

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
INCUBADO COM PÓ DE ROCHA GRANULÍTICA**

Daniele Oliveira Cunha

Cruz das Almas - Bahia

Maio de 2023

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
INCUBADO COM PÓ DE ROCHA GRANULÍTICA**

Daniele Oliveira Cunha

Trabalho de conclusão de curso submetido ao colegiado de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Dr. Nielson Machado dos Santos.


Cruz das Almas - Bahia

Maio de 2023


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO
DE CURSO DE DANIELE OLIVEIRA CUNHA**


APROVADO EM : 15/05/2023

Documento assinado digitalmente
 **NIELSON MACHADO DOS SANTOS**
Data: 25/05/2023 16:04:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Nielson Machado dos Santos (Orientador/Docente-CCAAB-UFRB)

Documento assinado digitalmente
 **PAULA ANGELA UMBELINO GUEDES ALCOF**
Data: 01/06/2023 08:55:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (Docente-CCAAB-UFRB)

Documento assinado digitalmente
 **JOSE GABRIEL FREITAS DE LIMA**
Data: 01/06/2023 12:07:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Msc. José Gabriel Freitas de Lima (Servidor Técnico-CCAAB-UFRB)

Cruz das Almas – Bahia

Maio de 2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela vida, por todas as oportunidades que me foram concedidas, por ter me guiado por bons caminhos até aqui.

Aos meus avós, Francisca e Osvaldo Oliveira (*in memoriam*), que sempre me incentivaram na constante busca pelo conhecimento.

A minha mãe, Maria da Glória, pelo amor e cuidado incondicional, e por não medir esforços para que esse sonho se realizasse, mesmo diante de todas as dificuldades. A você, todo meu amor e eterna gratidão.

Aos meus amados irmãos Kátia e Tiago, por nunca duvidarem do meu potencial. A minha irmã Bruna (*in memoriam*), o ser humano mais extraordinário que já tocou a face da terra. Saudades sem fim...

Aos meus queridos tios e primos, a famosa marotada, por todo acolhimento, carinho e apoio. A vocês minha gratidão e amor.

Aos meus amigos queridos, Ellen Rayssa, Marcela, Andressa, Naira, Vinícius, Weyla e Helen, que estiveram comigo nas alegrias e adversidades e foram a minha maior conquista nesta graduação. Obrigada por tornarem essa jornada mais leve e afetuosa.

Ao meu amor, Rafael, que me incentiva a ser melhor e a ir além.

Ao IF Baiano Campus Santa Inês, por plantar a semente das ciências agrárias no meu coração e aos amigos do 3ºB.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nielson Machado dos Santos, pelos conhecimentos compartilhados, orientação e apoio inigualável. Ao coorientador dessa pesquisa Prof. Dr. Yuri Caires Ramos e aos colegas que estiveram juntos comigo nesse trabalho: Érica, Helen, Vinícius, João Victor e Joeldson.

Ao Pet Agronomia UFRB, aos tutores Maria Lúcia da Silva Sodré, José Fernandes de Melo Filho e seus incríveis petianos, que me proporcionaram oportunidades, aprendizado e sobretudo ótimas amizades.

Ao corpo docente do curso de Agronomia, a quem devo minha formação. Agradeço também a todos os funcionários da instituição.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pelo suporte, pela infraestrutura e pela oportunidade de realizar esse sonho. Sentirei saudades!

A todos que passaram por mim, cativaram e se deixaram cativar.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.”

Carl Jung

RESUMO

A crescente demanda por fontes alternativas de nutrientes para as culturas agrícolas visa uma maior produtividade, menores custos de produção e maior sustentabilidade na agricultura. As rochas granulíticas contêm uma grande quantidade de nutrientes químicos benéficos para o crescimento das plantas, possuindo potencial para incrementar a fertilidade do solo. Assim, o objetivo foi avaliar o efeito do pó de rocha silicática nos atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico. Os tratamentos consistiram na incorporação e incubação de seis doses do pó de rocha (0,0, 10, 20,0, 40,0, 80,0 e 160 t ha⁻¹). Cada unidade experimental foi constituída por um saco plástico de polietileno de 2 kg de capacidade, preenchido com 1 kg do solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições. Após a incorporação do pó de rocha, o solo foi incubado por 40 dias, e posteriormente foram analisados os atributos químicos: pH, CTC, H+Al, Al, SB, V (%), P, K, Ca, Mg. Os resultados foram submetidos à análise de variância seguido de análise de regressão. O uso do pó de rocha obtido a partir de rocha granulítica aumentou os níveis de pH, Ca, Mg, K, SB, CTC e V (%), enquanto diminuiu o teor de H + Al e Al. A saturação por bases (V%) variou de 35,40 para 79,53% entre as doses 0,0 e 160,0 t ha⁻¹, respectivamente, sendo valor considerado bom para maioria das culturas de interesse agrícola. A utilização de pó de rocha granulítica como remineralizador apresentou eficiência agrônômica em relação a melhoria dos atributos químicos do solo.

Palavras-chave: fertilidade do solo, rocha silicática, remineralizador.

ABSTRACT

The increasing demand for alternative sources of nutrients for agricultural crops is aimed at higher productivity, lower production costs, and greater sustainability in agriculture. Granulite rocks contain a large amount of chemical nutrients beneficial for plant growth, having the potential to increase soil fertility. Thus, the objective was to evaluate the effect of siliceous rock dust on the chemical attributes of a Quartz Neosol. The treatments consisted in the incorporation and incubation of six doses of rock powder (0.0, 10, 20.0, 40.0, 80.0 and 160 t ha⁻¹). Each experimental unit consisted of a 2 kg polyethylene plastic bag filled with 1 kg of soil. The experimental design was entirely randomized with six treatments and four repetitions. After the incorporation of the rock powder, the soil was incubated for 40 days, and then the chemical attributes were analyzed: pH, CTC, H+Al, Al, SB, V (%), P, K, Ca, Mg. The results were submitted to variance analysis followed by regression analysis. The use of rock powder obtained from granulite rock increased the levels of pH, Ca, Mg, K, SB, CTC and V (%), while it decreased the H + Al and Al content. The use of granulite rock powder as remineralizer showed agronomic efficiency in relation to the improvement of soil chemical attributes.

