



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

WESLEY DOS SANTOS SOUZA

**USO DA ROCHAGEM PARA REMINERALIZAÇÃO DE SOLOS DE BAIXA
FERTILIDADE**

FORTALEZA

2019

WESLEY DOS SANTOS SOUZA

USO DA ROCHAGEM PARA REMINERALIZAÇÃO DE SOLOS DE BAIXA
FERTILIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre, Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S236u Souza, Wesley dos Santos.
Uso da rochagem para remineralização de solos de baixa fertilidade / Wesley dos Santos Souza. – 2019.
53 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez.

1. pó de rocha. 2. remineralizador do solo. 3. sorghum bicolor. I. Título.

CDD 631.4

WESLEY DOS SANTOS SOUZA

USO DA ROCHAGEM PARA REMINERALIZAÇÃO DE SOLOS DE BAIXA
FERTILIDADE

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre, Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovado em: 22 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Maria Eugenia Ortiz Escobar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. David Correia dos Anjos
Universidade Estácio de Sá

A Deus.

*Aos meus pais, Maria Aparecida dos Santos e
Eurico Tolentino de Souza.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me proporcionado saúde, proteção e permitido que tudo isso acontecesse.

Aos meus pais Maria Aparecida dos Santos e Eurico Tolentino de Souza, por todo apoio e torcida a mim concebido durante todo esse tempo.

Ao professor Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pela orientação, apoio e ensinamentos, contribuindo para minha formação acadêmica e crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas da turma de mestrado 2017.1, Tancio Gutier Ailan Costa, Francisco Gilcivan Moreira Silva, Jader Vieira Carneiro e Thais da Silva Martins, por toda ajuda durante as disciplinas e no meu experimento.

Aos colegas Ana Carla Rodrigues da Silva, Ericka Paloma Viana Maia e João Marcos Rodrigues, pela ajuda durante a instalação e condução do experimento, apoio e torcida.

À Jenilton Gomes da Cunha, pelo auxílio na utilização do software estatístico e Jasmine Pereira de Sena, Marco Aurélio Barbosa Alves, Patricia Carvalho da Silva e Patricia Rocha de Oliveira por todo apoio e torcida.

Aos Técnicos Crisanto Dias Texeira Filho, Fátima Rego e funcionários da FUNCEME pelo apoio técnico durante os trabalhos de laboratório.

Ao professor Ariston Cajaty e a discente Jacqueline Aquino por todo apoio, ajuda e disponibilização dos litotipos utilizados no experimento.

Ao corpo docente do Departamento de Ciências do Solo, em especial aqueles que foram meus professores, por todos os ensinamentos e conhecimentos transmitidos durante o mestrado.

À Prof. Dra. Maria Eugenia Ortiz Escobar e ao Prof. Dr. David Correia dos Anjos, por aceitarem participar como banca avaliadora e suas contribuições para o presente trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Ciência do Solo e funcionários do setor administrativo e de serviços gerais.

À CAPES pelo apoio financeiro concebido através da bolsa e ao PROAP pelo auxílio financeiro.

À todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES)- Código de Financiamento 001.

RESUMO

O preço elevado dos adubos minerais existentes no mercado, levam a necessidade da busca por fertilizantes alternativos que consigam diminuir custos de produção. Diante disso o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do uso da rochagem com os litotipos brecha vulcânica, foiaito, metapiroxenito e metagabronorito da região de Tuncuduba-CE como remineralizadores e corretivos da acidez de dois solos de baixa fertilidade, em condições de laboratório e casa de vegetação. Em ambos os experimentos foram utilizados dois solos (Latosolo vermelho amarelo distrófico e Argissolo vermelho amarelo eutrófico) e doses de pó de rocha originário dos quatro litotipos (0, 1, 2 e 4 Mg ha⁻¹). No experimento de laboratório foi utilizada também cinco doses de calcário, que corresponderam a 0, 25, 50, 75 e 100% do (H⁺+Al³⁺) trocável de cada solo, nesse experimento as doses de pó de rocha e calcário foram homogeneizadas com 1kg de solo, onde estes permaneceram em sacos plásticos lacrados pelo período de 77 dias, semanalmente foi realizada a leitura do pH de cada tratamento. Em casa de vegetação foi realizada apenas aplicação de pó de rocha e utilizou-se como planta indicadora o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*). Foram utilizados vasos de polietileno com 3 kg de solo homogeneizado com as doses de pó de rocha de acordo com cada tratamento, contendo 4 plantas por vaso. Foram realizados dois cortes (50 dias após a germinação e 30 dias após o primeiro corte) e em cada corte foi avaliada a produção de matéria seca da parte aérea e quantificados teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg), micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn), metais pesados (Pb, Cd, Cr e As) e calculada a quantidade extraída pela planta. Todos os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A rochagem com brecha BVT, FT, GT e MT foram pouco eficientes como corretivos da acidez do solo e no fornecimento dos nutrientes K, P, Ca, Fe, Zn e Cu, entretanto apresentaram potencial para serem utilizados como fonte de Mn, sendo maior na BVT e FT do que os demais litotipos. Os litotipos apresentaram baixos teores médios de metais pesados em sua constituição e não influenciaram no acúmulo desses elementos na matéria seca das plantas,

Palavras-chave: pó de rocha. remineralizador do solo. *sorghum bicolor*.

ABSTRACT

The high price of mineral fertilizers on the market, lead to the need to search for alternative fertilizers that can reduce production costs. Therefore, the present study had as objective to evaluate the efficiency of the use of the rock with the lithotypes volcanic breccia, foiaito, metapiroxenito and metagabronorito of the region of Tuncuduba-CE as remineralizers and correctives of the acidity of two soils of low fertility, in laboratory conditions and vegetation House. In both experiments, two soils (Oxisol Yellow Red Dystrophic and Ultisol Yellow Red Eutrophic) and doses of rock dust originating from the four lithotypes (0, 1, 2 and 4 Mg ha⁻¹) were used, In the experiment, five doses of limestone, corresponding to 0, 25, 50, 75 and 100% of the exchangeable (H⁺ + Al³⁺) of each soil were used in this experiment, the rock and limestone powder doses were homogenized with 1 kg of soil, where they remained in sealed plastic bags for a period of 77 days, weekly reading of the pH of each treatment. In the greenhouse only the application of rock powder was carried out and sorghum bicolor was used as an indicator plant. Polyethylene vessels were used with 3 kg of soil homogenized with the doses of rock dust according to each treatment, containing 4 plants per pot. Two cuts were made (50 days after germination and 30 days after the first cut) and the dry matter production of the aerial part was evaluated in each section and quantified macronutrients (P, K, Ca, Mg), micronutrients (Fe, Zn, Cu, Mn), heavy metals (Pb, Cd, Cr and As) and calculated the amount extracted by the plant. All the results were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test at the 5% probability level. The breccias with BVT, FT, GT and MT breccias were not efficient as correctives of soil acidity and nutrient supply K, P, Ca, Fe, Zn and Cu, however they presented potential to be used as source of Mn, being higher in BVT and FT than the other lithotypes. The lithotypes presented low average contents of heavy metals in their constitution and did not influence the accumulation of these elements in the dry matter of the plants.

Keywords: rock powder. soil remineralizing. *Sorghum Bicolor*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Experimento de laboratório, tratamentos com solo incubado	24
Figura 2 - Efeito da calagem (75% CaCO ₃ + 25% MgCO ₃) e do tempo de incubação no pH do solo, Latossolo (A) e Argissolo (B)	28
Figura 3 - pH do solo em função de doses de calcário: A) Latossolo e B) Argissolo, [Dose de Calagem, Mg ha ⁻¹ = f x (H ⁺ +Al ³⁺), f é igual a 0,0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0]	29
Figura 4 - pH do solo em função da aplicação de doses crescente de rochagem de quatro fontes: A) Latossolo, B) Argissolo	31
Figura 5 - Produção de matéria seca da parte aérea do sorgo forrageiro em função de doses de rochagem com quatro litotipos: A) 1 ^a corte e B) 2 ^a corte, no Latossolo e Argissolo	33
Figura 6 - Médias de teores de potássio da parte aérea da cultura no primeiro corte comparando o fator fonte	35
Figura 7 - Potássio extraído pela parte aérea do sorgo durante os dois cortes no Latossolo e Argissolo	35
Figura 8 - Teores de magnésio na parte aérea da cultura do primeiro corte no Latossolo (A) e Argissolo (B), respectivamente e teores de magnésio na parte aérea da cultura no segundo corte, Latossolo (C) e Argissolo (D), respectivamente	37
Figura 9 - Extração de magnésio pela parte aérea do sorgo somados os dois cortes (médias de fontes nos dois solos)	38
Figura 10 - Teores médios de Zn na matéria seca do sorgo em função de doses de pó de rocha no Latossolo e Argissolo, A) 1 ^a Corte e B) 2 ^a Corte	38
Figura 11 - Teores Zn na matéria seca das fontes de pó de rocha no Latossolo e Argissolo (letra minúscula comparação entre solos e maiúscula entre fontes, a 5% de probabilidade)	39
Figura 12 - Extração de zinco pela parte aérea do sorgo (dois cortes) no Latossolo (A) e Argissolo (B), respectivamente	39

Figura 13 - Teores de manganês da parte aérea do sorgo no primeiro corte (A e B, Latossolo e Argissolo, respectivamente), e no segundo corte (C e D, Latossolo e Argissolo, respectivamente)	40
Figura 14 - Extração de Mn pela parte aérea do sorgo (dois cortes) no Latossolo (A) e Argissolo (B), respectivamente	41
Figura 15 - Teores de ferro da parte aérea do sorgo no primeiro corte (A e B, Latossolo e Argissolo, respectivamente), e no segundo corte (C e D, Latossolo e Argissolo, respectivamente)	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização química e granulometria dos solos utilizados no experimento	21
Tabela 2- Caracterização elementar dos litotipos utilizados para rochagem	23
Tabela 3- Descrição dos tratamentos com aplicação de pó de rocha	25
Tabela 4- Análise química da água utilizada para irrigação	26
Tabela 5- Síntese da análise de variância para matéria seca na parte aérea do sorgo forrageiro submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos	32
Tabela 6- Síntese da análise de variância para teores de nutrientes na parte aérea do sorgo forrageiro submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos (primeiro corte)	33
Tabela 7- Síntese da análise de variância para teores de nutrientes na parte aérea do sorgo forrageiro submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos (Segundo corte)	34
Tabela 8- Síntese da análise de variância para extração de nutrientes pela parte aérea do sorgo submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos	34
Tabela 9- Estatística descritiva dos teores de metais pesados na parte aérea do sorgo, submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em Latossolo e Argissolo	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

S1	Latossolo vermelho amarelo distrófico
S2	Argissolo vermelho amarelo eutrófico
BVT	Litotipo de Brecha Vulcânica
FT	Litotipo de Foiaito
MT	Litotipo de Metapiroxenito
GT	Litotipo de Grabronorito
Mg ha ⁻¹	Megagrama por hectare
MS	Matéria Seca da parte aérea
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
USEPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Fertilizantes na agricultura brasileira	16
2.2	Utilização de pó de rocha no Brasil	17
2.3	Pó de rocha como fonte de nutrientes	18
2.4	Liberação de nutrientes do pó de rocha	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Materiais utilizados	21
<i>3.1.1</i>	<i>Solos</i>	21
<i>3.1.2</i>	<i>Cultura</i>	22
<i>3.1.3</i>	<i>Litotipos utilizados para rochagem</i>	22
3.2	Experimento em laboratório	23
3.3	Experimento em casa de vegetação	24
<i>3.3.1</i>	<i>Tratamentos</i>	25
<i>3.3.2</i>	<i>Condução do experimento em casa de vegetação</i>	26
3.4	Variáveis analisadas	26
3.5	Análise estatística dos dados	27
4	RESUTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	Experimento de incubação	28
<i>4.1.1</i>	<i>Calagem</i>	28
<i>4.1.2</i>	<i>Rochagem</i>	30
4.2	Experimento em casa de vegetação	32
<i>4.2.1</i>	<i>Produção de matéria seca</i>	32
<i>4.2.2</i>	<i>Teores e extração de nutrientes</i>	33
<i>4.2.3</i>	<i>Teores de metais pesados na cultura</i>	43
5	CONCLUSÕES	44

REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A-MÉDIAS DOS TEORES DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO CORTE)	50
APÊNDICE B-MÉDIAS DOS EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO CORTE)	51
APÊNDICE C-MÉDIAS DOS TEORES DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (SEGUNDO CORTE)	52
APÊNDICE D-MÉDIAS DOS EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (SEGUNDO CORTE)	53
APÊNDICE E-MÉDIAS DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO E SEGUNDO CORTE)	54
APÊNDICE F- MÉDIAS DE TEORES DE METAIS PESADOS DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO E SEGUNDO CORTE)	55

1 INTRODUÇÃO

Grande parte do território brasileiro é constituído por solos que possuem baixa fertilidade natural e elevada acidez, com isso para sua utilização na agricultura tem-se a necessidade de elevar os teores de nutrientes por meio da adubação e correção da acidez desses solos. Diante disso, atualmente vem se utilizando elevadas quantidades de adubos minerais de elevada solubilidade, que em sua maioria são importados, já que o Brasil não tem conseguido atender as necessidades internas, tornando-se dependente da importação da maioria dos fertilizantes utilizados.

Para reverter esse panorama, o setor agrícola necessita de novas alternativas de fontes de nutrientes que sejam disponíveis, de baixo custo e existentes próximos a propriedade rural, como é o caso da rochagem, prática agrícola que utiliza rochas moídas para a disponibilização de nutrientes ao solo. A utilização da calagem é o caso mais conhecido dessa prática, porém o termo rochagem vem sendo utilizado recentemente para designar também a prática de adubação em que se utiliza outros tipos de rochas como opção de fonte de nutrientes alternativa.

Tal prática pode contribuir com a redução do consumo de fertilizantes minerais solúveis importados, reduzir gastos com adubação e simultaneamente pode ser um agente propulsor da produtividade e qualidade de muitas culturas, quando for disponível em região próxima à propriedade rural, rochas que sejam capazes de adicionar quantidades de nutrientes suficientes para o desenvolvimento da cultura quando utilizada na rochagem. Essa prática também pode contribuir do ponto de vista ambiental com o aproveitamento de rejeitos de pedreiras e mineradoras que não tem um destino adequado para esses materiais, com isso tal prática pode ser viável no âmbito econômico e ambiental.

Assim são necessárias pesquisas científicas para o melhor entendimento e uso eficiente da rochagem, e para encontrar rochas que transformadas em pó sejam capazes de fornecer nutrientes ao solo podendo ser utilizadas como fonte de nutrientes alternativas, e consequente reduzir a quantidade de fertilizantes minerais importados e os custos de produção. Diante disso o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do uso da rochagem com os litotipos brecha vulcânica, foiaito, metapiroxenito e metagabronorito da região de Tuncuduba-CE como remineralizadores e corretivos da acidez de dois solos de baixa fertilidade, em condições de laboratório e casa de vegetação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fertilizantes na agricultura brasileira

Grande parte dos solos existentes no Brasil possuem baixa fertilidade natural, diante disso tem-se a necessidade do emprego maciço de fertilizantes como fonte de nutrientes para aumento da fertilidade desses solos (SOUZA; FONSECA, 2009). Como o Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo e vem apresentando uma crescente demanda por alimentos nos últimos anos, o uso de fertilizantes intensificou-se com o objetivo de aumentar a produtividade das culturas (RAMOS *et al.*, 2015).

