

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA  
MESTRADO PROFISSIONAL

**ZANDER HENRIQUE DE LIMA KLEIN**

**ALTERAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE PÓ  
DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR**

MARINGÁ  
2020

ZANDER HENRIQUE DE LIMA KLEIN

**ALTERAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE PÓ  
DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional, do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia. Área de concentração: Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Saraiva da Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Ivan Granemann de Souza Junior.

MARINGÁ  
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

K64a

Klein, Zander Henrique de Lima

Alteração nos atributos químicos do solo após aplicação de pó de basalto como remineralizador / Zander Henrique de Lima Klein. -- Maringá, PR, 2020.  
xi, 56 f.color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Saraiva da Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Ivan Granemann de Souza Junior.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia - Mestrado Profissional, 2020.

1. Latossolo vermelho distrófico. 2. Latossolo vermelho distroférico. I. Costa, Antonio Carlos Saraiva da, orient. II. Souza Junior, Ivan Granemann de, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia - Mestrado Profissional. IV. Título.

CDD 23.ed. 631.42

Márcia Regina Paiva de Brito - CRB-9/1267

**ZANDER HENRIQUE DE LIMA KLEIN**

**"Alteração nos Atributos Químicos do Solo após Aplicação de Pó de Basalto como Remineralizador."**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de mestre.

APROVADO em 27 de fevereiro de 2020.



Prof. Dr. **Ivan Granemann de Souza Junior**



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. **Anny Rosi Mannigel**



Prof. Dr. **Antonio Carlos Saraiva da Costa**  
Orientador

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Ana Maria Klein, ao meu filho Zander Junior e à minha mãe Antonia, que contribuíram, incondicionalmente, com paciência e amor nesta jornada. E a todos aqueles que participaram, voluntariamente, para a concretização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela vida, pela saúde, pela paz e por proporcionar oportunidades de crescimento e conquistas ao longo de minha caminhada.

À minha esposa, ao meu filho e aos meus pais pelo incentivo, apoio e dedicação para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu estimado orientador e professor Dr. Antonio Carlos Saraiva da Costa, por me conceder a oportunidade e o privilégio de ser seu orientando neste Mestrado. Também por sua compreensão, dedicação, amizade, por todo seu esforço e conhecimento repassado com respeito e sabedoria para a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador professor Dr. Ivan Gracmann de Souza Junior, pela sua amizade, empenho, dedicação, atenção, compreensão e todo tempo disponibilizado para me auxiliar na execução das atividades laboratoriais e no desenvolvimento deste estudo.

Aos colegas do Laboratório de Química e Mineralogia do Solo - LQMS, Rodrigo, Raquel, Leila, Neuzilene e Rafaela.

Aos coordenadores do Mestrado professor Dr. José Ozinaldo Alves de Sena e professora Dr<sup>a</sup> Maria Marcelina Millan Rupp, pelo incentivo, apoio e conhecimento transmitido.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia – Mestrado Profissional-PROFAGROEC da Universidade Estadual de Maringá – UEM, a todos os professores, alunos, colaboradores e voluntários do Mestrado, pela atenção e conhecimento transmitido.

À Pedreira Ingá, pela participação e colaboração deste experimento.

À Superintendência da Zona Franca de Manaus-SUFRAMA, pela oportunidade cedida para minha capacitação e aprimoramento profissional.

À Coordenação Regional de Porto Velho/RO, na pessoa do Gil Vicente da Silva, coordenador e chefia imediata, a todos os colegas de trabalho e demais coordenações que participaram no trâmite deste processo para que eu pudesse participar deste Programa de Mestrado.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a construção deste trabalho.



## EPIGRAFE

*"Eu sou mais um lutador que nunca se entregou  
Os anos passam e o tempo é rei  
Olha pra mim, veja o milagre que o meu Deus fez  
Viva com coragem e não tema o fracasso  
Você consegue ser também um homem de aço  
Guerreiro é guerreiro, lutador é lutador  
Covarde é covarde, perdedor é perdedor  
O mundo é o ringue, você é o gladiador  
Firmeza na rocha e fé no Redentor"*

(Pregador Luo).

## ALTERAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR

### RESUMO

O uso do pó de rocha na agricultura seja como corretivo, fertilizante ou condicionador de solo ocorre nos mais diversos sistemas de produção agropecuária, incluindo a agricultura em base ecológica como opção de manejo sustentável de solos, na recuperação de solos em processo de degradação, como áreas de pastagens oriundas das regiões tropicais. Nestas, são encontrados solos altamente intemperizados com baixa regeneração natural, problemas de compactação e baixo teor de matéria orgânica. A aplicação do pó de basalto em diferentes solos pode melhorar os atributos químicos dos solos, em um determinado período de incubação. Para testar esta hipótese, instalou-se um experimento avaliando o efeito da aplicação do pó de basalto em dois solos com diferentes texturas, que foram cultivadas com *Urochloa ruziziensis*. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Estadual de Maringá – UEM, onde foram incubados solos de duas classes texturais com seis doses de pó de basalto (5, 10, 20, 30, 40 e 50 t ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições cada tratamento. Foram utilizados, o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf de textura argilosa e o Latossolo Vermelho distrófico-LVd de textura média. Os solos foram amostrados após o cultivo da gramínea com, 150 dias de incubação e avaliados seus atributos químicos. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por análise de regressão linear e correlações e mostraram efeitos positivos para os atributos químicos dos dois solos. Os dois solos utilizados neste estudo por possuírem diferentes teores de argila, CTC, teores de matéria orgânica, teores de carbono e poder tampão exibiram diferentes respostas em relação às doses de pó de basalto aplicadas. O LVd apresentou o maior número de correlações lineares com os atributos químicos em função do acréscimo das doses do pó de basalto, apontando efeitos positivos para pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>KCl</sub>, ΔpH, pH<sub>pCZ</sub>, cátions trocáveis com acréscimo de 0,0070 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca e 0,0037 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg para cada 1 t ha<sup>-1</sup> do pó de basalto. Para este solo a CTC aumentou de 0,0198 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para cada 1 t ha<sup>-1</sup> do pó de basalto e um incremento de 2,220 mg dm<sup>-3</sup> na concentração dos micronutrientes. O LVdf por sua vez, apresentou correlações significativas com o teor de sódio, a CTC a pH 7,0, o teor de fósforo, os teores de cobre, zinco e ferro.

**Palavras-chave:** Pó de rocha. Latossolo. Condicionador químico. Sustentável.



## CHANGE IN SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AFTER APPLICATION OF BASALT POWDER AS REMINERALIZER

### ABSTRACT

The use of powder rock in agriculture as lime, fertilizer or a soil conditioner occurs in the most diverse agricultural production systems, including agriculture on an ecological basis as an option for sustainable soil management, in the recovery of soils in the process of degradation, as pasture areas from tropical regions. In these, highly weathered soils with low natural regeneration, compaction problems and low organic matter content are found. The application of basalt powder in different soils can improve the chemical attributes of the soils in a given incubation period. To test this hypothesis, an experiment was installed evaluating the effect of applying the basalt powder on two soils with different textures, which were cultivated with *Urochloa ruziziensis*. The experiment was carried out in a greenhouse at the State University of Maringá - UEM, where soils of two textural classes were incubated with six doses of basalt powder (5, 10, 20, 30, 40 and 50 t ha<sup>-1</sup>), with five repetitions each treatment. Dystroferric Red Latosol-LVdf with clay texture and Dystrophic Red Latosol-LVd with loam texture were used. The soils were sampled after growing the grass with 150 days of incubation and its chemical attributes were evaluated. The results obtained were statistically analyzed by linear regression analysis and correlations and showed positive effects for the chemical attributes of the two soils. The two soils used in this study for having different clay, CEC, organic matter, carbon contents and buffering capacity exhibited different responses in relation to the applied doses of basalt powder. The LVd showed the highest number of linear correlations with the chemical attributes due to the increase in the doses of the basalt powder, indicating positive effects for pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>KCl</sub>, ΔpH, pH<sub>PCZ</sub>, exchangeable cations with an increase of 0.0070 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> of Ca and 0.0037 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> of Mg for each 1 t ha<sup>-1</sup> of the basalt powder. For this soil, CEC increased from 0.0198 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> for each 1 t ha<sup>-1</sup> of the basalt powder and an increase of 2.220 mg dm<sup>-3</sup> in the micronutrient concentration. The LVdf turn correlated significantly with the sodium content, the CEC at pH 7.0, the phosphorus content of the copper content, zinc and iron.

**Keywords:** Rock dust. Oxisol. Chemical conditioner. Sustainable.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do pó de basalto da Pedreira Ingá.....	29
Tabela 2. Análise química e granulométrica dos solos: Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd).....	32
Tabela 3. Recomendação de adubação e calagem para os solos Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) e do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd). ....	33
Tabela 4. Delineamento dos tratamentos com o pó de basalto .....	34
Tabela 5. Atributos químicos encontrados no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após aplicação das diferentes doses do pó de basalto..	38
Tabela 6. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos associados à acidez do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).....	41
Tabela 7. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos associados a cátions trocáveis do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).....	42
Tabela 8. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos: fósforo (P) e carbono (C) do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).43	
Tabela 9. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos: ferro (Fe),cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e total do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Instalação do experimento em casa de vegetação: semeadura nos vasos (A); período de germinação da <i>Urochloa ruziziensis</i> (B e C); desenvolvimento da <i>Urochloa ruziziensis</i> durante o período de incubação dos tratamentos (D, E, F, G e H). .....	35
<b>Figura 2.</b> Análise de regressão linear da variável $\Delta\text{pH}$ em função das doses de pó de basalto aplicados nos solos Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 2A) e Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) textura argilosa (Figura 2B). .....	41
Figura 3. Análise de regressão linear da variável $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ em função das doses de pó de basalto aplicados no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 3A) e no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) textura argilosa (Figura 3B). .....	44
Figura 4. Análise de regressão linear da variável CTC a pH 7,0 em função das doses de pó de basalto aplicados no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 4A) e no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) textura argilosa (Figura 4B). .....	44
Figura 5. Análise de regressão linear da variável CTCe em função das doses de pó de basalto aplicados no no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 5A) e no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) textura argilosa (Figura 5B). .....	45
Figura 6. Análise de regressão linear das variáveis Fe, Zn, Cu e Mn em função das doses de pó de basalto aplicados no no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 6A) e no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) textura argilosa (Figura 6B). .....	45



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Si	- silício
Pb	- chumbo
Cr	- cromo
As	- arsênio
Se	- selênio
Cd	- cádmio
KCl	- cloreto de potássio
pH	- potencial hidrogênionico
K <sub>2</sub> O	- óxido de potássio
B	- boro
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	- amônio
M.-O.	- matéria orgânica
TFSA	- terra fina seca ao ar
NaOH	- hidróxido de sódio
CaCl <sub>2</sub>	- cloreto de cálcio
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	- pentóxido de fósforo
CTA	- capacidade de troca aniônica
CTC	- capacidade de troca catiônica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1	A AGRICULTURA EM BASE ECOLÓGICA .....	14
2.2	MANEJO E QUALIDADE DO SOLO .....	16
2.3	REMINEALIZADORES DE SOLO .....	18
2.4	PÓ DE BASALTO .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PÓ DE BASALTO .....	27
3.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS SOLOS .....	30
3.2.1	Adubação e calagem .....	33
3.2.2	Delineamento experimental e tratamentos .....	33
3.2.3	Instalação e condução do experimento .....	34
3.2.4	Avaliações .....	35
3.2.5	Análise estatística.....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Há décadas o pó de rocha é utilizado como um condicionador de solo, nos mais diversos sistemas de cultivo agrícola. Mas, recentemente, pesquisas com o pó de basalto afirmam que este pode ser testado e utilizado como remineralizador de solos e avaliado pelas práticas de remineralização.

Uma das principais funções do pó de basalto é a adição lenta e gradativa de Si, Ca, Mg, K, Na, P e de micronutrientes que passam a fazer parte da solução do solo; além do aumento da reserva nutricional, ao promover o aumento da disponibilidade destes elementos no solo, o que pode proporcionar o equilíbrio do pH, levando-o a um processo de rejuvenescimento.

A utilização de pó de basalto na agricultura como fonte de nutrientes aos sistemas de cultivo é considerada uma das práticas mais antigas utilizadas como condicionador químico na reconstituição da fertilidade dos solos. Esta rocha contribui para melhoria na fertilidade do solo, pois predominam em sua composição minerais primários fornecedores de nutrientes, podendo, dependendo da granulometria, ser facilmente intemperizáveis.

De forma geral, o pó de basalto é utilizado na agricultura familiar e, principalmente, pelos produtores que visam implementar técnicas de manejo em base ecológica nos seus sistemas de cultivo, buscando uma produção sustentável de alimentos aliado à preservação dos recursos naturais, os quais são fundamentais para a manutenção desta atividade.

No sistema de produção agrícola, um fator fundamental, que permanece em evidência, é a importância da adição de nutrientes ao solo, na forma orgânica ou inorgânica, para garantir a produtividade dos cultivos. A remineralização dos solos com pós de rochas é uma alternativa sustentável, pois trata-se de um resíduo proveniente da britagem e moagem das rochas nas empresas que tem a finalidade de comercializar por exemplo, pedras e britas. Assim, quando é aplicado nas doses adequadas visa atender, parcialmente, a necessidade do solo por fertilizantes, adubos e corretivos, melhorando seus atributos químicos e, conseqüentemente, aumentando a produção de alimentos.

Neste contexto, a remineralização dos solos com pó de basalto, além de poder reduzir os custos de produção, enquadra-se nos modelos de manejo sustentável, na produção de alimentos em base ecológica, pois faz parte do conjunto de insumos autorizados pelas certificadoras de alimentos orgânicos.

Estudos anteriores revelam que a aplicação do pó de basalto em doses adequadas pode aumentar a eficiência do uso de alguns biofertilizantes, pois, tem como um de seus princípios, a remineralização do solo, a qual promove a reposição, de forma gradativa, dos cátions básicos, da adição de sílica e da elevação do pH.

A utilização do pó de basalto nos sistemas de cultivos em base ecológica é uma maneira de repor, aos solos, nutrientes importantes que, constantemente, são exportados pelos sistemas produtivos. Além da adição de nutrientes, a aplicação do pó de basalto pode promover, também, alterações nos atributos físicos e químicos, atuando diretamente na densidade, porosidade e, conseqüentemente, na retenção de água no solo, alterando os níveis de pH, apresentando diferentes respostas para cada tipo de solo.

