nutrientes contidos nessas rochas. Esses fertilizantes são obtidos de rochas com P (apatitas) e de rochas com K (biotitas, feldspatos, micas e sienitos) e, após serem moídas, necessitam da atividade microbiana e radicular para disponibilizar nutrientes às plantas, através da solubilização desses compostos. Por exemplo, microrganismos como o gênero

Acidithiobacillus podem contribuir com a liberação desses elementos através da sua produção de ácido sulfúrico (STAMFORD *et al.*, 2008).

Em 1990 ocorreu uma parceria entre a Embrapa Cerrados e a Universidade de Brasília, onde foi possível retomar os estudos que antes tinham sido iniciados pelos precursores da rochagem no Brasil, referentes ao uso de rochas como fontes alternativas de potássio em sistemas agropecuários (PÁDUA, 2012).

Como a disponibilização de nutrientes através dos pós de rochas ainda tem sido lenta, a comunidade científica tem buscado formas de aprimorar técnicas para aumentar a solubilização de nutrientes, como o fosforo e o potássio, por meio do uso de microrganismos. Experimentos como o mencionado por Franciscon (2013) vêm sendo realizados a fim de demonstrar a eficiência do uso de microrganismos para acelerar a disponibilidade de fosforo e potássio para as culturas, principalmente utilizando a microbiologia associada à biotecnologia. Dessa forma, foi constatado que utilizando-se cepas de microrganismos (bactéria, fungos e actinomicetos) testadas em alguns compostos minerais, com fontes de matéria orgânica e diversas faixas de pH, a capacidade que vários microrganismos possuem de solubilizar fontes minerais fosfatadas.

3.4.1. Principais rochas utilizadas no Brasil como remineralizadores

Estudos vem sendo realizados sobre da utilização das rochas como fonte de nutrientes para o solo, de forma a contribuir para uma agricultura sustentável. Experimentos estão sendo realizados afim de demonstrar a influência dos nutrientes contidos nas rochas para o desenvolvimento das plantas, assim como sua contribuição para remineralização dos solos, dentre essas rochas, abaixo serão citadas as principais, sendo que no próximo capítulo será discutida a aplicação de alguma delas em experimentos:

Tabela1: Principais rochas utilizadas no Brasil.

Rochas utilizadas como remineralizadores	Local de origem
Amazonito	Potiraguá, BA
Ardósia	Ituporanga, SC
Basaltos	Sul até o centro leste do Brasil.
Rochas fosfáticas	MG, GO, MS, BA, TO e AM
Flogopitito	Encontrada em diversos locais do país
Fonolitos	Encontrada em diversos locais do país
Rochas ultramáficas alcalinas	MG/GO
Vermiculita	Município de Queimadas (PI), Parnamirim (PE), Brumado (BA) e Santa Luzia (PB)

Fonte: Agrominerais para o Brasil, Luz *et al.* (2010)

3.4.2 Pesquisas com o uso do pó de rocha

O pó de rocha pode alterar as propriedades do solo (Alovisi *et al.* (2020), sendo utilizado como substrato na produção de mudas de hortaliças, como o tomate (Sampaio *et al.* (2008) e fruteiras como maracujá (Prates *et al.*, 2010) e camu-camu (Welter *et al.* 2011). Além disso, há trabalhos com grandes culturas, como a soja e o feijão (Dettmer *et al.*, 2019; Toscani e Campos, 2017). Tem-se estudado, ainda, o uso do pó de rocha na fertirrigação (Lopes *et al.*, 2019), inoculação de microrganismos no substrato para aumentar a solubilização de nutrientes (Lopes-Assad *et al.*, 2006) e pode, ainda ser utilizado no tratamento de efluentes (Zawadzki *et al.*, 2013).

Abaixo estão relatados os resultados dos trabalhos consultados indicando a utilização do pó de rocha na agricultura.

3.4.2.1 Plantas frutíferas

Há vários trabalhos mostrando que dependendo da composição química do pó de rocha utilizado e a dose, altera o desenvolvimento de mudas, como no trabalho de Welter *et al.* (2011). Os autores avaliaram o efeito da aplicação de pó de basalto composto por macro e micronutrientes, no desenvolvimento de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh). O experimento foi realizado em casa de vegetação em um latossolo amarelo distrófico de textura média e foram aplicadas seis doses de pó de basalto: 0; 0,42; 1,04; 2,08; 4,17 e 8,33g kg⁻¹ e duas granulometrias (0,05 e 0,10). Foi analisado principalmente o desenvolvimento inicial das mudas e os parâmetros para quantificar os resultados foram: determinação da altura, diâmetro do colo e número de ramos. Os autores demonstraram que houve influência da granulometria na altura das mudas, com isso as plantas que foram expostas à menor granulometria (0,05 mm) apresentaram um maior desenvolvimento que aquelas sob granulometria de 0,10 mm; o número de ramos e o diâmetro do colo não apresentaram diferenças significativas sob influência da granulometria. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido devido à maior disponibilidade de nutrientes que a menor granulometria do pó de basalto proporciona, aumentando a soma de bases (SB), o complexo de troca (CTC) e o pH, reduzindo o efeito do Al⁺³ no substrato, o que influencia no melhor desenvolvimento vegetativo. Por fim, foi observado que as melhores mudas de camu-camu foram obtidas a partir da adição do pó de basalto com granulometria 0,05mm, e as mudas onde não foi aplicado pó de

basalto apresentaram desenvolvimento inferior, constatando a eficiência do pó de basalto como fertilizante alternativo.