A produção de alimentos no Brasil apresenta um empecilho relacionado ao uso dos fertilizantes minerais solúveis, visto que grande parte deles são importados de poucos países, a maioria do USA, Rússia, Canadá e Marrocos, já que as principais jazidas dos minerais utilizados para as formulações de adubos potássicos e fosfatos estão localizadas nestes países (THEODORO *et al.*, 2012). Diante dessa circunstância, o Brasil se tornou um grande importador de fertilizantes, pois o país não consegue produzir quantidade suficiente para atender às necessidades internas por esses insumos, tornando-o dependente da importação de algumas fontes de nutrientes utilizadas na adubação (RAMOS *et al.*, 2015).

No ano de 2017 o mercado brasileiro de fertilizante recebeu pouco mais de 34 milhões de toneladas de fertilizantes, desses, um total de 76% foram importados, com a produção nacional fornecendo apenas 24% (ANDA, 2018a), essa baixa produção e elevada importação compromete a competitividade do agronegócio brasileiro, já que essa dependência externa por esses insumos agrícolas eleva o custo de produção.

O Brasil tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura, especialmente na forma de cloreto de potássio (RESENDE *et al.*, 2006). Em 2007 a demanda de fertilizantes potássicos no Brasil foi da ordem de 4,7 milhões toneladas de K_2O e esse número tenderia a crescer de forma contínua, ficando evidente a necessidade de busca por fontes alternativas desse nutriente para diminuir a dependência externa por fertilizantes no Brasil (MARTINS *et al.*, 2008). Confirmando essa tendência no ano de 2017 foi registrado uma demanda de aproximadamente 5,8 milhões de toneladas de adubo potássico, aumento de 2,2% quando comparado ao ano de 2016 (ANDA, 2018b) e de 23,4% quando comparado ao ano de 2007, essa tendência também é encontrada em outros fertilizantes utilizados na agricultura brasileira.

Como grande parte da tecnologia utilizada no Brasil foi importada de países de clima temperado, ainda se tem no país o predomínio do conceito da necessidade de fontes de

nutrientes de alta solubilidade, isso reflete tanto nas recomendações de adubação atualmente utilizadas quanto no direcionamento da pesquisa tecnológica com fertilizantes e na própria legislação brasileira (BENITES *et al.*, 2010). Diante desse cenário, fica evidente a importância de se estudar as rochas como uma fonte alternativa e de baixo custo para a sua utilização como fonte de nutriente, já que elas possuem na sua composição elementos essenciais para as plantas.

2.2 Utilização de pó de rocha no Brasil

O pó de rocha é tratado como descarte em várias regiões do Brasil e poderia ser uma boa opção de reposição gradual e de longo prazo de nutrientes aos solos brasileiros (SÉKULA, 2011), tendo em vista que o país dispõe de grande distribuição e abundância de rochas silicatadas em seu território e esses materiais também poderiam ser obtidos como subproduto originado de pedreiras locais (THEODORO; LEONARDOS, 2006).

Há três grandes razões para a valorização da rochagem, considerando o contexto econômico brasileiro: 1) busca por alternativas para reduzir a importação de fertilizantes, 2) necessidade do aproveitamento de rejeitos de atividades de exploração mineral e 3) expansão de cultivos com base em conceitos agroecológicos, com restrições ao uso de fertilizantes de alta solubilidade (CARVALHO, 2013). A prática da rochagem no Brasil tem sido motivada principalmente pela dependência externa por fontes fertilizantes de alta solubilidade, as quais são escassas no país (RODRIGUES *et al.*, 2010). Em função da maior carência de P e K nos solos brasileiros, de modo geral, os estudos com rochas estão sendo direcionados, principalmente para estes dois nutrientes, não subestimando a importância dos demais no sistema solo-planta (PÁDUA, 2012), tendo em vista que o pó de rocha também fornece outros nutrientes.

A baixa difusão da aplicação de pó de rocha no Brasil justifica-se devido, dentre outros fatores, à ausência de estímulos das políticas públicas do país para a utilização de formas alternativas de adubação, desinformação por parte dos agricultores, pesquisas incipientes e falta de crédito para aquisição e transporte do pó da rocha (ASSIS *et al.*, 2013). O próprio Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) só estabeleceu regras sobre especificações, registro, embalagem, propaganda e comércio do pó de rocha para a agricultura em março de 2016, através da instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016.

Dado que o Brasil é um dos maiores fornecedores de alimentos do mundo, o estudo do pó de rocha como fertilizante potencial em relação ao conteúdo e liberação de nutrientes e a

economia e viabilidade do mercado é necessário para proporcionar o desenvolvimento da sustentabilidade para a atividade de mineração e produção de alimentos (RAMOS *et al.*, 2015).

2. 3 Pó de rocha como fonte de nutrientes

A aplicação de pó de rocha é baseada na utilização de rochas para fornecer ao solo nutrientes essenciais para as plantas (LEONARDOS *et al.*, 1976), baseado nisso essa técnica é tida como um processo alternativo ou complementar a adubação mineral de alta solubilidade e tem sido indicada especialmente para pequenas propriedades, agricultura familiar e até mesmo para agricultura orgânica (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009), mas também pode ser utilizada por fazendas com elevada produção agrícola.

A técnica da rochagem baseia-se no uso de rochas moídas como forma de melhorar os níveis de fertilidade dos solos, pois as rochas possuem em sua constituição quase todos nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2008). A grande geodiversidade existente no Brasil pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rochas em diferentes regiões para que sejam alcançados padrões de fertilidade compatíveis as suas necessidades das culturas e facilitar mecanismos de desenvolvimento regional, dentro de padrões do ponto de vista ambiental, sustentável e econômico (MARTINS; THEODORO, 2010).

A utilização de pó de rocha como produto alternativo na fertilização de solos veio com o intuito de reduzir o custo de produção das culturas, pois são consideradas efetivas, mesmo quando aplicados *in natura* (BARBOSA, 2011), contribuindo para aumentar a fertilidade do solo com o possível fornecimento de importantes macronutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, além de micronutrientes como ferro, manganês, cobre e zinco, para a interface planta/solo (NUNES *et al.*, 2014). A rochagem também possibilita a interação entre dois setores da economia, a mineração e a agricultura, que tradicionalmente não têm ligação e que são considerados de forma geral como agentes de degradação ambiental (THEODORO *et al.*, 2006).

Os minerais presentes no pó de rocha podem sustentar de forma estável ao longo do tempo o fornecimento constante de macro e micronutrientes as plantas (MYRVANG *et al.*, 2016), pois a liberação de nutrientes das rochas ocorre de forma gradual, o que reduz as perdas por lixiviação e favorece a liberação de nutrientes por um maior período (MARTINS *et al.*, 2015), fazendo com que se torne um dos instrumentos utilizados para combater problemas dos

solos a longo prazo (VAN STRAATEN, 2006), assegurando níveis de produtividade e de fertilidade dos solos por períodos mais longos.

A aplicação de pó de rocha pode proporcionar aumento na capacidade de troca de cátions do solo, redução da adsorção de fósforo devido a riqueza em silicatos, bem como a disponibilização de macro e micronutrientes (HARLEY; GILKES, 2000; SILVA, 2013), pode disponibilizar alguns nutrientes que não estão presentes em fertilizantes solúveis fornecedores de NPK, possui liberação lenta nos solos ácidos empobrecidos de nutrientes, sua aplicação tem menor impacto ambiental, muitas vezes são localmente disponíveis, alguns deles como resíduo de pedreiras, minas ou de outras operações industriais de mineração, podem possuir baixo custo e fornecer nutrientes ao solo (VAN STRAATEN, 2006).

Como desvantagem da rochagem pode-se citar o fato de alguns materiais possuírem baixas concentrações de nutrientes e baixa solubilidade, características essas que podem afetar negativamente a eficácia agrônômica das culturas (VAN STRAATEN, 2006). Essa técnica certamente pode favorecer o rejuvenescimento dos solos, retomando a diversidade química do solo que foi alterada pela produção agrícola e ser uma estratégia que faz possível o restabelecimento de nutrientes ao solo (FYFE *et al.*, 2006).

2.4 Liberação de nutrientes do pó de rocha

De modo geral, a solubilização e a disponibilização de nutrientes presentes nas rochas é mais lenta do que nos fertilizantes solúveis. Porém, essa aparente fragilidade é compensada por uma oferta de vários elementos por um período mais longo, uma vez que pela ação do intemperismo através do desgaste do material os nutrientes são liberados de forma mais lenta (THEODORO *et al.*, 2012).

A liberação de nutrientes da estrutura mineral para a solução do solo tem implicações diretas no suprimento de nutrientes e no crescimento das plantas (HARLEY; GILKES, 2000) e a solubilização dos nutrientes presentes nos minerais pode ser realizada através de processos físicos, químicos e biológicos. O principal processo envolvido na solubilização dos minerais é o intemperismo, especialmente pela ação da água das chuvas que age sobre minerais das rochas e os decompõem, dando origem a novos minerais e a solutos, liberando com isso nutrientes constituintes na estrutura da rocha (COLA; SIMÃO, 2012).

Com a adição de pó de rocha ao solo, a água por meio do intemperismo químico irá agir sobre o material pétreo, decompondo-o lentamente, podendo liberar de forma gradual os elementos químicos para as plantas (SILVA FILHO; VIDOR, 2001). Independentemente dos

mecanismos de dissolução a maioria das reações são dependentes do pH, condição de oxidação e temperatura. Como os solos agrícolas raramente são altamente alcalinos e a dissolução de minerais é mínima a um pH quase neutro, a aplicação de rochas silicatadas como fertilizantes será mais adequada para solos ácidos (HARLEY; GILKES, 2000). A função do pH na dissolução de minerais está relacionada à adsorção de íons H^+ e OH^- na superfície de minerais, onde a hidrólise é controlada por reações ácido-base e por ligações oxigênio-metal (RIBEIRO *et al.*, 2010). Reações de oxidação são importantes onde cristais contendo Fe (II) ou Mn (II) são oxidados via estado sólido ou oxidação de superfície, que altera o balanço de carga local e conseqüentemente perturba a estrutura cristalina (HERING; STUMM, 1990).

Entre os processos biológicos do intemperismo a ação dos microrganismos tem destaque, onde esses conseguem solubilizar alguns nutrientes através da decomposição de minerais (COLA; SIMÃO, 2012), ocorrendo com isso a liberação de alguns nutrientes dos minerais principalmente pela ação de ácidos orgânicos e inorgânicos produzidos pela atividade biológica (HARLEY; GILKES, 2000).

A granulometria é a que mais influência na liberação de nutrientes entre os processos físicos, em que a redução granulométrica dessas rochas passando de materiais grosseiros para mais finos facilita a disponibilização dos elementos existentes em sua constituição, podendo em função do intemperismo ou da abrasão se transformar mais rapidamente em argilo-minerais (THEODORO *et al.*, 2006) e com isso liberar mais rapidamente os nutrientes presentes nos minerais constituintes da rocha, devido a maior área superficial específica obtida com a redução da granulometria.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para conseguir o objetivo proposto foram conduzidos dois experimentos: um em condições de laboratório e outro em condições de casa de vegetação. Em ambos foram utilizados dois solos de baixa fertilidade.

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 Solos

Foram utilizados como substrato dois solos de baixa fertilidade natural e de diferente textura (Tabela 1), um classificado como Latossolo Vermelho amarelo distrófico (S1) (JACOMINE, 1973) coletado em propriedade rural denominado de sitio Tucuns que fica localizado no município de Crateús-CE, próximo à divisa com o Piauí, a 15 km da sede da reserva natural serra das almas (Latitude: 05°14'21,7" S; Longitude: 40°56'22,8" W). Na referida área estava sendo cultivada mandioca desde o ano de 2017, antes disso possuía apenas vegetação nativa. O outro solo está classificado como Argissolo vermelho amarelo eutrófico (S2) (JACOMINE, 1973), coletado em propriedade rural localizada em vila denominada de Barro Vermelho, pertencente ao município de Crateús-CE, próximo às margens da CE 226 (Latitude: 05°13'56,2" S; Longitude: 40°53'39,3" W), na referida área estava sendo cultivado milho.

Tabela 1- Caracterização química e granulometria dos solos utilizados nos experimentos

Atributos Químicos											
Solo	pH H ₂ O	P ⁻ mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V %
			-----cmol _c dm ⁻³ -----								
S1	4,1	0,57	0,04	0,14	0,12	0,05	3,00	0,50	0,35	3,35	10,44
S2	5,4	1,33	0,15	1,10	0,40	0,04	1,60	0,05	1,69	3,28	51,52
Micronutrientes											
Solo	MOS g kg ⁻¹	Zn	Cu			Mn			Fe		
			-----mg dm ⁻³ -----								
S1	10,07	1,15	0,30			1,0			24,64		
S2	5,04	0,60	0,55			7,15			3,20		
Granulometria											
Solo	Areia			Silte			Argila				
	-----%										
S1	86,3			5,2			8,5				
S2	68,75			10,99			20,26				

S1- Latossolo Vermelho amarelo distrófico; S2- Argissolo Vermelho amarelo eutrófico. Fonte: Autor.

Os solos foram coletados na camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade, após a coleta foram secos ao ar e passados em peneira com malha de 4 mm para retirada de materiais grosseiros. A caracterização química do solo foi realizada de acordo com metodologias presentes em Silva *et al.* (2009).

3.1.2 Cultura

Como planta indicadora foi utilizada a cultura do Sorgo Forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar BRS ponta negra. Cultivar resistente ao acamamento, adaptada à região do semiárido nordestino, tolerante à seca, à toxicidade por alumínio, à acidez do solo, ao fotoperiodismo e resistente às principais doenças, principalmente à antracnose. Possui ciclo de 110-120 dias, altura de planta média de 2,20 m e massa verde média de 50 Mg/ha.

Contrariamente ao que muitos pensam, a característica de rusticidade do sorgo não significa que a cultura não necessita de nutrientes ou não responda à adubação. A semelhança de outras culturas anuais, o sorgo pode sim apresentar grande exigência nutricional, sobretudo quando se busca altas produtividades (FRANCO, 2011), podendo com isso ser utilizada como planta indicadora em experimentos com adubação.

3.1.3 Litotipos utilizados para rochagem

As rochas utilizadas para a rochagem foram coletados na região denominada de distrito de Tucunduba, localizadas no município de Caucaia-CE, aproximadamente 35 km de Fortaleza. Após a coleta das rochas, foi realizada a fragmentação das mesmas com auxílio de martelo pedológico e posteriormente foram moídas até se transformar em pó com pequena granulometria, depois o material foi peneirado em peneira de malha de 0,3 mm, onde foi utilizado para rochagem o material que passou por essa peneira, seguindo a nomenclatura da granulometria do pó de rocha é denominado de Filler.