É necessário conhecer o pó de basalto enquanto remineralizador ou condicionador químico de solos, para que seu uso possa apresentar efeitos positivos. Com a adequada aplicação do pó de basalto por meio da remineralização, o sistema de manejo em base ecológica se tornará viável, garantindo, assim, a produção de alimentos mais saudáveis ao consumidor e, ao mesmo tempo, mais rentável ao produtor. A aplicação de pó de basalto pode ser uma excelente opção de remineralizador de solos, promovendo o seu rejuvenescimento.

A fim de sanar algumas dúvidas relacionadas às alterações provocadas no solo em junção da aplicação do pó de basalto como remineralizador dos solos, este estudo visa buscar resposta para este problema por meio da seguinte hipótese: doses crescentes do pó de basalto aplicados em diferentes solos como remineralizador podem melhorar os atributos químicos dos solos, após determinado período de incubação.

O presente trabalho teve, como objetivo, avaliar, em casa de vegetação, o efeito, nos atributos químicos dos solos, de diferentes doses de pó de basalto no Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa e no Latossolo Vermelho distrófico de textura média após incubação com doses de pó de basalto e cultivados com *Urochloa ruziziensis*.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A AGRICULTURA EM BASE ECOLÓGICA

Segundo Beilner (2019), a agroecologia é caracterizada por práticas agrícolas totalmente integradas com a natureza, de maneira harmoniosa, respeitando suas leis e princípios. Pode-se dizer que, a agricultura em base ecológica é a aplicação dos princípios ecológicos, unidos por uma simbiose atuante, a qual visa o equilíbrio na produção de alimentos, de maneira autossuficiente, com o mínimo de interferência no equilíbrio natural.

Agroecologia é um modo não específico de produção agrícola que busca a compreensão de diversos processos produtivos como a agricultura orgânica, agricultura familiar no manejo agroecológico (WENCZENOVICZ, 2016).

Para Gonçalves e Engelmann (2009), a agroecologia visa minimizar os gargalos existentes na agricultura convencional, como a alta dependência de insumos importados, atrelados a pacotes tecnológicos que incluem produtos patenteados.

Segundo o IBGE (2013), no Brasil, o consumo de fertilizantes e corretivos tem sua maior ocorrência nas grandes e médias propriedades de produção agrícola. Neste contexto, a utilização excessiva dos fertilizantes químicos na agricultura produz impactos ambientais, tais como a lixiviação dos sais para o lençol freático, provocando a eutrofização e, como resultado, aumentando a salinidade do solo (VINOD *et al.*, 2015).

Devido ao uso de insumos industriais, de maneira intensiva, na agricultura, ao visar um rápido retorno, implica ao meio ambiente a degradação dos recursos hídricos, pois estes insumos apresentam alta solubilização e, por isso, são facilmente lixiviados (COLA e SIMÃO, 2012). Além disso, várias culturas passam a apresentar desequilíbrios nutricionais com maior susceptibilidade ao ataque de doenças e pragas (FANCELLI *et al.*, 2012).

Diferentemente do sistema convencional de produção agrícola, a agricultura em base ecológica propõe um modelo de produção de alimentos onde haja a interação entre agricultores, extensionistas, pesquisadores e consumidores. Tendo, como objetivo comum, estabelecer um sistema de cultivo que seja sustentável para o meio ambiente e economicamente viável, em que os custos de produção possibilitam uma margem de lucro satisfatória ao produtor, sem inviabilizar o acesso aos seus produtos pelos consumidores.

Assim, os fertilizantes solúveis têm a capacidade de liberar rapidamente os nutrientes, atendendo, prontamente, as necessidades das plantas. Contudo, devido a sua alta solubilidade, estes fertilizantes ficam sujeitos a perdas por lixiviação, comprometendo os recursos naturais (SILVA *et al.*, 2011).

A agricultura em base ecológica é aplicada desde a agricultura de subsistência, passando pela agricultura familiar e, hoje, já está presente em grandes áreas de produção. Produzindo os mais diversos tipos de alimentos desde hortaliças, frutas, produtos de origem animal e até “*commodities*”, que visam atender um nicho de mercado crescente, na busca por alimentos e produtos saudáveis que tenham na sua origem um manejo sustentável.

Evidentemente, a aplicação das técnicas de manejo em base ecológica pode ser utilizada para produzir alimentos saudáveis, com um baixo custo de produção, por isso a importância de se buscar alternativas sustentáveis e de custos acessíveis no processo de produção, visando otimizar as áreas de produção, reduzindo assim os impactos sócio ambientais e estabelecendo o equilíbrio entre o homem e a natureza.

Os sistemas de cultivo em base ecológica têm princípios, regras e conceitos que estabelecem modelos produtivos, que tem, como foco, evitar ao máximo a degradação dos recursos naturais, no intuito de evitar a adição de insumos industrializados, que tenham na sua composição algum componente que possa contaminar os recursos naturais em alguma fase do processo de produção, provocando desequilíbrio e podendo acarretar prejuízos ao meio ambiente.

Portanto, com base nesses apontamentos e pensando na produção agrícola sustentável é importante desenvolver práticas de manejo sustentáveis que atendam aos princípios da agricultura em base ecológica para garantia da produção de alimentos mais sustentáveis.

Um exemplo de produção sustentável são as práticas de remineralização, que utilizam remineralizadores como condicionadores de solos, na busca por aumentar a produtividade nos campos de produção e, ao mesmo tempo, buscando evitar riscos de contaminação dos recursos naturais em função do uso dos solos. Desta forma, esta prática é considerada uma alternativa sustentável para a reconstrução da fertilidade dos solos nos sistemas de produção em base ecológica.

A prática de remineralização no Brasil é motivada pelas seguintes questões: a crescente demanda por fertilizantes na agricultura em base ecológica, pois o uso de adubos é restrito; designação dos resíduos das mineradoras e altas dependências por fontes solúveis de



fertilizantes, pouco abundantes no país, tendo como consequência a importação de 70% das fontes de N, P e K (BORGES *et al.*, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2010).

O pó de rocha aumenta o nível de fertilidade do solo e proporciona produção agrícola com sustentabilidade pois se trata de resíduos minerais com potencialidade de promover o enriquecimento do solo pelas práticas de remineralização (PRATES *et al.*, 2012). Neste contexto, as rochas e os pós de rocha com potencial agrônômico se tornam importantes para pequenos produtores, da agricultura familiar e da agricultura em base ecológica, pois trata-se de fontes de nutrientes mais baratos que os adubos convencionais (LUZ *et al.*, 2010).

Assim, a utilização do pó de basalto como condicionador químico do solo, torna-se uma opção viável na manutenção e na melhoria no sistema produtivo. Por isso, é de suma importância para o êxito dessa prática, estabelecer parâmetros de uso racional desse material, baseando-se no conhecimento de seu comportamento em diferentes solos que podem ser utilizados nos diversos sistemas de produção.

Na busca por alternativas que substituam o modelo atual de agricultura, adotando técnicas sustentáveis em base ecológica, os remineralizadores e os biofertilizantes se apresentam, neste sentido, como opção viável para os solos de baixa fertilidade (ASSIS *et al.*, 2013).

Deste modo, o emprego da prática de remineralização para condicionar o solo por meio da aplicação do resíduo de rochas moídas, surge como uma opção para substituir o uso de fertilizantes químicos, diminuindo assim os impactos ambientais causados pelos químicos industriais (RAMOS *et al.*, 2014).

## 2.2 MANEJO E QUALIDADE DO SOLO

A crescente demanda por alimentos no mundo pode chegar a nove bilhões de consumidores em 2050. Essa informação provoca o questionamento sobre qual será a agricultura capaz de suprir a segurança alimentar e, ao mesmo tempo, gerar boas práticas para o manejo sustentável dos recursos naturais, incluindo as fontes de suprimento de nutrientes (PILLON, 2016).

Fica evidente a importância de um sistema produtivo que produza alimentos com qualidade, livre de contaminantes e que seja acessível para todos, de forma a garantir que as



próximas gerações possam usufruir da mesma base de recursos naturais, garantindo a produção de alimentos para a sua sobrevivência (CAPORAL e AZEVEDO, 2011).

Qualidade do solo é a capacidade ou especificidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos (DORAN e PARKIN, 1994).

No processo de avaliação da qualidade do solo, se faz necessária uma verificação detalhada de alguns dos seus atributos químicos, físicos e biológicos, de forma a conferir se os efeitos resultantes das práticas adotadas refletem de forma benéfica ou não na qualidade do solo. Tais avaliações propõem a coleta de amostras para determinações laboratoriais de atributos químicos, físicos e biológicos (EMBRAPA, 2017).

Para Balota (2017), o modelo de manejo de solo utilizado tem influenciado significativamente os constituintes do solo, alterando seu funcionamento, sua qualidade e sustentabilidade. Ainda, para o autor, o inadequado manejo provoca a degradação do solo pelos processos químicos, físicos e biológicos. O manejo, por meio de práticas em base ecológica, visa à conservação do solo mediante o seu uso, preservando sua qualidade e recuperando solos em processo de degradação, minimizando os danos causados pelos processos produtivos, por meio da adoção de práticas que promovam o incremento de nutrientes, melhorando assim a qualidade química do solo.

Para Primavesi (2008), um dos princípios do manejo em base ecológica é respeitar os ciclos biológicos de cada local, observando as inter-relações entre os componentes: solo, clima e seres vivos. Ainda para a autora, o manejo agrícola deve priorizar o mínimo de interferência, aproveitando ao máximo os potenciais intrínsecos ao solo, com foco na conservação do solo: solos bem estruturados; elevada biodiversidade; proteção do solo contra o aquecimento e impacto das gotas da chuva, garantindo o bom desenvolvimento das raízes.

Para os autores Alcântara e Madeira (2008), manejo e qualidade de solos reúnem diversas práticas que em conjunto proporcionam um cultivo que resulte em produção sustentável. Tais práticas englobam operações de cultivo, tratos culturais, técnicas de manejo de correção e fertilização, entre outras. Ainda para os autores, práticas como plantio em curva de nível, faixas de retenção e cordões de contorno também são empregadas no sistema conservacionista.

As práticas de manejo dos solos se apresentam como uma ferramenta importante que deve ser implementada para garantir a conservação do solo e a manutenção dos processos

produtivos (ALCÂNTARA E MADEIRA, 2008). De maneira organizada, essas práticas compreendem um conjunto de práticas agronômicas e ecológicas, que proporcionam um sistema produtivo eficaz e duradouro de caráter sustentável.

Dentro da combinação das práticas de manejo que englobam diversos tratamentos culturais, pode-se citar a remineralização do solo, com o mínimo de impacto ambiental, visando um sistema de manejo sustentável. Neste sentido, cita-se, como exemplo de remineralizador e condicionador químico de solos, o pó de basalto, pois este possui capacidade de fornecer nutrientes de forma lenta e gradativa.

A redução da fertilidade do solo pelo seu uso indiscriminado, aliado a idade e a origem do solo, nos leva a crer que, a remineralização que se dá por meio da prática da adição ao solo de resíduos de rochas moídas, torna-se um manejo eficiente e sustentável para a agricultura (THEODORO *et al.*, 2012; BIZÃO *et al.*, 2013).

Logo, é importante compreender que, os modelos de produção agropecuária que utilizam as técnicas de manejo em base ecológica, buscam, entre outras medidas, o uso racional dos recursos naturais, visando assim, preservar a saúde das futuras gerações. Neste sentido, práticas de manejo que visam manter a qualidade do solo devem ser adotadas nos mais variados modelos sustentáveis, que tem como objetivo a manutenção da qualidade de vida de todos os envolvidos.

### 2.3 REMINERALIZADORES DE SOLO

A Legislação vigente para o uso de remineralizador teve início com a sanção da Lei 12.890 de dezembro de 2013, pela alteração da Lei 6.894 de 1980 que regulamentava o uso de insumos na agricultura brasileira.

A Lei 12.890/2013 define como remineralizador: "o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos, que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo" (BRASIL, 2013).

No sentido de assegurar a funcionalidade dos materiais, os mesmos deverão apresentar parâmetros de garantia com as seguintes características: soma de bases no mínimo 9% sendo 1% de óxido de potássio; até 25% de SiO<sub>2</sub>; e limitado a 15 ppm de As, 10 ppm de Cd, 0,1



ppm de Hg e 200 ppm de Pb, além da comprovação de sua eficiência agrônômica mediante a testes e pesquisas (BRASIL, 2016). Tais materiais são considerados condicionadores químicos do solo que favorecem a ação de corretivos, além da absorção de nutrientes adicionados como adubos orgânicos ou minerais (COSTA, 2020).

Segundo Duarte e Theodoro (2002), rochagem é uma técnica que incrementa nutrientes aos solos, tendo como vantagem o fato de ser ambientalmente correto, e ainda demandar menos energia durante os processos operacionais. Esta prática configura um processo de rejuvenescimento, pois os minerais presentes na rocha moída, que pode ou não ser similar àquela que deu ao solo, ao serem incorporados no sistema possibilitam a liberação dos nutrientes nele contidos.

A utilização da prática de remineralizar solos deve levar em conta as propriedades físico-químicas dos solos e suas necessidades nutricionais, além de atender as especificidades dos cultivos a serem implantados (BERGMANN *et al.*, 2013).

Um remineralizador de solo por se tratar de um resíduo que é resultante da britagem e moagem das rochas, tem seu preço de comercialização pela indústria relativamente baixo. Além disso, por tratar-se de um produto natural, tem sua solubilidade mais lenta que os fertilizantes industrializados, liberando os nutrientes de forma lenta, de tal forma que reduz as perdas por lixiviação e tendo seu efeito por um prazo prolongado (MELAMED *et al.*, 2007).

Conforme Theodoro (2013), as técnicas de remineralização que promovem a adição dos pós de rocha ao solos, para obter uma produção agrícola sustentável, vem apresentando resultados positivos no que diz respeito a produtividade e custos, ou seja, produzindo mais com um custo menor que os modelos agrícolas convencionais atualmente praticados.

A remineralização vem sendo explorada como uma forma de reposição de nutrientes ao sistema de produção, podendo ser utilizada em qualquer modelo de manejo, sendo eficiente tanto na recuperação de solos degradados, como em sistemas de alta produção (LOUREIRO *et al.*, 2009).

Segundo Teixeira *et al.* (2009), a fertilidade do solo está relacionada a capacidade de troca catiônica e aniônica (CTC e CTA), sabendo que estes são influenciados pelos minerais provenientes das rochas mães, podendo ser herdados ou originados, no processo de intemperismo.