Outra fruteira em que se tem estudado o uso do pó de rocha como substrato é o maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg). Prates *et al.* (2010) avaliaram o crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo com adubação de superfosfato simples e pó de rocha. O experimento foi realizado em casa de vegetação com duas doses de pó de rocha (0 e 20 kg m⁻³ de substrato) combinadas com cinco doses de superfosfato simples (1,25; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 kg m⁻³ de substrato) em amostras de subsolo de um Latossolo Vermelho-Amarelo e de esterco curtido. Todos os índices de avaliação apresentaram interações entre as doses de superfosfato simples e o pó de rocha, exceto pelo diâmetro do caule que não apresentou diferenças entre os tratamentos, e a massa de matéria fresca da raiz que só sofreu efeito das doses aplicadas do superfosfato simples. Os autores obtiveram diminuição da adubação fosfata quando adicionada junto ao pó de rocha, que, de acordo com os autores esse fenômeno ocorre devido à adsorção por formas de fosforo amorfos ou carbonatos, devido a origem desse pó de rocha ser de desintegração de ardósias, mármore e granito. Com isso, o autor constatou que a dose de superfosfato simples para obter mudas com boas características esteve entre 3,0 e 6,5 kg m⁻³. Já para obter mudas com característica adequadas a dose de superfosfato simples adicionada com pó de rocha de marmoraria deve estar entre 6,0 e 10 kg m⁻³.

Prates *et al.* (2012) avaliaram o crescimento de mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em casa de vegetação com a adição de pó de rocha (pó de basalto) e superfosfato simples; o experimento foi conduzido com duas doses de pó-de-rocha (0 e 20 kg m⁻³ de substrato) e 5 doses de superfosfato simples (1,25; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 kg m⁻³ de substrato). O substrato utilizado foi produzido com 75% de solo (subsolo de Latossolo Vermelho Amarelo) e 25% de esterco bovino curtido. Os autores obtiveram que, o uso do pó de rocha associado ao superfosfato simples não alterou morfologia das plantas de pinhão-manso, devido à lenta liberação de nutrientes pelo pó de rocha

Lopes *et al.* (2019) avaliaram a aplicação de pó de rocha em videiras através da aplicação foliar desse remineralizador. O experimento foi conduzido em estufa experimental e posteriormente em campo. A pesquisa consistiu em um tratamento testemunha: T1 (sem adição do pó de rocha, utilizando apenas água destilada) e outros com pó de rocha diluindo em água destilada: T2 (solução de 50g/L do produto; T3 (solução de 100g/L do produto) e T4 (solução 200g/L de produto). O pó de rocha utilizado, foi oriundo da rocha Dacito de origem ígnea vulcânica e foi cedido pela empresa Mineração Florence Ltda (Flores da Cunha, Rio Grande do

Sul, Brasil). Foram avaliados: índice de clorofila, altura da parte aérea e comprimento da raiz. Ao final do experimento não houve alterações significativas da aplicação do pó de rocha na altura da parte aérea e o comprimento da raiz, mas houve aumento do índice de clorofila na última avaliação quando foi aplicada a dose 200g de solução de pó de rocha diluído em um litro de água (T4). Dessa maneira os autores concluíram que o uso de pó de rocha através da aplicação foliar demonstra ser eficiente contribuindo para nutrição mineral das plantas, sendo uma alternativa viável para a substituição parcial de fertilizantes químicos.

3.4.2.2 Plantas Hortalças

O pó de rocha pode ser adicionado ao substrato para a produção de mudas de hortalças, como o tomate. Em um trabalho desenvolvido por Sampaio *et al.* (2008) foram avaliados resíduos de fibra de coco e pó de rocha de granito na produção de mudas de tomateiro em comparação a aplicação do substrato comercial Hortimix que continha matéria orgânica ($22,60 \text{ g/dm}^3$), P disponível ($0,92 \text{ dag kg}^{-1}$), N total ($1,83 \text{ dag kg}^{-1}$), Ca ($0,24 \text{ dag kg}^{-1}$), Mg ($0,89 \text{ dag kg}^{-1}$). Os índices avaliados foram; o diâmetro do coleto, a altura da planta, porcentagem da emergência e massa seca e fresca da parte aérea e da raiz. Em comparação ao pó de rocha, o substrato comercial apresentou os melhores índices avaliativos e os autores explicaram que esse resultado se deve ao fato de o substrato comercial apresentar densidade e maiores teores de nitrogênio e fósforo o que favorece a aeração, respiração das raízes, maior nutrição, vigor e crescimento das plantas. Os autores relataram, ainda, que deve ser feita a combinação dos dois substratos (pó de rocha e fibra de coco), pois se utilizados isoladamente, as plantas tiveram menor desenvolvimento.

3.4.2.3 Grandes Culturas e uso de microrganismos

Tem-se utilizado também o uso de pó de rocha em grandes culturas, como a soja e o feijão. A aplicação do pó de rocha na soja, deve ser feita em período pré-plantio ou pré-instalação de cultura para que o material seja melhor absorvido e evitar danos as plantas (Dettmer *et al.*, 2019). Foi ressaltado também pelos autores que, além de ter incentivado o mercado local e regional, o uso o pó de rocha também contribuiu para o problema de depósitos do material, que antes era um problema para muitas mineradoras por ser considerado danoso ao ambiente, mas ao ser utilizado pelas plantas tornou-se uma fonte de adubo.