As quatro rochas que foram utilizadas são descritas a seguir e a composição elementar encontra-se na tabela 2. A caracterização química dos litotipos foi realizada de acordo com o método 3050B (USEPA, 1998).

- A) **Brecha Vulcânica (BVT)**- Rocha ígnea vulcânica formadas por pedaços de rocha lançados durante a erupção vulcânica unidos por um “cimento” denominado matriz. Rocha com aspecto brechado, de matriz afanítica cor cinza, contendo clastos inequigranulares.

- B) **Foiaito (FT)** - Rocha ígnea plutônica alcalina, composta por ortoclásio, nefelina e mica, fanerítica de granulação equigranular.
- C) **Metapiroxenito (MT)**- Rocha máfica-ultramáficas, pertencente ao chamado Complexo Máfico-Ultramáfico Estratiforme de Tucunduba (CMUET), Rocha de coloração verde escuro, equigranular de granulação média e bastante oxidada (CAVALCANTE, 2016).
- D) **Metagabronorito (GT)**- É uma rocha ígnea que sofreu metamorfismo, constituída principalmente de piroxênio (41,5 a 69,5%), anfibólios (17 a 20%) e plagioclásio (12 a 15%) como agrominerais essenciais, do mineral acessório badeleita (<0,5%) e 1 a 3% minerais opacos (CAVALCANTE, 2016).

Tabela 2- Caracterização elementar dos litotipos utilizados para rochagem

Litotipo	K	P	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Mo	Co
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
BVT	1,32	0,09	2,31	4,19	0,40	27,98	1,31	5,42	91,82	3,15	5,32
FT	4,44	0,16	2,24	2,67	1,18	29,70	1,28	1,77	81,00	4,79	7,16
MT	0,16	0,01	4,29	12,76	0,57	16,80	0,38	148,94	14,43	0,42	22,91
GT	0,37	0,03	4,25	11,13	1,77	30,63	0,41	156,38	19,36	0,51	35,00
Litotipo	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Se	Ti	V	Zr
	mg kg ⁻¹										
BVT	<0,05	445,4	0,18	10,67	<0,05	11,20	2,51	24,05	107,8	24,68	14,72
FT	<0,05	222,2	0,15	22,90	<0,05	2,26	0,38	22,73	2590,5	24,48	84,58
MT	<0,05	294,0	0,04	193,35	<0,05	292,97	0,76	46,38	600,7	27,54	0,90
GT	<0,05	365,5	0,08	151,01	<0,05	262,71	0,50	36,33	1089,5	102,07	1,29

Fonte: Autor.

3.2 Experimento em laboratório

Foi conduzido em laboratório pertencente ao Departamento de Ciência do Solo do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará-UFC, campus do Pici, município de Fortaleza – CE.

Nesse experimento utilizou-se dois solos (Latosolo e Argissolo), em que possuiu tratamentos com aplicação de doses de calcário e tratamentos com doses pó de rocha originário dos quatro litotipos (BVT= Brecha Vulcânica, FT= Foiaito, MT= Metapiroxenito e GT= Metagabronorito) do distrito de Tucunduba-CE. As doses de calcário utilizadas foram

estimadas com base em valores correspondentes à 0, 25, 50, 75 e 100% do $H^+ + Al^{3+}$ de cada solo, com isso no Latossolo foram aplicadas doses de 0,0, 0,75, 1,5, 2,25 e 3,0 $Mg\ ha^{-1}$, e no Argissolo aplicadas doses de 0,0, 0,4, 0,8, 1,2 e 1,6 $Mg\ ha^{-1}$. Nos tratamentos com aplicação de pó de rocha foram utilizadas quatro doses (0, 1, 2 e 4 $Mg\ ha^{-1}$) em cada solo.

Foi pesado 1kg de cada solo e colocados em sacos plásticos, posteriormente foi realizada a aplicação das doses de calcário e de pó de rocha correspondentes a cada tratamento, realizou a homogeneização dos mesmos e umedeceu o solo com água destilada em quantidade suficiente para atingir a capacidade de campo de cada solo, depois os sacos plásticos foram lacrados (incubação), permanecendo assim por 77 dias, período no qual o pH já se encontrava estabilizado. A cada 7 dias realizou-se a leitura de pH de cada tratamento, perfazendo um total de 11 leituras.



Figura 1- Experimento de laboratório, tratamentos com solo incubado. Fonte: Autor.

3.3 Experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará-UFC, campus do Pici, município de Fortaleza – CE. Está localizada no litoral cearense, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitude de $3^{\circ} 44' 35,2''$ S e longitude $38^{\circ} 34' 33,0''$ W.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, trata-se da região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso (temperatura média no mês mais frio maior ou igual a $18^{\circ}C$ e precipitação no mês mais seco menor que 30 mm), possui pluviosidade média anual (2010 a 2018) de 1,320,5 mm, temperatura média de $27,3^{\circ}C$ e umidade relativa do ar média de 77% (INMET, 2019).

3.3.1 Tratamentos

No experimento em casa de vegetação foi realizada a aplicação do pó de rocha utilizando os quatro litotipos coletado em Tucunduba-CE e as mesmas doses utilizadas no experimento de laboratório (0, 1, 2 e 4 Mg ha⁻¹), totalizando 32 tratamentos (Tabela 3).

Este experimento foi conduzido em bancadas com os solos presentes em vasos de polietileno com 2 dm⁻³ de volume, com tratamentos em disposição fatorial 2 (solos) x 4 (fontes) x 4 (doses), possuindo um total de 32 tratamentos com 3 repetições cada, totalizando com isso 96 unidades experimentais, em que foram conduzidas segundo o delineamento experimental inteiramente ao acaso.

Tabela 3- Descrição dos tratamentos com aplicação de pó de rocha

Solo (S)	Litotipo	Dose (Mg ha ⁻¹)	Nº de Tratamentos
S1	BVT	0	1
		1	2
		2	3
		4	4
	FT	0	5
		1	6
		2	7
		4	8
	MT	0	9
		1	10
		2	11
		4	12
GT	0	13	
	1	14	
	2	15	
	4	16	
S2	BVT	0	17
		1	18
		2	19
		4	20
	FT	0	21
		1	22
		2	23
		4	24
	MT	0	25
		1	26
		2	27
		4	28
GT	0	29	
	1	30	
	2	31	
	4	32	

S1= Latossolo, S2= Argissolo, BVT= Brecha Vulcânica, FT= Foiaito, MT= Metapiroxenito e GT= Metagabronorito. Fonte: Autor.

3.3.2 Condução do experimento em casa de vegetação

Foram pesados 3 kg de solo e realizada a homogeneização com as respectivas doses de pó de rocha de cada tratamento, colocando-os em vasos de polietileno e durante 15 dias foram umedecidos diariamente.

Posteriormente foram semeadas 10 sementes do sorgo forrageiro em cada vaso e após 10 dias da emergência das plântulas foi realizado o desbaste deixando 4 plantas por vaso. Diariamente foram realizadas irrigações com água de poço (Tabela 4) em quantidade suficiente para atingir a capacidade de campo do solo.

Tabela 4- Análise química da água utilizada para irrigação

CE	Na	K	P	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
dS m ⁻¹	-----mg/L-----								
0,42	48,79	8,11	<0,01	1,71	19,40	0,045	<0,01	0,015	0,013

Fonte: Autor.

Todos os tratamentos com aplicação de pó de rocha e tratamento controle sem aplicação, receberam adubação complementar contendo N, P, K e S, aplicando um total de 180, 315, 180 e 45 mg/vaso, respectivamente em cada ciclo. As aplicações foram realizadas de forma parcelada em 4 aplicações via solução nutritiva com intervalo de 7 dias nos dois ciclos.

Após 50 dias da emergência da cultura foi realizado o corte da parte aérea da cultura a uma altura de 5 cm da superfície do solo (primeiro corte), o cultivo foi continuado por 30 dias, ocasião em que se realizou novamente o corte da parte aérea da cultura (segundo corte).

A parte aérea coletada foi colocada em saco de papel kraft devidamente identificado e levada para secar em estufa até atingir peso constante, a 65 °C de temperatura. Posteriormente o material foi moído em moinho tipo Willey com peneiras de 0,5 mm e armazenado em sacos de papel até o momento da realização da digestão via seca da parte aérea da cultura para posterior análise laboratorial.

3.4 Variáveis analisadas

Após cada corte da parte aérea da cultura foram realizadas as seguintes avaliações das plantas de sorgo:

- **Massa seca da parte aérea (MS):** Determinada por pesagem do material vegetal seco, quando atingiu peso constante na secagem em estufa a 65 °C.
- **Composição elementar da massa seca:** Foram determinados os macronutrientes (P, K, Ca, Mg), micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn) e metais pesados (Cd, Pb, Cr e As). Todos os elementos

foram extraídos via seca, sendo transferido 1 g de material seco e triturado para cadinho de porcelana, e levados para mufla elétrica, onde permaneceram por 30 min a uma temperatura de 300°C e 3 horas em temperatura de 500°C.

Após a incineração foi adicionado ao material ácido nítrico a 1 mol/litro e transferido para balão volumétrico, preenchendo o balão com ácido até completar seu volume de 50 ml, a seguir as amostras foram filtradas em papel filtro de filtragem lenta faixa azul nº 42 e armazenadas em garrafas de plástico de 100 ml, permanecendo esses extratos nas garrafas até o momento das leituras.

As leituras dos teores dos nutrientes e metais pesados existentes no extrato foram realizadas com a utilização de espectrofotômetro, fotômetro de chama, espectrofotometria de absorção atômica e espectrofotometria de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado (ICP - ACAP 6300 DUO, Thermo Scientific) (SILVA, 2009).

- **Nutrientes extraídos (NE):** Foi obtido pelas fórmulas:

$$NE \text{ (g.vaso}^{-1}\text{)} = \text{massa seca (g.vaso}^{-1}\text{)} \times \text{teor do nutriente (g.kg}^{-1}\text{)} / 1000 \text{ (Macronutrientes)}$$

$$NE \text{ (mg.vaso}^{-1}\text{)} = \text{massa seca (g.vaso}^{-1}\text{)} \times \text{teor do nutriente (mg.kg}^{-1}\text{)} / 1000 \text{ (Micronutrientes e Metais Pesados)}$$

3.5 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância para os tratamentos em esquema fatorial triplo (2x4x4), seguindo o delineamento inteiramente ao acaso. Com médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizada análise de regressão, quando constatada significância entre as doses de pó de rocha no experimento em casa de vegetação. As análises estatísticas foram feitas através da utilização do software Rstudio e os gráficos de regressão e de barras gerados pelo software SigmaPlot. Para os valores de pH do experimento de incubação não foi realizada análise estatística, foram gerados apenas gráficos de regressão e dispersão com SigmaPlot.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento de incubação

4.1.1 Calagem

Ao analisar o comportamento da calagem em função do tempo de incubação (Figura 2) verificou-se que aos 7 dias de incubação, com exceção do tratamento que não recebeu calagem, em ambos os solos o pH se elevou adquirindo valores mais altos em cada dose, reduzindo-se bruscamente aos 14 dias, a partir do qual se manteve um ligeiro decréscimo até os 42 dias, elevando-se novamente aos 49 dias onde os valores se estabilizaram. O tratamento sem aplicação de calcário se manteve constante durante os primeiros 7 dias, aos 14 dias teve-se um decréscimo e a partir dos 49 dias se estabilizou elevando o pH a nível ligeiramente inferior ao inicial nos dois solos.

Nos primeiros 7 dias a elevação no pH pode ser explicada pela ação do calcário, já que no tratamento sem aplicação não ocorreu aumento do pH do solo, onde nesse período o carbonato de cálcio advindo do corretivo presente na solução ocasionou essa elevação. Após esse período o comportamento de redução pode ter sido em decorrência da decomposição de matéria orgânica, tendo em vista que a ionização do hidrogênio de ácidos carboxílicos, fenólicos e de álcoois terciários presentes na mesma contribuem para elevar a acidez do solo (SOUSA *et al.*, 2007), o tratamento controle também apresentou esse comportamento, onde nos tratamentos com calcário o comportamento de redução foi provocado também pela liberação de H^+ no complexo de troca de cátions nos tratamentos com calagem, já que nesse período já estaria ocorrendo a troca do cálcio presente no corretivo pelo H^+ do solo.

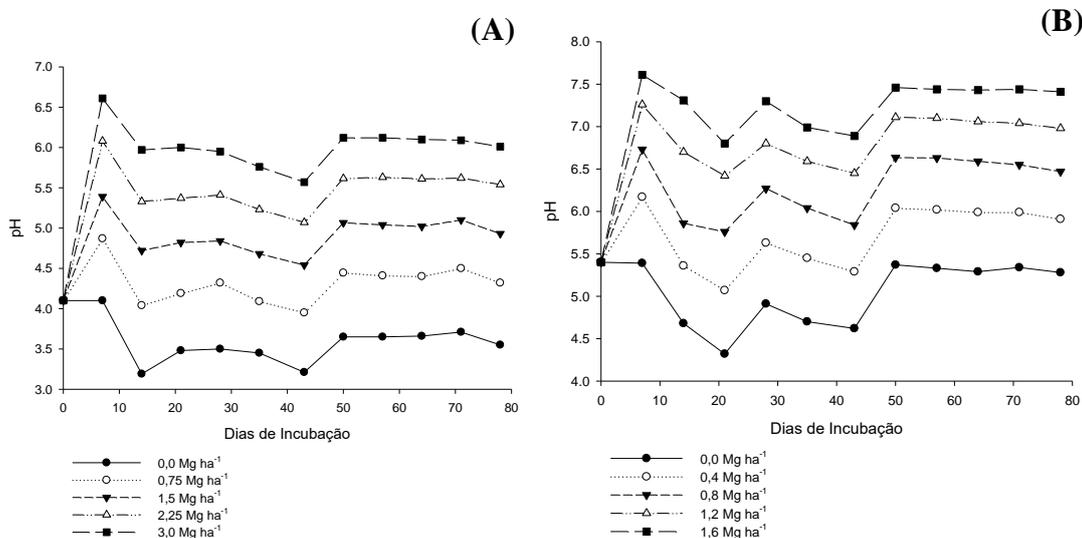


Figura 2- Efeito da calagem (75% $CaCO_3$ + 25% $MgCO_3$) e do tempo de incubação no pH do solo, Latossolo (A) e Argissolo (B). Fonte: Autor.

Com o aumento das doses de calcário, o pH do solo apresentou um acréscimo linear, com o pH do Latossolo alcançando valor de 6,12 com a maior dose (3,0 Mg ha⁻¹) e o Argissolo apresentando pH de 7,46 na dose de 1,6 Mg ha⁻¹ (Figura 3). Mesmo sendo aplicada menor quantidade de calcário no Argissolo, este solo alcançou maior valor de pH que o Latossolo quando aplicada sua máxima dose, se aplicada a dose de 1,6 Mg ha⁻¹ no Latossolo esse iria obter um pH de 5,06. Isso se deve pelo fato de que o Latossolo apresentou pH inicial bem mais baixo que o Argissolo, valores de 4,1 no Latossolo e de 5,4 no Argissolo (Tabela 1) e também em virtude da acidez potencial desses solos, por apresentar menor teor de H⁺+Al³⁺ o Argissolo necessita de menor quantidade de calcário para elevar seu pH, já que apresenta um menor poder tampão.