Keywords: soil fertility, silicate rock, remineralizer.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Rochagem e remineralizadores de solo.....	11
2.2. Uso de pó de rocha na agricultura.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1. Localização do experimento.....	14
3.2. Características do solo utilizado.....	14
3.3. Características do pó de rocha.....	15
3.4. Unidade experimental e tratamentos.....	15
3.5. Análises químicas realizadas após incubação.....	16
3.6. Delineamento experimental e análises estatísticas.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial tem sido um dos principais fatores que impulsionam a demanda por alimentos. Segundo projeções da Organização das Nações Unidas (2019), a população global deve chegar a cerca de 9,7 bilhões de pessoas em 2050. Esse aumento traz consigo uma série de desafios para o abastecimento alimentar, como a necessidade de aumento da produção agrícola e o aumento da demanda sobre os recursos naturais.

O Brasil possui características favoráveis para a produção em larga escala e se destaca sendo um dos maiores produtores de alimentos do mundo. Esse destaque se deve, em grande parte, ao seu vasto território e condições climáticas adequadas para a agricultura. No entanto, os solos brasileiros, que apresentam características de solos tropicais, como alta acidez, baixo teor de nutrientes e elevada perda por lixiviação, levam a necessidade de investir na aplicação de fertilizantes e corretivos para garantir a sua fertilidade.

Todavia, o uso de fertilizantes no Brasil tem enfrentado desafios devido à queda na produção nacional e à crescente dependência de importações. Durante as últimas duas décadas, a demanda por fertilizantes no Brasil cresceu 300% devido ao aumento da produção agrícola. Entretanto, nesse mesmo período, a produção nacional de fertilizantes caiu cerca de 30%, o que aumentou a dependência do país em relação às importações. O consumo passou de 10,4 milhões de toneladas em 2007 para 35,8 milhões de toneladas em 2020, o que elevou os custos, superando os 9 bilhões de dólares (ANDA, 2020; NASTARI, 2022). Esse cenário encarece não apenas a produção, mas também os custos dos alimentos. Além disso, o elevado nível de importação deixa a economia brasileira vulnerável às oscilações do mercado internacional de fertilizantes.

Diante desses desafios, uma alternativa promissora que vem sendo explorada é o uso de pó de rocha como fonte de nutrientes para a agricultura. O pó de rocha é obtido a partir da moagem de rochas ricas em minerais, que possuem potencial fertilizante. Ele pode ser utilizado como uma opção mais sustentável e de baixo custo para suprir as necessidades de nutrientes do solo.

Além de fornecer nutrientes essenciais para as plantas, o pó de rocha também contribui para a correção da acidez do solo, melhorando sua capacidade de retenção de

água e nutrientes. Essa prática, conhecida como remineralização do solo, tem ganhado espaço e despertado interesse na agricultura brasileira como uma alternativa viável para reduzir a dependência de fertilizantes importados e promover a sustentabilidade do setor agrícola.

Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de doses crescentes de pó de rocha granulítica, sobre as características químicas do solo, após período de incubação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de fertilizantes é um dos fatores cruciais para atingir níveis elevados de produtividade agrícola, visto que esses insumos têm o objetivo de ajustar a fertilidade do solo e potencializar o crescimento e desenvolvimento das plantas por meio da oferta de nutrientes essenciais, tais como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (NASCIMENTO, 2014).

Segundo a Embrapa (2020), a correção da acidez do solo e aplicação de adubos minerais, com destaque para as formulações NPK, representam mais de 30% dos custos variáveis de produção de culturas como a soja, milho, cana-de-açúcar, café e algodão no Brasil. Estima-se que mais de 95% do K na forma de cloreto de potássio utilizado no país é importado, quanto ao nitrogênio e o fósforo, as taxas de importação chegam a, respectivamente, 80% e 55% do consumo interno (OLIVEIRA et al., 2019). Esses insumos são em grande parte solúveis em água e contêm altas concentrações de nutrientes prontamente disponíveis.

O aproveitamento desses fertilizantes inorgânicos pelas plantas é baixo em alguns solos. As estimativas da eficiência geral dos insumos aplicados têm sido de cerca de 50% ou menos para N, menos de 10% para P e aproximadamente 40% para K. Isso se deve a perdas significativas de nutrientes por lixiviação, escoamento, emissão gasosa e fixação pelo solo. Os solos tropicais geralmente possuem baixa capacidade de troca de cátions, pH ácido e altos teores de alumínio e ferro, que interferem na disponibilidade dos nutrientes, além de elevada capacidade de lixiviação, dessa forma os elementos aplicados por meio dos fertilizantes inorgânicos tendem a ser perdidos antes de serem absorvidos pelas raízes (BALIGAR et al., 2001).

Uma das alternativas viáveis para contornar a baixa eficiência dos fertilizantes de alta solubilidade em solos tropicais e diminuir os custos de produção pode ser o uso de rochas moídas, aplicadas ao solo na forma de pó, através da prática denominada rochagem. O uso de calcários e rochas fosfáticas *in natura*, são casos particulares da técnica, mas o termo rochagem é mais empregado quando se trata da utilização de rochas silicáticas.

De forma direta ou indireta as rochas e minerais sustentam o crescimento vegetal, já que ao sofrer intemperismo passam a compor o solo, fornecer abrigo para pequenos organismos e liberar nutrientes que serão absorvidos pelas plantas. Minerais como o quartzo são inertes e praticamente não liberam nutrientes essenciais para as plantas. Outros minerais contém e liberam um ou mais dos nutrientes essenciais necessários para a vida vegetal, por exemplo P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes (VAN STRAATEN, 2007).

2.1. ROCHAGEM E REMINERALIZADORES DE SOLO

A aplicação de pó de rocha é conhecida por diferentes termos, como rochagem, remineralização do solo e petrofertilização. De acordo com Van Straaten (2006), a técnica da rochagem ou uso de “*rocks for crops*” está fundamentada na Agrogeologia, que é uma abordagem interdisciplinar que correlaciona a fertilidade do solo com processos geológicos, estudando o rejuvenescimento do solo, bem como a utilização de agrominerais para manutenção e melhoria de características químicas, físicas e biológicas, em busca de um agroecossistema sustentável.

Agrominerais são materiais de origem mineral, como rochas, resíduos de mineração, garimpo e metalurgia, possíveis de serem utilizados na agricultura com o objetivo de fertilizar, corrigir e/ou condicionar o solo e que podem ser específicos de uma região e apresentar propriedades únicas que os tornam ideais para a utilização em solos locais como remineralizadores (PÁDUA, 2012). A obtenção de diversos agrominerais usados na técnica da rochagem pode ser feita através da utilização de subprodutos gerados pela mineração e garimpo, muitas vezes considerados passivos ambientais pelas empresas responsáveis por sua geração (MARTINS et al., 2008).

