

**UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

ERIK IAN NEGRÃO DE MOURA

**ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DOS MACROELEMENTOS DE UM
REMINERALIZADOR APLICADO A UM NITOSSOLO VERMELHO
EUTROFÉRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2019

ERIK IAN NEGRÃO DE MOURA

**ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DOS MACROELEMENTOS DE UM
REMINERALIZADOR APLICADO A UM NITOSSOLO VERMELHO
EUTROFÉRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito parcial para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Francisco Beltrão.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Thalita Grandó Rauen

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a Michelle Milanez França

FRANCISCO BELTRÃO

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**Ensaio de lixiviação dos macroelementos de um remineralizador
aplicado a um nitossolo vermelho eutroférico**

por

Erik Ian Negrão de Moura

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 13 horas e 50 minutos, do dia 27 de junho de 2019, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

Thalita Grando Rauen

(Presidente da Banca)

Michelle Milanez França

(Membro da Banca)

Elisete Guimarães

(Membro da Banca)

Denise Andréia Szymczak

(Professora Responsável pelo TCC)

Wagner de Aguiar

(Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental)

“O Termo de Aprovação encontra-se assinado na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental”

AGRADECIMENTOS

É difícil processar a ideia de que essa etapa está chegando ao fim. O alívio se mistura com a tristeza e faltam palavras para descrever o que aconteceu. Foram anos de muito estudo e sacrifício, mas também de muitos momentos inesquecíveis, onde havia um amigo em qualquer lugar para onde se olhasse, fosse em casa, na sala de aula ou no bar, além daqueles que a distância afastava por algum tempo. Depois desses longos e intermináveis anos, que sem dúvida ficarão entre as melhores lembranças da minha vida, é hora de deixar meu muito obrigado aos que fizeram parte desse período.

Agradeço aos meus pais por todo o apoio e incentivo durante essa etapa da minha vida. Sem o amor e o sacrifício deles, tudo teria sido muito mais difícil, ou até impossível.

Agradeço aos amigos, colegas, conhecidos e desconhecidos com quem dividi uma casa, um apartamento, um dia de estudo, uma cerveja, uma risada. Mais do que o diploma, levarei para a vida a lembrança da convivência e dos bons momentos compartilhados.

Agradeço a todos os professores pelos ensinamentos, e especialmente às minhas orientadoras Thalita e Michelle, pela dedicação, sabedoria e paciência extremas e por todo o apoio na execução deste trabalho e nos (muitos) momentos de desespero, sem os quais este trabalho não seria possível.

Agradeço ao Laboratório de Qualidade Agroindustrial – LAQUA da UTFPR Câmpus Pato Branco pela realização das análises químicas desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que me ajudaram de alguma forma, seja com um caderno emprestado, uma carona, uma moeda, uma palavra de apoio. Essa ajuda nas pequenas e nas grandes coisas foi fundamental para que esse momento chegasse.

Me recuso a acreditar que a vida se resume a isso.

(Phobia Punk Rockers)

RESUMO

A extração do basalto em pedreiras gera grande quantidade pó de rocha como resíduo, acarretando em custos com o transporte e a disposição final adequada desse material. Uma alternativa viável para a valorização desse pó de rocha é a utilização do mesmo como remineralizador do solo, capaz de fornecer macronutrientes de liberação lenta e servir como complemento aos fertilizantes convencionais. No presente trabalho, foram utilizadas colunas de PVC para avaliar a dinâmica de lixiviação de Ca, Mg e P a partir de uma mistura de solo e pó de rocha, simulando-se em laboratório um intervalo de 10 semanas e aplicando-se às colunas um volume de água equivalente à diferença entre as médias anuais de precipitação e de evaporação na cidade de Francisco Beltrão. Observou-se correlação linear positiva e significativa entre as quantidades de pó de rocha adicionadas ao solo e as concentrações de Ca, Mg e P na solução percolada das colunas, indicando um aumento significativo da disponibilidade desses macronutrientes na solução do solo e, conseqüentemente, da quantidade potencialmente absorvível desses macronutrientes pelas raízes das plantas.

Palavras-chave: Rochagem. Colunas de lixiviação. Mineralizador. Basalto. Fertilização.

ABSTRACT

Basalt extraction from quarries results in expressive amounts of rock dust as a waste, incurring in costs with transportation and correct disposal of this material. A viable alternative to add value to that rock dust is to use it as a soil remineralizer that can provide slow-release macronutrients and serve as a supplement to conventional fertilizers. In this work, PVC columns were used to evaluate the leaching dynamics of Ca, Mg and P from a soil/rock dust mixture, simulating in a lab environment a 10 weeks timespan and adding to the columns a water volume equal to the difference between the annual precipitation and evaporation averages in the city of Francisco Beltrão. A positive and significant linear correlation was observed between the amounts of added rock dust and the concentrations of Ca, Mg and P in the leached solution, indicating a significant increase in the availability of those macronutrients in the soil solution and, therefore, an increase in the amount of those macronutrients that could potentially be absorbed by the plants' roots.

Keywords: Rock dusting. Leaching columns. Mineralizer. Basalt. Fertilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sacos com pó de rocha (esq.) e solo.....	18
Figura 2 - Secagem do solo ao ar.	19
Figura 3 - Coluna utilizada para percolação, mostra ..ndo os tecidos "volta ao mundo" (esquerda) e voal (direita) utilizados como barreira.	20
Figura 4 - Coleta da solução lixiviada.....	24
Figura 5 - Montagem do experimento.	25
Figura 6 - Regressão linear entre a massa de pó de rocha e a concentração de Ca no lixiviado.....	30
Figura 7- Regressão linear entre a massa de pó de rocha e a concentração de Mg no lixiviado.....	30
Figura 8 - Regressão linear entre a massa de pó de rocha e a concentração de P no lixiviado.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Óxidos majoritários contidos nos basaltos.	13
Tabela 2 - Valores médios dos elementos na fácies Cordilheira Alta, com a indicação das médias mais elevadas (em vermelho) e das mais baixas (em azul).....	14
Tabela 3 - Resultados da análise de solo	26
Tabela 4 - Óxidos majoritários presentes no remineralizador.	27
Tabela 5 - Teores de alguns elementos presentes no remineralizador.....	27
Tabela 6 - Concentração de minerais nos lixiviados	28
Tabela 7 - Tabela da ANOVA - Ca	29
Tabela 8 - Tabela da ANOVA – Mg	29
Tabela 9 - Tabela da ANOVA – P	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	JUSTIFICATIVA	12
4	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1	BASALTOS	13
4.1.1	DERRAMES BASÁLTICOS NO MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO	13
4.2	AGREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	14
4.3	LIXIVIAÇÃO E ROCHAGEM NA AGRICULTURA	15
4.4	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AOS REMINERALIZADORES	16
5	MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1	ÁREA DE ESTUDO	17
5.2	remineralizador	17
5.3	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	17
5.4	ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	19
5.4.1	Colunas de lixiviação	19
5.4.2	Determinação da massa de solo e da umidade de campo	20
5.4.3	Determinação da quantidade de remineralizador	21
5.4.4	Determinação do volume de água	22
5.4.5	Determinação da vazão de água e da duração do ensaio	23
5.4.6	Execução dos ensaios	23
5.5	Análise dos resultados	25
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO e do remineralizador	26
6.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
7	CONCLUSÃO	32
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