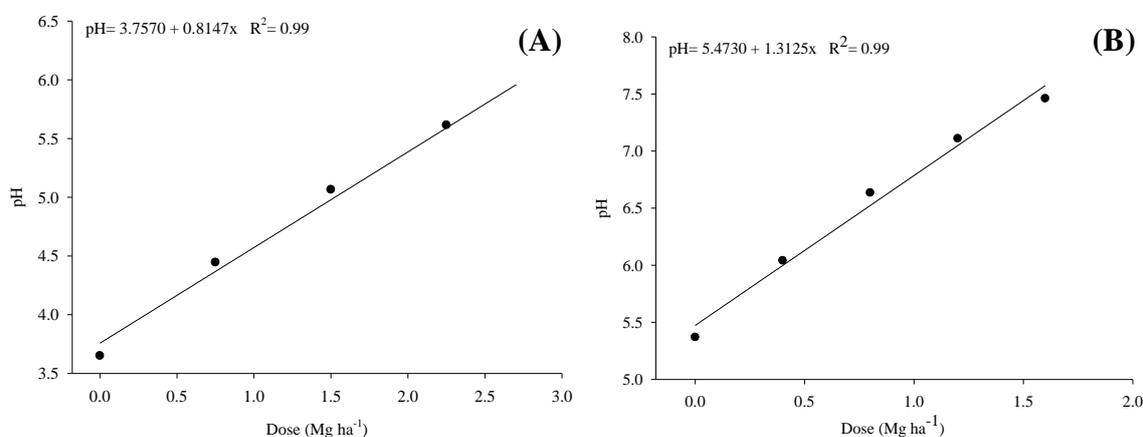


Figura 3- pH do solo em função de doses de calcário: A) Latossolo e B) Argissolo, [Dose de Calagem, Mg ha⁻¹ = f x (H⁺+Al³⁺), onde f é igual a 0,0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0]. Fonte: Autor.

Se realizada a recomendação de calagem desses solos através do método de elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (NC (Mg ha⁻¹) = 2 - (Ca²⁺ + Mg²⁺)), seria recomendado para o Latossolo uma quantidade de 1,74 Mg ha⁻¹ de calcário e para o Argissolo 0,5 Mg ha⁻¹, valores estes que elevariam o pH do Latossolo para aproximadamente 5,17 e o Argissolo para 6,12. Com a recomendação através da neutralização do Al³⁺ (NC (Mg ha⁻¹) = 2 x Al³⁺) recomendaria uma dose de 1,0 Mg ha⁻¹ para o Latossolo e de 0,1 Mg ha⁻¹ para o solo Argissolo, alcançando valores de pH de 4,57 e 5,60 no Latossolo e Argissolo, respectivamente. Na recomendação para elevar o nível de saturação por bases (NC (Mg ha⁻¹) = T*(Ve - Va)/100) ao nível de 50% que é o recomendado para cultura dos sorgo (ALVAREZ VENEGAS; RIBEIRO, 1999) o Argissolo não necessitaria de aplicação de calcário, pois possui saturação maior que a recomendada, já o Latossolo seria recomendada a aplicação de 1,32 Mg ha⁻¹. Entre os três métodos, a recomendação pelo método de elevação dos teores de cálcio e magnésio é o que apresenta as maiores doses a serem aplicadas para ambos os solos.

Para elevar o nível do pH entre 5,5 e 6,5 considerado ideal para a maioria das culturas (MALAVOLTA, 2006) a dose aplicada para recomendação de elevação dos teores de cálcio e magnésio no Latossolo não seria o suficiente, pois o pH ainda ficaria abaixo de 5,5, em nenhum dos métodos aplicados alcançaria os níveis ideais. Já para o Argissolo a dose recomendada pelo mesmo método elevaria o pH a nível dentro do recomendado, ficando com um pH de 6,12, o pH desse solo sem aplicação de calcário já se encontra em níveis próximos ao adequado.

Alguns métodos recomendaram quantidades que não seriam suficientes para correção da acidez a níveis adequados, isso se deve pelo fato de que o solo em incubação apresentou pH inicial abaixo do pH da caracterização do solo, com isso a recomendação pelos diferentes métodos levam em conta as características que os solos apresentaram no momento da sua caracterização, por isso ocorreu essa discrepância entre o recomendado pelos métodos e pela equação de regressão.

Essas doses recomendadas indicam que os diferentes métodos recomendam diferentes quantidades de calcário, devido a isso, os métodos utilizados para recomendação de calagem podem variar de região para região, alguns utilizam métodos que recomendam maiores e outros menores quantidades de calcário, isso varia devido aos tipos de solos predominantes em cada região, bem como pelo clima que ela possui.

4.1.2 Rochagem

A aplicação do pó de rocha originário dos quatro tipos de rochas proporcionou a elevação do pH nos dois solos, com a brecha vulcânica (BVT) e o foiaito (FT) sendo os que mais elevaram o valor do pH, aumentando com o acréscimo da dose aplicada. O pó da rocha do metapiroxenito (MT) e metagabronorito (GT) no Latossolo também conseguiu elevar o pH do solo, já no Argissolo não ocorreu um aumento significativo do pH com aplicação do pó de rocha originário dessas fontes (Figura 4). Esse aumento no pH causado pela aplicação do pó de rocha pode ser devido a presença de óxidos na constituição dessas rochas, em que este dissocia-se e com isso libera rapidamente o radical OH^- (VELOSO *et al.*, 1992), considerado receptor de prótons que vai reagir com o íon H^+ presente na solução do solo, resultando em água, neutralizando o H^+ e com isso provocando a elevação do pH do solo (RAIJ, 2017).

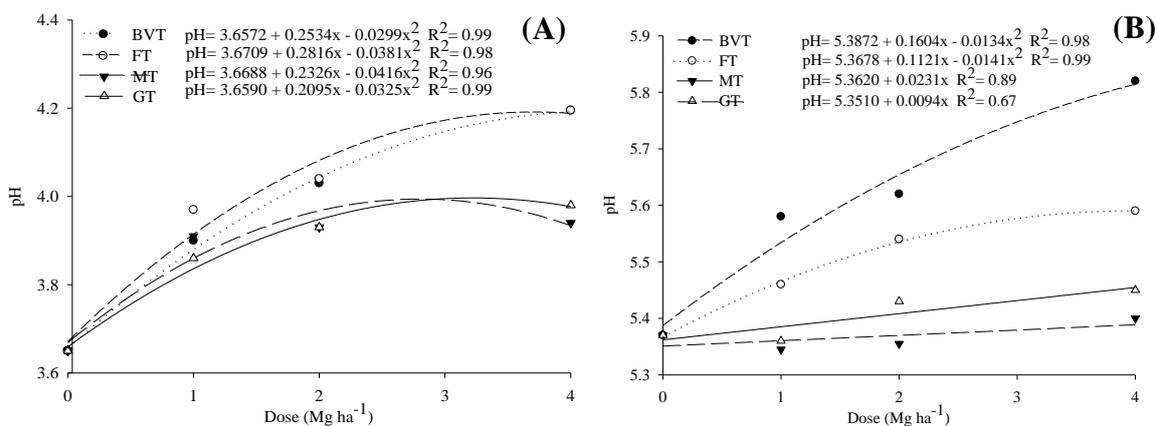


Figura 4- pH do solo em função da aplicação de doses crescente de rochagem de quatro fontes: A) Latossolo, B) Argissolo. Fonte: Autor.

Comparando o efeito da rochagem sobre a elevação do pH dos dois solos, na máxima dose de 4 Mg ha⁻¹ de BVT e FT no Latossolo houve elevação do pH em 9,55%, valor inferior a dose mais baixa de calcário que elevou o pH em 21,6%, as doses mais altas de MT e GT se estabilizaram em valores inferiores ao pH original do solo. Enquanto que no Argissolo a BVT elevou o pH em todas suas doses, entretanto esses aumentos foram relativamente baixos, atingindo na dose mais alta (4 Mg ha⁻¹) um aumento de 8,38% em relação ao pH do solo sem aplicação de pó de rocha, valor próximo ao atingindo com a aplicação da dose mais baixa de calcário, com 12,48% de aumento.

A elevação de pH provocada por alguns dos litotipos utilizados forma maiores que as encontradas em outros trabalhos com uso de outras rochas sendo aplicadas em maiores doses que a utilizadas no presente experimento. Em experimentos com aplicação de pó de rocha em Latossolo foi encontrado elevação do pH em 17,4% com aplicação de 50 Mg ha⁻¹ de pó de basalto (MELO *et al.*, 2012), 19,63% com rocha ultramáfica (6,68 Mg ha⁻¹), 1,84% brecha piroclástica (7,76 Mg ha⁻¹) e 0,81% com flogopitito (3,25 Mg ha⁻¹) em comparação ao pH encontrado no tratamento testemunha, avaliado após 45 dias de incubação (RIBEIRO *et al.*, 2010).

Esses dados demonstram que algumas das rochas utilizadas no presente experimento são mais eficientes para correção da acidez do solo que outras rochas já estudadas em outros trabalhos, porém a aplicação de calcário em doses bem mais baixas tem maior eficiência que aplicação desses litotipos.

4.2 Experimento em casa de vegetação

4.2.1 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca (MS) nos tratamentos com aplicação de doses de pó de rocha de quatro litotipos apresentou diferença estatística entre o Argissolo e o Latossolo ao nível de 5% de probabilidade, com o Argissolo apresentando as maiores médias (Tabela 5).

Tabela 5- Síntese da análise de variância para matéria seca da parte aérea do sorgo submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos

F. Variação	Valor F	
	1ª Corte	2ª Corte
	-----g/vaso-----	
Solo (S)	727,81*	1206*
<i>Latossolo</i>	16,97b	4,8b
<i>Argissolo</i>	23,60a	17,32a
Fonte (F)	0,17 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Dose (D)	3,89*	3,24*
S*F	2,31 ^{ns}	0,88 ^{ns}
S*D	4,21*	4,01*
F*D	1,36 ^{ns}	0,77 ^{ns}
S*F*D	0,75 ^{ns}	0,69 ^{ns}
CV %	9,85	27,14

CV: coeficiente de variação; ns- não significativo; *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), Médias seguidas de letra minúscula diferentes, na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autor.

Em ambos os solos a produção de MS foi menor no segundo corte, apresentando redução média de 72,2% no Latossolo e 25% no Argissolo (Figura 5). A redução da produção no segundo corte nos dois solos pode ter sido influenciada pela menor disponibilidade de nutrientes que não foram aplicados via adubação complementar (Ca, Mg e micronutrientes), redução essa ocasionada pela exportação desses nutrientes pelo sorgo do primeiro ciclo.

A drástica redução de produção obtida no 2ª corte do Latossolo bem como o maior coeficiente de variação presente nesse corte pode ter sido em decorrência principalmente da elevada deficiência de cálcio existente nas plantas cultivadas nesse solo no segundo ciclo, o que ocasionou baixa produção de MS pela cultura e elevada variação entre tratamentos e repetições.

A menor produção observada no Latossolo, é explicado pela menor fertilidade desse solo, por se tratar de um solo distrófico de elevada acidez e baixa disponibilidade de macronutriente e micronutrientes, quando comparado ao Argissolo, eutrófico, porem também apresenta baixa fertilidade (51% de saturação de bases) (Tabela 1).

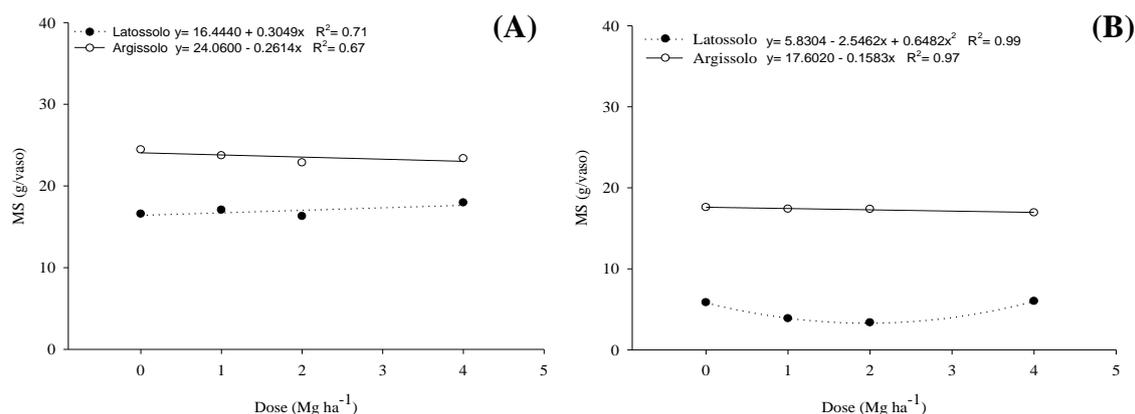


Figura 5- Produção de matéria seca da parte aérea do sorgo forrageiro em função de doses de rochagem no Latossolo e Argissolo: A) 1ª corte e B) 2ª corte. Fonte: Autor.

4.2.2 Teores e extração de nutrientes

Foram verificadas diferenças significativas entre solos para os teores de K na parte aérea da cultura no primeiro, segundo corte e extração de nutrientes (Tabela 6, 7 e 8). No primeiro corte o Latossolo apresentou menores teores de K na parte aérea da planta ($12,64 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparado ao Argissolo ($13,57 \text{ g kg}^{-1}$), no segundo corte os teores médios foram de $26,59$ e de $13,02 \text{ g kg}^{-1}$, para esses solos respectivamente, valores que se encontram no limite inferior e/ou dentro da faixa de suficiência descrita por Cantarutti *et al.* (2007). Esses teores nos sugerem que o potássio não foi elemento limitante para o desenvolvimento do sorgo. Os maiores teores de potássio verificados no segundo corte no Latossolo se justificam pela maior concentração desse nutriente na planta devido à baixa produção de matéria seca do sorgo.

Tabela 6- Síntese da análise de variância para teores de nutrientes na parte aérea do sorgo forrageiro submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos (primeiro corte)

F. Variação	Valor F							
	K	P	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			
Solo (S)	17,36*	466,8*	2890*	19,51*	239,16*	191,12*	1068*	136,82*
Latossolo	12,64b	3,73a	0,50b	3,35a	19,92a	59,54b	61,18a	1,84b
Argissolo	13,57a	2,26b	1,65a	3,17b	11,64b	78,16a	21,76b	3,06a
Fonte (F)	3,17*	0,81 ^{ns}	0,49 ^{ns}	9,00*	2,54 ^{ns}	9,11*	11,31*	6,17*
Dose (D)	0,49 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,90 ^{ns}	6,18*	15,50*	4,91*	1,86 ^{ns}	3,41*
S*F	0,71 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,27 ^{ns}	11,15*	6,49*	34,68*	0,86 ^{ns}	0,81 ^{ns}
S*D	0,52 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,86 ^{ns}	3,02*	26,52*	25,91*	31,23*	0,64 ^{ns}
F*D	0,95 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,68 ^{ns}	3,57*	0,66 ^{ns}	2,38*	2,58*	2,34*
S*F*D	0,61 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,30 ^{ns}	4,26*	1,08 ^{ns}	6,13*	2,40*	1,63 ^{ns}
CV %	21,57	94,28	207,11	43,28	17,91	4,36	5,39	81,49

CV: coeficiente de variação; ns- não significativo; *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).
Fonte: Autor.