Evidentemente, a aplicação do pó de rocha pode ser utilizada para remineralizar solos que devido o alto grau de intemperismo, como é o caso dos Latossolos, que tiveram grande parte de cátions básicos removidos. Desta maneira, a remineralização com as rochas

adequadas devolve ao solo, materiais constituintes das rochas em quantidades suficientes para alterar positivamente os níveis de nutrientes do solo (MELAMED *et al.*, 2007).

Cita-se, como exemplo de remineralização de solos, a aplicação de calcários para corrigir, sobretudo o pH do solo, eliminando prováveis problemas de acidez nas áreas agricultáveis, além do fornecimento de Ca, Mg e sílica solúvel.

A remineralização dos solos nada mais é que uma técnica que requer o entendimento do material aplicado, isto é, conhecer sua composição química, mineralógica, além da textura e estrutura da rocha, acrescido dos aspectos morfológicos dos grãos produzidos pela britagem e moagem da rocha (AZEVEDO, 2016).

A remineralização de solos é uma prática que visa conter o uso excessivo de insumos químicos industriais que são altamente solúveis, além de ser uma prática de fácil implementação pelos agricultores, em função da sua origem e de seu custo nas áreas próximas onde o resíduo (pó de rocha) é abundante. Esta prática tem, como vantagem, a capacidade de alterar os níveis de fertilidade dos solos, com o mínimo de interferência no equilíbrio ambiental, favorecendo a produção agropecuária.

Para Loureiro *et al.* (2009), a rochagem contribui para reduzir os custos de produção agrícola por ser um produto alternativo, é utilizada como complementação aos adubos convencionais, pois é empregada como remineralizador de solos, tornando-se uma alternativa viável em termos de custos de produção, além de ser ecologicamente sustentável, pois deixa de ser um resíduo da indústria, tornando-se um condicionador químico de solos.

Silva (2016) em estudo realizado com basalto toleítico, avaliou a intemperização dos minerais presentes no remineralizador em coluna de lixiviação de solo, seguido da análise com plantas em vaso. O autor verificou que nos dois experimentos houve o aumento da disponibilidade de Ca, Mg, Na, Si e K.

Por sua vez Crusciol e Soratto (2013), testaram o fonólito como fonte de K para as culturas de milho, arroz, soja e feijão, recomendando para essas culturas o uso desse remineralizador como fonte de nutriente. Outros autores que, visando testar em casa de vegetação, o mineral feldspato natural como pó de rocha, moído e termotratado, com diferentes doses, para o suprimento da necessidade de K pelas plantas, onde o estudo mostrou que os tratamentos com este remineralizador aumentou a disponibilidade de K para as plantas (MAFRA *et al.*, 2013).

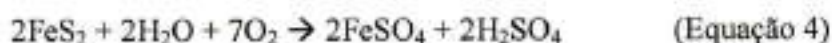
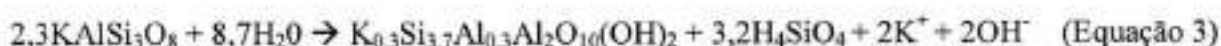
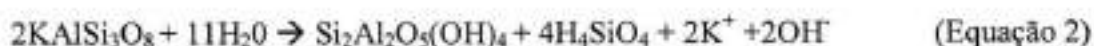
Moreira *et al.* (2006), conduziram um estudo onde a adição de grandes quantidades de xisto, biotita, carbonatito e ultramáfica alcalina proporcionaram elevada solubilização de K na



cultura da soja e do girassol. Outro estudo realizado por Melamed e Gaspar (2005), observaram que o carbonatito torna-se uma fonte de K em curto prazo, pois essa rocha, além de apresentar considerável potencial de neutralização de acidez pode ser utilizada como fonte alternativa de K. O efeito alcalinizante de algumas favorece seu uso como condicionadores na correção da acidez dos solos (MACHADO *et al.*, 2005).

Segundo Oliveira *et al.* (2006), as rochas utilizadas como remineralizadoras são diferentes na capacidade de disponibilizar nutrientes para as plantas, podem apresentar características de fertilizante de muitos nutrientes, devendo ser considerados no balanço da adubação. Para Resende *et al.* (2006), os remineralizadores poderão preencher a lacuna no fornecimento de K e, ao mesmo tempo, atender as exigências preconizadas na agricultura em base ecológica onde é vedado o uso de cloreto de potássio (KCl).

As reações que ocorrem no processo de remineralização após a rochagem são as mesmas envolvidas no processo de intemperismo químico dos minerais primários, tais como hidratação, dissolução, oxidação e hidrólise total ou parcial (LEPSCH, 2011), conforme exemplificadas abaixo para hidratação/carbonatação para dissolução da calcita (Equação 1); hidrólise parcial do feldspato dando origem à caulinita (Equação 2) ou esmectita (Equação 3) e oxidação da pirita (Equação 4):



O uso de remineralizadores é uma prática complementar, que em conjunto com adubos verdes ou compostagem pode contribuir com a segurança alimentar, na produção de alimentos de maneira sustentável (FYFE *et al.*, 2006), pois auxilia na preservação de um recurso natural que irá garantir a produção de alimentos para as próximas gerações.

Os remineralizadores de rochas magmáticas básicas, mais especificamente o basalto, além de adicionarem macro e micronutrientes, incorporam, também, expressiva quantidade de sílica ao solo, alterando as reações entre as diferentes fases do solo (COSTA, 2019). Dessa



forma, as rochas magmáticas constituem a principal fonte de rochas remineralizadoras, pois trata-se, dentre as rochas existentes, a principal fonte de nutrientes.

Os remineralizadores são, portanto, uma excelente opção de condicionadores químicos de solos, podendo viabilizar diferentes tipos de resíduos de rochas em diferentes regiões (MARTINS e THEODORO, 2010). Ainda, os minerais contidos nos remineralizadores, em maior proporção, sustentam de maneira estável o fornecimento regular de macro e micronutrientes as plantas (MYRVANG *et al.*, 2016).

## 2.4 PÓ DE BASALTO

De acordo com a Lei Federal 12.890/2013, o pó de basalto é considerado um remineralizador de solos, pois se trata de um resíduo proveniente das atividades de pedreiras que geram rejeitos que seriam descartados no meio ambiente (BRASIL, 2013). Portanto, estes rejeitos após serem classificados por tamanho de partícula, podem ser aplicados ao solo como fonte de macro e micronutrientes para as plantas.

O pó de basalto é classificado como uma opção alternativa de remineralização do solo, dependendo da sua composição, granulometria e condição do solo (MELO *et al.*, 2012), pois se trata de um material de origem mineral abundante em Si, que, ao ser aplicado ao solo, interage com os compostos constituídos de materiais inorgânicos (PRATES *et al.*, 2010).

Segundo Silva (2013), além da grande disponibilidade e do baixo custo, os pós de rochas apresentam importantes características agronômicas quando aplicado ao solo, promovendo o aumento da CTC, elevação do pH, disponibilidade de macro e micronutrientes não disponíveis em adubos químicos solúveis, além do efeito residual prolongado, minimizando perdas por lixiviação.

Para o Centro de Agroecologia, Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável - CAERDES (2014), o pó de basalto contribui com a elevação dos níveis dos nutrientes, como Ca, Mg, K, P, micronutrientes e principalmente Si, melhorando os atributos químicos do solo e proporcionando para as plantas uma melhor nutrição. Portanto, a adição de pós de basalto devolve os nutrientes que foram retirados ou perdidos do solo, rejuvenescendo-os.

Ainda para os autores, o pó de basalto é aplicado como um remineralizador de solos, nos quais podem também ser empregado com outras fontes de nutrientes, como os compostos orgânicos, buscando melhorias dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Dessa

forma, o pó de basalto, aliado à matéria orgânica e a ação dos microorganismos que atuam no solo e na rizosfera, disponibilizam gradativamente nutrientes para a solução do solo e para as plantas.

As rochas basálticas trazem, em sua composição química, altos teores de Fe, Ca e Mg, enquanto que o basalto, predominante na região de Estância Velha – RS, apresentam baixos teores de titânio (Ti) típicos de regiões com elevada emissão de CO<sub>2</sub> (SILVA, 2009).

Em experimento realizado com Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com soja e sorgo, em sucessão, foram avaliados os atributos químicos sob o efeito dos tratamentos com doses de basalto moído, que variaram de 0 a 7,68 t ha<sup>-1</sup> (BATISTA *et al.*, 2016). Os autores observaram que houve interações significativas para as doses de pó de basalto para os valores de pH<sub>H2O</sub>, V%, teores de P, Ca, SB, CTC, Si.

Melo *et al.* (2012), realizaram um estudo com diferentes doses de basalto triturado, e verificaram que, os tratamentos após um ano de incubação elevaram os valores de pH em água conforme acréscimo das doses de basalto, ocorrendo a máxima neutralização da acidez ativa com a dose de 50 t ha<sup>-1</sup>. Oliveira (2012), em seu estudo, observou que a maioria das amostras de pó de basalto, com argilominerais do tipo 2:1 e plagioclásios, disponibilizaram ao solo Ca e Si, além da elevação do pH.

Em estudo realizado por Knapik e Angelo (2007), os autores verificaram que nos tratamentos com pó de basalto houve o acúmulo de Ca, Mg, B, Fe e Cu nas folhas das plantas. Já no experimento realizado por Silva *et al.* (2011), os tratamentos com pó de basalto, conforme os acréscimos das doses, proporcionaram um incremento no teor de P nos grãos de feijão. Com relação ao pH nos solos submetidos a aplicação de pó de basalto, Gillman (1980) relata que o pH aumentou com a quantidade aplicada, e que a moagem mais fina e o tempo de reação melhoraram o efeito positivo do pH no solo.

Em estudo realizado por Grecco *et al.* (2013), utilizando pós de rochas magmático, dacito, granodiorito e basalto hidrotermalizado no cultivo de milho, em casa de vegetação, mostrou que a granulometria dos materiais utilizados influenciou diretamente na velocidade do fornecimento de nutrientes as plantas. Os autores concluíram que, os remineralizadores apresentaram efeito positivo no processo de absorção de nutrientes pelas plantas, sendo considerada benéfica a lenta disponibilização de nutrientes das rochas.

Durante um estudo realizado por Silva *et al.* (2017), foram monitorados os atributos químicos de um Latossolo após aplicação de um remineralizador de origem basáltica. Os autores observaram que o pH médio do solo durante o experimento foi de 5,5, variando,



aproximadamente, 2 unidades. Ainda para os autores, os elementos Mg, Fe e Ca foram altamente correlacionados entre si, sendo esses os mais importantes na mudança de características químicas do solo.

Anda *et al.*, (2015), afirmam que não houve efeito significativo da relação entre doses (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha<sup>-1</sup>) de pó de basalto e camadas do solo, indicando que o pó de basalto aumentou o pH do solo, tanto na superfície (0 - 20 cm) como na subsuperfície (20 - 40 cm) de forma semelhante, além do aumento significativo do pH em diferentes períodos de incubação. Ainda para os autores, os valores pH<sub>PCZ</sub>, diminuíram com o aumento das doses de basalto, e com o tempo de incubação. Estes mesmos autores relatam que o pó de basalto é capaz de aumentar a capacidade de repor cátions no solo, tendo um efeito residual prolongado que produz um impacto benéfico no manejo dos solos altamente intemperizados. Ainda nesta linha de raciocínio, os autores observaram que solos com basalto incorporado, resultaram no aumento significativo nas concentrações de Ca, Mg, K e Na, contudo não havendo efeito significativo entre diferentes doses de basalto e diferentes camadas do solo.

Partindo do princípio de que o basalto fornece cátions trocáveis ao solo, em quantidades equilibradas e significativas, a aplicação do pó de basalto pode evitar a necessidade de correção de Ca e Mg por muitos anos, além de reduzir as perdas de lixiviação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, aplicados durante um longo período (GILLMAN, 1980). Ainda, segundo Gillman *et al.* (2002), se os cátions provenientes da rochagem continuarem a serem liberados para o complexo de troca após a absorção das plantas, sua suplementação deverá ser eficaz por um período considerável.

Ramos *et al.* (2017), avaliaram as propriedades químicas e mineralógicas dos resíduos das atividades de mineração da rocha vulcânica ácida e seu uso potencial como fonte de nutrientes ao solo. O estudo revelou que, as concentrações de K disponíveis no pó de rocha foram altas, variando de 132 a 537 mg kg<sup>-1</sup> do material analisado.

Escosteguy *et al.* (1998), analisaram os atributos químicos em solos com doses crescentes de pó de basalto, variando de 0 a 100 t ha<sup>-1</sup>, em diferentes períodos de incubação, e encontraram que, as concentrações de K, Ca e Mg no solo aumentaram com o acréscimo das doses aplicadas. Ainda para os autores, estas constatações de aumento dos nutrientes no solo, com o acréscimo das doses aplicadas de basalto, também foram observadas para os valores de pH do solo e de P.

Melo *et al.* (2012), incubando diferentes doses de pó de basalto em um Latossolo Amarelo distrófico, constataram que a dose de 50 t ha<sup>-1</sup> proporcionou a maior redução da



acidez ativa, elevando o pH em água de 4,8 a 5,5 e, que o uso do pó de basalto também promoveu o aumento nos teores de Ca, Mg, Zn, Fe e Cu no solo. Os autores também observaram que o efeito da sua adição promoveu maior eficiência para neutralização da acidez potencial, concluindo que o pó de basalto pode ser considerado como uma fonte alternativa de fertilizante e corretivo do solo, de acordo com a sua composição, granulometria e características do solo.

Ferreira Inocêncio *et al.* (2009), avaliaram as alterações nas características químicas de Latossolos Vermelhos, distrófico e distroférico, e um Neossolo Quartzarênico distrófico no Estado do Mato Grosso do Sul, com a aplicação de doses de basalto moído. Os autores observaram que, todos os componentes da acidez dos solos apresentaram influência significativa pela aplicação do basalto, o valor de pH do solo tanto em água, quanto em solução de cloreto de cálcio aumentaram em função das doses aplicadas, sendo que o solo mais alterado foi aquele menos tamponado, apresentando uma variação inversa do alumínio trocável com o aumento das doses de basalto. Os autores ainda observaram a elevação nos teores de Ca e Mg trocáveis, verificado no solo mais ácido, porém constataram o aumento pouco expressivo nos teores de K trocável para todos os solos.