O processo de extração de rocha basáltica para utilização como material agregado na construção civil gera uma quantidade considerável de pó de rocha, que tradicionalmente tem sido tratado como rejeito. Essa abordagem implica em custos para a empresa geradora, que deverá tratar e dispor esse rejeito adequadamente.

Uma alternativa mais sustentável seria aplicar esse rejeito como remineralizador de solos, prática que é autorizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Instrução Normativa nº 5 (BRASIL, 2016). Com isso, o pó de rocha passaria a ser um bem com valor intrínseco, e não mais um rejeito cujo manejo implica em custos econômicos, sociais e ambientais.

As pedreiras do município de Francisco Beltrão – PR tem procurado meios para inserir esse rejeito no mercado de remineralizadores. O material proveniente dessas pedreiras é rico em minerais benéficos ao solo, como óxidos de manganês, cálcio e fósforo, e também possui boas concentrações de micronutrientes como cobalto, cobre e molibdênio.

Essa composição química do rejeito torna interessante a sua utilização na agricultura como fertilizante, principalmente quando se leva em consideração a característica de lixiviação mais lenta dos nutrientes presentes nesse material, que se traduz em um efeito residual mais duradouro e em uma potencial redução na frequência de aplicações necessária para manter a fertilidade do solo.

A rochagem é uma prática empregada há anos na agricultura, sendo a calagem um exemplo clássico dessa técnica. A aplicação de pó de rochas ao solo é um meio eficaz, ambientalmente correto e de baixo custo para dispor resíduos de pedreiras, ao mesmo tempo em que fornece ao solo nutrientes de liberação gradual, que têm efeito complementar aos fertilizantes de rápida solubilização.

Com isso, considerando-se que o rejeito em questão apresenta composição favorável ao uso agrícola e enfatizando-se a necessidade de mais dados que permitam a comparação desse material com fertilizantes convencionais, visando a sua aplicação prática na agricultura, o presente trabalho busca entender de que forma se comporta a dinâmica de lixiviação dos macronutrientes presentes nesse rejeito em condições análogas às condições de campo.

2 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar, em ensaio de bancada, a dinâmica de liberação dos macronutrientes Ca, Mg e P lixiviados a partir de misturas de solo e remineralizador utilizando colunas de lixiviação.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Coletar as amostras de solo a ser utilizadas no estudo e determinar os teores dos macronutrientes Ca, Mg e P presentes nesse solo.
- ✓ Construir colunas de lixiviação para simular o efeito da precipitação anual média na cidade de Francisco Beltrão – PR entre os anos de 1974 e 2017.
- ✓ Determinar os teores de Ca, Mg e P lixiviados cumulativamente a partir de diferentes misturas de solo e remineralizador.
- ✓ Determinar se a aplicação de pó de rocha no solo é capaz de aumentar de maneira significativa as concentrações de Ca, Mg e P na solução lixiviada.

3 JUSTIFICATIVA

A quantidade de pó de rocha gerada pelas atividades da empresa atualmente se traduz em elevados custos com a disposição desse material. Entretanto, esse resíduo tem o potencial de gerar divisas para a empresa, já que sua composição química é favorável à utilização desse material como remineralizador. Logo, se faz necessário o estudo do comportamento desse material em condições de campo, para fornecer embasamento a análises de viabilidade da sua utilização prática.

Além do benefício obtido pela transformação de um passivo ambiental em um ativo, a utilização desse pó de rocha como fertilizante é de particular interesse por conta da liberação mais lenta dos nutrientes ao solo, o que diminui a probabilidade de perda desses nutrientes por lixiviação, um problema enfrentado pelos fertilizantes convencionais, que são mais solúveis.

Em escala local e regional, a utilização desse produto seria vantajosa devido à proximidade entre fornecedor e produtor rural, que reduziria os custos e a complexidade logística relacionados ao transporte do material. Isso se traduziria em um custo menor ao consumidor final.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 BASALTOS

Basaltos são rochas vulcânicas ígneas, formadas pelo rápido resfriamento do magma vulcânico. Isso dá aos basaltos uma textura afanítica, ou seja, são rochas de granulação fina sem estruturas cristalinas visíveis a olho nu, devido ao curto tempo para formação de cristais maiores. (NUNES, 2012)

Os principais minerais que podem fazer parte da constituição mineralógica dos basaltos são os piroxênios e plagioclásios, importantes fontes de macronutrientes tais como Ca e Mg. (FERREIRA, ALMEIDA & MAFRA, 2009). A Tabela 1 mostra os principais óxidos tipicamente contidos nos basaltos.

Tabela 1 - Óxidos majoritários contidos nos basaltos.

Elemento	Quantidade
SiO ₂ - dióxido de silício (%)	51,3
TiO ₂ - dióxido de titânio (%)	2,6
Al ₂ O ₃ - óxido de alumínio (%)	13,4
Fe ₂ O ₃ - óxido de ferro (III) (%)	13,4
MnO - dióxido de manganês (%)	0,2
MgO - óxido de magnésio (%)	5
CaO - óxido de cálcio (%)	8
Na ₂ O - óxido de sódio (%)	2,7
K ₂ O - óxido de potássio (%)	1,7

Fonte: Adaptado de LICHT, 2001.