Tabela 7- Síntese da análise de variância para teores de nutrientes na parte aérea do sorgo forrageiro submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos (Segundo corte)

F. Variação	Valor F							
	K	P	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
Solo (S)	573,29*	1010*	2398*	666,8*	1518*	4292*	78,07*	-
<i>Latossolo</i>	26,59a	9,98a	0,30b	2,54b	35,64a	58,99b	67,60a	<1,73
<i>Argissolo</i>	13,02b	3,25b	1,56a	3,97a	14,90b	134,02a	52,50b	2,25
Fonte (F)	3,63*	12,30*	0,57 ^{ns}	3,28*	3,65*	12,48*	1,51 ^{ns}	-
Dose (D)	51,04*	7,32*	0,96 ^{ns}	3,45*	51,52*	1,08 ^{ns}	2,76*	-
S*F	3,49*	11,48*	0,08 ^{ns}	0,71 ^{ns}	6,99*	50,8*	1,85 ^{ns}	-
S*D	41,05*	8,73*	1,63 ^{ns}	4,52*	41,75*	63,09*	4,78*	-
F*D	1,99 ^{ns}	6,40*	0,19 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,25 ^{ns}	4,28*	2,19*	-
S*F*D	2,16*	6,60*	0,32 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,59 ^{ns}	17,77*	1,24 ^{ns}	-
CV %	15,96	26,15	283,34	53,05	11,87	2,8	4,99	

CV: coeficiente de variação; ns- não significativo; *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). O Cu apresentou valores que não foram detectados pelo aparelho, O Cu do Latossolo apresentou níveis abaixo do detectado pelo aparelho. Fonte: Autor.

Tabela 8- Síntese da análise de variância para extração de nutrientes pela parte aérea do sorgo forrageiro submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em dois solos

F. Variação	Valor F							
	K	P	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
Solo (S)	1348*	0,33 ^{ns}	3826*	1194*	0,02 ^{ns}	5573*	0,32 ^{ns}	460,1*
<i>Latossolo</i>	0,32b	0,106	0,010b	0,068b	0,52	1,21b	1,48	0,030b
<i>Argissolo</i>	0,54a	0,103	0,066a	0,147a	0,52	4,26a	1,42	0,072a
Fonte (F)	1,79 ^{ns}	2,94*	0,55 ^{ns}	3,14*	2,58 ^{ns}	5,12*	1,67 ^{ns}	7,53*
Dose (D)	4,35*	9,07*	0,41 ^{ns}	1,93 ^{ns}	29,81*	4,20*	2,44 ^{ns}	4,23*
S*F	1,54 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,60 ^{ns}	3,75*	33,66*	0,59 ^{ns}	1,21 ^{ns}
S*D	4,56*	11,34*	2,74 ^{ns}	3,55*	41,29*	60,66*	0,74 ^{ns}	1,81 ^{ns}
F*D	1,49 ^{ns}	1,56 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,77*	0,38 ^{ns}	2,90*
S*F*D	1,23 ^{ns}	2,05*	0,51 ^{ns}	0,35 ^{ns}	2,09*	9,80*	0,29 ^{ns}	1,36 ^{ns}
CV %	324,03	1278,74	5860,46	1329	266,09	50,92	181,92	6104,79

CV: coeficiente de variação; ns- não significativo; *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Extração do Cu refere-se somente ao 1^a corte. Fonte: Autor.

No primeiro corte os teores de K apresentaram diferença estatística entre fontes, sendo os tratamentos que receberam pó de rocha do FT os que apresentaram os maiores teores desse nutriente na parte aérea da cultura (Figura 6). Essa fonte também possui a maior concentração de K na sua constituição (4,44 g kg⁻¹) quando comparada as demais, porém a quantidade de K total adicionada através da rochagem foi relativamente baixa para os quatro litotipos, que possui potencial de fornecer de 5,4, 1,58, 0,44 e 0,2 kg de K₂O/Mg⁻¹ de FT, BVT,

GT e MT, respectivamente, isso se todo K_2O presente na constituição desses litotipos fosse liberado.

A extração total de K somando os dois cortes foi maior no Argissolo quando comparado com Latossolo (Figura 7), essa diferença entre solos pode ser explicada pela análise química de disponibilidade de K no solo (baixa e média no Latossolo e Argissolo, respectivamente), e também pela menor produção de massa seca no Latossolo. O comportamento apresentado associado a baixa extração de K pela matéria seca não permitiu evidenciar a liberação do potássio da rocha, devido os teores presentes na parte aérea da cultura nos tratamentos com aplicação de pó de rocha não diferir estatisticamente do tratamento sem aplicação.

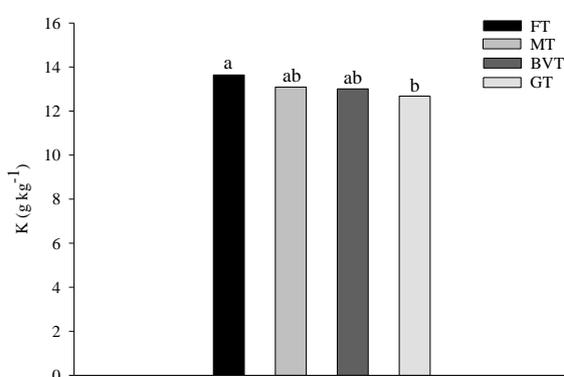


Figura 6- Médias de teores de potássio da parte aérea da cultura no primeiro corte comparando o fator fonte. Letras minúsculas diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Fonte: Autor.

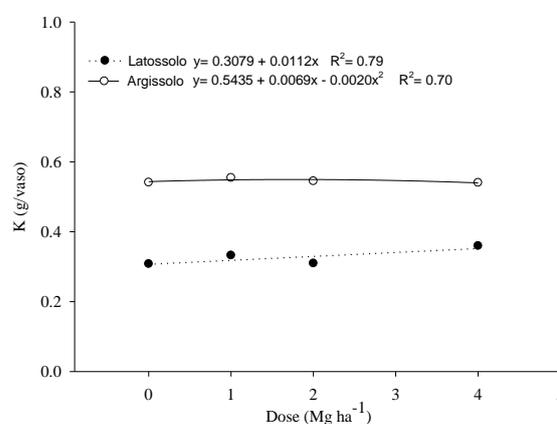


Figura 7- Potássio extraído pela parte aérea do sorgo durante os dois cortes no latossolo e argissolo. Fonte: Autor.

Os teores de P em ambos os cortes e na sua extração pela cultura não apresentam diferença estatística em nenhum dos fatores, exceto entre os solos (Tabela 6, 7 e 8). No Latossolo os teores de P foram maiores, mesmo esse solo apresentando menor disponibilidade desse elemento quando comparado ao Argissolo (Tabela 1), e ambos os solos recebendo a mesma adubação complementar. Esse comportamento certamente deve ter sido influenciado pela menor produção de matéria seca nesse solo, que pode ocasionar um aumento na sua concentração, os resultados de extração evidenciaram a ocorrência da maior extração no Argissolo, solo com maior disponibilidade de fósforo.

A maior concentração média de P obtida no primeiro corte foi de 3,73 g kg⁻¹ e 2,26 g kg⁻¹ no Latossolo e Argissolo, respectivamente, segundo Cantarutti *et al.* (2007) o teor considerado ideal de fósforo na cultura do sorgo é de 4,5 g kg⁻¹, portanto o teor de fósforo foliar encontrado em ambos os solos, seguindo esse limite de suficiência são considerados deficientes. Por outro lado, os baixos teores de P encontrados podem ter sido influenciados pelo fato desses

valores corresponderem a análise de toda parte aérea (colmo, bainha e folha) e não somente de folhas medianas como recomendadas para obtenção dos valores de referência. Os teores de P do segundo corte no Argissolo também apresentaram níveis na parte aérea da cultura abaixo do considerado adequado.

O Argissolo apresentou maiores teores de Ca em ambos os cortes, em decorrência da sua condição eutrófica, maior conteúdo de argila e maior disponibilidade de Ca trocável (Tabela 1). Apesar da presença de Ca em sua constituição, os litotipos aplicados em forma de pó, mesmo nas doses mais altas, não elevaram significativamente os níveis de Ca no solo, onde esses apresentaram nos dois solos teores abaixo do ideal para a cultura que é de 2 a 9 g kg⁻¹ (CANTARUTTI *et al.*, 2007).

No Latossolo o teor médio de Ca presente na parte aérea da cultura foi muito abaixo do teor adequado, sendo estes reduzidos no segundo corte, com isso o Ca foi um elemento limitante para o desenvolvimento da cultura, provocando com isso redução drástica da produção de massa seca do sorgo forrageiro no Latossolo no segundo corte. A baixa extração de Ca pela cultura é um indicio de que esse elemento deve estar presente em minerais de baixa solubilidade e de lenta alteração (MELO *et al.*, 2012), e devido também, a sua baixa concentração nos litotipos.

Os resultados encontrados nesse trabalho são condizentes com estudos realizados por Melo *et al.* (2012) com aplicação de pó de basalto em um Latossolo com textura areia franca, onde encontraram incrementos relativamente baixos na concentração de Ca no solo, aumento de apenas 0,8 cmol_c dm⁻³, isso com aplicação de 48 Mg ha⁻¹ de pó basalto, que possuía 9,7 g kg⁻¹ de cálcio em sua constituição. Devido à baixa solubilidade de rochas é comumente necessário aplicar grandes volumes de pó de rocha para os solos, com sua eficácia agrônômica dependente de fatores como a mineralogia da rocha, pH e textura do solo (VAN STRAATEN, 2006).

O Mg apresentou-se como elemento extraído em maior quantidade quando comparado com a extração do Ca (Tabela 8), contrariando resultados encontrados por Fonseca *et al.* (2008) em que aplicou solução nutritiva completa e observou a ordem de extração dos nutrientes da parte aérea com o Ca possuindo maior extração que o Mg, foi observada a mesma ordem de extração de macronutrientes por Soares *et al.* (2014) em 4 híbridos de sorgo sacarino. Normalmente os teores de cálcio na planta são maiores que os teores de magnésio, variando entre 5 e 80 g kg⁻¹ de matéria seca, enquanto que os teores de magnésio variam entre 1 e 10 g kg⁻¹, possuindo como concentrações médias na matéria seca 5 e 2 g kg⁻¹ para cálcio e magnésio, respectivamente (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Essa maior extração do Mg provavelmente se deve em consequência da água de irrigação utilizada, que possuía uma concentração de $19,40 \text{ mg L}^{-1}$ de magnésio, enquanto que possuía apenas $1,71 \text{ mg L}^{-1}$ de cálcio, com isso a mesma contribuiu com a nutrição da planta adicionando diariamente magnésio ao solo. Segundo Santos *et al.* (2015) a extração de nutrientes pela cultura está relacionada com fatores como produtividade de matéria seca, a cultivar, o solo, a adubação entre outros fatores, de forma que essas variações podem ser consideradas normais quando se trata de sistemas produtivos.

A aplicação da maior dose (4 Mg ha^{-1}) de pó de rocha originário do litotipo BVT elevou os teores de Mg em 1 g kg^{-1} na parte aérea do sorgo no Latossolo no primeiro corte (Figura 8A), no Argissolo não houve diferença estatística entre as doses e fontes aplicadas (Figura 8B), no segundo corte não houve diferença estatística entre fontes, com relação as doses os teores de Mg elevaram com o aumento da doses aplicada no Latossolo (Figura 8C), no Argissolo não houve diferença nos teores de Mg na parte aérea com o aumento da dose aplicada (Figura 8D), o tratamento com BVT também apresentou a maior extração desse elemento diferindo das demais fontes (Figura 9).

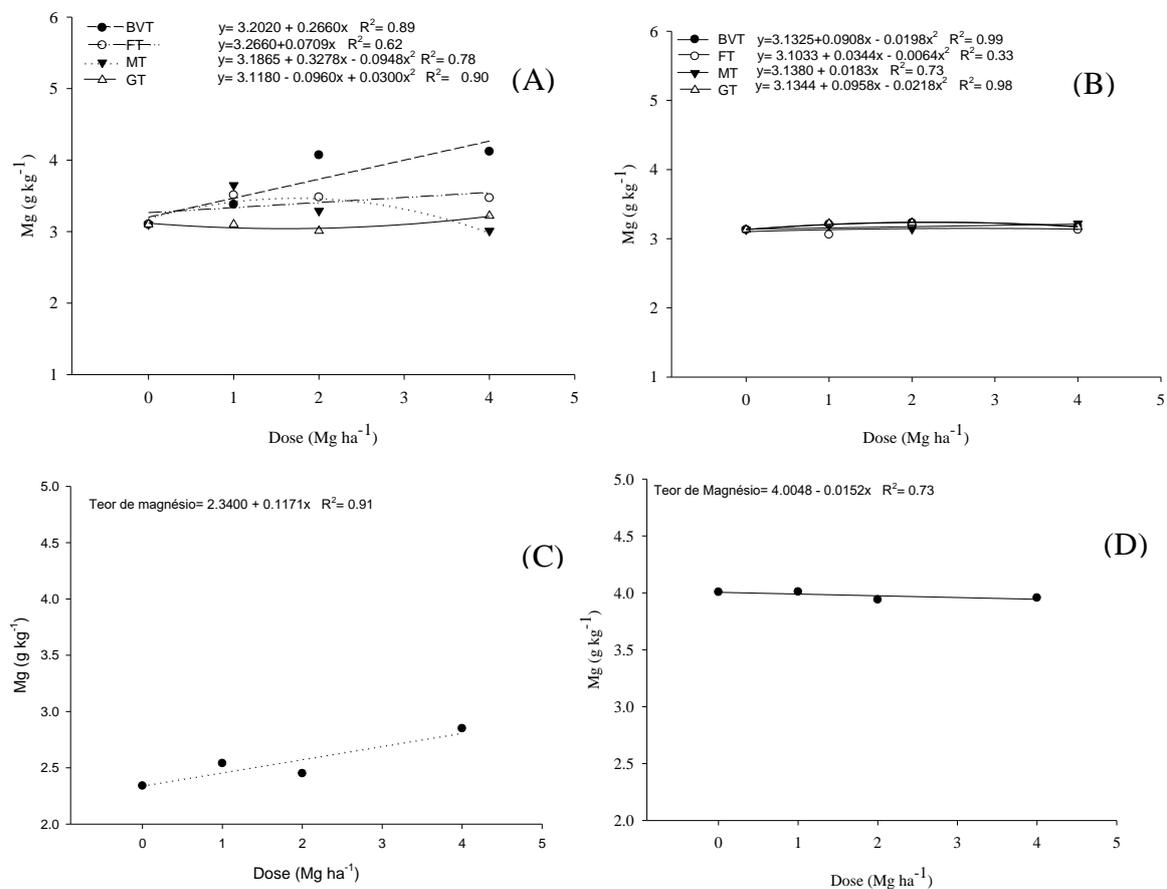


Figura 8- Teores de magnésio na parte aérea da cultura do primeiro corte no Latossolo (A) e Argissolo (B), respectivamente e teores de magnésio na parte aérea da cultura no segundo corte, Latossolo (C) e Argissolo (D), respectivamente. Fonte: Autor.