Alovisi *et al.* (2017), estudaram o efeito da adição de pó de basalto associado ou não a bioativo (produto comercial) sobre a disponibilidade de nutrientes no solo durante três períodos de incubação e verificaram-se que a interação doses de pó de basalto e incubação teve respostas significativas para pH em água, P, K, Ca, Mg, SB e V%. Entretanto, as interações entre doses e bioativo e, entre período de incubação e bioativo, não foram significativas para nenhum dos atributos avaliados. Os autores ainda concluíram que o pó de basalto pode ser considerado uma fonte alternativa de fertilizante e corretivo do solo. Contudo, a pequena liberação dos nutrientes do basalto indica que este material não deve ser utilizado como principal fonte de nutrientes as plantas.

Deus *et al.* (2007), relataram que as características químicas do solo foram influenciadas, significativamente, pelo período de incubação com doses de pó de basalto. Ainda de acordo com os autores, a interação entre as diferentes doses mais período de incubação não foram significativas para todas as variáveis avaliadas, observando, portanto, efeito significativo do período da incubação para as variáveis P, matéria orgânica, pH, K, Mg, H + Al, Al e V%. Os autores também constataram a influência positiva no tratamento com basalto incubado por 180 dias nos teores de matéria orgânica, Mg, K, SB e V%, os quais houve um aumento com o período de incubação.

Sékula (2011), no período de 2005-2010, no campo experimental da UNICENTRO, em Guarapuava-PR, em área de Latossolo Bruno, foram avaliados quatro tratamentos com pó de basalto + adubação, verificou-se que houve efeitos significativos sobre os níveis de K, Ca, Mg, Cu, Zn, SB e CTC do solo.

Borges *et al.* (2016), avaliaram o efeito da aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, na semeadura de adubos verdes e mais 3 t ha<sup>-1</sup> no plantio do feijão, em uma área de Latossolo Bruno. Os autores constataram que houve o incremento significativo de Ca na avaliação do tratamento com o pó de basalto aplicado na semeadura da adubação verde.

Com a dose corretamente dimensionada, os resíduos de rochas moídas podem suprir parcialmente ou totalmente as demandas de correção do solo atuando como fornecedor de macro e micronutrientes, além de agir como corretivo de acidez do solo (BAMBERG *et al.*, 2011).

Vários trabalhos demonstraram que as aplicações do resíduo de basalto melhoraram os atributos químicos do solo, aumentando os teores de P, K, Ca e Mg, além de reduzir a acidez trocável, corrigindo a acidez e aumentando a CTC do solo (ANDA *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2014; NUNES *et al.*, 2014; SHAMSHUDDIN e ANDA, 2012).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PÓ DE BASALTO

O pó de basalto utilizado neste experimento foi coletado na Pedreira Ingá Indústria e Comércio Ltda, no Município de Maringá, Estado do Paraná. A área de mineração, pertencente à empresa é de 38,49 hectares, localizado entre as coordenadas Latitude 23°28'48,796"S e Longitude 51°57'13,184"W. A empresa possui concessão para lavar basalto, sendo o pó de basalto um resíduo resultante da britagem da rocha.

De acordo com Minerais do Paraná S.A. (MINEROPAR, 2001), esta região tem sua formação rochosa constituída por extensos derrames de rochas ígneas, variando de básicas a ácidas, predominando os basaltos pórfiros do período jurássico-cretáceo. Contudo, na região noroeste do Paraná, onde se encontra a Pedreira Ingá, há o predomínio da rocha basáltica básica.

Após a moagem do resíduo britado, o basalto, já na forma de pó, apresenta-se fragmentado em uma granulometria reduzida, podendo ser subdividido em pó (partículas entre 2 – 0,3 mm) e filler (partículas < 0,3 mm). Neste experimento, utilizou-se o pó de basalto na granulometria filler, objetivando acelerar o processo de solubilização no experimento.

A caracterização do pó de basalto foi realizada por meio da análise química do pó da rocha basáltica, utilizando as mesmas metodologias adotadas nas análises de solo, no Laboratório de Química e Mineralogia do Solo - LQMS e Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos - LCRR da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Foram realizadas determinações, conforme procedimentos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (2017), conforme descritas abaixo:

**Determinação do pH:** Trata-se da medição do potencial hidrogeniônico por meio de eletrodo combinado imerso diretamente na suspensão material: líquido na proporção 1:2,5. Nessa determinação utilizou-se o volume de 10 cm<sup>3</sup> de pó de basalto para cada 25 ml de solução (H<sub>2</sub>O; CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> ou KCl 1 mol L<sup>-1</sup>). Após agitação da amostra, nas diferentes soluções, o pH foi determinado diretamente mergulhando o eletrodo na suspensão.

**Acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>):** A extração da acidez potencial foi obtida com uso de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> tamponado em pH 7,0. Para tanto, agitou-se por 10 minutos a



160 rpm em mesa agitadora horizontal (Tecnal, TE-1404), 10cm<sup>3</sup> de pó de basalto com 50 ml de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. Após repouso de 12 horas, foi pipetado 25 ml do extrato titulado com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> utilizando como indicador fenolftaleína alcoólica 1%.

Teor de íons trocáveis (Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>): Os cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) foram determinados após extração com uma solução extratora de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, utilizando uma relação de pó de basalto: solução na proporção de 1:10, com 5 cm<sup>3</sup> de pó de basalto em 50 ml de solução. Esses cátions foram analisados por espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer, modelo PinAAcle 900F, utilizando chama de ar-acetileno. Utilizou-se do mesmo extrato para quantificar Al<sup>3+</sup> trocável. Para tanto, foram pipetados 25 ml do extrato titulado com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, tendo a fenolftaleína alcoólica 1% como indicador.

Teor de fósforo disponível (P), potássio (K) e sódio (Na): Estes nutrientes foram extraídos com o uso do extrator ácido Mehlich-1, na relação pó de basalto: solução de 1:10, com 5 cm<sup>3</sup> de pó de basalto em 50 ml de solução, agitou-se por 10 minutos a 160 rpm, com repouso de 30 minutos. O K e Na foram determinados por fotometria de emissão de chamas, no fotômetro Micronal - B462. Já, a determinação do P, foi realizada no espectrofotômetro Micronal B-542 no comprimento de onda de 680 nm.

Teor de carbono orgânico total (C): O teor de carbono total foi determinado com a utilização do método Walkley-Black. Em um Erlenmeyer de 250 ml foi adicionado 1 cm<sup>3</sup> de pó de basalto, 10 ml de dicromato de potássio, 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, agitado por 4 horas e 16 horas de repouso. Posteriormente, foram adicionados mais 10 ml de ácido fosfórico concentrado e mais 100 ml de água deionizada, com 3 gotas do indicador de difenilamina. Em seguida, procedeu-se com a titulação das amostras com sulfato ferroso 1 mol L<sup>-1</sup>.

O teor dos microelementos cobre, zinco, manganês e ferro (Cu, Zn, Mn, Fe) foram determinados no extrato da solução Mehlich-1. Foi adicionado 5 cm<sup>3</sup> de pó de basalto em copos plásticos com 50 ml da solução, agitados em mesa agitadora horizontal por 10 minutos a 160 rpm. Repousando por 16 horas até atingir a decantação do material suspenso, com posterior filtragem do sobrenadante, em papel quantitativo. As soluções filtradas foram armazenadas em frascos apropriados, com a posterior determinação dos elementos por espectrofotometria de absorção atômica utilizando espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer, modelo PinAAcle 900F, utilizando chama de ar-acetileno.

Em seguida calcularam-se:

$$\text{Soma de bases (SB)} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+; \quad (1)$$

$$\text{CTC efetiva (CTC}_e\text{)} = \text{SB} + \text{Al}^{3+}; \quad (2)$$

$$\text{CTC}_7\text{(CTC}_7\text{)} = \text{SB} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}; \quad (3)$$

$$\text{Saturação por bases (V\%)} = (\text{SB} / \text{CTC}_7) * 100 \quad (4)$$

Os resultados analíticos referentes à amostra do pó de basalto utilizado encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos do pó de basalto da Pedreira Ingá.

Atributo	Unidade	
pH <sub>H2O</sub>		9,15
pH <sub>KCl</sub>		7,15
pH <sub>CaCl2</sub>		7,62
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0
(H + Al)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,55
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	12,38
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,18
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,16
Na	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,16
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	16,88
CTC a pH 7,0	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	17,43
CTC <sub>e</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	16,88
P	mg dm <sup>-3</sup>	38
V	%	97
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	90,8
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	4,5
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	1532,6
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	29,4

Fonte: o autor.

Notas: pH<sub>H2O</sub>: pH em água; pH<sub>KCl</sub>: pH em cloreto de potássio; pH<sub>CaCl2</sub>: pH em cloreto de cálcio; Al: teor de alumínio; (H + Al): acidez potencial; Ca: teor de cálcio; Mg: teor de magnésio; K: teor de potássio; Na: teor de sódio; SB: soma das bases; CTC a pH 7,0: capacidade de troca catiônica a pH 7; CTC<sub>e</sub>: capacidade de troca de cátions efetiva; P: teor de fósforo (Mehlich-1); V %: saturação de bases; Cu: teor de cobre; Zn: teor de zinco; Fe: teor de ferro; Mn: teor de manganês.



### 3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS SOLOS

Os dois solos utilizados neste experimento se diferenciam quanto a sua textura: um é Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa e; o outro é Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura média. Ambos os solos foram coletados em uma propriedade localizada no município de Amambai – MS e são formados a partir do arenito Caiuá e do basalto da Formação Serra Geral, respectivamente.

A área onde os solos foram coletados era cultivada com pastagem de diferentes espécies de *Urochloa ruziziensis*, com características de uma área em processo de degradação, como produtividade reduzida e baixo rendimento por hectare.

As amostras de solo para montagem do experimento foram coletadas na camada de 0-20 cm. De cada solo coletou-se, aproximadamente, 1000 kg. Os solos foram transportados até o Laboratório de Química e Mineralogia do Solo e Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos - LQMS e LCRR da Universidade Estadual de Maringá-UEM, secos ao ar, peneirados em peneira de abertura de 2 mm e armazenados para posterior montagem do experimento.

De cada solo foram retiradas duas amostras de, aproximadamente 0,5 kg, para determinação da composição granulométrica e de seus atributos químicos ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ;  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ;  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ;  $\Delta\text{pH}$ ,  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ , Al; (H + Al); Ca; Mg; K; Na; SB; CTC a pH 7,0; CTCe; P; C; V%; Cu; Zn; Fe, Mn) utilizando metodologias descritas pela EMBRAPA (2017), conforme descrito no item 3.1.

O valor de  $\Delta\text{pH}$  está relacionado com o balanço de cargas elétricas no solo. Quando os valores do  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  forem maiores que  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  há a predominância de cargas negativas, já quando o  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  forem maiores que o  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  predominam as cargas positivas. O valor de  $\Delta\text{pH}$  é calculado pela fórmula:  $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ .

O  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$  é o valor de pH em que as quantidades de cargas positivas (CTC) são equivalentes às cargas positivas (CTA). O cálculo deste valor é feito utilizando a seguinte equação:  $\text{pH}_{\text{PCZ}} = 2\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Deste modo, se o pH do solo for maior que o  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$  significa que está carregado de cargas negativas, e se o  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{PCZ}}$  o solo terá predominância de cargas positivas, apresentando capacidade de troca aniônica (CTA) (EMBRAPA, 2017).

A análise granulométrica para determinação das proporções do tamanho das partículas do solo foi feita utilizando o método do densímetro. Foram pesados 50 g de terra fina seca em



estufa (TFSE), adicionado 250 ml de uma solução de hexametáfosfato de sódio ( $10 \text{ g L}^{-1}$ ) mais hidróxido de sódio ( $4 \text{ g L}^{-1}$ ), colocados em frascos de vidros de 500 ml, e agitados em mesa horizontal a 160 rpm, por aproximadamente, 16 horas.

Posterior à agitação, separou-se a fração areia das demais frações, passando-se a solução por uma peneira de 0,053 mm (270 mesh), ficando a areia retida na peneira e o restante da solução (silte + argila) sendo armazenado em um béquer. A areia retida foi colocada em uma lata de alumínio, previamente pesado, e colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar Tecnal, modelo TE - 394/2 a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas. Após, a fração areia foi quantificada em balança analítica Gehaka, AG200.

Para determinar as frações silte e argila, utilizou-se a solução armazenada no béquer. Transferindo-a para uma proveta de vidro de 1000 ml, utilizando água deionizada para completar o volume, seguido da homogeneização da solução com agitador manual, por cerca de 1 minuto. Após repousar por 40 segundos, efetuou-se a leitura do teor de argila + silte com o auxílio de um densímetro CHASE ASTM 152 H. Depois de 2 horas da primeira leitura, respeitando o tempo de sedimentação das partículas, realizou-se a segunda leitura para determinação do teor de argila.

Os resultados analíticos referentes às amostras de solos estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Análise química e granulométrica dos solos: Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

Determinação	Unidade	LVdf	LVd
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>		6,96	5,25
pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>		5,10	4,23
pH <sub>KCl</sub>		5,43	4,44
ΔpH		-1,86	-1,02
pH <sub>PCZ</sub>		3,24	3,21
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	0,40
(H + Al)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,19	2,97
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,00	0,78
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,13	0,83
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,15	0,04
Na	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,01	0,001
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,29	1,66
CTC a pH 7,0	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11,48	4,63
CTCe	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,28	2,05
P	mg dm <sup>-3</sup>	4,80	2,40
C	g dm <sup>-3</sup>	11,74	3,69
V	%	72	36
Areia	%	49	89
Silte	%	6	2
Argila	%	45	9

Fonte: o autor.

Notas: pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>: pH em água; pH<sub>KCl</sub>: pH em cloreto de potássio; ΔpH: delta pH; pH<sub>PCZ</sub>: pH no ponto de carga zero; Al: teor de alumínio; (H + Al): acidez potencial; Ca: teor de cálcio; Mg: teor de magnésio; K: teor de potássio; Na: teor de sódio; SB: soma das bases; CTC a pH 7,0: capacidade de troca catiônica a pH 7; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; P: teor de fósforo (Mehlich-1); C: teor de carbono orgânico; V %: saturação de bases; Areia; Silte, Argila.

### 3.2.1 Adubação e calagem

Com base nos resultados das análises de fertilidade das amostras, efetuou-se a correção e adubação do solo para posterior semeadura da *Urochloa ruziziensis*. Os corretivos foram aplicados considerando as especificidades de cada solo.

Com relação à calagem dos solos do experimento, teve sua adição por incorporação mecânica e repouso, por 30 dias, antes da semeadura da forrageira. O método utilizado para calcular a necessidade de calagem do solo foi o de saturação de bases, elevando a saturação por bases (V%) a 100%, ao utilizar calcário com PRNT de 86%.