4.1.1 DERRAMES BASÁLTICOS NO MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO

O município de Francisco Beltrão se localiza sobre a região de derrames basálticos conhecida como fácies Cordilheira Alta. Os basaltos dessa fácies são constituídos principalmente de plagioclásio e clinopiroxênio, tendo quartzo, apatita,

titanita e magnetita como minerais acessórios. Com base nas variações das proporções entre plagioclásio e piroxênio, a composição dos derrames dessa fácies varia entre basalto e basalto andesítico. (MINEROPAR, 2006)

A assinatura geoquímica dos basaltos dessa fácies apresenta os elementos Ca, K, Mg, Na, Ti, Cd, Co, Cu, Ge, Sr, Au e Pd como elementos de mais altas médias, ao passo que os elementos Al, P, S, As, Be, Ce, Cs, Ga, In, La, Li, Mo, Pb, Sb, Sc, Sn, Th, Tl, U, Y, Zr e Ag são os elementos de mais baixas médias. Essa assinatura é característica de rochas básicas (MINEROPAR, 2006). A Tabela 2 mostra os teores médios de alguns elementos de interesse presentes nos basaltos dessa fácies.

Tabela 2 - Valores médios dos elementos na fácies Cordilheira Alta, com a indicação das médias mais elevadas (em vermelho) e das mais baixas (em azul).

Elemento	% média
Al	3,130
Ca	0,294
Fe	13,182
K	0,050
Mg	0,254
Na	0,007
P	0,062
S	0,005
Ti	0,474

Fonte: Adaptado de Mineropar (2006).

4.2 AGREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A extração de rochas para a utilização como agregados na construção civil é de grande importância econômica, pois apesar do valor unitário baixo, esse material é responsável pelo maior volume de comercialização quando se considera a indústria mineral como um todo (LA SERNA & REZENDE, 2013).

O basalto é comumente empregado como matéria-prima de agregados. Na região Sudoeste do Estado do Paraná, a extração de basalto corresponde ao maior percentual da atividade de exploração de recursos minerais (64%), sendo a maior parte destinada para a produção de brita e pedra de talhe. (MINEROPAR, 2006)

4.3 LIXIVIAÇÃO E ROCHAGEM NA AGRICULTURA

A lixiviação consiste na solubilização e transporte de íons presentes no solo para camadas mais profundas. A extensão do processo de lixiviação no solo depende de diversos fatores, dentre os quais a sua textura, concentração de íons lixiviáveis e a frequência e intensidade dos eventos de precipitação. (SHARMA & SHARMA, 2013)

É um fenômeno de grande importância na agricultura, pois os elementos lixiviados deixam de estar disponíveis para assimilação pelas plantas. A lixiviação excessiva desses nutrientes representa um custo em termos de energia, mão-de-obra e insumos potencialmente desperdiçados, resultando em impacto direto no custo final dos alimentos, pois os valores gastos com fertilizantes podem atingir até 40% dos custos variáveis da produção de alimentos. (MARTINS *et al.*, 2008)

Além dos custos financeiros, a lixiviação de nutrientes pode afetar a qualidade ambiental, tendo impacto direto na eutrofização de lençóis freáticos e exercendo papel na acidificação de solos e lagos e na emissão de gases do efeito estufa, especialmente quando se tratam de fertilizantes nitrogenados. (CHEN *et al.*, 2017; ISHERWOOD, 1998)

Frente a isso, desenvolveram-se diversas pesquisas no sentido de avaliar a eficiência de fertilizantes alternativos, capazes de liberar mais lentamente seus nutrientes ao solo e minimizar as perdas por lixiviação. (CHEN *et al.*, 2017; RAMOS *et al.*, 2017; THEODORO, 2000; LOPES, 2013)

A utilização de pó de rocha é um meio de aproveitar os resíduos de mineração ao mesmo tempo em que se fornece ao solo macronutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, e também micronutrientes como cobre, manganês, molibdênio e zinco, essenciais nas atividades metabólicas vegetais. (RAMOS *et al.*, 2017)

Comparado aos fertilizantes químicos, o pó de rocha libera os nutrientes ao solo de maneira mais lenta, o que permite que eles sejam aplicados em intervalos maiores, de até quatro ou cinco anos (THEODORO, 2000). Esta é uma característica importante principalmente em regiões com altos índices pluviométricos, pois retarda a lixiviação rápida de nutrientes e a consequente diminuição na fertilidade do solo.

A utilização do pó de rocha como complemento aos fertilizantes de rápida solubilização é uma excelente maneira de fornecer nutrientes rapidamente assimiláveis ao solo e também um efeito de fertilização residual, pois a solubilização

dos cátions presentes no pó de rocha se dará após o esgotamento dos nutrientes dos fertilizantes convencionais.

Melamed, Gaspar e Miekeley (2013) mencionam diversos benefícios advindos da fertilização com pó de rocha, dentre os quais o fornecimento lento de macronutrientes e micronutrientes, o aumento da atividade de microrganismos e minhocas do solo e a diminuição da dependência de fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

As principais abordagens no emprego da rochagem são a aplicação do pó de rocha *in natura* ou a aplicação de algum tratamento para aumentar a solubilidade dos minerais de interesse. Alguns tratamentos incluem a calcinação (MARTINS *et al.*, 2015), a mistura com vinhaça (LOPES, 2013) e a compostagem em conjunto com resíduos orgânicos (BATISTA *et al.*, 2011).

Ainda que o tratamento do pó de rocha apresente eficácia na disponibilidade de nutrientes, a aplicação do material *in natura* ainda pode ser vantajosa devido ao baixo custo do material, especialmente quando utilizado próximo ao local de produção. (MARTINS *et al.*, 2008)

4.4 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AOS REMINERALIZADORES

Os remineralizadores devem cumprir determinados requisitos legais para poderem ser comercializados. Um “remineralizador” é um material de origem mineral que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas (BRASIL, 1980).