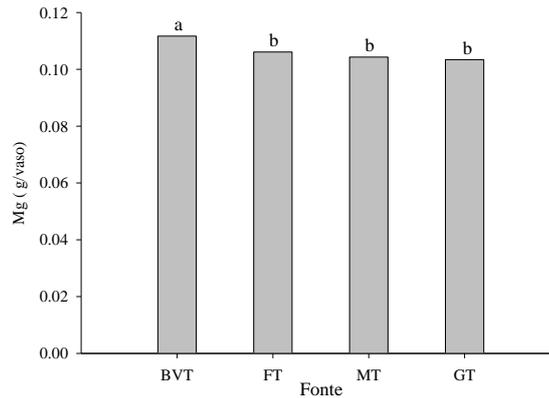


Figura 9- Extração de magnésio pela parte aérea do sorgo somados os dois cortes (médias de fontes nos dois solos).
Fonte: Autor.

No segundo corte os teores de magnésio na parte aérea do sorgo forrageiro foram 36% maiores no Argissolo quando comparado ao Latossolo, isso se explica pelo baixo fornecimento de magnésio pela rocha no Latossolo e pela maior disponibilidade desse nutriente no Argissolo (Tabela 1), apresentando 70% a mais de magnésio trocável no solo.

Os teores de Zn da MS diferiram estatisticamente entre solos (Figura 10) e entre rochas apresentou diferença significativa apenas no Latossolo, com aplicação do pó de rocha originário do litotipo GT no Latossolo sendo o tratamento que proporcionou maiores teores de Zn na planta no segundo corte (Figura 11), em ambos os cortes os teores de Zn observados foram maiores no Latossolo, resultado este condizente com os teores disponíveis do solo, em que o Latossolo possui maior disponibilidade desse nutriente que o Argissolo, os teores de Zn na parte aérea da cultura no Argissolo se encontraram dentro da faixa de suficiência da cultura enquanto que no Latossolo se estavam acima dessa faixa.

Mesmo com o Argissolo apresentando disponibilidade de Zn considerada baixa ($<1 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo, para o sorgo forrageiro esse valor seria ideal, visto que foi possível manter em ambos os cortes teores na parte aérea da cultura dentro da faixa considerada adequada.

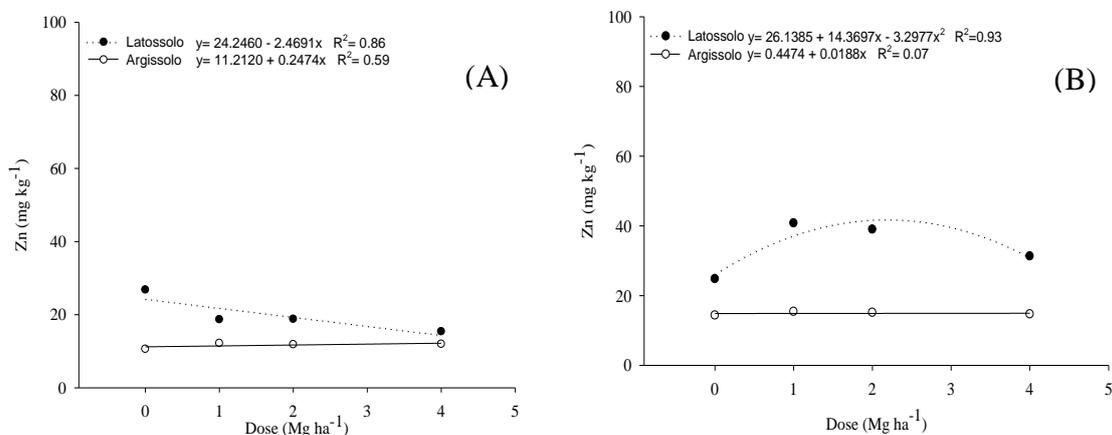


Figura 10- Teores médios de Zn na matéria seca do sorgo em função de doses de pó de rocha no Latossolo e Argissolo, A) 1ª corte e B) 2ª Corte. Fonte: Autor.

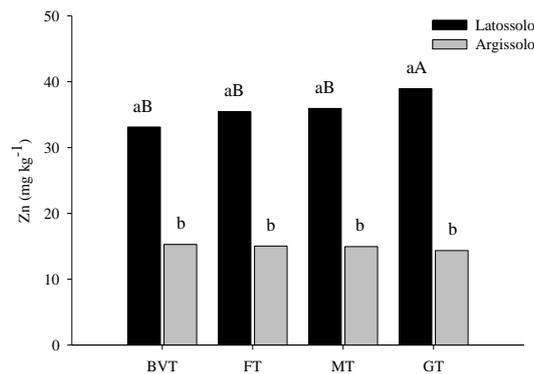


Figura 11- Teores Zn na matéria seca das fontes de pó de rocha no Latossolo e Argissolo 2^a corte (letra minúscula comparação entre solos e maiúscula entre fontes, a 5% de probabilidade).
Fonte: Autor.

No Latossolo os teores de Zn no primeiro corte e sua extração foram reduzidos com o aumento da dose de pó de rocha aplicada (Figura 12A). Mesmo possuindo Zn na constituição da rocha, provavelmente esse nutriente não foi liberado, e como visto na figura 3, essas fontes elevaram o pH do solo, essa elevação de pH pode ter reduzido a disponibilidade de Zn no solo, ocasionando sua redução nos teores na parte aérea da cultura com as crescentes doses de pó de rocha. O teor de Zn no solo se reduz com o aumento do pH pelo aumento da intensidade da sua adsorção através de complexos de esfera interna, devido a menor competição com o hidrogênio (PEREIRA *et al.*, 2007), o qual reduz sua solubilidade e o retém fortemente, principalmente em solos argilosos (RAIJ, 2017). Isso explica a diferença significativa entre o Latossolo, mais arenoso, e o Argissolo, mais argiloso. Resultados similares tem sido verificado em folhas de milho, onde o aumento da saturação de bases e do pH reduziram os teores de Zn (GONÇALVES *et al.*, 2018).

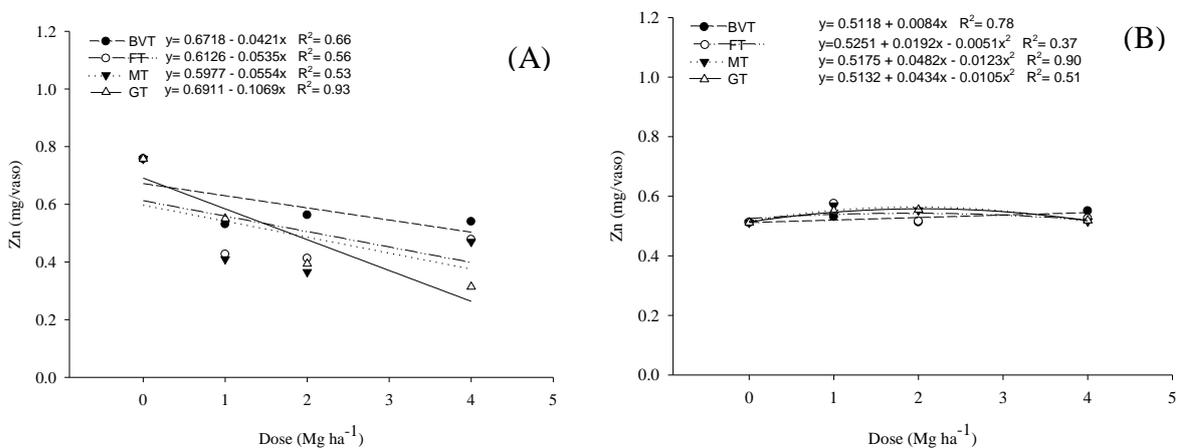


Figura 12- Extração de zinco pela parte aérea do sorgo (dois cortes) no Latossolo (A) e Argissolo (B), respectivamente. Fonte: Autor.

Em relação ao Mn os teores na MS apresentaram diferença significativa entre solos, fontes, doses e suas interações, nos dois cortes do sorgo (Tabela 6 e 7). Esses teores foram superiores no Argissolo aos do Latossolo, (médias de 78,16 e 59,54; 134,02 e 58,99, primeiro e segundo corte, respectivamente). No Latossolo os teores aumentaram com as doses do pó de rocha da BVT e do FT, enquanto que nas fontes MT e GT os teores foram menores e permaneceram praticamente estáveis (Figura 13A e C). Isso se deve por esses dois litotipos apresentarem as maiores concentrações do Mn em sua constituição 1,31 g kg⁻¹ na BVT e 1,28 g kg⁻¹ no FT, enquanto as outras fontes (MT e GT) possuíam concentrações bem mais baixas, 0,38 g kg⁻¹ e 0,41 g kg⁻¹, respectivamente. Em ambos os solos em todos tratamentos a MS do sorgo apresentou teores adequados ou acima nível crítico de suficiência (entre 35 e 70 mg kg⁻¹) indicados por Cantarutti *et al.* (2007).

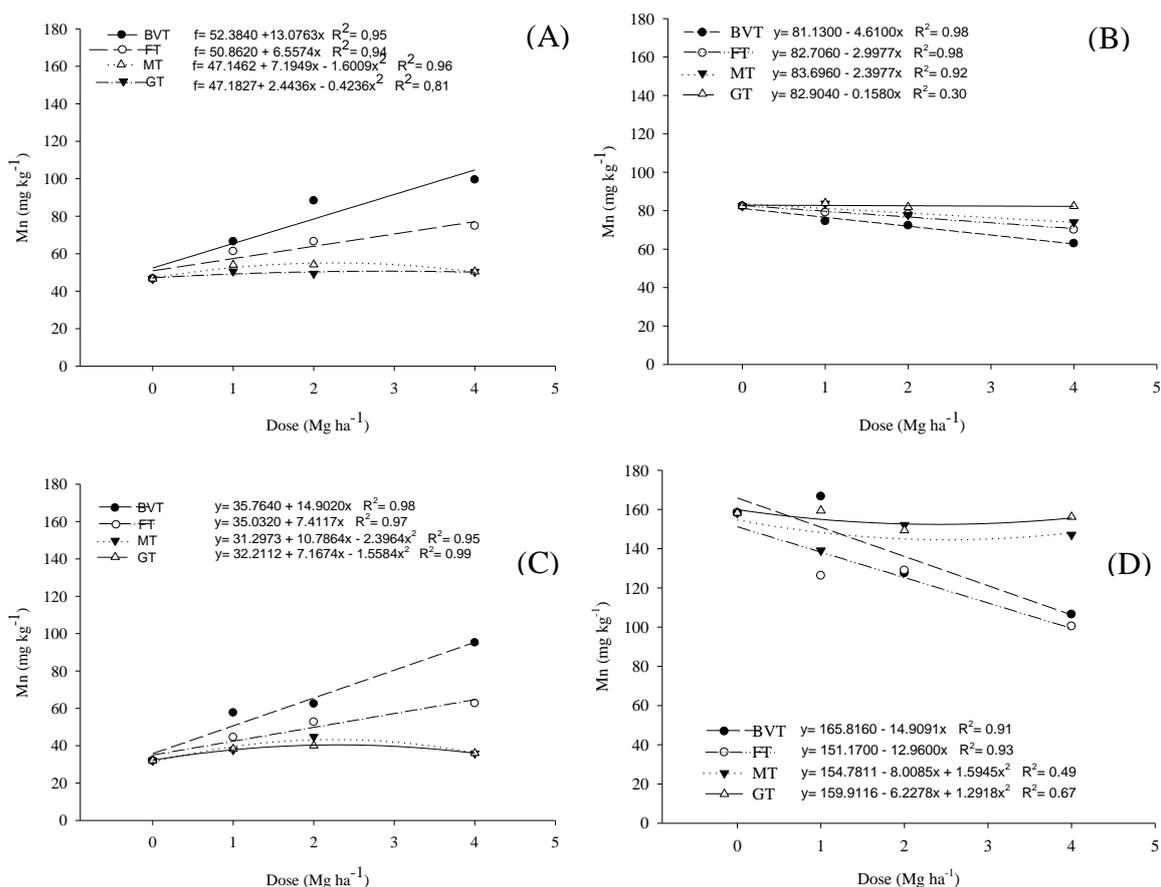


Figura 13- Teores de manganês da parte aérea do sorgo no primeiro corte (A e B, Latossolo e Argissolo, respectivamente), e no segundo corte (C e D, Latossolo e Argissolo, respectivamente). Fonte: Autor.

No Argissolo verificou-se redução dos teores de Mn com o aumento da dose do pó de rocha (Figura 13B e D), esse fato provavelmente se deve a menor disponibilidade desse nutriente com o aumento do pH (RAIJ, 2017). O pH tem grande influência na liberação dos

cátions da estrutura cristalina da rocha para o solo, sendo mais rápida em ambientes ácidos (CASEY; BUNKER, 1990), com dissolução de minerais mínima em pH próximo a neutralidade (HARLEY; GILKES, 2000). A diferença de teores de Mn na MS entre solos, é explicada pela diferente disponibilidade de Mn nos solos, pois o Latossolo inicialmente apresentava baixa disponibilidade ($1,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e o Argissolo disponibilidade média ($7,5 \text{ mg dm}^{-3}$).

As doses de BVT e FT elevaram consideravelmente a extração de Mn pela cultura no Latossolo, com a dose máxima elevando em 1,5 e 0,5 mg/vaso com BVT e FT, respectivamente (Figura 14). Esses resultados sugerem que os litotipos utilizados na rochagem, podem servir como fontes de Mn, principalmente a BVT e FT que possuem os maiores teores.

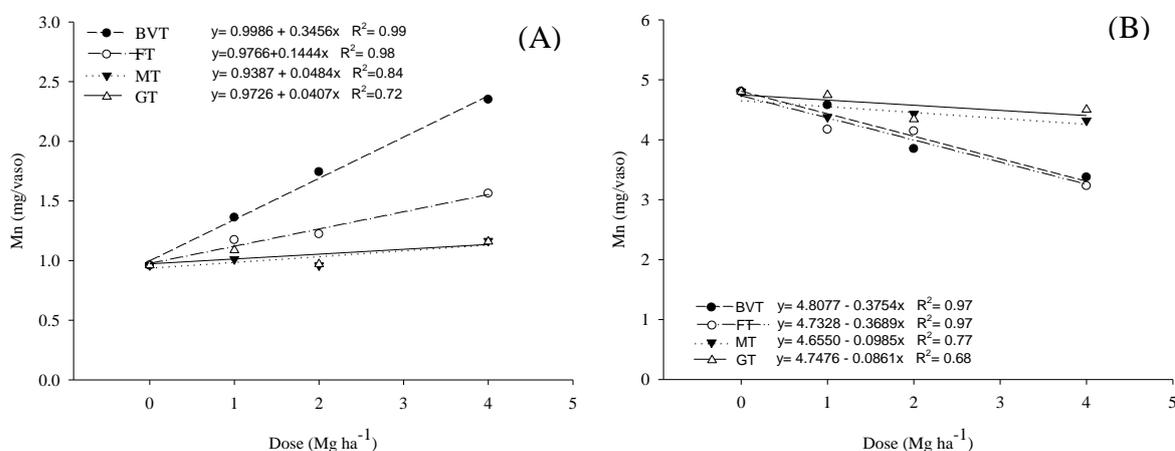


Figura 14- Extração de Mn pela parte aérea do sorgo (dois cortes) no Latossolo (A) e Argissolo (B), respectivamente. Fonte: Autor.