De acordo com a Lei N° 12.890 de 10 de dezembro de 2013, um remineralizador é um material mineral que passou por um processo mecânico de redução de tamanho e classificação, capaz de modificar a fertilidade do solo, adicionando macro e micronutrientes essenciais para as plantas. Além disso, esse material pode melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, bem como aumentar a atividade biológica (BRASIL, 2013).

A Instrução Normativa N° 5 de 2016 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento determina que os remineralizadores apresentem as seguintes especificações e garantias mínimas: soma de bases (CaO + MgO + K₂O) igual ou superior a 9%; teor de K₂O igual ou superior a 1%; teor de sílica livre inferior a 25%; concentrações máximas de elementos potencialmente tóxicos (arsênio - As, <15 mg kg⁻¹; cádmio - Cd, <10 mg kg⁻¹; mercúrio - Hg, <0,1 mg kg⁻¹; chumbo - Pb, <200 mg kg⁻¹). Além disso, é necessário um teste agrônomico que demonstre a eficiência do pó de rocha em alterar a fertilidade do solo e atuar no desenvolvimento das plantas. A instrução normativa também obriga a declaração do pH de abrasão do pó de rocha, especificação da granulometria entre as classes: farelado, pó ou *filler* (BRASIL, 2016).

Entre os diversos materiais que são empregados e objeto de investigação, há um destaque para algumas rochas silicáticas multinutrientes, que são também denominadas de agrominerais silicáticos (HARLEY e GILKES, 2000; VAN STRAATEN, 2007). Essas rochas são constituídas por minerais como biotita, flogopita, feldspatoides, feldspatos e minerais máficos, que possuem quantidades significativas de nutrientes como K, Ca, Mg, Si e outros, além de contribuírem para a formação de novos minerais no solo, em especial os argilominerais do tipo 2:1 (MARTINS et al., 2008; MARTINS et al., 2014; SOUZA et al., 2017).

2.2 USO DE PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA

Os minerais presentes no pó de rocha só podem se tornar fonte de nutrientes para as plantas após passarem por processos de intemperismo (VAN STRAATEN, 2002). A complexidade dos processos de intemperismo depende principalmente da composição química e mineralógica da rocha, sua granulometria, tempo de reação e fatores do solo, incluindo o pH e a atividade biológica (SILVA, 2012).

Bolland e Baker (2000), questionam a eficiência da utilização de pó de rocha silicática, já que possuem baixa concentração e solubilidade de nutrientes, fatores que são compensados com o uso de doses relativamente altas e materiais com granulometria mais fina, o que pode aumentar os custos da técnica. No entanto, Harley e Gilkes (2000) argumentam que o uso de remineralizadores é mais eficaz em solos tropicais ácidos, onde a acidez acelera a solubilização dos nutrientes. Em seus estudos Melo et al. (2012) também afirmam que o clima tropical aprimora a eficácia dessa técnica, visto que as taxas de dissolução e a reatividade da superfície dos minerais com a solução do solo são aumentadas, em decorrência das elevadas temperaturas e umidade.

Segundo Harley e Gilkes (2000), o uso de pó de rocha (ou farinha de rochas) como fertilizante de liberação lenta é uma excelente proposta para solos altamente intemperizados e ambientes lixiviantes, como solos arenosos sob regimes climáticos úmidos, onde os fertilizantes solúveis podem ser facilmente removidos. Isso é possível pois os nutrientes do remineralizador são liberados a uma taxa que permite que eles permaneçam no solo por um período maior para serem utilizados pelas plantas. Tal aspecto, torna a rochagem uma estratégia de reserva de nutrientes no solo, que pode ser disponibilizada mais rapidamente caso haja atividade biológica constante, dessa forma a utilização combinada com adubos orgânicos, acelera o aproveitamento de nutrientes (THEODORO et al., 2010).

A eficiência agronômica do pó de rocha pode variar de acordo com a cultura agrícola no qual estão sendo aplicados. Em uma das pesquisas realizadas por Theodoro e Leonardos (2006) constatou-se que o uso da rochagem garantiu produtividades semelhantes aos alcançados com adubação convencional nas culturas de milho, arroz, mandioca, cana-de-açúcar cultivados por pequenos produtores de Minas Gerais, trazendo benefícios econômicos e ambientais. Souza et al. (2017) também verificaram que a aplicação de 6 t ha⁻¹ de pó de rocha proporcionou efeitos compatíveis com a fonte solúvel convencional de K (360 kg ha⁻¹ de KCl) em cultivos sucessivos de milho em um Neossolo Quartzarênico.

De acordo com Theodoro (2000) os custos de aquisição de pós de rochas podem chegar a ser em média de 60 a 70% inferiores aos dos insumos convencionais, além de contar com um aumento do desempenho produtivo de até 30%, especialmente em culturas de ciclo longo, pois os efeitos benéficos da técnica podem estender por até 4 ou

5 anos, em virtude da liberação gradual dos nutrientes no solo. No entanto, para assegurar a viabilidade econômica do uso de pó de rocha, é fundamental respeitar a proximidade entre a área de origem e a de uso, dessa forma é considerado imprescindível que a aplicação dos agrominerais ocorra em locais próximos à sua origem, visando a redução de custos (PÁDUA, 2012).

Dentre as vantagens da utilização do pó de rocha são apontados: lenta liberação de nutrientes; baixo risco de lixiviação; reduzido custo operacional; correção do pH do solo; excelente fonte de micronutrientes; matéria-prima fácil de ser explorada e abundante em todo país. Além disso, verifica-se aumento da umidade do solo, maior enraizamento, maior produção de biomassa vegetal e maior resistência das plantas a estresse bióticos, abióticos e possibilidade de utilização na agricultura orgânica (SOUZA et al., 2010).

O efeito positivo do pó de rocha para os atributos do solo é relatado por inúmeros autores. Estudos realizados por Melo et al. (2012), mostraram aumento nos teores de cálcio, magnésio, zinco, ferro e cobre no solo, evidenciando que o pó de rocha basáltica pode ser usado como uma fonte alternativa de fertilizante e corretivo do solo, conforme a composição da rocha, granulometria do pó e características do solo. De acordo com Alovisei et al. (2017) o uso de pó de basalto no solo resulta em acréscimo nos teores de cátions necessários ao desenvolvimento da planta, principalmente Ca e Mg, SB e V%.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

As atividades foram conduzidas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas, situado a 12°40'39" latitude sul e 39°06'23" longitude oeste de Greenwich, com altitude de 220 m. O clima é classificado como tropical quente e úmido, com temperatura média anual de 24 °C, umidade relativa do ar média anual de 80% e precipitação média anual de 1200 mm (ALVARES et al., 2013).