Silva *et al.* (2019) avaliaram características agronômicas de uma cultivar de soja com doses crescentes de pó de rocha “basalto gabro” variando entre T1:0,0 kg ha⁻¹ e T10: 27 t ha⁻¹. Em relação à produtividade, obteve-se diferenças significativas, onde os tratamentos com pó de rocha obtiveram as maiores médias de produtividade em comparação aos outros tratamentos, sendo o tratamento que se destacou mais T8 com valor médio de 5.918 kg por hectare. Com isso os autores relatam que o pó de rocha “basalto gabro” pode substituir com eficiência fertilizantes químicos e ainda possuem como vantagem contribuir para a sustentabilidade agrícola. Pereira *et al* 2021, também trabalhando com soja, em latossolo de cerrado no período seco e com irrigação, verificaram efeito positivo de níveis de água na produtividade, mas não no pó de rocha finos de micaxisto em plantio direto, sem incorporação do pó de rocha, ou seja aplicado na superfície, o que pode ter limitado seu efeito. Os autores esperavam efeitos do pó de rocha na retenção de água o que não aconteceu em um período de 4 anos.

O uso do pó de rocha pode alterar as propriedades químicas do solo, como observado por Alovisi *et al.* (2020). O experimento foi realizado em condições de campo, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico. Os autores verificaram que a aplicação de doses de pó de rocha (pó de basalto) na cultura da soja, o que promoveu a redução da acidez ativa do solo e o pH em água foi elevado de 5,9 para 6,4, aos 90 dias da reação do pó de basalto no solo, quando aplicada uma dose de 12 Mg ha⁻¹. O uso do pó de basalto resultou também em um aumento significativo nos teores de cátions que são fundamentais para o desenvolvimento das plantas, sobretudo Ca e Mg, SB e V%, durante o período de 90 dias de incubação do pó, na dose de 16 Mg ha⁻¹. O teor de P no solo aumentou de forma linear durante os 30 dias de incubação e, após esse período, observou-se sua diminuição. Os teores de K também foram maiores nos solos durante o período de 30 dias e reduziram após esse período. Contudo, o pó de basalto ainda deve ser utilizado como complemento da adubação convencional, pois foi observado que mesmo com esses resultados significativos, sua liberação ainda é lenta e não seria capaz de suprir todas as necessidades nutricionais das culturas, sendo importante seu uso associado aos fertilizantes normalmente utilizados na agricultura.

Tem-se estudado também o uso de pó de rocha na cultura do feijão. Toscani e Campos (2017) avaliaram a adição de uso de pó de basalto e rocha fosfatada na cultura do feijoeiro (safrinha) em Latossolo Vermelho distrófico. O experimento foi realizado com doze parcelas com os seguintes tratamentos: Parcela 1: uso exclusivo de NPK; Parcela 2: aplicação de NPK e calagem; Parcela 3: uso de exclusivo de fosforito (120 kg); Parcela 4: utilização de fosforito (120 kg) e calagem; Parcela 5: uso de fosforito (60 kg) e basalto (80 kg); Parcela 6: uso de fosforito (60 kg), basalto (80 kg) e calagem; Parcela 7: utilização de fosforito (20 kg) e basalto

(80 kg); Parcela 8: emprego de fosforito (20 kg), basalto (80 kg) e calagem; Parcela 9: aplicação de basalto (120 kg); Parcela 10: uso de basalto (120 kg) e calagem; Parcela 11: utilização de dolomito fosfatado (120 kg); Parcela 12: Tratamento controle. Os autores obtiveram que o uso desses remineralizadores alterou as propriedades físico-químicas responsáveis pela fertilidade do solo, contribuindo também para o desenvolvimento da área foliar e efeito residual. Em relação a dados geoquímicos, Toscani e Campos (2017) demonstraram que o uso de rochas fosfatadas e basálticas apresentam minerais que podem ser fontes importantes de macronutrientes como P, Na, Ca e Mg, o que promoveu aumento da saturação de bases (V%). Quanto ao desenvolvimento do feijoeiro, o uso de pó de rocha foi associado à calagem e através da medição da área foliar, que é um parâmetro que pode ser utilizado para indicar a produtividade da cultura, foram obtidos resultados que indicam o melhor desenvolvimento do feijoeiro com o uso de pó de rocha. As parcelas com rochagem, (com ou sem calagem) apresentaram, de maneira geral, aumento da área foliar em comparação com o tratamento controle, e com a parcela onde foram utilizados fertilizantes solúveis. Foi necessário o uso da calagem, uma vez que apenas o uso da rochagem não iria produzir resultados adequados.

Porém, quando aplicado juntamente a calagem o uso de pó de rocha apresentou melhores resultados até em referência com fertilizantes solúveis, com correção de pH devido ao melhor equilíbrio iônico quando aplicada a calagem, deslocando o ΔpH para valores próximos de zero.