Além disso, os remineralizadores ter uma soma de bases (CaO, MgO, K₂O) igual ou superior a 9% em peso/peso, um teor de K₂O igual ou superior a 1% em peso/peso e um teor de SiO₂ livre de, no máximo, 25% em volume/volume (BRASIL, 2016).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

O solo utilizado no ensaio foi coletado na bacia do Rio 14, na cidade de Francisco Beltrão – PR, em uma região de remanescente de floresta ombrófila mista nas adjacências da UTFPR Francisco Beltrão, com coordenadas 26°4'52" S e 53°5'30" O.

O clima da cidade de Francisco Beltrão é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa) na classificação climática de Köppen. Possui elevação de 650m com relação ao nível do mar, com um volume médio de precipitações anuais de 2048 mm entre 1974 e 2017, e temperaturas médias situadas entre 14 °C e 26 °C ao longo deste mesmo período. (IAPAR, 2018)

A região se localiza sobre uma área de derrames basálticos conhecida como fácies Cordilheira Alta, sendo predominante a presença de solos maduros, argilosos e de grande profundidade, com destaque para o latossolo roxo. (MINEROPAR, 2001)

5.2 REMINERALIZADOR

O remineralizador é proveniente de uma pedreira localizada na cidade de Francisco Beltrão – PR, sendo a rocha de origem o basalto. A quantificação dos óxidos majoritários presentes nesse material foi realizada através de fluorescência de raios-X (XRF79C).

5.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Foi coletado o solo da camada superficial do solo (0cm a 20cm) com trado após limpeza para remoção da matéria orgânica superficial. O solo coletado foi armazenado em sacos plásticos lacrados até a sua utilização. Foram determinados

os teores de umidade do solo in natura e da terra fina seca ao ar (TFSA) adicionando-se 20g de solo a um béquer de peso conhecido e deixando-se em estufa a 105 °C por 24 horas, em triplicata.

O solo in natura foi então destorroado, peneirado em peneira 2mm e então seco ao ar. Foi feita então a homogeneização do solo, através de mistura em uma bacia grande. Em seguida, foi feita uma análise dos macronutrientes majoritários presentes no solo (P, Ca, Mg e K) (EMBRAPA, 2009), detalhada no Anexo II.

Figura 1 - Sacos com pó de rocha (esq.) e solo.



Figura 2 - Secagem do solo ao ar.



5.4 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Para determinar a dinâmica de liberação dos macronutrientes liberados no solo pelo remineralizador, foi realizado um ensaio de lixiviação conforme descrito por BAMBERG *et al.* (2011), que consiste basicamente na aplicação de água destilada a colunas de lixiviação contendo uma mistura de solo e remineralizador, sendo analisada a solução percolada de modo a se quantificar os nutrientes presentes.

A metodologia aplicada no presente trabalho foi ligeiramente adaptada a partir do trabalho citado anteriormente, sendo descrita detalhadamente a seguir.

5.4.1 Colunas de lixiviação

As colunas de lixiviação foram confeccionadas em canos de PVC com diâmetro de 75mm e altura de 20cm. Na abertura inferior das colunas, foi afixado um tampão com um furo para escoamento do percolado, sendo que havia uma camada

de tecido “volta ao mundo” e uma camada de tecido fino (voal) entre o tampão e a coluna, para evitar a passagem de sólidos.

Figura 3 - Coluna utilizada para percolação, mostrando os tecidos "volta ao mundo" (esquerda) e voal (direita) utilizados como barreira.



5.4.2 Determinação da massa de solo e da umidade de campo

A massa de solo (M_s) a ser utilizada em cada uma das colunas de lixiviação foi determinada preenchendo-se uma coluna com terra fina seca ao ar (TFSA) e pesando-se a quantidade adicionada, o que resultou em uma massa de 804,13g de solo.

A capacidade de campo (C_c) é o volume máximo de água armazenado pelo solo antes que ocorra percolação, podendo ser interpretada como o limite máximo de água no solo que está disponível às plantas (DALMAGO *et al.*, 2009). Para determiná-la, foi preenchida uma coluna com uma massa de solo M_s , adicionado à coluna o equivalente a 50% de seu volume em água e subtraído desse valor o volume percolado da coluna após 24h (BAMBERG *et al.*, 2011), obtendo-se um volume de 380mL.

5.4.3 Determinação da quantidade de remineralizador

Os autores sugerem que a quantidade de remineralizador a ser misturada ao solo esteja no intervalo entre 5 ton.ha⁻¹ e 10 ton.ha⁻¹, que são valores usuais de aplicação de material sólido ao solo por unidade de área, considerando um horizonte A de 20cm de profundidade, que foi o valor simulado nas colunas.

No presente trabalho, foram realizados sete ensaios em triplicata, com as seguintes doses equivalentes de remineralizador:

- Cs: 0 ton.ha⁻¹ (controle);
- E1: 5 ton.ha⁻¹;
- E2: 6 ton.ha⁻¹;
- E2: 7 ton.ha⁻¹;
- E4: 8 ton.ha⁻¹;
- E2: 9 ton.ha⁻¹;
- E6: 10 ton.ha⁻¹.

Para determinar os valores da massa de remineralizador equivalentes, considerando-se o diâmetro da coluna igual a 0,075m, calculou-se a área da seção transversal das colunas (A) através da Equação (1):

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (1)$$

$$A = \frac{\pi \cdot (0,075m)^2}{4} \quad (2)$$

$$A = 0,004418m^2 \quad (3)$$

Em seguida, as massas de remineralizador (em gramas) foram calculadas conforme se segue:

$$M_{E1} = \frac{5ton}{ha} \cdot \frac{10^6g}{ton} \cdot \frac{1ha}{10000m^2} \cdot 0,004418m^2 = 2,21g \quad (4)$$

$$M_{E2} = \frac{6\text{ton}}{\text{ha}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{\text{ton}} \cdot \frac{1\text{ha}}{10000\text{m}^2} \cdot 0,004418\text{m}^2 = 2,65\text{g} \quad (5)$$

$$M_{E3} = \frac{7\text{ton}}{\text{ha}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{\text{ton}} \cdot \frac{1\text{ha}}{10000\text{m}^2} \cdot 0,004418\text{m}^2 = 3,09\text{g} \quad (6)$$

$$M_{E4} = \frac{8\text{ton}}{\text{ha}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{\text{ton}} \cdot \frac{1\text{ha}}{10000\text{m}^2} \cdot 0,004418\text{m}^2 = 3,53\text{g} \quad (7)$$

$$M_{E5} = \frac{9\text{ton}}{\text{ha}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{\text{ton}} \cdot \frac{1\text{ha}}{10000\text{m}^2} \cdot 0,004418\text{m}^2 = 3,98\text{g} \quad (8)$$

$$M_{E6} = \frac{10\text{ton}}{\text{ha}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{\text{ton}} \cdot \frac{1\text{ha}}{10000\text{m}^2} \cdot 0,004418\text{m}^2 = 4,42\text{g} \quad (9)$$