3.2. Características do solo utilizado

O solo utilizado no experimento foi proveniente do município baiano de Saubara e foi coletado na camada de 10 a 40 cm de um Neossolo Quartzarênico, classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SANTOS et al., 2018). Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2mm, homogeneizadas e analisadas em laboratório para caracterização química inicial (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado no experimento.

pH ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	Al ⁽¹⁾	H+Al ⁽¹⁾	SB ⁽¹⁾	CTC ⁽¹⁾	V ⁽¹⁾	MO ⁽¹⁾	
CaCl ₂	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³					%	g dm ⁻³			
4,2	1,3	0,09	0,7	0,2	0,3	1,9	1,01	2,91	35	6	

⁽¹⁾ Raij et al., (2001). ⁽²⁾ Teixeira et al. (2017)

Quanto aos atributos físicos o solo possuía 880 g kg⁻¹ de areia (> 0,05 mm), 66 g kg⁻¹ silte (>0,002 a 0,05 mm) e 54 g kg⁻¹ de argila (<0,002 mm) (Teixeira et al. 2017).

3.3. Características do pó de rocha

O pó de rocha utilizado foi fornecido por uma pedreira localizada no Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB) e provém de rochas granulíticas. O pó de rocha apresentava a seguinte composição: SiO₂ (63,27%), Al₂O₃ (14,09%), Fe₂O₃ (7,45%), CaO (2,67%), MgO (3,32%), K₂O (3,86%), Na₂O (2,66%), TiO₂ (0,87%), MnO (abaixo do limite quantificável) e P₂O₅, (0,27%).

Nota-se que o material atende às exigências mínimas em relação à soma de bases que deve ser maior ou igual a 9%, e ao teor de K₂O, que deve ser igual ou superior a 1%, de acordo com as orientações da Instrução Normativa MAPA N° 05/2016 (BRASIL, 2016). As análises também indicaram que os seguintes níveis de elementos potencialmente tóxicos: Arsênio (<1 mg.kg⁻¹); Cádmio (<1 mg.kg⁻¹); Chumbo (<1 mg.kg⁻¹) e Mercúrio (<0,1 mg.kg⁻¹). Tais teores estão abaixo dos limites máximos permitidos pela IN N° 05/2016.

Quanto à natureza física, o remineralizador é classificado como “pó” pela IN 5/2016 do MAPA, com pelo menos 54,44% de seu conteúdo passante na peneira de 0,3 mm. Já o pH de abrasão do pó de rocha é 8,01, ou seja, alcalino.

A análise mineralógica por Difração de Raios-X, indicou uma composição típica de rochas silicáticas basálticas (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização mineralógica da amostra de pó de rocha granulítica. Laboratório CRTI, 2019

Mineral	Participação (%)
Oligoclásio	39,47
Microclínio	17,98
Quartzo	17,39
Biotita	11,53
Clorita	3,65
Muscovita	3,28
Magnetita+ ulvoespínélio	2,43
Actinolita	1,54
Apatita	0,66
Total	97,93

3.4 Unidade Experimental e Tratamentos

Cada unidade experimental foi constituída por um saco de polietileno com capacidade de 2 kg, preenchido com 1,0 kg de um solo de textura arenosa (Neossolo Quartzarênico- RQ), seco ao ar e peneirado em malha de 4mm. A incubação foi realizada mediante a aplicação dos tratamentos que consistiram nas seguintes doses do pó de rocha: 0,0, 10, 20,0, 40,0, 80,0 e 160 t ha⁻¹. A incubação ocorreu por um período de 40 dias e o teor umidade do solo foi mantido em aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água, por meio de pesagens semanais dos sacos e reposição com água deionizada quando preciso.

3.5. Análises químicas realizadas após incubação

Após o período de incubação, subamostras foram coletadas, secas ao ar, peneiradas em malha 2 mm e encaminhadas ao laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFRB para a realização das análises conforme protocolos analíticos descritos por Teixeira et al. (2017) no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa.

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado em água na proporção 1:2,5. Os cátions trocáveis K⁺ (potássio) e Na⁺ (sódio) foram extraídos com solução Mehlich-1

e determinados utilizando um espectrofotômetro de chama. Para determinação do Ca^{2+} (cálcio) e Mg^{2+} (magnésio) foi utilizado o extrator KCl 1 mol L^{-1} e a quantificação foi feita com um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES). Para a determinação do Al^{3+} (alumínio trocável) foi utilizada solução extratora de KCl 1 mol L^{-1} e realizada a titulação com solução padrão de NaOH 0,025 mol L^{-1} . A determinação da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi obtida com solução extratora de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} pH 7,0 e depois determinada por titulometria com NaOH 0,025 mol L^{-1} . Com esses resultados, foram calculadas a soma de bases (SB) capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 e a saturação por bases (V%).

3.6. Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos (doses de pó de rocha) e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguindo de análise de regressão polinomial das doses. A análise estatística foi realizada utilizando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o período de 40 dias de incubação, com adição das seis doses de pó de rocha, notou-se um incremento de forma linear dos atributos químicos, tais como pH, SB, CTC, V%, Ca, Mg, K e redução da acidez potencial (H+Al) e Al.

A aplicação do pó de rocha promoveu incremento linear no atributo pH quando comparado à testemunha. Os valores variaram de 4,87 para 6,9 entre os tratamentos 0,0 e 160 t ha^{-1} respectivamente (Figura 1). A classificação agrônômica dos valores de pH passou de “baixo” para “alto” com a utilização da maior dose, já com a utilização das doses 40 t ha^{-1} e 80 t ha^{-1} foi alcançada a faixa adequada de pH (5,5 - 6,0) (CFSEMG, 1999).

O efeito positivo do pó de rocha sobre o pH, também é relatado por Gillman et al. (2001), que obtiveram a variação de 4,2 a 5,2 com incubação de 50 t ha^{-1} de pó de basalto por três meses em um solo arenoso altamente degradado da Austrália. Silva et al. (2011) ao utilizarem 100,0 t ha^{-1} de pó de basalto alcançou a elevação de pH de 5,5 a

6,0 em um Nitossolo Bruno Distrófico típico, após 10 meses. Melo et al. (2012) com a dose de 50 t ha⁻¹ de basalto, constataram a variação de pH de 4,8 para 5,5 em um Latossolo Amarelo ácido com 6 meses de incubação. Já Souza et al. (2017), ao utilizarem 33 t ha⁻¹ de pó de basalto em um Neossolo Quartzarênico obteve a variação o aumento de 5,4 a 6,6, após incubação por 30 dias.