Silva *et al.* (2011) avaliaram o efeito do pó de rocha isolado, e combinado com esterco bovino na cultura do feijão sob um solo de classe Nitossolo, cultivado na safra 2006/2007. Os tratamentos foram os seguintes: testemunha (granito e fosfato natural); adubação convenci/onal (conforme recomendações à cultura); quatro doses crescentes de pó de basalto - 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 t ha⁻¹ (base seca); esterco bovino 4 t ha⁻¹ (base seca) e as mesmas doses de pó de basalto misturado ao esterco bovino. Foram realizadas avaliações da produtividade, teor de fosforo total, teor de fitato, teor de proteína total e teor de proteína solúvel para dimensionar a contribuição da utilização do pó de rocha em comparação aos outros métodos de fertilização. O teor de proteína total não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, também não ocorreu aumento no teor do fitato, já o teor de fosforo total demonstrou diferenças significativas em relação à testemunha. Esse trabalho foi realizado pressupondo que o fornecimento do fosforo para a cultura é gradual, já que o pó de rocha apresenta taxas de liberação lenta e gradual de nutrientes, a diminuição do teor de fitato dos grãos, pode ser uma alternativa para aumentar o valor nutricional dos grãos com um baixo custo de produção. Os autores obtiveram como resultados principais, que o tratamento com pó de basalto com e sem

esterco não tiveram diferenças significativas quando comparados à testemunha e, comparando com o tratamento de adubação convencional, o teor de fósforo total do grão foi maior que o da testemunha, aumentando as doses de pó de rocha levou a um acréscimo do fósforo nos grãos, porém o teor de fitato ficou constante o que indica que foi possível aumentar o teor de fósforo nos grãos sem aumentar o teor de fitato, caracterizando o pó de basalto como uma alternativa viável para a adubação do feijoeiro.

Para incrementar a solubilização dos nutrientes contidos no pó de rocha, uma das alternativas é a inoculação de microrganismos no solo ou no substrato. Lopes-Assad *et al.* (2006) avaliaram que a inoculação de microrganismos associados ao pó de rocha, aumentaram a solubilização de K em cana-de-açúcar. Foi testado *Aspergillus niger* isolado de vinhaça de cana-de-açúcar em uma rocha ultramáfica alcalina e um flogopitito contendo 3,32% e 5,13% de K₂O moídos até alcançarem granulometria < 0,075 mm. O experimento foi desenvolvido “in vitro”, em Erlenmeyers de 250ml, com 50ml de meio de cultura, em três tratamentos: 1. fungo + meio de cultura, 2. pó de rocha + meio de cultura, 3. fungo + pó de rocha + meio de cultura. O uso de *Aspergillus niger* aumentou a taxa de solubilização do potássio (K), que ocorreu devido à acidificação promovida pelo fungo *Aspergillus niger*. O mecanismo de ação desses fungos promove desestabilização dos minerais presentes nas rochas que provoca a liberação mais rápida do potássio (K). No final de 21 dias, obteve-se que a solubilização de K foi maior na rocha ultramáfica alcalina (1,52 cmol_c/dm³) e menor na rocha flogopitito (0,52 cmol_c/dm³), entretanto, de acordo com os autores essa diferenciação entre as duas rochas ocorreu apenas devido à distinção mineralógica existente entre as duas, indicando que a mineralogia das rochas altera a solubilização dos minerais.

Medeiros *et al.* (2020) mostraram também a importância do uso do pó de rocha na transição da agricultura convencional para a agricultura orgânica, no núcleo de agricultores familiares onde a produção de café era a principal fonte de renda. Foram escolhidas três propriedades com cultivo de café, em transição agroecológica e em processo de certificação orgânica. Foi utilizado pó de gnaiss adquirido em comércio local e aplicados 2kg na saia do café, tendo-se obtido resultados significativos no desenvolvimento das plantas, e alguns agricultores já expandiram o uso do pó de gnaiss para outras culturas nas propriedades. Com isso, os autores relatam o fortalecimento do sistema produtivo dos agricultores, tornando-os menos dependentes de insumos minerais e os produtores utilizam o pó de rocha que é solubilizado e tem adequado as doses aplicadas nas diferentes culturas.

3.4.2.4 Plantas forrageiras

Miranda *et al.* (2017) desenvolveram um experimento para avaliação do uso de pó de rocha fonolito e inoculação com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio (K) em *Urochloa brizantha* cv. Marandu, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com quatro doses do fenolito (100%, 75%, 50% e 25%) e três variáveis inoculantes (UNIFENAS 100-13, UNIFENAS 100-94) e o controle sem inoculação, de forma a analisar suas contribuições para o desenvolvimento desta forrageira. Foram avaliados parâmetros morfológicos e bromatológicos da planta. Contudo, foi relatado pelos autores que as doses de fenolito e a inoculação das estirpes bacterianas não promoveram diferenças morfológicas significativas. Por outro lado, o fenolito promoveu melhora nas características bromatológicas, contribuindo para o aumento do valor nutricional da forrageira, o que configura o potencial desse pó de rocha como uma fonte alternativa de potássio (K) para o desenvolvimento das plantas.

3.4.2.5 Plantas perenes

Souza *et al.* (2016) avaliaram os efeitos de um remineralizador, obtido da moagem dos rejeitos gerados no garimpo de esmeraldas constituído predominantemente de biotita-gnaiss e anfíbolito, em duas variedades de mandioca, em um Neossolo Quartzarênico de baixa fertilidade, com doses de 80 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e com pó de rocha (40 a 160 kg ha⁻¹), depois de 45 dias do plantio foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio (80 kg ha⁻¹). Foram realizados diferentes tratamentos, como: complementação a fertilizantes convencionais, substituição de fertilizantes convencionais e doses crescentes. Foram avaliados: produção da parte aérea, produção da raiz tuberosa, índice de colheita, teor de matéria seca e de amido nas raízes. Os resultados demonstraram interação entre variedade e tratamento, com efeitos positivos sobre a nutrição, crescimento e produção da cultura da mandioca, mediante os tratamentos com pó de rocha, em substituição ou em complementação aos fertilizantes convencionais. Em relação à complementação a fontes convencionais o pó de rocha agiu como um condicionador do solo aumentando a fonte de fertilizante convencional solúvel (KCl).