5.4.4 Determinação do volume de água

Em cada uma das colunas, foi adicionada água destilada em quantidade equivalente à diferença entre as médias anuais de precipitação e de evaporação na cidade de Francisco Beltrão. Segundo dados do IAPAR (2018), o volume precipitado V_P foi de $1205 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ entre os anos de 1974 e 2017.

De acordo com Bamberg *et al.* (2011), é possível avaliar os nutrientes do percolado em laboratório realizando-se lixiviações com intervalos entre 7 e 14 dias entre os ensaios. No presente trabalho, os ensaios foram realizados com intervalo equivalente a 7 dias.

De modo a simular o efeito da lixiviação em campo ao longo de um intervalo de 10 semanas em uma escala de tempo menor, cada ensaio foi realizado utilizando-se um volume de água V_A equivalente a 7 dias de precipitação, multiplicado por um fator de aceleração de processo igual a 10.

A seguir, é detalhado o cálculo para determinação de V_A . Sejam A a área da seção transversal da coluna, determinada na Equação (3); V_P o volume anual médio de precipitação; f_A o fator de aceleração; e sabendo-se que um volume de precipitação de $1 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ equivale a $1 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$, então o volume de água V_A a ser utilizado em cada ensaio é de:

$$V_A = A \cdot V_P \cdot \frac{1\text{ano}}{365\text{dias}} \cdot 7\text{dias} \cdot f_A \quad (10)$$

$$V_A = 0,004418m^2 \cdot \frac{1205L}{m^2 \cdot ano} \cdot \frac{1ano}{365 dias} \cdot 7 dias \cdot 10 = 1,02L \quad (11)$$

5.4.5 Determinação da vazão de água e da duração do ensaio

A vazão de adição de água às colunas (Q_A) foi calculada considerando-se a vazão recomendada por Bamberg *et. al.* (2011), equivalente a uma intensidade de precipitação de $0,5 L \cdot m^{-2} \cdot minuto^{-1}$, sendo igual a:

$$Q_A = 0,004418m^2 \cdot \frac{0,5L}{m^2 \cdot min} \cdot \frac{60min}{1h} = 0,13254 \frac{L}{h} \quad (12)$$

Determinada a vazão e conhecendo-se o volume de água a ser utilizado, o tempo de duração t de cada ensaio equivale a:

$$t = \frac{V_A}{Q_A} = \frac{1,02L}{0,13254 \frac{L}{h}} = 7,7h \quad (13)$$

O tempo encontrado na Equação (13) supõe uma vazão constante durante a realização do ensaio. No presente trabalho, o volume de água V_A e o tempo do ensaio t foram divididos em 4 aplicações, resultando em quatro alíquotas de 255 mL sendo aplicadas a cada 1h55min, de modo a realizar os ensaios sem a necessidade de um fornecimento de água a uma vazão constante.

5.4.6 Execução dos ensaios

Para execução de cada um dos ensaios, foram adicionadas uma massa de solo M_s e uma massa de remineralizador correspondente a uma coluna de mistura. A coluna de mistura tinha o dobro do comprimento das colunas de lixiviação e foi tampada nas duas extremidades, permitindo a mistura homogênea do remineralizador no solo mediante agitação.

A coleta da solução percolada foi feita com provetas de 1L equipadas com funil, posicionadas abaixo das colunas, conforme a Figura 4. Para fixação das colunas, foram utilizados suportes universais, conforme a Figura 5.

Figura 4 - Coleta da solução lixiviada.



Em seguida, a mistura foi colocada dentro da coluna correspondente, tendo sido adicionado um volume de água C_c para que o material atingisse sua capacidade de campo durante a execução dos ensaios.

Figura 5 - Montagem do experimento.



Na sequência, foram feitas quatro aplicações de 255 mL de água destilada em cada coluna, com intervalo de 1h55min entre elas, conforme descrito anteriormente. As soluções percoladas das três repetições de cada ensaio foram então armazenadas em um único recipiente, de modo a se obter um valor médio para aquele ensaio.

As concentrações de Ca e Mg na solução lixiviada foram determinadas através da metodologia da APHA (2005). Já a determinação da concentração de P total seguiu a metodologia da APHA (2017).

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De modo a verificar a correlação entre a quantidade de pó de rocha e a concentração dos elementos Ca, Mg e P no lixiviado, os resultados obtidos foram submetidos à análise de regressão linear simples de Pearson, através do suplemento Action Stat para Microsoft Excel. O intervalo de confiança adotado foi de 95%.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO E DO REMINERALIZADOR

A caracterização química do solo coletado é mostrado na Tabela 3Tabela 3:

Tabela 3 - Resultados da análise de solo

Parâmetro	Valor	Unidade
Ca	15,84	cmol _c /dm ³
Mg	6,93	cmol _c /dm ³
K	0,79	cmol _c /dm ³
Al	0,00	cmol _c /dm ³
H + Al	7,20	cmol _c /dm ³
Soma de bases (SB)	23,56	cmol _c /dm ³
CTC a pH 7.0 (T) [S+H+Al]	30,76	cmol _c /dm ³
CTC efetiva (t) [S+Al]	23,56	cmol _c /dm ³
Saturação por bases (V%)	76,59	%
P	5,93	mg/dm ³
Fósforo Rem.	16,70	mg/dm ³
Nível crítico de fósforo (NCP)	10,49	mg/dm ³
Fósforo relativo	56,53	%
pH (CaCl ₂)	5,00	-
Carbono	30,38	g/dm ³
Matéria orgânica	52,25	g/dm ³

Fonte: Autoria própria

O solo apresenta pH 5, levemente ácido. Já os teores de Ca, Mg e P são considerados altos, indicando uma boa qualidade do solo, associada a um baixo teor de lixiviação desse solo. Esse fato pode ser explicado por se tratar de um solo coberto por remanescente de floresta ombrófila mista, que impede a erosão e a consequente lixiviação de nutrientes do solo.