A recomendação de adubação foi feita com base na referência do Manual de Adubação em Pastagem da EMBRAPA (2010), utilizando-se uréia como fonte de nitrogênio; superfosfato simples, como fonte de fósforo e cloreto de potássio como fonte de potássio, conforme apresentado na tabela 3.

**Tabela 3.** Recomendação de adubação e calagem para os solos Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) e do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Solos	Uréia	S.S*	KCl**	Calcário
LVdf	0,6 g vaso <sup>-1</sup>	4,33 g vaso <sup>-1</sup>	0,6 g vaso <sup>-1</sup>	25,8 g vaso <sup>-1</sup>
LVd	0,6 g vaso <sup>-1</sup>	4,33 g vaso <sup>-1</sup>	0,6 g vaso <sup>-1</sup>	25,5 g vaso <sup>-1</sup>

Fonte: o autor.

Notas: \*Superfosfato Simples; \*\* Cloreto de potássio.

### 3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido na casa de vegetação próxima ao Bloco I-78, localizado na Universidade Estadual de Maringá-UEM, campus sede.

Foram utilizados como unidades experimentais vasos plásticos de 15 L, preenchidos com 12 L de solo e a dose de pó de rocha aplicada em cada tratamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado: constituído por 2 solos, 6 doses com 5 repetições cada, além das testemunhas, totalizando 70 vasos, conforme apresentado na Tabela 4.



Tabela 4. Delineamento dos tratamentos com o pó de basalto

Latossolo Vermelho distroférico	Latossolo Vermelho distrófico
Dose 0= testemunha sem pó de basalto	Dose 0= testemunha sem pó de basalto
Dose 1= 5 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto	Dose 1= 5 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto
Dose 2= 10 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto	Dose 2= 10 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto
Dose 3= 20 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto	Dose 3= 20 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto
Dose 4= 30 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto	Dose 4= 30 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto
Dose 5= 40 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto	Dose 5= 40 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto
Dose 6= 50 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto	Dose 6= 50 t ha <sup>-1</sup> de pó de basalto

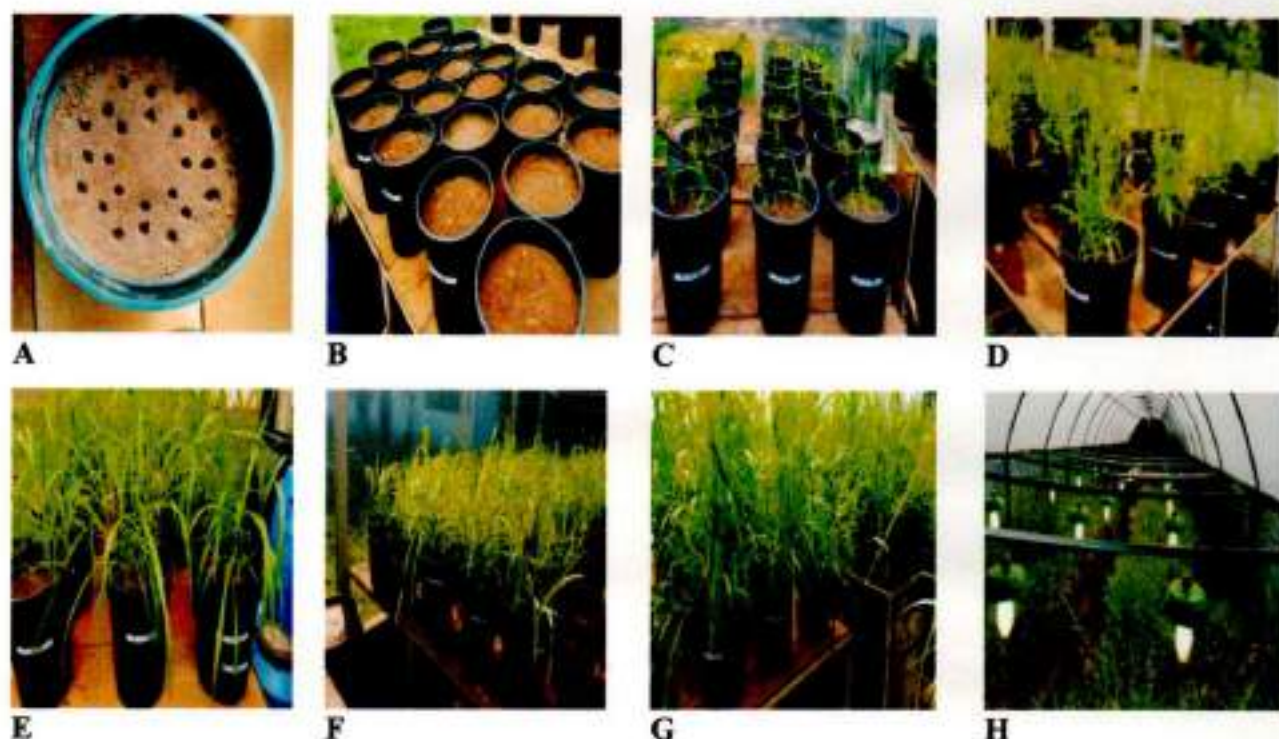
Fonte: o autor.

### 3.2.3 Instalação e condução do experimento

O pó de basalto utilizado no experimento foi previamente peneirado, em peneira com abertura de 0,3 mm (filler), posteriormente pesado em balança analítica na proporção correspondente a cada dose dos tratamentos. Os solos coletados, foram destorroados e peneirados em peneira de 2 mm.

Cada parcela dos tratamentos foi incubada com a respectiva dose de pó de basalto + adubação + calagem + solo, permanecendo assim por um período de 30 dias. Após este período, e com a finalidade de reproduzir nos vasos o que ocorre a campo, foi feita a semeadura de uma gramínea com a finalidade de promover as interações físicas, químicas e biológicas, entre solo e sistema radicular. A gramínea escolhida foi a *Urochloa ruziziensis*, onde foram semeadas 24 sementes por vaso e desbastados com 30 dias após a germinação, mantendo-se 4 plantas por vaso, conforme apresentado na Figura 1.

Os tratamentos foram conduzidos até o estágio de maturação da forrageira, que ocorreu, aproximadamente, 120 dias após a semeadura, ao totalizar, aproximadamente 150 dias de incubação. Após este período, realizou-se o corte da forrageira, para dar início às avaliações dos atributos químicos dos solos. Durante o período de desenvolvimento da forrageira, os vasos foram regados diariamente e casualizados na estufa, três vezes, durante o período de desenvolvimento da forrageira, objetivando minimizar as interferências dos fatores externos que pudessem afetar no desenvolvimento das plantas.



**Figura 1.** Instalação do experimento em casa de vegetação: semeadura nos vasos (A); período de germinação da *Urochloa ruziziensis* (B e C); desenvolvimento da *Urochloa ruziziensis* durante o período de incubação dos tratamentos (D, E, F, G e H).

#### 3.2.4 Avaliações

A determinação dos atributos químicos dos solos foi realizada após o primeiro corte da *Urochloa ruziziensis*, na qual foram coletadas amostras de solo de cada vaso, e colocadas para secar em estufa, com circulação forçada de ar e de temperatura controlada de 40 °C por 72 hora. Após este período, o material foi destorroado, peneirado em peneira com abertura de 2 mm para obtenção da terra fina seca em estufa (TFSE) e colocado em recipiente devidamente identificado e encaminhado à análise de fertilidade nos laboratórios LQMS – LCRR – UEM.

Os atributos analisados foram:  $pH_{H_2O}$ ;  $pH_{KCl}$ ;  $pH_{CaCl_2}$ ;  $\Delta pH$ ,  $pH_{PCZ}$ , Al; (H + Al); Ca; Mg; K; Na; SB; CTC a pH 7,0; CTCe; P; C; V%; Cu; Zn; Fe, Mn, e os dados são apresentados na Tabela 5.

### 3.2.5 Análise estatística

Para atender os objetivos deste estudo e para a obtenção dos resultados das análises estatísticas, foram avaliadas as interações e os efeitos das doses do pó de basalto, ao trabalhar com equações lineares, utilizando o programa estatístico SAS (SAS, 2003). Considerou-se significativas as correlações que apresentaram  $p < 0,05$  de probabilidade.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, após tratamentos com diferentes doses de pó de basalto, nos dois solos, evidenciaram que, nas diferentes texturas dos solos utilizados, apresentaram respostas diferentes para as mesmas doses de pó de basalto. Sabendo que o pó de basalto é um material rico em sílica (SILVA, 2016; CAERDES, 2014; BATISTA *et al.*, 2016; OLIVEIRA, 2012), que, por sua vez, quando disponibilizada no solo ácido silícico ( $H_4SiO_4$ ), um ânion que forma complexos de esfera interna, neutralizando cargas positivas (CTA) e criando cargas negativas (CTC).

As adições de doses crescentes de pó de basalto aumentaram, significativamente, os níveis de Ca e Mg do solo de textura média, com um incremento de  $0,0070 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e  $0,0037 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg para cada  $1 \text{ t ha}^{-1}$ , este incremento de cátions trocáveis também foi observado nos trabalhos de Silva (2016); Batista *et al.* (2016); Oliveira (2012); Silva *et al.* (2017); Anda *et al.* (2015); Melo *et al.* (2012); Alovisei *et al.* (2017). Os valores de pH mais elevados influenciaram, diretamente, nos valores de  $\Delta\text{pH}$  e  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ , consequentemente proporcionando uma maior CTC (Tabela 5). Efeitos semelhantes também foram observados em estudos realizados com Latossolo, em doses que variaram de 0 a  $100 \text{ t ha}^{-1}$  pelos autores Escosteguy *et al.* (1998) e Melo *et al.* (2012).

Com relação ao solo de textura argilosa submetidos ao mesmo tratamento que o solo de textura média, este não apresentou incremento significativo de cátions trocáveis (Ca e Mg) em função das doses de pó de basalto aplicado, contudo, apresentou um aumento significativo de sua CTC, deixando evidente a presença de cargas negativas neste solo. Respostas semelhantes também foram observados em trabalhos com pó de rocha por Silva (2009); Ferreira Inocência *et al.* (2009); Sékula (2011); Anda *et al.* (2013); Lopes *et al.* (2014); Nunes *et al.* (2014); Shamsuddin e Anda (2012).

Resultados da aplicação prolongada de pó de rocha provocaram o desaparecimento de alumínio trocável, a redução da acidez do solo, aumento na disponibilidade e reserva de macro e micronutrientes e a formação de minerais de argila 2:1, com elevada densidade de cargas negativas permanentes (COSTA, 2019).

**Tabela 5.** Atributos químicos encontrados no Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) e no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) após aplicação das diferentes doses do pó de basalto.

Atributo	Unidade	LVdf						
		Dose (t ha <sup>-1</sup> )						
		0	5	10	20	30	40	50
pH <sub>H2O</sub>		7,22	7,03	7,13	7,16	7,17	7,15	7,12
pH <sub>KCl</sub>		6,48	6,52	6,52	6,60	6,62	6,50	6,55
pH <sub>CaCl2</sub>		6,08	5,97	5,97	5,93	5,96	5,97	6,04
ΔpH		-0,74	-0,51	-0,61	-0,56	-0,55	-0,65	-0,57
pH <sub>PCZ</sub>		5,74	6,01	5,91	6,04	6,07	5,85	5,98
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(H + Al)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,36	1,69	1,74	1,52	1,67	1,74	1,72
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,12	6,27	6,50	6,42	6,24	6,35	6,51
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,35	2,37	2,27	2,45	2,35	2,45	2,52
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06
Na	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,16	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,69	8,86	9,00	9,08	8,83	9,04	9,29
CTC a pH 7,0	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,05	10,55	10,74	10,60	10,50	10,78	11,00
CTCe	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,69	8,86	9,00	9,08	8,83	9,04	9,29
P	mg dm <sup>-3</sup>	15,72	13,31	13,88	14,52	17,96	19,64	21,38
C	g dm <sup>-3</sup>	13,74	12,93	14,04	13,63	13,26	12,52	14,33
V	%	86,60	83,95	83,78	85,68	84,05	83,89	84,39
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	21,86	19,12	19,16	19,58	21,06	21,57	21,52
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	9,11	8,14	7,86	7,70	7,87	8,11	7,96
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	50,34	51,41	50,93	55,48	56,06	66,79	79,38
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	287,14	252,78	241,91	235,60	249,72	252,54	260,26

		LVd						
pH <sub>H2O</sub>		7,33	7,20	7,12	7,21	7,16	7,11	7,06
pH <sub>KCl</sub>		6,95	6,72	6,64	6,60	6,52	6,49	6,38
pH <sub>CaCl2</sub>		6,42	6,09	6,04	6,00	5,95	5,99	6,05
ΔpH		-0,38	-0,48	-0,48	-0,61	-0,64	-0,62	-0,68
pH <sub>PCZ</sub>		6,57	6,24	6,16	5,99	5,88	5,87	5,70
(H + Al)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,53	0,77	0,79	1,01	1,14	0,88	1,03
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,47	1,60	1,55	1,62	1,71	1,73	1,89
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,06	1,09	1,07	1,02	1,23	1,18	1,23
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Na	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,11	0,10	0,13	0,11	0,11	0,15	0,15
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,66	2,81	2,78	2,77	3,08	3,09	3,30
CTC a pH 7,0	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,19	3,58	3,57	3,78	4,22	3,97	4,34
CTCe	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,66	2,81	2,78	2,77	3,08	3,09	3,30
P	mg dm <sup>-3</sup>	37,58	30,75	30,93	32,88	38,51	41,29	49,90
C	g dm <sup>-3</sup>	5,20	5,02	5,24	5,46	4,69	4,57	4,50
V	%	83,42	78,82	77,94	73,56	72,98	77,87	76,15
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	0,93	1,11	1,32	1,81	3,21	4,43	4,97
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	1,74	1,63	1,68	1,66	1,67	1,78	1,80
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	144,61	166,83	163,09	191,00	210,96	219,36	261,03
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	10,80	9,85	9,62	10,37	10,14	10,82	11,21

Fonte: o autor.