Os teores de Fe na MS do sorgo no Latossolo foram superiores aos do Argissolo nos dois cortes, com valores ligeiramente inferiores ao nível adequado no Latossolo, enquanto que na MS do Argissolo os teores estiveram entre 43 e 15% do limite inferior da faixa considerada adequada, indicando que nesse solo a produção de MS foi limitada pela deficiência de Fe, entre outros nutrientes. Comportamento coerente com a análise de disponibilidade de ferro indicada na tabela 3, disponibilidade média no Latossolo ($24,64 \text{ mg dm}^{-3}$, entre $15\text{-}40 \text{ mg dm}^{-3}$) e baixa no Argissolo ($3,20 \text{ mg dm}^{-3}$, $<15 \text{ mg dm}^{-3}$).

No primeiro corte, independentemente da fonte utilizada o acréscimo das doses de pó de rocha no Latossolo aumentou os teores de Fe na MS (Figura 15A), entretanto esse aumento não foi suficiente para atingir a faixa considerada adequada. Contrariamente, no Argissolo ocorreu uma tendência de redução do teor de Fe na MS, com as maiores doses (Figura 15B). A diferença de comportamento entre solos também é explicada pela diferença de pH desses solos. O comportamento antes indicado sugere que o Fe presente no pó de rocha não é

disponível, pelo menos a curto prazo, uma vez que os quatro litotipos utilizados são relativamente bem providos de Fe total, entre 17 e 30 g kg⁻¹ (Tabela 2).

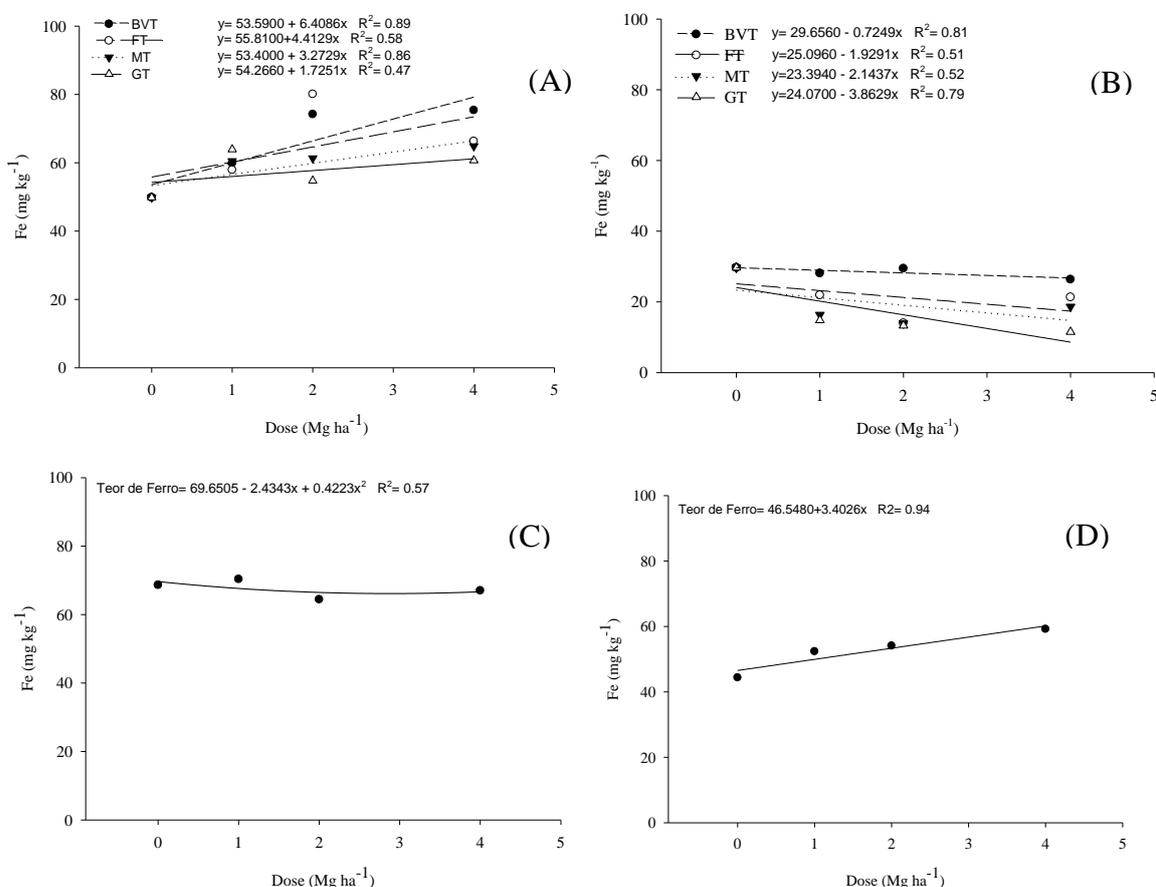


Figura 15- Teores de ferro da parte aérea do sorgo no primeiro corte (A e B, Latossolo e Argissolo, respectivamente), e no segundo corte (C e D, Latossolo e Argissolo, respectivamente). Fonte: Autor.

Os teores de Cu na MS de todos os tratamentos no primeiro corte apresentaram teores entre 0,97 e 2,98 mg kg⁻¹ para o Latossolo e entre 2,43 e 3,58 mg kg⁻¹ no Argissolo, valores estes que sugerem forte deficiência desse nutriente na cultura, que limitaram o desenvolvimento do sorgo. Segundo Cavalcante *et al.* (2018) na ordem da demanda por macro e micronutriente para a cultura de sorgo, o Cu é o nutriente menos exigido. O Argissolo mesmo apresentando disponibilidade de Cu considerada média, não forneceu Cu suficiente para a cultura, pois a mesma teve teores abaixo dos considerados adequados para a cultura (10 a 30 mg kg⁻¹).

No Latossolo a ordem decrescente dos teores de micronutrientes presentes na MS do sorgo forrageiro estudados foi: Fe>Mn>Zn>Cu, e para o Argissolo foi de Mn>Fe>Zn>Cu, sequência diferente da indicada para a cultura do sorgo (Fe>Mn>Cu>Zn) e exigida pelas principais culturas brasileiras (MALAVOLTA, 2006). Em alguns trabalhos têm-se encontrado na parte aérea do sorgo teores de Fe>Mn e Zn>Cu (FRANCO, 2011). Isto reforça o indicado

anteriormente de que os litotipos não disponibilizaram Fe e Cu no período de estudo para o desenvolvimento das plantas de sorgo, enquanto que disponibilizaram Mn e Zn que não limitaram o desenvolvimento da cultura por estarem na faixa adequada.

4.2.3 Teores de metais pesados na cultura

Os teores de As, Hg, Cd, Pb e Cr presentes na constituição dos litotipos utilizados na rochagem, apresentaram-se em níveis bem abaixo do considerado limite máximo para remineralizadores (BRASIL, 2016), nessa normatização o As possui limite máximo tolerado de 15 ppm e Hg de 0,1 ppm, nos litotipos avaliados esses elementos não foram detectados nas análises. O litotipo com maior concentração de cádmio (0,18 ppm) também possui concentração dentro da faixa aceitável (<10 ppm). Com valor de 2,51 ppm como maior concentração entre os litotipos o chumbo ficou bem abaixo do limite máximo permitido (200 ppm), essa instrução normativa não possui limites para o cromo.

A composição média mundial de metais de todas as partes de todas as plantas é de 0,05, 1,0, 1,5 e 0,1 mg kg⁻¹ para cádmio, chumbo, cromo e arsênio, respectivamente (DUNN, 2007). Comparando a esses valores aos teores encontrados na parte aérea do sorgo, eles apresentam média abaixo da encontrada nos tecidos das plantas a nível mundial enquanto que o valor máximo ficou acima dessa média (Tabela 9).

Os baixos teores presentes nos litotipos explicam a presença de metais pesados em baixas concentrações na parte aérea do sorgo estando estes abaixo da média encontrada em outras culturas, sugerindo com isso que pode não ter ocorrido liberação desses metais para o solo e se liberado, foi em quantidades muito baixas que não afetaram o desenvolvimento da cultura.

Tabela 9- Estatística descritiva dos teores de metais pesados na parte aérea do sorgo, submetido a aplicação de doses de pó de rocha de diferentes fontes em Latossolo e Argissolo

Metal	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Cd	0,037	0,025	<0,05	0,55	0,074
Pb	0,839	0,807	0,315	1,4	0,269
Cr	0,703	0,38	<0,05	7,36	2,290
As	0,063	0,027	<0,05	1,45	0,275

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÕES

A rochagem com pó de brecha vulcânica, foiaito, metapiroxenito e metagrabonorito foram pouco eficientes como corretivo da acidez do solo e no fornecimento dos nutrientes K, P, Ca, Fe, Zn e Cu.

Os litotipos brecha vulcânica, foiaito, metapiroxenito e metagrabonorito, apresentam potencial para serem utilizados como fonte de manganês, sendo maior na brecha vulcânica e foiaito do que os demais litotipos.

Todos os litotipos apresentaram altos teores de ferro total, entretanto não está disponível para planta no curto período de tempo de cultivo utilizado.

As plantas desenvolvidas em solos com aplicação de pó de rocha desses litotipos, não acumulam metais pesados em sua matéria seca e apresentam teores médios similares aos de outras culturas desenvolvidas em condições normais sem rochagem.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ VENEGAS, V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem, In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 a aproximação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1999.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Estatísticas Indicadores**. São Paulo: ANDA, 2017. Disponível em: <http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>. Acesso em: 23 jan. 2018a.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Mercado de Fertilizantes – Janeiro-Dezembro/2017**. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2018b.
- ASSIS, L.B. *et al.* Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa e sustentável. In: **II Congresso Brasileiro de Rochagem**. 2, 2013, Poços de Caldas (MG), 2013. Resumos. p. 45.
- BARBOSA, L. O. **Avaliação da biossolubilização de potássio a partir de agrominerais empregando fungos filamentosos**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. 2010. Potássio Cálcio Magnésio na Agricultura Brasileira. IN: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010.
- BRASIL- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 10 DE MARÇO DE 2016. Regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. **Diário oficial da união- Seção 1**. Nº 49, 14 de março de 2016.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- CARVALHO, A. M. X. **Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo**: Sustentabilidade e inovação no campo. Minas Gerais, 2013, 234p.
- CASEY, W. H.; BUNKER, B. Leaching of mineral and glass surfaces during dissolution. IN: HOCELLA, M. F. JR.; WHITE, A. F. (eds). **Mineral-Water Interface Geochemistry**. Ver, Min, Mineralogical Society of America, Washington, 1990.
- CAVALCANTE, D. H. A. **Complexo máfico-ultramáfico Estratiforme de Tucunduba (CMUET)**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Curso de Geologia, Fortaleza, 2016.

CAVALCANTE, T. J.; CASTOLDI, G.; RODRIGUES, C. R.; NOGUEIRA, M. M.; ALBERT, A. M. Macro and micronutrients uptake in biomass sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 48, n. 4, p. 364-373, 2018.

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

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

DUNN, C. E. New Perspectives on Biogeochemical Exploration. IN: MILKEREIT, B. **Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration**, 2007.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; GONDIM, A. R. O. Crescimento e nutrição do sorgo (cv, BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de biologia e ciências da terra**, Vol. 8, nº 2, 2008.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011, 78 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-Árido, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes, 2011.

FYFE, W.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without Revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2006.

GONÇALVES, F. A. R.; XAVIER, F. O.; SILVA, R. R.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; NOVAIS, R. F. Influência da saturação por bases do solo sobre a disponibilidade e absorção de zinco. **Cultura Agrônômica**. Ilha Solteira, v.27, n.2, p.262-272, 2018.

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

HERING, J. G.; STUMM, W. Oxidative and reductive dissolution of minerals. IN: Hochella MF and White AF (eds) *Mineral Water Interface Geochemistry*. Rev Min 23, pp 427–465, **Mineralogical Society of America**, Washington, 1990.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 08 jan. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará. **Boletim técnico nº 28**. Recife-PE, 1973.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. IN: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás, 2009.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S. E.; KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos, In: **Anais 29 Congresso Brasileiro de Geologia**. Belo Horizonte, 1976.

MALAVOLTA, E. O Futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. *Informações Agronômicas*. **International Plant Nutrition Institute**. São Paulo, n. 121:1-10, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 2006.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. I Congresso Brasileiro de Rochagem, Brasília, DF, **Anais...** EMBRAPA Cerrados Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrado, 2010.

MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. Agrominerais - Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. IN: LUZ, A. B.; LINS, F. F., eds. **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008.

MARTINS, V.; SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; LEITE, M. C. A.; MARTINS, E. S.; GONÇALVES, A. S. F.; GUILHERME, L. R. G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 39:194-204, 2015.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta amazônica**. v. 42(4), 2012.

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**. 2016.

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**, 2014.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2012.

PEREIRA, N. M. Z.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L. Disponibilidade de Zinco para o milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. V.6, n.3, p. 273-284, 2007.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. Ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2017, 420 p.

RAMOS, C. G.; QUEROL, X.; OLIVEIRA, M. L. S.; PIRES, K.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, L. F. S. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. **Science of the Total Environment**. 2015.

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço & Geografia**. Vol. 9. Nº 1. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34:891897, 2010.

RODRIGUES, A.F.S.; FONSECA, D.S.; HIDER, 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, 2010, 380p.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, M. S.; GOMES, T. C. Adubação nitrogenada e potássica na nutrição e na extração de macronutrientes pelo sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. V.14, n.1, p. 10-22, 2015.

SÉKULA, C. R. **Rochagem e biofertilizantes como fontes de nutrientes para grandes culturas: efeitos na produtividade e no solo**. Dissertação (mestrado em agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR, 2011.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 627 p. 2. Ed. Revisada e ampliada - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 12, 1495-1508 p. 2001.

SILVA, V. N. **Interação de micro-organismos na solubilização de fósforo e potássio de rochas para a produção de biofertilizantes**. Tese (Doutorado em biotecnologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2013.

SOARES, E. R.; COUTINHO, E. L. M. RAMOS, S. B.; SILVA, M. S.; BARBOSA, J. C. Accumulation of dry matter and macronutrients in sweet sorghum cultivars. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 35, n. 6, p. 3015-3030, nov./dez. 2014.

SOUZA, A. E.; FONSECA, D. S. 2009. **Economia Mineral do Brasil: Fósforo Mineração para o Agronegócio**. DNPM, 7. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteúdo.asp>.>. Acesso em: 23 out. 2017.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

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

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**. Brasília, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**. p. 1390-1407, 2012.

USEPA - US Environmental Protection Agency. Method 3050B. 1998. Disponível em : <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf> . Acesso em: 9 Julho. 2018.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, 2006.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**. 49:123-128, 1992.