Devido ao uso atual do solo em estudo, o mesmo não sofreu perturbações antrópicas e preserva sua fertilidade, o que é evidenciado pela alta saturação por

bases (V%) de 76,59%, valor dentro dos parâmetros adequados para diversas culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. (OLIVEIRA, 2003)

A caracterização dos óxidos majoritários do remineralizador, determinados através de fluorescência de raios-X (XRF79C), é mostrada na Tabela 4. Já os teores dos elementos de interesse foram determinados através de digestão com água régia (ICM14B), sendo mostrados na Tabela 5.

Tabela 4 - Óxidos majoritários presentes no remineralizador.

Óxido majoritário	Quantidade (%)
SiO ₂	51,10
Al ₂ O ₃	13,20
Fe ₂ O ₃	15,20
CaO	9,86
MgO	5,97
K ₂ O	1,03
P ₂ O ₅	0,28
MnO	0,22

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 - Teores de alguns elementos presentes no remineralizador.

Elemento	Valor	Unidade
Al	2,31	%
Ca	1,68	%
Mg	0,60	%
K	0,08	%
P	1161,00	ppm

Fonte: Autoria própria

A soma de bases (CaO+MgO+K₂O) do remineralizador é de 16,86%, superior ao mínimo de 9% requerido pela legislação (BRASIL, 2016). O mesmo pode ser dito do teor de K₂O, que é de 1,03%, acima do mínimo de 1%

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As concentrações de Ca, Mg e P nas soluções lixiviadas são mostradas na Tabela 6. Com auxílio do suplemento Action Stat para Microsoft Excel, foi feita a análise de regressão linear simples dos resultados, com nível de significância $\alpha = 5\%$. Os resultados da análise de variância (ANOVA) são mostrados nas Tabelas Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

Já os gráficos de dispersão contendo a equação da reta e o valor de R^2 foram feitas através do suplemento XLSTAT para Microsoft Excel, sendo mostrados nas Figuras Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

Para o modelo de correlação linear de Pearson adotado, a interpretação da tabela da ANOVA consiste na comparação entre o p-valor informado na tabela e o nível de significância α utilizado na análise, que nesse caso é de 5% ou 0,05.

Caso o p-valor seja menor do que o nível de significância α , é possível afirmar com 95% (ou 100% - α) de certeza que a contribuição da variável explicativa (nesse caso, a massa de pó de rocha) é significativa para a variabilidade da variável dependente (nesse caso, a concentração de Ca, Mg ou P).

Além disso, caso o p-valor seja menor do que o nível de significância α , o valor de R^2 obtido na análise de regressão linear indicará a porcentagem da variabilidade da variável dependente que se deve à variação da variável explicativa.

Assim, dados os valores de R^2 das equações de correlação linear, a massa de pó de rocha explicou 74,54%, 76,98% e 83,8% das variações na concentração de Ca, Mg e P no lixiviado, respectivamente.

Tabela 6 - Concentração de minerais nos lixiviados

Tratamentos	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)
CS (0 ton/ha)	35,20	13,10	0,14
E1 (5 ton/ha)	43,60	13,60	0,19
E2 (6 ton/ha)	40,00	16,30	0,28
E3 (7 ton/ha)	40,80	15,6	0,30
E4 (8 ton/ha)	42,80	16,00	0,43
E5 (9 ton/ha)	43,20	16,80	0,46
E6 (10 ton/ha)	44,00	16,50	0,45

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - Tabela da ANOVA - Ca

Fatores	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estatística F	P-valor
Massa de pó de rocha (g)	1	42,9012	42,9012	14,6389	0,0123
Resíduos	5	14,6531	2,9306		

Como o p-valor < 0,05 pode-se afirmar que a contribuição da variável explicativa “Massa de pó de rocha (g)” é significativa para a variável resposta “Concentração de Ca no lixiviado (mg/L)”.

Tabela 8 - Tabela da ANOVA – Mg

Fatores	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estatística F	P-valor
Massa de pó de rocha (g)	1	9,9376	9,9376	16,7249	0,0095
Resíduos	5	2,9709	0,5942		

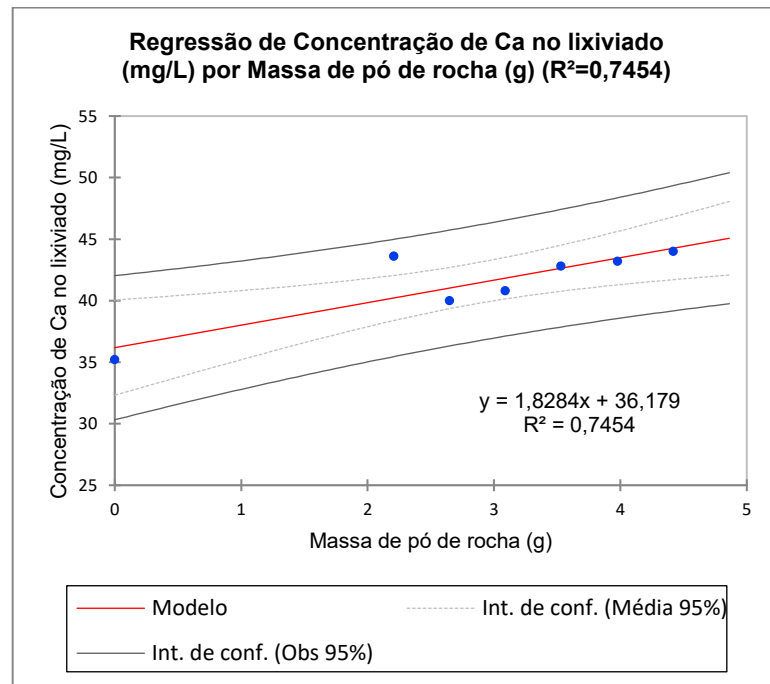
Como o p-valor < 0,05 pode-se afirmar que a contribuição da variável explicativa “Massa de pó de rocha (g)” é significativa para a variável resposta “Concentração de Mg no lixiviado (mg/L)”.