Notas: Os valores apresentados representam os teores médios encontrados nas cinco repetições.

pH<sub>H2O</sub>: pH em água; pH<sub>KCl</sub>: pH em cloreto de potássio; pH<sub>CaCl2</sub>: pH em cloreto de cálcio; ΔpH: delta pH; pH<sub>PCZ</sub>: pH no ponto de carga zero; Al: teor de alumínio; (H + Al): acidez potencial; Ca: teor de cálcio; Mg: teor de magnésio; K: teor de potássio; Na: teor de sódio; SB: soma das bases; CTC a pH 7,0: capacidade de troca catiônica a pH 7; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; P: teor de fósforo (Mehlich-1); C: teor de carbono orgânico; V %: saturação de bases; Cu: teor de cobre; Zn: teor de zinco; Fe: teor de ferro; Mn: teor de manganês.



Para van Straaten (2006), as respostas significativas para os resultados positivos em solos ácidos altamente intemperizados e pobre em nutrientes nas regiões tropicais que quando incubados com pó de rocha, sob altas temperaturas e umidade, isto ocorre devido à hidrólise de minerais silicatados, ricos em nutrientes, além do efeito neutralizante que ocorre sobre a acidez do solo, resultado da liberação de cátions na forma de óxidos. Outros autores também relataram os benefícios da disponibilidade gradativa de nutrientes ao longo do tempo pelos remineralizadores (MELAMED *et al.*, (2007); SILVA (2013); CAERDES (2014); GRECCO *et al.*, (2013); ANDA *et al.*, (2015); GILLMAN (1980); GILLMAN *et al.* (2002)).

A composição mineralógica das rochas basálticas tem, por característica, uma baixa resistência ao intemperismo, entretanto, é importante salientar que para a obtenção de seus benefícios mediante a aplicação destas rochas ao solo, também é importante considerar a sua granulometria como um fator relevante, pois quanto menor o tamanho das partículas, maior será a sua reatividade devido o aumento na área de superfície, favorecendo o seu intemperismo.

Deste modo, ao incorporar ao solo o pó de basalto com uma granulometria  $< 0,3$  mm, foi aumentada a sua superfície de contato, o que acelerou a disponibilidade de nutrientes por parte da rocha, atuando como um condicionador químico. Contudo, o objetivo deste trabalho não foi de testar a granulometria utilizada, visto que foi utilizada apenas uma granulometria ( $< 0,3$  mm). Efeitos positivos com a utilização da moagem fina também foram observados pelos autores Gillman (1980), Melo *et al.* (2012) e Grecco *et al.* (2013).

A aplicação de um remineralizador é uma opção para aumentar o teor de nutrientes e também reduzir a acidez no solo, podendo, ao longo do tempo, após sucessivas aplicações de pó de basalto promover o rejuvenescimento mineralógico da fração argila do solo, convertendo minerais de baixa densidade de carga, possuindo cargas predominantemente positivas e dependentes de pH em minerais de argila 2:1, que contém elevada capacidade de troca catiônica (CTC) associada as suas cargas permanentes (COSTA, 2019).

Ainda, para van Straaten (2006), a utilização de pó de basalto promove a adição ao solo de minerais como anfibólios, piroxênios e plagioclásios, ricos em cálcio. Estes minerais contêm bases trocáveis, silicatos e micronutrientes, fundamentais para a nutrição das plantas, podendo ser disponibilizados gradativamente, ao longo do tempo, em contato com o pó de basalto no solo. As reações entre uma solução ácida do solo e minerais podem mudar as concentrações de íons  $H^+$  e as demais espécies dissolvidas na solução do solo (HARLEY e



GILKES, 2000). De acordo com Ribeiro *et al.* (2010), a atuação do pH na dissolução dos minerais tem relação com a adsorção dos íons  $H^+$  e  $OH^-$  nas superfícies minerais, pois a hidrólise é controlada pelas reações ácido-base e pelas ligações oxigênio-metal.

Segundo Chorover *et al.* (2004), no processo de dissolução dos minerais os elementos não são liberados na solução, na mesma proporção estequiométrica da sua composição original, pois parte dos elementos liberados precipitam, formando um novo mineral. Ainda, para os autores, no processo de intemperismo do basalto, em geral ocorre rápida liberação de Si, Al e Fe, além de cátions não hidrolisáveis tais como,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , sendo que esses são removidos via lixiviação e os anteriores ficam retidos devido participação na formação de fases cristalinas.

Os atributos químicos dos solos apresentaram correlações significativas ( $p < 0,05$ ) para os valores de  $\Delta pH$ ,  $pH_{PCZ}$ , CTC e micronutrientes, conforme apresentado nas Tabelas 6, 7, 8 e 9. O maior número de correlações significativas entre os atributos químicos dos solos ocorreram no LVd. Isto é, por se tratar de um solo pobre em nutrientes, menos tamponado, com baixa CTC, baixo teor de matéria orgânica e menor teor de argila, fez com que o LVd respondesse positivamente a adição do pó de basalto, pois apresentou um incremento de cátions trocáveis e redução da acidez potencial, constatando ainda que, as doses de pó de basalto acrescentaram também micronutrientes e elevaram a CTC deste solo, conforme apresentado nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6.

Com relação ao LVdf, as correlações dos atributos químicos que tiveram significância ocorreram de maneira pontual, apresentando efeito positivo mais evidente para os atributos CTC,  $\Delta pH$  e  $pH_{PCZ}$ . Ainda assim, para o LVdf a adição do pó de basalto acrescentou cátions trocáveis e redução da acidez potencial.

De acordo com os resultados obtidos (Figuras 2, 3, 4 e 5) pode-se dizer que, houve um efeito positivo em função das doses aplicadas de pó de basalto para o solo de textura média, no entanto, é importante testar doses maiores para verificar se o solo de textura argilosa apresentará respostas semelhantes ao solo de textura média. Estudo realizado por Melo *et al.* (2012) observou-se que, em um Latossolo Amarelo distrófico os teores de  $H + Al$  sofreram uma redução de  $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com  $96 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de basalto.

Trabalhos semelhantes ao de Melo *et al.* (2012), realizados por Ferreira Inocêncio *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2017) demonstraram que a aplicação de pó de basalto como remineralizador de solo tem influenciado significativamente diferentes atributos químicos do

solo, apontando resultados positivos para a elevação do pH e, conseqüente, a eliminação do alumínio tóxico e ao aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes.

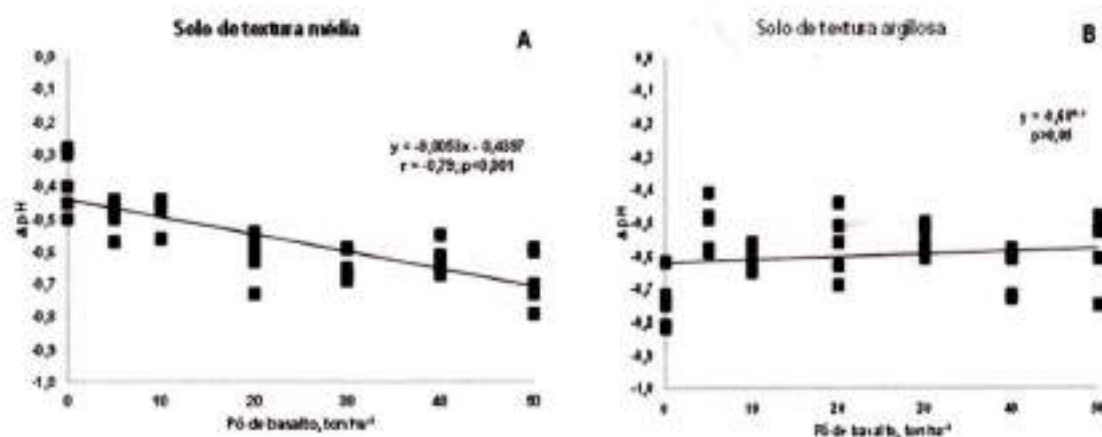
**Tabela 6.** Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos associados à acidez do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf).

Atributo Químico	LVd				LVdf			
	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.
pH <sub>H2O</sub>	-0,71592	0,6546	0,37998	-0,65035	-0,3899	ns	-0,64073	ns
	<,0001	<,0001	0,0244	<,0001	0,0206		<,0001	
pH <sub>CaCl2</sub>	-0,64898	0,73233	0,62646	-0,50556	ns	ns	Ns	ns
	<,0001	<,0001	<,0001	0,0019				
pH <sub>KCl</sub>	-0,81922	0,9782	0,86126	-0,83142	ns	0,88714	0,6628	ns
	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	
ΔpH	-0,65272	0,94801	1	-0,72664	ns	0,93357	1	ns
	<,0001	<,0001		<,0001	<,0001	<,0001		
pH <sub>PCZ</sub>	-0,77977	1	0,94801	-0,81762	ns	1	0,93357	ns
	<,0001		<,0001	<,0001			<,0001	
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	0,8597	-0,65942	-0,54696	0,61351	0,59192	ns	0,39321	ns
	<,0001	<,0001	0,0007	<,0001	0,0002		0,0194	

Fonte: o autor.

Notas: Todas as correlações apresentadas são significativas em nível de 5% de probabilidade.

pH<sub>H2O</sub>: pH em água; pH<sub>CaCl2</sub>: pH em cloreto de cálcio; pH<sub>KCl</sub>: pH em cloreto de potássio; ΔpH: delta pH; pH<sub>PCZ</sub>: pH no ponto de carga zero; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>: acidez potencial.



**Figura 2.** Análise de regressão linear da variável ΔpH em função das doses de pó de basalto aplicados nos solos Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 2A) e Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa (Figura 2B).

Tabela 7. Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos associados a cátions trocáveis do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf).

Atributo	LVd				LVdf			
	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.
Ca	0,83361 <,0001	-0,72557 <,0001	-0,64446 <,0001	0,71698 <,0001	0,85652 <,0001	ns	ns	ns
Mg	0,79447 <,0001	-0,51686 0,0015	-0,40364 0,0162	0,597 0,0002	0,68568 <,0001	ns	ns	ns
K	ns	-0,35449 0,0367	-0,34686 0,0612	ns	-0,36337 0,0319	-0,38574 0,0221	-0,48312 0,0033	0,44138 0,6679
Na	0,39904 0,0176	-0,33481 0,0493	ns	0,51468 0,0016	ns	ns	ns	0,41355 0,0135
SB	0,87732 <,0001	-0,69439 <,0001	-0,58597 0,0002	0,74375 <,0001	0,90062 <,0001	ns	ns	ns
CTCe	0,87732 <,0001	-0,69439 <,0001	-0,58597 0,0002	0,74375 <,0001	0,90062 <,0001	ns	ns	ns
CTC	1	-0,77977 <,0001	-0,65272 <,0001	0,78346 <,0001	1	ns	ns	ns
V	-0,67764 <,0001	0,53927 0,0008	0,43669 0,0087	-0,45544 0,006	-0,33495 0,0492	ns	-0,3655 0,0308	ns

Fonte: o autor.

Notas: Todas as correlações apresentadas são significativas em nível de 5% de probabilidade.

Ca: teor de cálcio; Mg: teor de magnésio; K: teor de potássio; Na: teor de sódio; SB: soma das bases; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; CTC: capacidade de troca catiônica; V %: saturação por bases.



**Tabela 8.** Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos: fósforo (P) e carbono (C) do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).

Atributo	LVd				LVdf			
	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.
P	0,5214	-0,4717	-0,39726	0,75786	ns	ns	ns	0,50535
	0,0013	0,0042	0,0181	<,0001				0,002
C	ns	ns	ns	-0,33525 0,049	ns	ns	ns	ns

Fonte: o autor.

Notas: Todas as correlações apresentadas são significativas em nível de 5% de probabilidade.

P: teor de fósforo (Mehlich-1);

C: teor de carbono orgânico.

**Tabela 9.** Matriz de correlação de Pearson entre os atributos químicos: ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e total do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).

Atributo	LVd				LVdf			
	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.	CTC	pH <sub>PCZ</sub>	ΔpH	Micro.
Fe	0,78525	-0,8134	0,72243	0,99969	0,47302	ns	ns	0,49596
	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,0041			0,0024
Cu	0,70538	-0,8014	0,71328	0,9052	ns	ns	ns	0,87866
	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001				<,0001
Zn	ns	ns	ns	0,36642	ns	-0,35537	-0,3877	0,72883
				0,0304		0,0362	0,0214	<,0001
Mn	0,50942	-0,7136	0,67117	0,7229	ns	-0,36432	-0,4047	0,89048
	0,0018	<,0001	<,0001	<,0001		0,0314	0,0159	<,0001
total	0,78346	-0,8176	0,72664	1	ns	ns	ns	1
	<,0001	<,0001	<,0001					

Fonte: o autor.

Notas: Todas as correlações apresentadas são significativas em nível de 5% de probabilidade.

Fe: teor de ferro; Cu: teor de cobre; Zn: teor de zinco; Mn: teor de manganês; total: micronutrientes totais

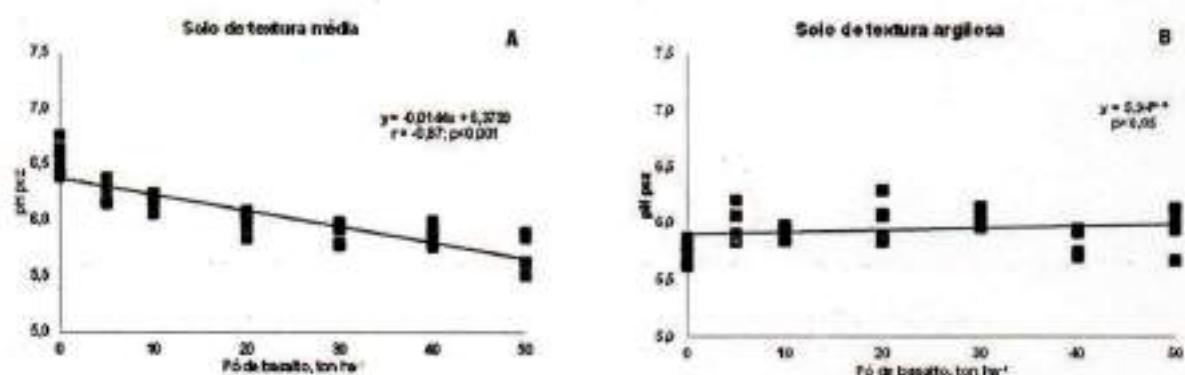


Figura 3. Análise de regressão linear da variável  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$  em função das doses de pó de basalto aplicados no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 3A) e no Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa (Figura 3B).