A faixa de pH entre 5,5 e 6,0, é considerada ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas, dessa forma fica evidente o potencial corretivo do material, uma vez que o mesmo apresenta óxidos de cálcio e magnésio em sua constituição, que se dissociam liberando o radical OH⁻ que reagem com o íon H⁺ presente na solução do solo, o neutralizando, e dessa forma promove a elevação do pH do solo (RAIJ, 2011). Além disso, o baixo poder tampão do solo arenoso corrobora com o aumento expressivo do pH, já que possui menor capacidade de resistência a mudanças bruscas.

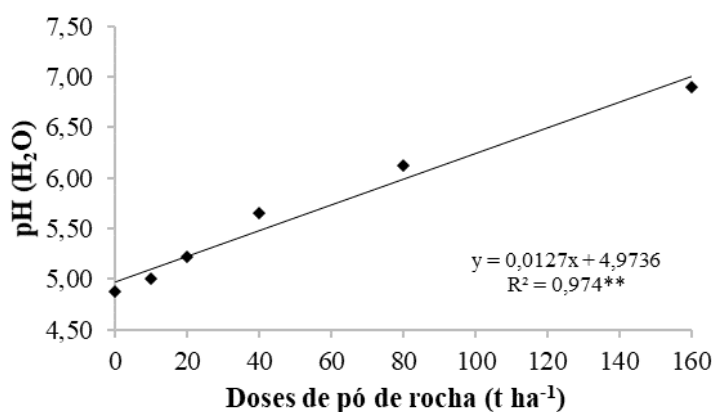


FIGURA 1: Potencial hidrogeniônico (pH) obtidos no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

A aplicação do pó de rocha silicática reduziu em 100% do valor de alumínio trocável, que foi de 0,25 cmol_c dm⁻³ a 0,0 cmol_c dm⁻³ e 48,53% nos teores médios da acidez potencial (H+Al), que foram de 1,36 a 0,70 cmol_c dm⁻³, entre a testemunha e a maior dose, respectivamente, apresentando um comportamento representado por uma equação quadrática (Figuras 2 e 3). Essa variação corresponde a mudança de classificação dos teores de acidez potencial de “baixo” para “muito baixo” (CFSEMG, 1999).

A redução da acidez potencial e trocável com a utilização de pó de rocha também é descrita por outros autores, como Melo et al. (2012), que obtiveram a diminuição de $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos valores de H^+Al e $0,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos de Al^{3+} com a adição de 96 t ha^{-1} de pó de basalto em um Latossolo Amarelo distrófico incubado por 6 meses. Chaves et al. (2019) utilizando doses crescentes de pó de rocha MB4 (0; 3; 6; e 9 t ha^{-1}) em um solo de textura franco-arenosa, verificaram uma redução de 76,6% dos valores de H^+Al com o uso da maior dose em relação à testemunha, em 90 dias.

De modo geral, a toxicidade do alumínio é mais intensa em um pH inferior a 5,0, visto que isso resulta em um aumento significativo da solubilidade desse elemento. No entanto, quando o pH está entre 5,2 e 5,3, o alumínio trocável encontra-se quase completamente insolúvel e já não causa danos às raízes (FERREIRA et al., 2006; SOBRAL et al., 2015). Com o uso do pó de rocha silicática estudado, observa-se a redução do alumínio com o uso de doses a partir de 20 t ha^{-1} , que tornaram o pH superior a 5,2.

A diminuição da acidez potencial e trocável do solo é alcançada através da reação das hidroxilas liberadas pelos óxidos de cálcio e magnésio que reagem com Al^{3+} e H^+ formando hidróxido de alumínio insolúvel e água, liberando as cargas ocupadas por esses íons. Essas cargas liberadas são então ocupadas pelos cátions presentes no solo, resultando conseqüentemente um aumento na capacidade de troca catiônica do solo, na saturação por bases e no pH. A precipitação do alumínio na forma de hidróxido minimiza os efeitos de fitotoxicidade desse elemento para as plantas, como a redução da taxa de crescimento radicular em plantas sensíveis (MELO et al., 2012; MALAVOLTA et al., 2002; FERREIRA et al., 2006).

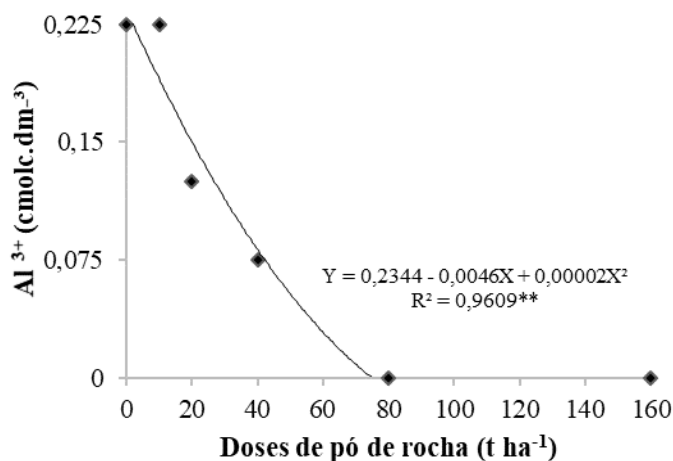


FIGURA 2: Acidez trocável (Al^{3+}) do Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

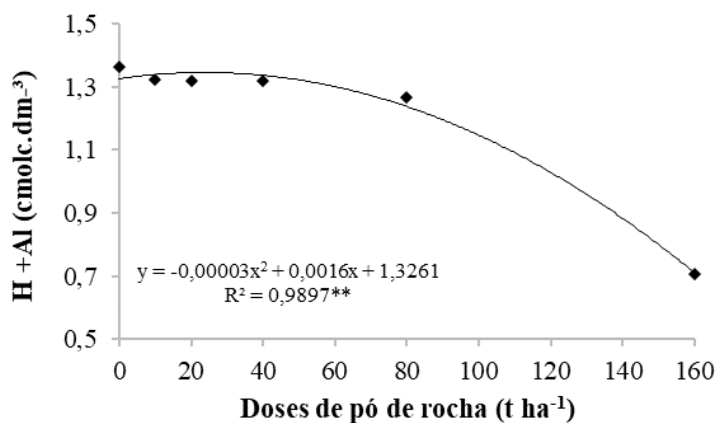


FIGURA 3: Acidez potencial (H + Al) do Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Para K observou-se a variação de 0,08 a 0,178 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ entre o tratamento controle e a maior dose, respectivamente (Figura 4). Os valores passaram de “baixo” para “médio” (CFSEMG, 1999). Essa variação corresponde à adição de 76,62 kg ha^{-1} a mais de K entre a testemunha e a dose maior (160 t ha^{-1}). Resultado similar foi encontrado por Souza et al. (2017), que ao incubar um Neossolo Quartzarênico por 30 dias com remineralizador, obteve o máximo teor de K (0,16 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) com a aplicação de 33 t ha^{-1} . Ribeiro et al. (2010) trabalhando com incubação de rochas ultramáfica alcalina e brecha piroclástica por 45 dias, também obtiveram resultados positivos e

lineares sobre os teores de K do solo à medida que se aumentou as doses das referidas rochas.