APÊNDICE A- MÉDIAS DOS TEORES DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO CORTE)

Teores de nutriente da parte aérea											
Solo	Fonte	Dose	Fosforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Zinco	Manganês	Ferro	Cobre	Molibdênio
		Mg ha⁻¹	g/kg					mg/kg			
S1	TEST	0	3,68	12,81	0,46	3,11	26,82	46,67	49,83	1,92	0,94
	BVT	1	3,53	11,95	0,50	3,39	21,58	66,55	59,84	1,87	0,49
	BVT	2	3,56	12,97	0,58	4,08	23,23	88,33	74,18	2,98	0,59
	BVT	4	3,55	12,43	0,69	4,13	19,75	99,52	75,38	1,91	0,75
	FT	1	3,68	12,75	0,50	3,51	19,20	61,31	57,91	1,76	1,14
	FT	2	4,09	13,93	0,49	3,48	18,60	66,54	80,09	2,83	0,90
	FT	4	4,09	14,10	0,47	3,48	17,03	74,84	66,32	1,34	0,63
	MT	1	4,12	13,45	0,43	3,66	16,33	54,01	60,52	2,07	0,56
	MT	2	3,93	12,93	0,51	3,29	17,87	54,18	61,33	1,57	0,62
	MT	4	3,42	11,47	0,50	2,98	12,43	50,48	64,85	1,49	0,53
	GT	1	3,85	12,12	0,48	3,10	17,67	50,57	63,90	1,35	0,46
	GT	2	3,61	11,45	0,52	3,01	15,47	49,35	54,75	0,97	0,39
	GT	4	3,58	11,52	0,55	3,23	12,42	50,36	60,68	1,70	0,68
Nível Crítico			4,5	13-30	2--9	2,5--4	10--25	35--70	70--85	10--30	0,1-0,3
S2	TEST	0	2,24	13,27	1,61	3,13	10,60	82,39	29,68	3,34	0,95
	BVT	1	2,21	13,73	1,74	3,22	10,90	74,59	28,09	2,51	0,88
	BVT	2	2,36	13,97	1,59	3,24	11,31	72,30	29,44	3,77	1,27
	BVT	4	2,16	13,00	1,62	3,18	11,43	62,98	26,35	3,25	1,67
	FT	1	2,28	13,84	1,66	3,00	11,91	79,15	21,91	3,22	1,08
	FT	2	2,20	14,19	1,76	3,17	10,49	78,19	14,00	3,02	1,38
	FT	4	2,21	14,29	1,67	3,13	12,51	70,13	21,32	3,11	1,45
	MT	1	2,18	13,47	1,65	3,19	13,52	83,73	16,37	3,22	0,76
	MT	2	2,21	13,73	1,60	3,15	11,47	77,89	13,90	3,58	0,77
	MT	4	2,21	13,61	1,74	3,22	11,45	74,01	18,66	2,77	0,43
	GT	1	2,44	13,40	1,79	3,21	12,41	83,91	14,79	2,48	0,58
	GT	2	2,46	13,52	1,64	3,24	14,15	81,87	13,27	2,46	0,94
	GT	4	2,27	13,39	1,57	3,18	12,43	82,35	11,51	2,43	1,01
Nível Crítico			4,5	13-30	2--9	2,5--4	10--25	35--70	70--85	10--30	0,1-0,3

APÊNDICE B- MÉDIAS DOS EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO CORTE)

Nutrientes Extraídos											
Solo	Fonte	Dose	Fosforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Zinco	Manganês	Ferro	Cobre	Molibdênio
		Mg ha ⁻¹									
S1	TEST	0	0,060	0,212	0,008	0,054	1,163	0,774	1,335	0,032	0,016
	BVT	1	0,059	0,204	0,009	0,058	0,368	1,135	1,020	0,032	0,008
	BVT	2	0,054	0,201	0,009	0,063	0,360	1,369	1,150	0,046	0,009
	BVT	4	0,063	0,224	0,013	0,074	0,356	1,794	1,359	0,034	0,013
	FT	1	0,064	0,222	0,009	0,061	0,335	1,068	1,009	0,031	0,019
	FT	2	0,065	0,223	0,008	0,056	0,298	1,066	1,283	0,045	0,014
	FT	4	0,069	0,239	0,008	0,059	0,288	1,267	1,123	0,023	0,010
	MT	1	0,066	0,217	0,007	0,059	0,263	0,871	0,976	0,033	0,009
	MT	2	0,063	0,208	0,008	0,053	0,288	0,873	0,988	0,025	0,010
	MT	4	0,063	0,212	0,009	0,055	0,230	0,934	1,199	0,028	0,009
	GT	1	0,068	0,215	0,008	0,051	0,313	0,895	1,131	0,024	0,009
	GT	2	0,063	0,202	0,009	0,050	0,272	0,869	0,964	0,017	0,010
GT	4	0,065	0,212	0,010	0,056	0,229	0,927	1,118	0,031	0,010	
S2	TEST	0	0,054	0,325	0,039	0,077	0,259	2,015	0,726	0,082	0,023
	BVT	1	0,052	0,326	0,041	0,077	0,259	1,773	0,668	0,060	0,020
	BVT	2	0,053	0,318	0,036	0,074	0,258	1,647	0,671	0,086	0,029
	BVT	4	0,053	0,321	0,040	0,076	0,282	1,554	0,650	0,080	0,041
	FT	1	0,055	0,337	0,040	0,073	0,290	1,928	0,534	0,079	0,026
	FT	2	0,053	0,344	0,043	0,077	0,255	1,898	0,340	0,073	0,033
	FT	4	0,050	0,322	0,038	0,070	0,282	1,581	0,481	0,070	0,032
	MT	1	0,052	0,322	0,039	0,073	0,324	2,004	0,392	0,077	0,018
	MT	2	0,048	0,299	0,035	0,065	0,250	1,699	0,303	0,078	0,016
	MT	4	0,052	0,322	0,041	0,076	0,271	1,749	0,441	0,066	0,010
	GT	1	0,055	0,306	0,041	0,077	0,284	1,919	0,338	0,057	0,013
	GT	2	0,055	0,306	0,037	0,073	0,320	1,851	0,300	0,056	0,021
GT	4	0,051	0,303	0,036	0,069	0,281	1,864	0,261	0,055	0,022	

APÊNDICE C- MÉDIAS DOS TEORES DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (SEGUNDO CORTE)

Análise Parte Aérea										
Solo	Fonte	Dose	Potássio	Fósforo	Cálcio	Magnésio	Zinco	Manganês	Ferro	Cobre
		Mg ha ⁻¹								
S1	TEST	0	16,57	10,77	0,31	2,34	24,79	32,06	68,64	1,04
	BVT	1	29,10	8,29	0,30	2,77	39,48	57,69	68,51	<0,5
	BVT	2	25,10	7,29	0,27	2,96	35,56	62,47	57,07	<0,5
	BVT	4	24,80	7,37	0,43	2,79	32,64	95,18	68,58	<0,5
	FT	1	35,20	8,78	0,28	2,21	39,03	44,54	85,13	<0,5
	FT	2	35,30	11,61	0,30	2,57	37,25	52,70	59,67	1,51
	FT	4	29,03	11,86	0,31	2,77	40,65	62,75	63,34	<0,5
	MT	1	30,83	8,67	0,30	2,75	37,91	37,69	63,31	<0,5
	MT	2	37,43	8,64	0,32	2,05	38,85	44,80	68,20	0,59
	MT	4	23,53	8,51	0,28	2,84	35,44	35,86	75,58	0,98
	GT	1	30,63	9,35	0,28	2,44	43,4	38,25	64,51	<0,5
	GT	2	36,70	9,27	0,30	2,24	44,40	39,99	72,81	<0,5
GT	4	21,67	17,10	0,27	3,02	43,18	36,01	60,54	4,53	
Nível crítico			13-30	4,5	2-9	2,5-4	10-25	35-70	70-85	10-30
S2	TEST	0	12,30	2,98	1,61	4,01	14,36	158,26	44,38	2,12
	BVT	1	13,97	3,19	1,62	3,97	16,13	166,65	58,88	2,76
	BVT	2	13,33	3,18	1,65	4,18	14,81	127,51	55,86	2,36
	BVT	4	13,20	3,45	1,52	4,24	15,79	106,49	67,96	2,05
	FT	1	13,63	3,52	1,56	4,17	16,02	126,28	55,55	2,34
	FT	2	13,83	3,27	1,63	4,10	14,94	128,99	55,57	3,04
	FT	4	13,53	3,57	1,44	3,90	14,87	100,46	64,94	1,87
	MT	1	12,87	3,44	1,51	3,95	14,48	139,09	49,92	2,55
	MT	2	12,80	3,35	1,56	3,76	16,91	152,11	50,69	1,11
	MT	4	12,90	3,27	1,48	3,83	14,08	147,22	55,15	2,20
	GT	1	13,00	3,40	1,55	3,95	15,04	159,38	45,19	2,03
	GT	2	12,77	3,23	1,55	3,75	13,93	149,33	54,22	2,18
GT	4	13,33	3,34	1,51	3,85	14,05	156,22	48,73	2,64	
Nível crítico			13-30	4,5	2-9	2,5-4	10-25	35-70	70-85	10-30

APÊNDICE D- MÉDIAS DOS EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA PARTE AÉREA DO SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS DISTINTOS (SEGUNDO CORTE)

Nutrientes Extraídos										
Solo	Fonte	Dose	Potássio	Fosforo	Cálcio	Magnésio	Zinco	Manganês	Ferro	Cobre
		Mg ha ⁻¹	g/vaso			mg/vaso				
S1	TEST	0	0,097	0,063	0,002	0,014	0,145	0,188	0,402	0,032
	BVT	1	0,123	0,035	0,001	0,012	0,166	0,243	0,288	0,032
	BVT	2	0,148	0,043	0,002	0,017	0,210	0,368	0,336	0,046
	BVT	4	0,143	0,043	0,002	0,016	0,189	0,550	0,396	0,034
	FT	1	0,084	0,021	0,001	0,005	0,093	0,106	0,202	0,031
	FT	2	0,112	0,037	0,001	0,008	0,118	0,168	0,190	0,045
	FT	4	0,140	0,057	0,001	0,013	0,195	0,302	0,304	0,023
	MT	1	0,122	0,034	0,001	0,011	0,150	0,149	0,251	0,033
	MT	2	0,058	0,013	0,000	0,003	0,076	0,085	0,106	0,025
	MT	4	0,161	0,058	0,002	0,019	0,242	0,245	0,472	0,028
	GT	1	0,153	0,047	0,001	0,012	0,234	0,192	0,323	0,024
	GT	2	0,105	0,027	0,001	0,006	0,127	0,114	0,208	0,017
	GT	4	0,143	0,113	0,002	0,020	0,087	0,238	0,332	0,031
S2	TEST	0	0,217	0,052	0,028	0,071	0,253	2,786	0,781	0,082
	BVT	1	0,236	0,054	0,027	0,067	0,273	2,817	0,995	0,060
	BVT	2	0,230	0,055	0,028	0,072	0,256	2,204	0,966	0,086
	BVT	4	0,226	0,059	0,026	0,073	0,270	1,821	1,162	0,080
	FT	1	0,243	0,063	0,028	0,074	0,285	2,247	1,047	0,079
	FT	2	0,243	0,057	0,029	0,072	0,262	2,263	0,975	0,073
	FT	4	0,221	0,058	0,024	0,064	0,242	1,638	1,059	0,070
	MT	1	0,219	0,059	0,026	0,067	0,247	2,371	0,851	0,077
	MT	2	0,230	0,060	0,028	0,067	0,304	2,732	0,910	0,078
	MT	4	0,225	0,057	0,026	0,067	0,246	2,569	0,963	0,066
	GT	1	0,232	0,061	0,028	0,070	0,268	2,840	0,805	0,057
	GT	2	0,213	0,054	0,026	0,063	0,233	2,495	0,906	0,056
	GT	4	0,226	0,056	0,025	0,065	0,238	2,642	0,768	0,055

**APÊNDICE E- MÉDIAS DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DO SORGO
FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DOIS SOLOS
DISTINTOS (PRIMEIRO E SEGUNDO CORTE)**

Aplicação de pó de rocha				
Solo	Fonte	Dose (Mg ha⁻¹)	1ª Corte	2ª Corte
			g/vaso	
S1	TEST	0	16,58	5,86
	BVT	1	17,05	4,21
	BVT	2	15,50	5,90
	BVT	4	18,03	5,78
	FT	1	17,43	2,38
	FT	2	16,02	3,18
	FT	4	16,93	4,81
	MT	1	16,13	3,96
	MT	2	16,11	1,55
	MT	4	18,49	6,84
	GT	1	17,70	5,01
	GT	2	17,60	2,86
GT	4	18,42	6,61	
S2	TEST	0	24,46	17,60
	BVT	1	23,77	16,90
	BVT	2	22,78	17,29
	BVT	4	24,68	17,10
	FT	1	24,36	17,79
	FT	2	24,28	17,55
	FT	4	22,54	16,31
	MT	1	23,93	17,05
	MT	2	21,81	17,96
	MT	4	23,63	17,45
	GT	1	22,87	17,82
	GT	2	22,60	16,71
GT	4	22,64	16,91	

**APÊNDICE F- MÉDIAS DE TEORES DE METAIS PESADOS DA PARTE AÉREA DO
SORGO FORRAGEIRO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E PÓ DE ROCHA
EM DOIS SOLOS DISTINTOS (PRIMEIRO E SEGUNDO CORTE)**

Teores de metais na parte aérea						
Solo	Fonte	Dose	Cádmio	Chumbo	Cromo	Arsênio
		Mg ha ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----			
S1	TEST	0	0,10	0,71	3,01	0,22
	BVT	1	0,04	0,68	0,50	0,46
	BVT	2	0,11	0,81	<0,05	0,46
	BVT	4	0,30	0,75	<0,05	0,39
	FT	1	0,04	0,90	<0,05	0,26
	FT	2	0,04	0,87	<0,05	0,14
	FT	4	0,05	0,54	<0,05	0,21
	MT	1	0,04	0,88	<0,05	<0,05
	MT	2	0,03	0,85	<0,05	<0,05
	MT	4	0,04	0,80	<0,05	<0,05
	GT	1	0,04	0,85	<0,05	<0,05
	GT	2	0,04	0,82	<0,05	<0,05
	GT	4	0,04	0,91	<0,05	<0,05
S2	TEST	0	0,00	1,20	2,77	0,14
	BVT	1	0,01	1,06	1,82	<0,05
	BVT	2	0,01	1,26	4,01	<0,05
	BVT	4	0,00	1,28	4,72	<0,05
	FT	1	0,01	1,24	2,78	0,14
	FT	2	0,00	1,20	3,09	0,11
	FT	4	0,01	1,02	2,28	0,24
	MT	1	0,02	0,63	1,13	0,29
	MT	2	0,01	0,46	1,21	<0,05
	MT	4	0,01	0,46	0,34	<0,05
	GT	1	0,01	0,49	0,37	<0,05
	GT	2	0,01	0,66	2,65	<0,05
	GT	4	0,02	0,52	2,03	<0,05