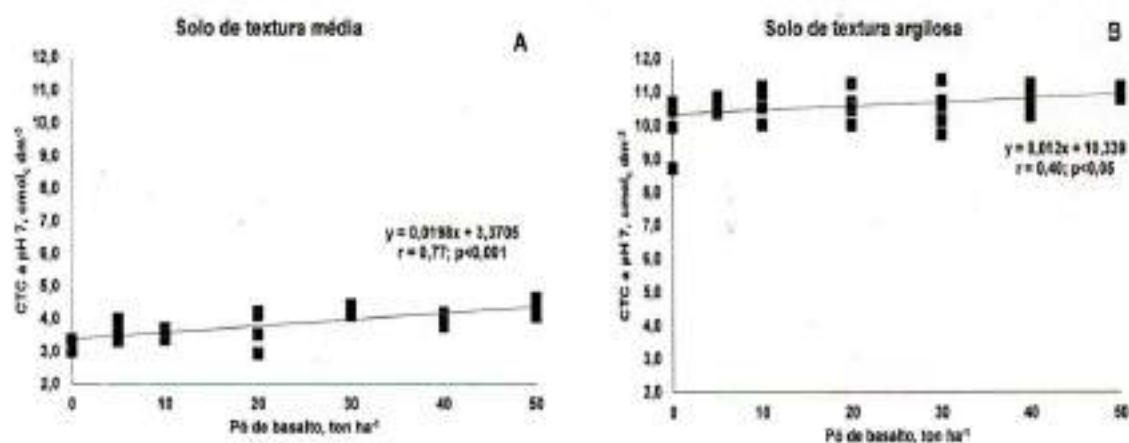


Figura 4. Análise de regressão linear da variável CTC a pH 7,0 em função das doses de pó de basalto aplicados no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 4A) e no Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa (Figura 4B).

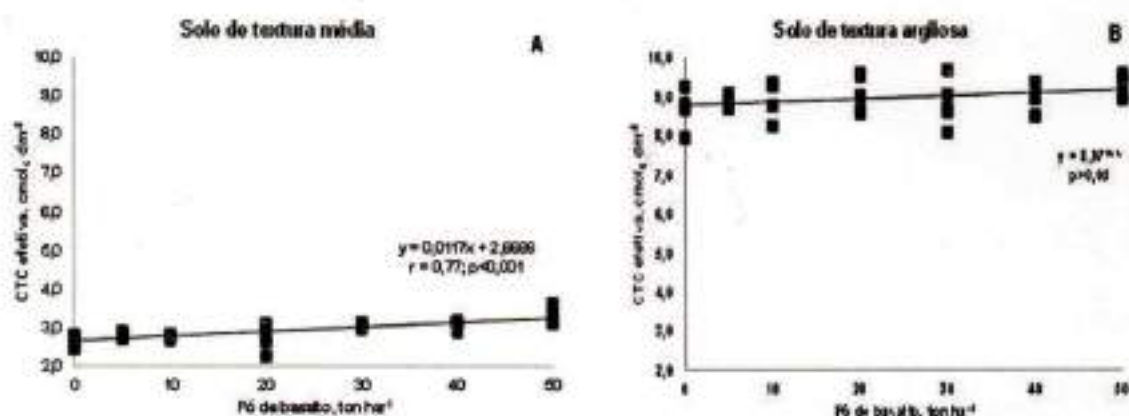


Figura 5. Análise de regressão linear da variável CTCe em função das doses de pó de basalto aplicados no no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 5A) e no Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa (Figura 5B).

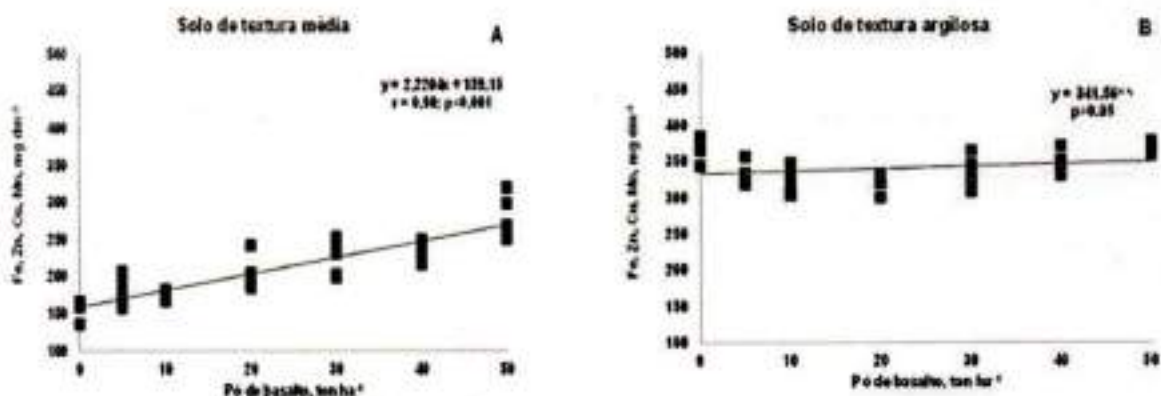


Figura 6. Análise de regressão linear das variáveis Fe, Zn, Cu e Mn em função das doses de pó de basalto aplicados no no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura média (Figura 6A) e no Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa (Figura 6B).

Para cada 1 t de pó de basalto, o valor de  $\Delta\text{pH}$  se tornou - 0,0053 mais negativo para o LVd (Figura 2A), apresentando correlação significativa linear e negativa com o acréscimo das doses de pó de basalto. Já, para o LVdf, o acréscimo das doses de pó de basalto até o limite de 50 t ha<sup>-1</sup> não teve efeito significativo (Figura 2B).

Os resultados obtidos com a análise química dos solos, apresentaram valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  superiores aos valores de  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  em todos os tratamentos testados (Tabela 5), apontando uma predominância de cargas negativas nos dois solos estudados. Além disso, o solo de textura média apresentou um aumento na diferença entre os dois valores de pH conforme o acréscimo das doses de pó de basalto.



Para Souza *et al.* (2007), o pH do solo reflete sua acidez ativa que representa quantidade de  $H^+$  presente na solução do solo, ou seja, demonstra o grau de dissociação dos compostos que liberam ácidos, porém sem revelar quais são estes compostos. Estudo desenvolvido por Melo *et al.* (2012), em um Latossolo Amarelo distrófico, demonstraram que o efeito da adição das doses de pó de basalto apresentou maior eficiência para neutralização da acidez potencial, tendo seu ponto de máxima neutralização com a dose de  $50 \text{ t ha}^{-1}$ . Outros autores também constataram a elevação do pH após período de incubação com remineralizadores ao solo (OLIVEIRA, 2012 e DEUS *et al.*, 2007).

Os valores de  $pH_{PCZ}$  diminuíram nos dois solos utilizados neste estudo (Tabela 5), ficando evidente a predominância de cargas negativas nestes solos. Entretanto, apenas o LVd apresentou correlação linear significativa em função das doses aplicadas. Resultado semelhante a este também foram relatados por Anda *et al.* (2015).

Com a aplicação das doses de pó de basalto, constatou-se o efeito significativo no aumento da CTC destes solos (Figuras 4A e 4B). Sendo esse efeito mais pronunciado no solo de textura média (LVd), que também apresentou correlação linear significativa e positiva com o acréscimo das doses de pó de basalto.

Ainda com relação à CTC dos solos deste estudo, observou-se que, após o tratamento com pó de basalto, houve um aumento linear da CTC a pH 7,0. Contudo, este aumento foi menos pronunciado no LVdf, demonstrando que este necessita de outros estudos com aplicação de doses mais elevadas de pó de basalto para poder observar efeito similar ao ocorrido no LVd.

Entretanto, os valores de CTC a pH 7,0 alcançados no solo de textura argilosa não deixam de ser satisfatórios, pois houve correlação linear significativa em função das doses de pó de basalto. Os autores Sékula (2011); Anda *et al.* (2013); Lopes *et al.* (2014); Nunes *et al.* (2014); Shamshuddin e Anda (2012), também observaram o aumento da CTC nos solos incubados com remineralizadores no LVd, observou-se um aumento de  $0,0198 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada  $1 \text{ t ha}^{-1}$  do pó de rocha aplicado, já no LVdf (Figura 4B) ocorreu aumento de  $0,0120 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada  $1 \text{ t ha}^{-1}$  do pó de rocha aplicado.

Já para os resultados obtidos pela análise de regressão linear da variável CTCe (Figura 5A) do LVd, observou-se um aumento de  $0,0117 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada  $1 \text{ t ha}^{-1}$  do pó de rocha aplicado. No entanto, para o LVdf (Figura 5B) não houve efeito significativo em função das doses de pó de rocha aplicado.

Conforme observado na análise de regressão linear das variáveis Fe, Zn, Cu e Mn, constatou-se no solo de textura média (Figura 6A), para cada 1 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto aplicado houve o incremento de 2,220 mg dm<sup>-3</sup> na concentração dos micronutrientes disponíveis.

No entanto, tal comportamento não ocorreu no LVdf (Figura 6B). Tal fato pode ter ocorrido em função deste solo já apresentar teores naturalmente mais elevados de micronutrientes, com uma média de 342 mg dm<sup>-3</sup>, quando comparado ao LVd, que apresentou o teor médio da soma de micronutrientes igual a 159 mg dm<sup>-3</sup>.

Desse modo, fica comprovado a eficiência do material na granulometria filler, disponibilizando diversos nutrientes para a solução do solo, além de fornecer bases trocáveis, promovendo assim, um ambiente favorável de nutrição na rizosfera das plantas, devido à redução da acidez e o acréscimo dos nutrientes essenciais.

Segundo Costa (2019), a fragmentação das rochas reduz o tamanho das partículas, aumentando significativamente a área de contato para o ataque dos prótons e dos agentes complexantes. Silva (2016), também constatou que as frações mais finas de um remineralizador são responsáveis por uma dissolução mais rápida, enquanto as frações mais grossas têm uma dissolução mais lenta e duradoura.

Já com relação ao solo de textura argilosa (Tabela 5), os tratamentos com pó de basalto, com exceção do Fe, não apresentaram efeito no aumento dos micronutrientes em comparação a testemunha, e nem apresentaram um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) (Figura 6B) em função do acréscimo das doses de pó de basalto aplicadas.

Conforme relatado por Caerdes (2014); Knapik e Angelo (2007); Silva *et al.* (2011), Melo *et al.* (2012) e Sékula (2011), quando utilizamos um remineralizador de solos como opção de condicionador químico do solo, estes trazem consigo o benefício de adicionar ao solo, além dos cátions trocáveis, os micronutrientes.

Neste contexto, a remineralização dos solos é importante, pois algumas rochas utilizadas para essa finalidade podem apresentar alguns elementos químicos desejáveis que podem melhorar os atributos químicos do solo. A aplicação contínua de um remineralizador pode afetar todos os constituintes do solo, proporcionando ao longo do tempo melhorias de seus atributos intrínsecos, com conseqüente rejuvenescimento da mineralogia deste solo (COSTA, 2019).



## 5 CONCLUSÕES

O Latossolo Vermelho distrófico-LVd de textura média apresentou uma melhora significativa para os atributos químicos do solo, em função das doses de pó de basalto aplicadas. Já, o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf de textura argilosa, por apresentar maior fertilidade natural, não apresentou respostas significativas para a maioria dos atributos químicos do solo, em função das doses de pó de basalto aplicadas.

A utilização do pó de basalto na granulometria filler proporcionou, ainda que parcialmente, respostas significativas ( $p < 0,05$ ) aos dois solos deste estudo, em um período relativamente curto de incubação, de aproximadamente 150 dias. O uso do pó de basalto como um condicionador químico, além de promover o incremento de cátions trocáveis e reduzir a acidez potencial, também promoveu o incremento de micronutrientes aos dois Latossolos.

Os dois solos tiveram respostas significativas para os valores de CTC a pH 7,0, apresentando um incremento de  $0,0198 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para o LVd e  $0,0120 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para o LVdf para cada  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de basalto, deixando evidente a presença de cargas negativas nestes solos, demonstrando ainda um incremento de cátions trocáveis, principalmente Ca e Mg para o LVd na ordem de  $0,0070$  e  $0,0037 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de basalto aplicado, respectivamente.

O LVdf, além de apresentar um menor número de correlações significativas em relação ao LVd, também apresentou poucas respostas significativas dos atributos químicos, em função das doses de pó de basalto aplicadas. De maneira geral, o efeito dos tratamentos aplicados aos solos produziram alterações nos atributos químicos avaliados.



## 6. BIBLIOGRÁFICA

ALCÂNTARA, F.A.; MADEIRA, N.R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. Circular técnica nº 64, Embrapa Hortaliças. Brasília, DF. Julho, 2008.

ALOVISI, A. M. T.; TAQUES, M. M.; ALOVISI, A. A.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S.; PIESANTI, G. H. L. M.. Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. *Acta Iguazu*. v.6, n.5, p. 69-79, 2017.

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I. **Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions**. *Soil and Tillage Research*, v. 132, p. 1-11, 2013.

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J., ISHAK, C. **Improving chemical properties of a highly weathered soil using finely ground basalt rocks**. *CATENA*, v. 124, 2015. p.147-161. ISSN 0341-8162. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.012>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ASSIS, L. B.; BATISTA, N. T. F.; RAGAGNIN, V. A.; GÖRGEN, C. A.; MARTINS, E. S.; BIZÃO, A. A.; MORAIS, L. F.; HACK, E.; MARQUES, A. L. G.; CARVALHO, R. S.; ARRUDA, E. C. **Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa e sustentável**. In: Anais II congresso Brasileiro de Rochagem. Poços de Caldas: Embrapa, v. 1, p. 125 – 132, 2013.

AZEVEDO, A. C. **Uso tecnológico do intemperismo**. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, 8 a 11 de novembro de 2016 / Editores: Adilson Luis Bamberg... *et al.* Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis/ SP. Editora: Triunfal Gráfica e Editora, p.151-160, 2016. ISBN: 978-85-61175-68-9.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Macenas, p. 287, 2017.

BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; POTES, M. L.; PILLON C.N; LOUZADA, R. M; CAMPOS A. D. S. **Dinâmica de Liberação de Nutrientes Disponibilizados por Rochas Moídas em Colunas de Lixiviação**. In: Anais XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, MG. 2011.

BATISTA, N. T. F.; RAGAGNIN, V. A.; HACK, E.; GÖRGEN, A. L.; MARTINS, E. S. **Atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído**. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Cerrados; Assis, SP: Triunfal, 2016. p. 241-247. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1076462>. Acesso em: 25 mar. 2020.

BEILNER, O. **Iniciação a Agroecologia**. 1ª edição. Joinville: Clube de Autores, p. 138, 2019.

BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; BANDEIRA, R.; BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; GRECCO, M. F. **Representação de dados litoquímicos em rochas vulcânicas da formação serra geral da bacia do Paraná: uma ferramenta para investigação do potencial de uso agrônômico.** *In: Anais II congresso Brasileiro de Rochagem.* Poços de Caldas: Embrapa, v. 1, p. 190 – 199, 2013.

BIZÃO, A. A.; HACK, E.; BATISTA, N. T. F.; GÖRGEN, C. A.; RAGAGNIN, V. A.; MARTINS, E. S.; MORAIS, L. F.; MARQUES, A. L. G.; CARVALHO, R. S.; ASSIS, L. B. **Avaliação Econômica do Uso da Rochagem em Lavoura Comercial no Sudoeste Goiano.** *In: Anais II congresso Brasileiro de Rochagem.* Poços de Caldas: Embrapa, v. 1, p. 212 – 219, 2013.

BRASIL. **Lei no 12.890, de 10 de dezembro de 2013** - Planalto. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm). Acesso em: 10 out 2019.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Remineralizadores e Substratos:** MAPA. Seção 1, p. 10-11. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020.

BORGES, P. H. C.; SILVA, F. J. P.; CARVALHO, A. M. X. **Avaliação da disponibilização de elementos nutrientes do pó de basalto via adubação verde de inverno e de feijão como cultura de verão.** *In: Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, 8 a 11 de novembro de 2016 / Editores: Adilson Luis Bamberg... et al.* Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis/ SP. Editora: Triunfal Gráfica e Editora, p. 269-274, 2016. ISBN: 978-85-61175-68-9.

CAERDES- Centro de Agroecologia, Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável. **Rochagem na agricultura agroecológica.** Série Cartilha Agroecologia, v. 6. EDUNEB. Salvador, p. 32, 2014.

CAPORAL, F. R.; AZEVEDO, E. O. **Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis.** *In: CAPORAL, F. R.; AZEVEDO, E. O (Orgs.). Princípios e perspectivas da Agroecologia.* Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Paraná. Educação à distância. p. 83-120, 2011.

CHOROVER, J.; AMISTADI, M.K.; CHADWICK, O. A. Surface charge evolution of mineral-organic complexes during pedogenesis in Hawaiian basalt. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, v.68, n. 23, p. 4859-4876, 2004.

COLA, A. P. Geovana; SIMÃO, P. B. João; **Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica.** **Revista Verde**, Mossoró – RN, v. 7, n. 4, p. 15-27, out-dez, 2012.



COSTA, A.C.S. da. **Rochagem: mitos e fatos**. In: Anais eletrônicos da VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo –RPCS: o desafio da produção agropecuária com baixo impacto ambiental de 28 a 31 de maio de 2019, Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2019.

COSTA, A. C. S. da. **Remineralizadores do solo: aspectos teóricos e práticos**. In: AMARAL, H., SCHWAN-ESTRADA, K. (2020). Agricultura em bases agroecológicas e conservacionista. Ponta Grossa, PR: Editora Atenas, 2020. DOI: 10.22533/at.ed.072202102. ISBN: 978-65-86002-07-2. p. 80 – 95. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339629795\\_Agricultura\\_em\\_bases\\_agroecologicas\\_e\\_conservacionista/link/5e5d5515a6fdccbeba144af4/download](https://www.researchgate.net/publication/339629795_Agricultura_em_bases_agroecologicas_e_conservacionista/link/5e5d5515a6fdccbeba144af4/download). Acesso em: 25 mar. 2020.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. **Eficiência de rocha fonolito moída como fonte de potássio para as culturas do arroz, feijão, milho e soja**. In: Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem, Minas Gerais, p. 327-337, 2013.

DEUS, A. C. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; DA SILVA, E. A. **Influência da rochagem nos atributos químicos e atividade microbiana de um Latossolo**. In: I ENCIVI, UNESP, CAMPUS ILHA SOLTEIRA. 2007. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/Eventos/encivi/iencivi-2007/9-angelica-c.f.d..pdf>. Acesso em: 13 jan. 2020.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, p.1-20. (Special, 35). 1994.

DUARTE, L. M. G; THEODORO, S. H. (Org.). **Dilemas do cerrado: entre o ecologicamente (in)correto e o socialmente in(justo)**. Rio de Janeiro. Editora: Garamond, Edição: 1. p. 242, 2002.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Adubação de pastagens. In: PIRES, A. V. (Ed.). **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: FEALQ, p. 459-471. 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 573. 2017.

ESCOSTEGUY, P. A.V.; KLAMT, E.. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. Vol.22, n.1, p.11-20. 1998. ISSN 1806-9657. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000100002>. Acesso em: 10 dez. 2019.

FANCELLI, M.; BORGES, A. L.; RITZINGER, C. H. S. P.; SILVA, D. dos S.; RINGENBERG, R.. **Metamasius hemipterus L. Como praga de bananeiras cv. Terra**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal -SP, v.34, n.3, p. 944-946, Sept. 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010029452012000300039&lng=e&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010029452012000300039&lng=e&nrm=iso). Acesso em: 26 Mar. 2020.



- FERREIRA INOCÊNCIO, M.; NOVELINO, J. O.; RAMÃO PAIM, L.; SANTOS GUTIERREZ, R. Efeito da aplicação de basalto triturado nas características químicas de amostras de solo do Estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Caatinga*, vol. 22, núm. 4, outubro-diciembre, p. 145-151, 2009.
- FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *An. Acad. Bras. Ciênc.* [online], vol.78, n.4, p. 715-720. 2006. ISSN 00013765.
- GILLMAN, G.P. **The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 44, p. 465-468, 1980.
- GILLMAN, G.P.; BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. **Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock.** *Applied Geochem* 17, p. 987-1001, 2002.
- GONÇALVES, S.; ENGELMANN, S. A. A Agroecologia e a reestruturação do desenvolvimento rural. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, v. 4, n. 8, p. 29-51. Uberlândia, 2009.
- GRECCO, M. F.; BAMBERG, A.L.; POTES, M.L.; LOUZADA, R.; SILVEIRA, C.A.P.; MATINAZZO, R., BERGMANN, M. **Efeito de rochas moídas e torta de tungue sobre a concentração e acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de milho (*Zea mays*).** *In: Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem, Minas Gerais*, p. 101-108. 2013.
- 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, n. 01, p.11-36, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>. Acesso em: 06 de jan. 2020.
- IBGE; RIO DE JANEIRO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Rio de Janeiro: IBGE, v. 26, 2013.
- KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. **Pó de basalto e esterco eqüino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (ROSACEAE).** *Floresta*, v. 37, n. 03, p. 427-436, 2007.
- LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011, 456p.
- LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V. M.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 5, p. 1547-1557, 2014.
- LOUREIRO, F. E. L.; MELAMED., R. G.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 645, 2009.
- LUZ, A. B.; LOUREIRO, F. E. L.; SAMPAIO, J. A.; CASTILHOS, Z. C.; BEZERRA, M. S. **Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos.** *In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Ed). Agrominerais para o Brasil.*

Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p. 61-88, 2010. ISBN: 978-85-61121-61-7. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/906>. Acesso em: 26 mar. 2020.

MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. 2005. **Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/SBCS. (CDrom).

MAFRA, A. L.; FRIEDERICHS, A.; ALMEIDA, J. A. 13681 - **Suprimento de potássio para uso agrícola a partir de pós de rochas em cultivo de trigo e ervilhaca em dois Argissolos Vermelhos.** Cadernos de Agroecologia, [S.l.], v. 8, n. 2, dec. 2013. ISSN 2236-7934. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/13681>. Acesso em: 07 jan. 2020.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. (Ed.). **Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem:** 21 a 24 de Setembro de 2009. Brasília: Embrapa, p. 321, 2010.

MELAMED, R.; GASPAR, J.C. **Eficiência de pó de rocha na bio-disponibilidade de potássio em sistemas de produção agrícola sustentáveis.** XXI ENTMME – Natal-RN, novembro. 2005.

MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentável em solos tropicais.** Rio de Janeiro, 2007 (Série estudos e documentos, 72). Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/serie\\_sed.htm](http://www.cetem.gov.br/serie_sed.htm) Acesso em: 28 jan. 2020.

MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; DIAS, F.U.; BARBOSA, G.F.. **Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima.** *Acta Amazônica* [online], vol.42, n.4, p.471-476, 2012. ISSN 0044-5967. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000400004>. Acesso em: 07 jan. 2020.

MINEROPAR (Minerais do Paraná AS) – Serviço Geológico do Paraná: **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**, p. 125, 2001.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; SALINET, L.H.; SFREDO, G.J. **Efeito residual de rochas brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo.** *Espaço & Geografia*, 9, p.163:177, 2006.

MYRVANG, M. B.; GJENGEDAL, E.; HEIM, M.; KROGSTAD, T.; ALMAS, A. R. **Geochemistry of barium in soils supplied with carbonatite rock powder and barium uptake to plants.** *Applied Geochemistry*, Volume 75. p. 1-8, 2016. ISSN 0883-2927. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.10.013>. Acesso em: 26 mar. 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*, v. 84, p. 649-656, 2014.

OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; MOREIRA, A.; ROSA, J.L. **Eficiência da adubação residual com rochas brasileiras para a cultura da soja.** *Espaço & Geografia*, 9. p. 231:246, 2006.

OLIVEIRA, P.C. **Caracterização geológico-geotécnica de diferentes litotipos basálticos: basalto denso, basalto vesículo-amigdaloidal e brecha alcalina.** 2012. p.159. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos 2012.

PRATES, F. B. S.; VELOSO, H. S.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIOR, G. R.; LOPES, P. S. N.; FERNANDES, L. A., MAIO, M. M. Crescimento de mudas de maracujázeiro-amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 239-246. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034737X2010000200016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034737X2010000200016&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 26 Mar. 2020.

PRATES, S. B. F.; LUCAS, G. S. C.; SAMPAIO, A. R.; JUNIOR, B. S. D.; FERNADES, A. L.; JUNIO, Z. R. G. Crescimento de mudas de pinhão-manso em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. *Revista Ciência Agronômica*, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, v. 43, n. 2, p. 207-213, abr/jun, 2012.

PILLON, C. N. **Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios.** *In: Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem*, 8 a 11 de novembro de 2016 / Editores: Adilson Luis Bamberg... *et al.* Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis/ SP. Editora: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. p. 15-22. ISBN: 978-85-61175-68-9.

PRIMAVESI, A. M. **Agroecologia e Manejo do Solo.** *In: Agriculturas*, v. 5, n. 3, p. 7 - 10. 2008. Disponível em: <http://aspta.org.br/files/2019/10/artigo1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

RAMOS, G. C.; SILVA, S. G.; MELLO, G. A.; LEÃO, B. F.; KAUTZMAN, M.R.; **Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem.** *Comunicações Geológicas, Especial III*, 2014.

RAMOS, C. G.; QUEROL, X., DALMORA, A. C.; PIRES, K. C. J.; SCHNEIDER, I. A. H.; OLIVEIRA, L. F. S.; KAUTZMANN, R. M. "Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer." *Journal of Cleaner Production* 142 :2700-2706. 2017.

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. **Rochas como Fontes de Potássio e outros Nutrientes para Culturas Anuais.** *Espaço & Geografia*, 9. p.135-161, 2006.



RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R.; SOUZA, L. F. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2010, vol.34, n.3, pp.891-897. ISSN 1806-9657. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>. Acesso em: 15 jan. 2020.

RODRIGUES, A.F.S.; FONSECA, D.S.; PARAHYBA, M. H. R. E.; CAVALCANTE, V.M. M. **Agrominerais: recursos e reservas**. In: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Eds). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.23-44, 2010.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de. TAIOLI, F. **Decifrando a Terra** – 2a edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 2009.

THEODORO, S. H. **Normatização do uso dos remineralizadores: limitações e perspectivas**. In: Anais II congresso Brasileiro de Rochagem. Poços de Caldas: Embrapa, v. 1, p. 379 – 387, 2013.

THEODORO, S. H.; PIERRE, J.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A. Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais: In: **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6., 2012, Brasil. **Revista**. Brasil: Rbgf, 2012. p. 1390 - 1407. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SAS. Institute Inc. **Statistical Analysis System**. Release 9.1. (Software). Cary, 2003.

SÉKULA, C.R. **Características Químicas do Solo e Produção de Grandes Culturas com Rochagem e Biofertilizantes**. 2011. p.61. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro – PR. 2011.

SHAMSHUDDIN, J.; ANDA, M. **Enhancing the productivity of Ultisols and Oxisols in Malaysia using basalt and/or compost**. *Pedologist*, v. 55, n. 3, p. 382-391, 2012.

SILVA, P. C. **Carbonatação de basalto para armazenamento de carbono**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, A.; PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; ALMEIDA, J. A., SHMITT, C. Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá [online]. vol.33, n.1, p.147-152, 2011. ISSN 1807-8621. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.5878>. Acesso em: 16 jan. 2020.

SILVA, V.N. **Interação de micro-organismos na solubilização de fósforo e potássio de rochas para a produção de biofertilizantes**. 2013. 129 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial; Biotecnologia em Agropecuária; Biotecnologia em Recursos Naturais; Biotecon) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12652>. Acesso em: 26 mar. 2020.

SILVA, R. C. da. **Intemperismo de minerais de um remineralizador**. 2016. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/ide01082016171821/publico/Rafael\\_Cipriano\\_da\\_Silva\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/ide01082016171821/publico/Rafael_Cipriano_da_Silva_versao_revisada.pdf). Acesso em: 22 jan. 2020.

SILVA, R. C.; CURY, M. E.; IEDA, J. J. C.; SERMARINI, R. A.; AZEVEDO, A. C.. Atributos químicos de um Latossolo remineralizado. **Cienc. Rural** [online], vol.47, n.11, e20160982. 2017.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e suas correções**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.; V.H. BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.), *Fertilidade do Solo*. SBCS, Viçosa, p. 205-274, 2007.

VAN STRAATEN, P. **Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities**. An. Acad. Bras. Ciênc., Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 731-747, Dec. 2006. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-37652006000400009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652006000400009&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 06 jan. 2020

VINOD, P.N.; CHANDRAMOULI, P.; KOCH, M. **Estimation of nitrate leaching in Groundwater in agriculturally used area in the State Karnataka, India, Using existing Model and GIS**. Aquatic Procedia, v. 4, p. 1047-1053, 2015.

WENCZENOVICZ, T. J.. **OLHARES AO CAMPO: EDUCAÇÃO, HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO**. Erechim, RS. Porto Alegre: Revolução eBook, p. 276. 2016.