Alguns outros autores não notaram aumento expressivo do teor de K como o uso de pó de basalto. Inocêncio et al. (2009) notaram incrementos muito pouco expressivos são observados nos teores de potássio trocável após 90 dias, com a aplicação de 125 t ha⁻¹ em um Neossolo Quartzarênico. Já Silva et al. (2011) após 10 meses não obtiveram aumento nos teores de K no solo com aplicação de doses de até 100 t ha⁻¹ em um Nitossolo Bruno Distrófico típico.

Para entender esses casos é preciso considerar que cerca de 98% do potássio encontrado na crosta terrestre, está na forma não trocável (fortemente retido nas entrecamadas dos minerais primários ou argilominerais) e na forma estrutural (incorporado às estruturas cristalinas de minerais, como os feldspatos e as micas) (ZÖRB et al., 2014). Os feldspatos potássicos (microclíneo, ortoclásio e sanidina), feldspatoides (leucita e nefelina) e as micas (biotita, muscovita e flogopita), são os minerais primários mais ricos em potássio. À medida que acontece a intemperização e dissolução desses minerais, ocorre a formação de minerais secundários, como as argilas 2:1 illita, vermiculita e montmorilonita, que aumentam a CTC do solo e conseqüentemente a manutenção do K disponível para as plantas (ALVES et al., 2021).

Portanto, ao se utilizar um remineralizador é importante considerar a complexidade da disponibilização de potássio no solo, pois em comparação com os fertilizantes convencionais, a solubilização do K, retido em minerais silicáticos é lenta e dependerá de inúmeros fatores como o tempo de incubação, a granulometria, composição química e mineralógica da rocha, pH e atividade biológica do solo (DETTMER et al., 2019). No entanto, a disponibilização lenta e gradual de K do pó de rocha é relevante, funcionando como uma reserva de nutriente e reduzindo as perdas por lixiviação. O remineralizador em questão possui os minerais microclínio, biotita e muscovita que somam 32,79% da amostra de pó de granulito, demonstrando potencial para disponibilização de K ao longo do tempo.

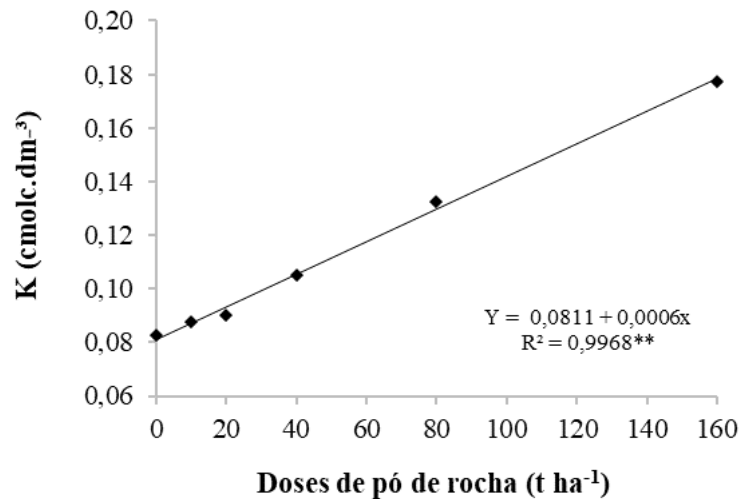


FIGURA 4: Teores de K obtidos no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Com a adição do pó de rocha granulítica, os teores de Ca e Mg aumentaram linearmente. Com isso, pôde-se verificar uma variação de 0,36 a 1,95 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para cálcio (FIGURA 5), e de 0,26 a 0,53 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para o magnésio entre o tratamento controle e a maior dose, respectivamente (FIGURA 6). A classificação agrônômica dos teores de Ca passou de “muito baixo” para “médio” e os de Mg de “baixo” para “médio” (CFSEMG, 1999).

O efeito positivo do pó de rocha sobre os teores de Ca e Mg também foi constatado por Melo et al. (2012) que observaram incremento de 0,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na concentração de Ca com dose de 48 t ha^{-1} de pó de basalto em um Latossolo Amarelo distrófico. Apesar de baixo, este valor torna-se de grande importância, quando se considera os baixos teores do solo e nutrição de culturas a longo prazo. Em suas pesquisas Souza et al. (2017) notaram que o aumento da dose do remineralizador resultou em efeito significativo sobre a disponibilidade de Ca (5,0 a 6,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e Mg (0,4 a 1,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) após aplicação de 33 t ha^{-1} de pó de basalto em um Neossolo Quartzarênico.

Já com a incubação de 16 t ha^{-1} de pó de basalto por 90 dias, Alovisei et al. (2017), notaram um incremento de 1,109 e 0,573 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nos teores de Ca e Mg, respectivamente, em um Latossolo Vermelho distroférico. Esses teores foram avaliados como relativamente baixos pelos autores sugerindo que esses cátions devem

estar contidos em minerais de baixa solubilidade. Embora o teor tenha aumentado em relação a testemunha.

A presença de oligoclásio e biotita no pó de rocha estudado, sugere que o pó de rocha estudado tem potencial para liberar Ca^{2+} e Mg^{2+} a partir do intemperismo e dissolução destes minerais. No entanto, um fator que pode influenciar positivamente na disponibilidade é a granulometria, quanto mais fina, mais fácil a dissolução. Neste trabalho 45,56 % do pó de rocha apresenta partículas maiores que 0,3 mm, dessa forma será necessário um maior tempo para que o cálcio, magnésio e potássio sejam liberados das estruturas dos minerais.