Nunes *et al.* (2014) avaliaram o potencial de fertilização do pó de basalto, em amostras obtidas de depósitos de minério no Rio Grande do Sul. Foram coletados resíduo de basalto e posteriormente incrementados, resultando em uma amostra primária de 20 kg, que foi homogeneizada e triturada, resultando em duas porções de 10 kg, que depois foram

reprocessadas resultando em amostras de 1 kg, que foram então utilizadas no experimento. Os autores relatam que as partículas de basalto foram capazes de disponibilizar níveis satisfatórios de nutrientes, como: fósforo (acima de 100 mg L^{-1}), potássio ($59\text{-}152 \text{ mg L}^{-1}$) e enxofre (até $1,8 \text{ mg L}^{-1}$). Os autores também destacam o fornecimento de micronutrientes; cobre ($2,2\text{-}8,4 \text{ mg L}^{-1}$), manganês ($2\text{-}6 \text{ mg L}^{-1}$) e zinco ($1,6\text{-}1,8 \text{ mg L}^{-1}$). Outro resultado importante foi a indisponibilidade de alumínio na fase líquida, o que demonstra uma vantagem da utilização desse resíduo como fertilizante, pelo fato de o alumínio ser um metal tóxico que interfere no crescimento das plantas. Foi observado também a capacidade que a partícula de basalto tem de alterar o pH de 5,6 (pH natural da água) a 8,6, demonstrando seu potencial para correção de solos ácidos. Dessa forma, o pó de basalto oriundo dessas mineradoras poderia ser utilizado como fertilizante, promovendo uma agricultura mais sustentável.

3.4.2.6 Uso não agronômico do pó de rocha

Pode-se, ainda, utilizar o pó de rocha para o tratamento de efluentes, como avaliado por Zawadzki *et al.* (2013). Os autores utilizaram o pó de rocha no para auxiliar a coagulação no tratamento físico-químico de efluentes industriais. O pó de rocha utilizado nessa pesquisa foi originado nos processos de britagem e peneiramento de uma mineradora local. Foram testados três efluentes diferentes; indústria de bebidas, têxtil e de papéis decorativos para madeira. O pó de rocha obtido apresentou uma composição mineral de feldspato alcalino, plagioclásio e mica, com uma elevada concentração de sílica e alumina e ausência de metais tóxicos, o que é uma configuração importante para o objetivo de seu uso, não causando toxidez ao efluente. Outro aspecto importante ressaltado pelos autores é o baixo teor de cálcio e magnésio que é interessante como auxiliar de coagulação, pois não causaria dureza excessiva ao efluente. É importante evidenciar que outros tipos de rochas podem não ser adequadas para o uso como auxiliar na coagulação, justamente por outros tipos de rochagem pode causar um fenômeno de intumescimento ou elevar os teores de metais tóxicos.

Ainda, segundo Zawadzki *et al.* (2013), o uso desse pó de rocha no tratamento físico-químico de efluentes industriais demonstrou sua eficiência na remoção de cor e turbidez dos três efluentes, indicando um incremento de 35% a 58% na remoção de cor e 40 a 50% na remoção de turbidez. Assim, os autores demonstraram que o pó de rocha apresentou configurações adequadas ao atuar como auxiliar de coagulação, facilitando a varredura dos coloides estáveis durante a coagulação. Por isso, o uso de pó de rocha como auxiliar de

coagulação é mais um processo inovador utilizando a técnica de rochagem, pois apresentou alta eficiência na remoção de cor e turbidez das três efluentes sem causar acumulo de lodo e por fim, mais uma vez contribuindo para um sistema de sustentabilidade econômico-ambiental.

É comum o uso de leguminosas para a recuperação de áreas degradadas, suas associações com bactérias diazotróficas e a espécies secundárias e climáticas contribuem para recuperação mais rápida do ambiente. Assim, Junio *et al.* (2012) realizaram um trabalho para avaliar o crescimento de leguminosas e cedro, em um Neossolo Litólico, em área degradada, através da adubação de doses crescente de pó de rocha oriundo de marmoraria. Foram avaliados por três anos: altura das plantas, diâmetro do colo rente ao solo e diâmetro da copa, e dentre esses parâmetros avaliados apenas o diâmetro do caule da acácia auriculada apresentou diferença estatística. Ao final do experimento foi determinada a percentagem de mortalidade das plantas. Os autores relatam que não houve diferença estatística entre as espécies de acácias utilizadas e a aplicação de pó de rocha na cova de plantio. Em relação aos cedros, a partir do segundo ano as plantas não sobreviveram, os autores atribuem isso ao fato do subsolo do local estar muito exposto aos processos erosivos e ser pobre em nutrientes. Tanto o cedro quanto a acácias não apresentara influencia no diâmetro da copa com a aplicação das doses de pó de rocha. Os autores apontaram como causa dos efeitos negativos da adição desse pó de rocha para o crescimento dessas plantas acima citadas, a adsorção do fosforo que consequentemente reduz a absorção desse elemento pela planta, uma vez que esse pó de rocha foi oriundo da desintegração de ardósias, de mármore e de granitos, por isso ocorreu redução de crescimento de cedro e acácias com o crescimento das doses.