Tabela 9 - Tabela da ANOVA – P

Fatores	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estatística F	P-valor
Massa de pó de rocha (g)	1	0,0837	0,0837	25,9158	0,0038
Resíduos	5	0,0162	0,0032		

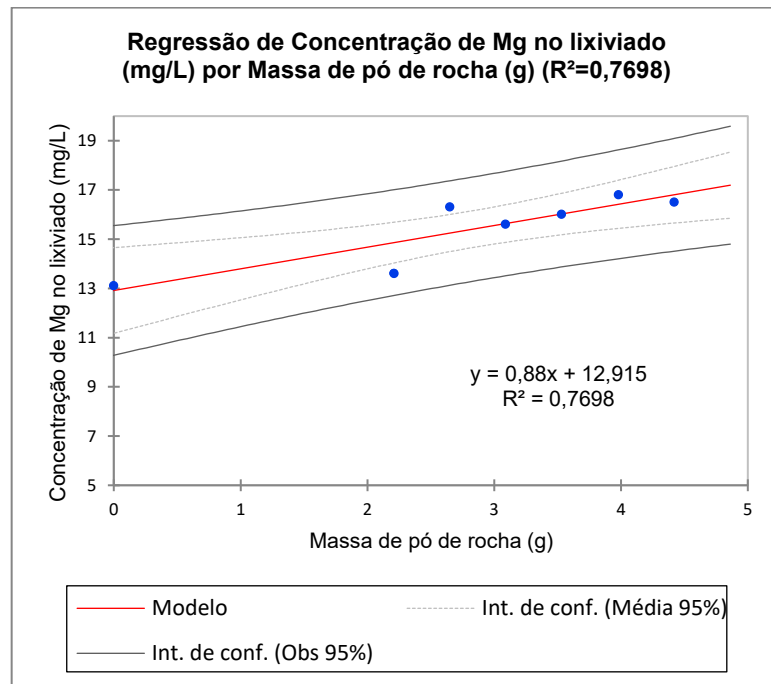
Como o p -valor $< 0,05$ pode-se afirmar que a contribuição da variável explicativa “Massa de pó de rocha (g)” é significativa para a variável resposta “Concentração de P no lixiviado (mg/L)”.

Figura 6 - Regressão linear entre a massa de pó de rocha e a concentração de Ca no lixiviado.



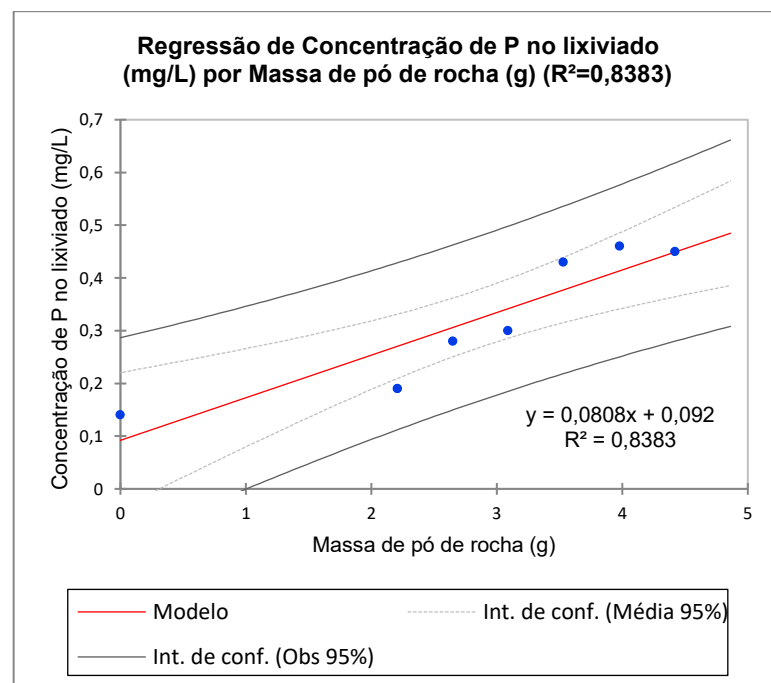
Dado o valor de R^2 , pode-se afirmar que a variável explicativa “Massa de pó de rocha (g)” explica 74,54% da variação da variável resposta “Concentração de Ca no lixiviado (mg/L)”.

Figura 7- Regressão linear entre a massa de pó de rocha e a concentração de Mg no lixiviado.



Dado o valor de R^2 , pode-se afirmar que a variável explicativa “Massa de pó de rocha (g)” explica 76,98% da variação da variável resposta “Concentração de Mg no lixiviado (mg/L)”.

Figura 8 - Regressão linear entre a massa de pó de rocha e a concentração de P no lixiviado.



Dado o valor de R^2 , pode-se afirmar que a variável explicativa “Massa de pó de rocha (g)” explica 83,83% da variação da variável resposta “Concentração de Mg no lixiviado (mg/L)”.

7 CONCLUSÃO

Observou-se correlação linear positiva e significativa entre a massa de pó de pó de rocha adicionada ao solo e as concentrações de Ca, Mg e P na solução lixiviada, indicando que, nas condições e no período de tempo testados, houve uma solubilização significativa desses macronutrientes a partir do pó de rocha.

Com isso, conclui-se que a aplicação do pó de rocha como remineralizador no solo é capaz de aumentar significativamente a disponibilidade de Ca, Mg e P na solução do solo e, conseqüentemente, a quantidade potencialmente absorvível desses macronutrientes pelas raízes das plantas.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Estudar a dinâmica de lixiviação de uma associação de pó de rocha e fertilizante convencional, com possíveis interações que possam ocorrer entre os dois produtos;
- ✓ Avaliar a diferença nas quantidades lixiviadas de macronutrientes ao utilizar pó de rocha *in natura* e pó de rocha queimado;
- ✓ Avaliar a lixiviação dos nutrientes do pó de rocha em diferentes tipos de solos e em solos com diferentes usos (ex: solo de lavoura).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA . Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed., Washington, DC, New York: American Public Health Association, 2005.