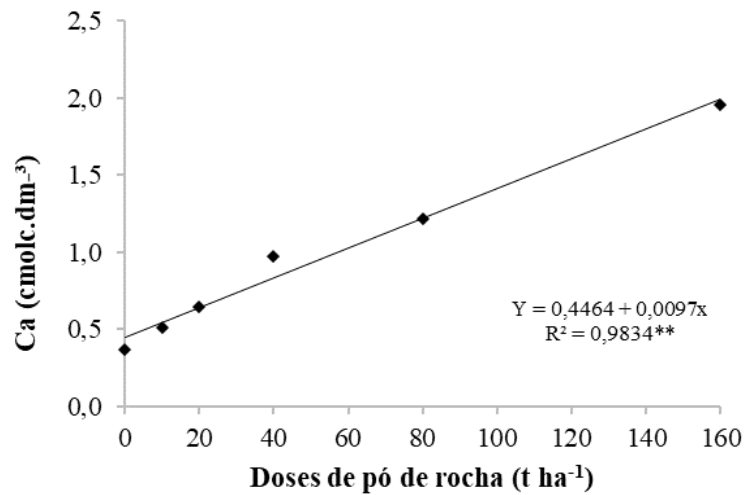


FIGURA 5: Teores de Ca obtidos no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

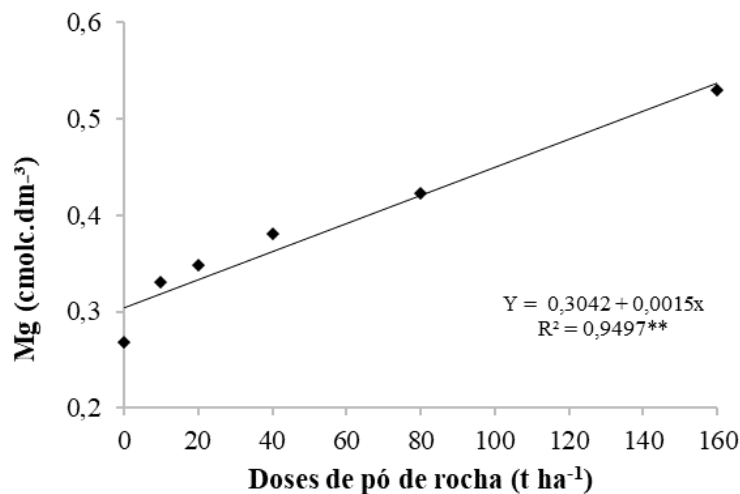


FIGURA 6: Teores de Mg obtidos no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

A soma de bases (SB), representa a soma de teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ . Houve aumento linear para a SB, sendo que os valores variaram de 0,75 a 2,74 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ entre as doses 0,0 e 160,0 t ha^{-1} , respectivamente (Figura 7). Com essa variação a classificação do valor de SB passou de “baixo” para “médio” (CFSEMG, 1999). Ribeiro et al. (2010) ao trabalharem com pó de rocha ultramáfica alcalina notaram um aumento significativo da soma de bases, resultado que julgaram coerente já que o pó de rocha promoveu a correção da acidez e aumento nos teores de cálcio. Em seus trabalhos, Anda et al. (2015) e Silva et al. (2012) concluíram que a incubação com pó de basalto aumentou continuamente os teores de cátions básicos Ca, Mg, K e Na, elevando a soma de bases. Os resultados deste estudo corroboram com os desses autores, visto que o aumento da SB se deu pelo aumento de teores desses cátions.

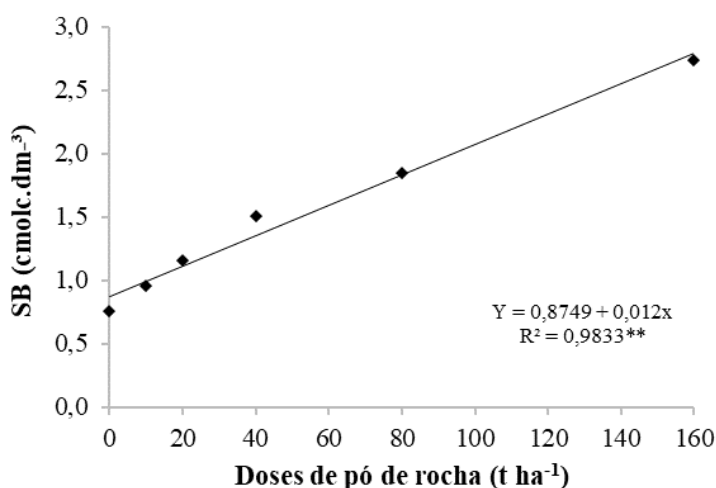


FIGURA 7: Valores da Soma de Bases obtidas no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

O aumento nos valores da SB promoveu elevação dos valores da capacidade de troca catiônica ($\text{CTC} = \text{SB} + \text{H} + \text{Al}$), com valores variando de 2,11 a 3,44 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ entre o tratamento controle e a maior dose, respectivamente (FIGURA 8). Esse incremento não foi suficiente para alterar a classificação agrônômica dos valores de CTC, que permaneceu classificada como “baixo” (CFSEMG, 1999). Os resultados estão de acordo com os encontrados com Souza et al. (2017) que utilizando doses crescentes de pó de basalto (5,5, 11,0, 16,5 e 33 t ha^{-1}), obtiveram aumento da capacidade de troca

catiônica. Anda et al. (2015) notaram o aumento na CTC acompanhado por um aumento no cálcio, magnésio e potássio trocável após incremento gradativo de doses (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹) de pó de basalto.

Os principais fatores que influenciam na CTC do solo, segundo Fageria e Stone (2006) são textura, quantidade e tipo de argila e teor de matéria orgânica. No presente estudo apesar do incremento, o valor da capacidade de troca de cátions permaneceu baixo, e isso pode ser atribuído à textura arenosa e baixo teor de matéria orgânica.

Conseqüentemente em decorrência dos aumentos lineares da SB e CTC, verificou-se aumento linear para a saturação por bases (V%) com valores variando de 35,40 para 79,53% entre as doses 0,0 e 160,0 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 9). A classificação agrônômica evoluiu de “baixo” para “bom”, sendo ideal para maioria das culturas agrícolas (CFSEMG, 1999).