Existe a problemática acerca dos danos causados pelo setor de rochas ornamentais ao meio ambiente, com isso tem-se buscado alternativas para o destino final dos resíduos gerados. É importante classificar esses resíduos de acordo com seus possíveis graus de poluentes para o meio ambiente e riscos à saúde pública para que assim possa se encontrar um destino adequado para o mesmo. Tendo em vista esses fatores, Manhães *et al.* (2008) realizaram uma pesquisa para avaliação químico-ambiental de resíduo sólido de pó de rocha granítica para identificar o potencial poluidor desse resíduo. Foram analisadas as concentrações de arsênio, bário, cádmio, chumbo e prata. Como resultado, os autores obtiveram que o pó de rocha granítica, foi classificado como resíduo Classe IIA – Não Inerte, segundo a norma NBR – 10004, contendo chumbo, cromo total, ferro e manganês acima dos limites permitidos para o teste de solubilização. Os autores destacam a importância dessa determinação do potencial poluidor de resíduos industriais e urbanos.

Souza *et al.* (2017) avaliaram em seu trabalho um remineralizador obtido através de moagem de resíduos minerais obtidos de garimpo de esmeraldas de Monte Santo – TO, em Neossolo Quartzarênico (RQ) de baixa fertilidade natural, o experimento foi conduzido em casa de vegetação. Esse remineralizador possui composição química contendo K, Ca e Mg dentre outros elementos que são micronutrientes para as plantas. O experimento foi realizado a partir de doses crescentes, avaliando a disponibilidade de K, influência no solo, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea da planta milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). O remineralizador apresentou bons resultados como uma fonte de K, Ca e Mg, além de ter promovido aumento do pH e CTC do solo melhorando o desenvolvimento do milheto. Foi relatado também que a aplicação de 6 Mg ha⁻¹ desse remineralizador, para análise comparativa, foi compatível com a fonte solúvel de K (360 kg K₂O ha⁻¹) para cultivos sucessivos de milheto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cerrado brasileiro possui características importantes para o desenvolvimento da agricultura moderna. Nesse cenário, várias técnicas tem sido desenvolvidas para a exploração desse bioma de forma sustentável. Por possuir solos com baixa fertilidade e pouca disponibilidade de nutrientes, dentre esses nutrientes o potássio (K), que é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, surge a necessidade de desenvolver novas técnicas que disponibilizem nutrientes para as plantas.

O solo é um ambiente ativo, onde se desenvolvem os microrganismos que irão promover a sua manutenção. Com pode ser observado, os microrganismos vêm sendo utilizados para solucionar problemas no campo, pois seus metabólitos desempenham importantes mecanismos para a agricultura, sendo considerados como funcionais. Dessa forma, foi visto nesse trabalho que uma função importante dos microrganismos é a solubilização de nutrientes provenientes do pó de rocha.

Foi observado também, que existe uma problemática acerca da importação de insumos para fornecer fertilizantes solúveis (NPK) e por isso a utilização de rochas moídas vem como uma solução para reduzir a necessidade de utilização desses fertilizantes convencionais, sendo um produto que pode ser utilizado tanto no manejo orgânico das culturas, quanto no plantio convencional. As rochas brasileiras são importantes reservas de fosforo (P) e potássio (K), elementos esses extremamente importantes para os cultivos agrícolas, porém a disponibilização

desses nutrientes através do pó de rocha é extremamente lenta, uma escala de tempo 1 a 10 anos que mesmo um período agronomicamente aceitável para disponibilização de nutrientes faz necessário utilizar mecanismos para acelerar essa liberação para atender a demanda da agricultura, e através de experimentos que vem sendo realizados, mencionados nesse trabalho, pôde ser observado o quão importante se torna o uso dos microrganismos para acelerar a disponibilidade desses nutrientes contidos nessas rochas para as plantas.

Além dos benefícios que o uso do pó de rocha promove para os cultivos agrícolas, muitos autores mencionaram outros benefícios importantes que devem ser levados em conta quando se utiliza a rochagem, como; os materiais oriundos de mineradoras, que antes afetavam o meio ambiente agora passam a ser fonte de adubo para as plantas.

Os remineralizadores possuem a capacidade de fornecer os nutrientes simultaneamente devido à composição de seus agrominerais. Isso pôde ser visto através de vários artigos expostos nesse trabalho, onde o uso de rochas fosfatadas e basálticas forneceram vários macronutrientes como P, Na, Ca e Mg que demonstram através dos devidos experimentos contribuição significativa no enriquecimento dos solos e desenvolvimento das plantas.

Destaca-se também, a importância que o desenvolvimento do uso da rochagem exerce na transição da agricultura tradicional para a agricultura orgânica, onde é relatado pelos produtores rurais melhorias e ganhos significativos com a adição de pó de rocha junto a adubação. Alguns artigos demonstram em suma que, seu uso também incentiva o comércio local (desde que a fonte de pó de rocha seja de origem próxima ao produtor) seja e contribui para a diminuição de importação de insumos agrícolas, além do que, ao contrário dos danos causados pela utilização de fertilizantes convencionais como: lixiviação e volatilização, os remineralizadores não apresentam riscos ao meio ambiente.

Por isso, diante dos fatos citados, é importante ressaltar que se faz necessário uma exploração mais abrangente acerca da rochagem para que fiquem cada vez mais evidente os benefícios que seu uso pode trazer para a agricultura, dessa forma é de extrema importância a continua exploração acerca desse tema, com pesquisas desenvolvidas para os diferentes tipos de rochas e dosagens de acordo com as diferentes culturas e tipos de solos existentes no Brasil.