_____. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 23st ed., Washington, DC, New York: American Public Health Association, 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**. 2011. In: XXXII anais do congresso brasileiro de ciência do solo, Uberlândia, MG. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/950256/1/2AGBamberg.pdf> >. Acesso em: 25 de maio de 2018.

BATISTA, Raquel Oliveira; RESENDE, Álvaro Vilela de; MOREIRA, Silvino Guimarães; MARRIEL, Ivanildo Evodio; GOTT, Roney Mendes; HICKMANN, Clério; CONCEIÇÃO, Otávio Prates da. Avaliação preliminar de um processo de compostagem associado ao uso de rochas como fontes de fósforo e potássio. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011., 2011. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/897702/1/Avaliacaopreliminar.pdf> >. Acesso em: 01 de junho de 2019.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1980.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Seção 1, 20p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Resolução Nº 5, de 14 de maio de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 mai. 2016. Seção 1, p. 10-11.

CHEN, Jiao; LÜ, Shaoyu; ZHANG, Zhe; ZHAO, XUXIA; LI, Xinming; NING, Piao; LIU, Mingzhu. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on

the environment. **Science of the Total Environment**, v. 613, p. 829-839, 2018. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/320022134_Environmentally_friendly_fertilizers_A_review_of_materials_used_and_their_effects_on_the_environment>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

DALMAGO, Genei A.; BERGAMASCHI, Homero; BERGONCI, João I.; KRÜGER, Cleusa A. M. B.; COMIRAN, Flávia; HECKLER, Bruna M. M. Retenção e Disponibilidade de Água as Plantas em Solo sob Plantio Direto e Preparo Convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Agrícola**, v.13, p. 855-864, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p. Disponível em: <>. Acesso em 21 de abril de 2019.

FERREIRA, Élen Ramos Nichele Campos; ALMEIDA, Jaime Antonio; MAFRA, Álvaro Luiz. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 111-121, 2009. Disponível em: <
<http://200.19.105.203/index.php/agroveterinaria/article/view/5318>>. Acesso em: 05 de julho de 2019.

FERREIRA, Gilson Ezequiel; OLIVEIRA, Bernardo Regis Guimarães de. Mercados de agregados no Brasil. **CETEM/MCT**, 2009.

Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. **Médias Históricas em Estações do IAPAR**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1070>. Acesso em 21/05/2018

ISHERWOOD, K. F. **Mineral fertilizer use and the environment**. International Fertilizer Industry Association, 1998. Disponível em: <
https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2000_ifa_unep_use.pdf>. Acesso em 20 de abril de 2019.

LA SERNA, HA de; REZENDE, Márcio Marques. Agregados para a construção civil. **Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM**, 2009.

LICHT, Otávio Augusto Boni. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil**. 2001. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <
<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/41646/T%20-%20OTAVIO%20AUGUSTO%20BONI%20LICHT.pdf>>. Acesso em: 03 de junho de 2019.

LOPES, Otavio Mitsuhiro Motizuki. **Efeito de agromineral e vinhaça em atributos químicos de dois tipos de solos**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2013. Disponível em: <

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18/5511.pdf> >. Acesso em: 02 de junho de 2019.

MARTINS, Éder de Souza; OLIVEIRA, Claudinei Gouveia de; RESENDE, Álvaro Vilela de; MATOS, Marcello Silvino Ferreira de. **Agrominerais - Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura**, 2008. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/09-agrominerais-rochas-silicaticas.pdf>>. Acesso em 13 de maio de 2019.

MARTINS, Vanessa; GONÇALVES, Ana Stella Freire; MARCHI, Giuliano; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; MARTINS, Éder de Souza. Solubilização de potássio em misturas de verdete e calcário tratadas termoquimicamente. **Embrapa Cerrados - Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1011806/1/34500.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2019.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro, CETEM/MCT**, p. 385-395, 2009. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/series/serie-estudos-e-documentos/item/259-po-de-rocha-como-fertilizante-alternativo-para-sistemas-de-producao-sustentaveis-em-solos-tropicais>>. Acesso em: 02 de junho de 2019.

MINEROPAR. Donaldo Cordeiro Da Silva. (Org.). **Atlas geológico do estado do Paraná**. Curitiba: 2001. 116 p. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>>. Acesso em: 18 de maio de 2019.

MINEROPAR. Wilson Wildner, Reinaldo Santana Correia de Brito, Otavio Augusto Boni Licht e Edir Edemir Arioli (Coord.). **Geologia e recursos minerais do Sudoeste do Estado do Paraná**. Brasília: CPRM, 2006. 95 p. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=126>>. Acesso em: 01 de julho de 2019.

NUNES, Jéssica Maria Gregory. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem**. 2012. Disponível em: <<http://dspace.unilasalle.edu.br/handle/11690/549>>. Acesso em: 01 de julho de 2019.

OLIVEIRA, Edson Lima de. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Instituto Agrônômico do Paraná, 2003. Disponível em: <<http://www.iapar.br/pagina-1729.html>>. Acesso em: 04 de julho de 2019.

PAISANI, Julio César; PONTELLI, Marga Eliz; ANDRES, Juliano; PASA, Vanessa; MARINHO, Fabíola Rakel. Características geológicas da formação Serra Geral na área drenada pelo Rio Marrecas (SW Paraná): fundamentos para a análise geomorfológica. **Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, p.49-65, dez. 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/viewFile/2353/2039>>. Acesso em: 01 de julho de 2019.

RAMOS, Claudete Gindri et al. Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 2700-2706, 2017.

SHARMA, V.; SHARMA, K. N. Influence of accompanying anions on potassium retention and leaching in potato growing alluvial soils. **Pedosphere**, v. 23, n. 4, p. 464-471, 2013. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016013600399> >. Acesso em: 25 de maio de 2018.

THEODORO, S. de C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. Brasília, 2000. 225 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília. Disponível em: < http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20881/1/2000_SuziDeCordovaHuffTheodoro.pdf.pdf >. Acesso em: 19 de maio de 2018.

VALVERDE, Fernando Mendes. Agregados para construção civil. **Balanco mineral brasileiro**, 2001.