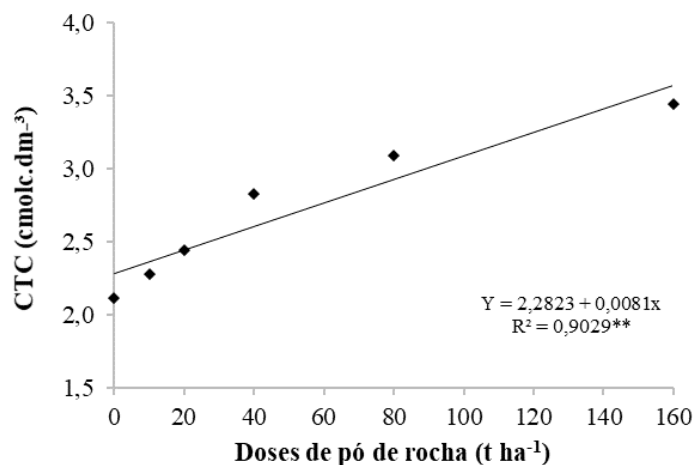


FIGURA 8: Valores da CTC obtidos no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

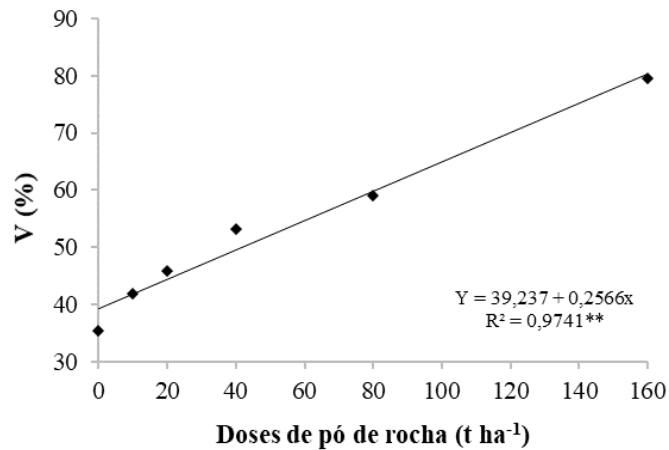


FIGURA 9: Valores da Saturação por Bases (V%) obtidos no Neossolo Quartzarênico após 40 dias de incubação do pó de rocha silicática. ** e * – Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

O pó de rocha oriundo de rocha granulítica aumentou os valores de pH, Ca, Mg, K, SB, CTC, V (%) e reduziu H+Al e Al no solo. O uso do pó de rocha granulítica como remineralizador demonstrou potencial para o incremento dos atributos químicos do solo.

Devido à lenta liberação e a baixa concentração de nutrientes do pó de rocha, em comparação com fertilizantes químicos convencionais, é necessário aplicar doses maiores para fornecer uma quantidade suficiente de nutrientes essenciais. Nesse sentido, mais pesquisas são necessárias para entender os efeitos a longo prazo, a viabilidade econômica e os possíveis impactos ambientais associados ao uso de grandes doses de pó de rocha.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728, 2013.

ALOVISI, A. M. T. et al. Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. *Acta Iguazu*, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 69-79, 2017.

ALVES, V. M. C. et al. **Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 20 p.

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I. Improving chemical properties of a highly weathered soil using finely ground basalt rocks. *Catena*, v. 124, p. 147-161, 2015.

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Setor de Fertilizantes: Anuário Estatístico 2020**. São Paulo, 2020.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 32, n. 7-8, p. 921-950, 2001.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF. Seção 1 – 11 de dez. de 2013, 1p. (Publicação Original).

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF. Seção 1 - 14 de mar. De 2016. Nº 49, p.10.

BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 56, n. 1, p. 59-68, 2000.

CHAVES, L. H. G. et al. Influência da bentonita e MB4 na acidez potencial, pH e capacidade de troca catiônica do solo. In: Paulo Roberto Megna Francisco; Dermeval Araújo Furtado; Aline Costa Ferreira. (Org.). **Ciência, Desenvolvimento e Inovação na Engenharia e Agronomia Brasileira**. 1 ed. Campina Grande: EPGRAF, 2019, v. 3, p. 132-137.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – (CFSEMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas**

Gerais, 5ª Aproximação. Viçosa, MG: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V. eds, 1999. 322p.

DETTMER, C. A. et al. Agricultura e inovação: estudo sobre a viabilidade de uso do ‘pó de rocha’ em sistemas de produção agrícola. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO, 3., 2019, Naviraí. **Anais...** Naviraí: UFMS, 2019. p. 1-10.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Esclarecimentos sobre uso de agrominerais silicáticos (remineralizadores) na agricultura.** [S.l]: EMBRAPA, 2020.

FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. **Qualidade do solo e meio ambiente.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documento / Embrapa Arroz e Feijão, 197)

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, R. P. F. MOREIRA, A. RASSINI, J. B. Toxidez de alumínio em culturas anuais. **Documento 63.** São Carlos–SP, 2006.

GILLMAN, G.P., BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry. **Australian Journal of Soil Research**, Montpellier, v.39, p. 799-811, 2001.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, p. 11-36, 2000.

INOCÊNCIO, M. F. et al. Efeito da aplicação de basalto triturado nas características químicas de amostras de solo do estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 145-151, 2009.

MALAVOLTA, E.; GOMES, P. F.; ALCARDE, J.C. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 1970p.

MARTINS, E. S. et al. Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture. In: World Fertilizer Congress of CIEC, 16., 2014, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: CIEC, 2014. p 138-140.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: ADÃO, B. L.; LINS, F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: Cetem, 2008. p. 205-221.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moídos nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**. v. 42, n. 4, p. 471–476, 2012.

NASCIMENTO, C. O. **Avaliação de revestimentos de polímeros biodegradáveis em grânulos de KCl obtidos por meio de leito fluidizado**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado – Curso de Engenharia Industrial), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

NASTARI, P. M. A crise na Ucrânia e a dependência da importação de fertilizantes. **AgroANALYSIS**, v. 42, n. 5, p. 16-17, 2022.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. Mercado de Fertilizantes: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **World population prospects 2019: highlights**. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WP2019_10KeyFindings.pdf. Acesso em: 14 fev. 2023.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. Ed. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RIBEIRO, L. S. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 891-897. 2010.

SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa. 2018.

SILVA, A. et al. Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, [S.l.], v. 42, n. 1, p. 69 - 76, mar. 2011.

SILVA, D. R. G. et al. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 951-962, 2012.

SOBRAL, L. F. BARRETO, M. C. V. SILVA, A. J. ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2015.

SOUZA, F. N. S. et al. Potencial de rejeito mineral na produção de grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. p. 289-295.

SOUZA, F. N. S.; OLIVEIRA, C. G., MARTINS, E. S., ALVES, J. M. Efeito condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Agri-Environmental Sciences**. v. 3, n. 1, p. 1-14, 2017.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA. 2017.

THEODORO, S. H. **A Fertilização da Terra pela Terra: Uma Alternativa de Sustentabilidade para o Pequeno Produtor Rural**. 2000, 231 p. Tese (Ph.D), Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. p. 173-181.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 721-730, 2006.

VAN STRAATEN, P. **Agrogeology – the use of rocks for crops**. Cambridge, Canadá; 2007.

VAN STRAATEN, P. **Rocks for crops: agrominerals of Sub-Saharan Africa**. Nairobi: ICRAF, 2002. v. 1. 338 p.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, p. 731-747, 2006.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture: status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.