REFERÊNCIAS

- Adilson Luis Bamberg... et. al. **Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo – Uma proposta da EMBRAPA**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, nov. 2016.
- ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura *et al.* **Atributos químicos do solo e componentes agronômicos na cultura da soja pelo uso do pó de basalto**. In: J. C. RIBEIRO (Org.). Impacto, excelência e produtividade das ciências agrárias no Brasil 3. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. cap.2, p.13-26).
- ALVES, Vera Maria Carvalho *et al.* **Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas**. 2021. Embrapa, Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134272/1/Doc-264-Solubilizacao-de-potassio.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- ARAGÃO, Adalberto Araújo *et al.* **Dinâmica Agrícola no Cerrado**: análises e projeções. Brasília, Df: Embrapa, 2020. 312 p.
- ARAÚJO, Janete Magali de Araújo *et al.* **Microrganismos e agrobiodiversidade**: o novo desafio para a agricultura. Guaíba/Rs: Agrolivros, 2008. Cap. 12. p. 277-296.
- BATISTA, Marcelo Augusto Batista *et al.* **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. **Hortaliças-Fruto**, [S.L.], p. 113-162, 2018. EDUEM.
- BRITO, Rychaellen Silva de Brito *et al.* Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. **South American Journal Of Basic Education, Technical And Technological.**, Rio Branco, Ac, v. 6, n. 1, p. 528-540, 14 maio 2019.
- CALVARUSO, Christophe *et al.* **Influence of forest trees on the distribution of mineral weathering associated bacterial communities of the Scleroderma citrinum mycorrhizosphere**. Appl. Environ. Microbiol. 76, 4780–4787, 2010.
- CAMPE, Joanna. The Potential Of Remineralization As a Global Movement. **II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Poço de Caldas, Mg, p. 91-100, maio 2013.
- CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira *et al.* **Microbiologia do Solo**. 2. ed. Piracicaba, São Paulo: Esalq, 2016. 225 p.
- SILVA, Alinne *et al.* **Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33, 147-152, 2011.
- DETTMER, Carlos Alberto *et al.* Agricultura e inovação: estudo sobre a viabilidade de uso do "pó de rocha" em sistemas de produção agrícola. **III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação**, Naviraí, Ms, v. 3, n. 3, p. 1-9, set. 2019.
- FIGUEIREDO, Márcia do Vale Barreto *et al.* **Microrganismos e agrobiodiversidade**: o novo desafio para a agricultura. Guaíba/Rs: Agrolivros, 2008.

FRANCISCON, Sergio. **Microrganismos: Alternativas para a solubilização de fosfatos na agricultura**. 2013. 68 f. Monografia (Especialização) - Curso de Desenvolvimento Rural Sustentável e Agricultura Familiar, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo - Rs, 2013. Cap. 28.

GYANESHWAR P., KUMAR G.N., PAREKH, L.J, POOLE, P.S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant Soil*, v.245, p.83–93, 2002. doi:10.1023/A:1020663916259
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-regulamenta-producao-registro-e-comercio-do-po-de-rocha-na-agricultura>. Acesso em: 14 de setembro. 2021.

JUNIO, Geraldo Ribeiro Zuba Junio *et al.* CRESCIMENTO DE CEDRO E DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM ÁREA DEGRADADA, ADUBADO COM PÓ-DE-ROCHA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 2, n. 25, p. 159-165, jun. 2012.

LINHARES, Diana *et al.* O Solo é fonte de vida! **Açoriano Oriental, Açores Magazine, Uaciência**, Açores, v. 1, n. 1, p. 12-13, 13 jun. 2021.

LOPES, A.R. *et al.* PÓ DE ROCHA FOLIAR EM PORTA ENXERTOS DE ‘S04’. **XVI Congresso Latinoamericano de Viticultura y Enología 2019**, Pelotas, Rs, v. 5, n. 1, p. 1-5, nov. 2019.

LOPES, Maurício Antônio. Escolhas estratégicas para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, Df, v. 1, n. 1, p. 151-154, jan./mar. 2017.

LOPES-ASSAD, Maria Leonor *et al.* Solubilização de pó de rocha por *Aspergillus Niger*. **Espaço & Geografia**, Araras-Sp, v. 9, n. 1, p. 1-17, 29 jun. 2006.

LOUREIRO, F.E.L., MELAMED, R., FIGUEIREDO, N.J., 2009. Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade. Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, CETEM/MCT, Rio de Janeiro. <http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2009/Fertilizantes.pdf>.

MANHÃES, João Paulo Vargas Tavares *et al.* CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO “PÓ DE ROCHA GRANÍTICA” GERADO NA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Química Nova**, Campos dos Goytacazes, Rj, v. 31, n. 6, p. 1301-1304, 26 ago. 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa regulamenta produção, registro e comércio do pó de rocha na agricultura 2016.

MARTINS, E.S. *et al.* Relatório 1ª Fase - Parceria Embrapa – TERRATIVA. Agrominerais Silicáticos da TERRATIVA como Fertilizantes Potássicos e Condicionadores Multinutrientes de Solos para Aplicação no Bioma Cerrado. 2015.

MATOS, Patrícia Francisca; PESSOÃ, Vera Lúcia Salazar. A apropriação do cerrado pelo agronegócio e os novos usos do território. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, Goiás, v. 9, n. 17, p. 6-26, abr. 2014.

MEDEIROS, Fernanda de Paula *et al.* Experimentação participativa com pó de rocha. **Edição Especial dos Anais do V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo: Agroecologia e A Compreensão do Solo Como Fonte e Base Para A Vida**, Viçosa, Mg, v. 15, n. 1, p. 1-4, 08 abr. 2020.

MENDONÇA, José Francisco Bezerra. Solo. In: MENDONÇA, José Francisco Bezerra. **Solo: Substrato da vida**. Brasília, Df: Embrapa, 2006. p. 16-39.

MIRANDA, Cássia C. B. *et al.* Desenvolvimento de *Urochloa brizantha* adubada com fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, Alfenas, Mg, v. 3, n. 41, p. 625-632, 02 ago. 2017.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; NOVAIS, Giuliano Tostes. Clima do cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidade e tipologias climáticas. **Revista de Geografia da Ueg**, Goiás, v. 9, n. 2, p. 1-39, set. 2020.

NUNES, J.M.G.; KAUTZMANN, R.M.; OLIVEIRA, C. Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 84, p. 649-656, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.032>.

PÁDUA, Eduane José de. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PEIXOTO, Raquel Silva *et al.* Monitoramento de impactos sobre a diversidade microbiana em solos agrícolas. In: FIGUEIREDO, Márcia do Vale Barreto. **Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba/Rs: Agrolivros, 2008. Cap. 22. p. 507-526.

PARSON, Edward A. *et al.* **Um resumo dos principais documentos assinados na Cúpula da Terra e no Fórum Global**. 1992. [Http://ciesin.org/docs/003-312/003-312.html](http://ciesin.org/docs/003-312/003-312.html). Disponível em: <http://ciesin.org/docs/003-312/003-312.html>. Acesso em: 07 nov. 2021.

PENHA, M.N.C. Caracterização Analítica de Rochas Silicatadas e Avaliação do seu Potencial Agrícola como fonte de Potássio. São Carlos/SP. 91p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química – Universidade Federal de São Carlos. 2016.

PEREIRA, L. F.; **Ribeiro Júnior, Walter Quadros**; RAMOS, M. L. G. ; Santos, N.Z. ; SOARES, G. F. ; Muller, O. ; Tavares, C.J. ; Martins, E. S. ; Rascher, U. ; GUIMARAES, C. A. L. ; Pereira, A. F. ; Sousa, C.A.F. ; Mertz-Henning, L.M. . Physiological changes in soybean cultivated with soil remineralizer in the Cerrado under variable water regimes. **PESQUISA AGROPECUARIA BRASILEIRA**, v. 56, p. 1-12, 2021.

PRATES, Fabiano Barbosa de Souza *et al.* Crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha. **Revista Ceres**, Viçosa, Mg, v. 57, n. 2, p. 239-246, abr. 2010.

PRATES, Fabiano Barbosa de Souza *et al.* Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, Ce, v. 43, n. 2, p. 207-213, jun. 2012.

RESENDE, Álvaro. Vilela. De *et al.* Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço & Geografia**, v.9(1), p.135–161, 2006.

SAMPAIO, Reginaldo *et al.* Produção de mudas de tomateiro em substratos contendo fibra de coco e pó de rocha. **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 499-503, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362008000400015>.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5. ed. Brasília, Df: Embrapa, 2018.

SILVA, Eloisa Aparecida da *et al.* Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schot. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, Mg, v. 32, n. 2, p. 323-333, fev. 2008.

SILVA, Victor Júlio Almeida *et al.* Avaliação dos caracteres agronômicos da soja tratada com doses crescentes de pó de. **II Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**, Mineiros, Go, p. 1-6, maio 2019. 1.

SILVEIRA, Carlos Augusto Posser *et al.* Protocolo para avaliação da eficiência agrônômica de remineralizadores de solo – Uma proposta da EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa Clima Temperado-Embrapa Cerrados**, nov. 2016.

SOUZA, Fred Newton da Silva *et al.* Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtidos de resíduos de mineração. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-To, v. 3, n. 1, 28 jun. 2017.

SOUZA, Fred Newton da Silva *et al.* Efeitos de um remineralizador de solos (Biotita-Xisto na produção de duas variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, Sp, v. 12, n. 1, p. 45-59, 09 nov. 2016.

SOUZA, Vera Lúcia do Espírito Santo; SILVA, Gisele Rose da. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. 380 p.

STAMFORD, Newton Pereira *et al.* Biofertilizantes de rochas fosfatadas e potássicas com enxofre e *Acidithiobacillus*. In: FIGUEIREDO, Márcia do Vale Barreto. **Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba/Rs: Agrolivros, 2008. Cap. 17. p. 401-421.

SUSTAKOWSKI, Monica Carolina. **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade da soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura**. 2021. 72 f., Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondo, Paraná, 2021.

THEODORO, Suzi Huff; LEONARDOS, Othon Henry. Rochagem: Uma Questão de Soberania Nacional. **XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Gramado, Rs, p. 337-340, 14 set. 2011.

TOSCANI, Rafael Gomes da Silveira; CAMPOS, José Elói Guimarães. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Unesp**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 259-274, 31 abr. 2017.

UNIO, Geraldo Ribeiro Zuba *et al.* Crescimento de cedro e de leguminosa arbóreas em área degradada, adubado com pó-de-rocha.1. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 159-165, jun. 2012.

VALENTINI, Lucia *et al.* Avaliação de pó de rocha como fertilizante em pastagem na região noroeste. **Informação Tecnológica**. Niterói, Rj, p. 1-2. dez. 2016.

WELTER, Marina Keiko *et al.* Efeito da aplicação de pó de basalto no desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, Sp, v. 33, n. 3, p. 922-931, set. 2011.

ZAWADZKI, Rodrigo Augusto Franco de Oliveira *et al.* Uso de pó de rocha para tratamento físico-químico de efluentes - Auxipó. **II Congresso Brasileiro de Rochagem**, Poço de Caldas, Mg, p. 359-367, maio 2013.