



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA

**PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE ADUBAÇÃO
COMPLEMENTAR NA CULTURA DO MILHO**

RYCHAELLEN SILVA DE BRITO

RIO BRANCO, AC
ABRIL/2019

RYCHAELLEN SILVA DE BRITO

**PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE ADUBAÇÃO
COMPLEMENTAR NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

Orientador: Dr. JOSIMAR BATISTA FERREIRA

Co-orientador: Dr. MARCIO DE OLIVEIRA MARTINS

RIO BRANCO, AC
MABRIL/2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

B862p Brito, Rychaellen Silva de, 1996 -

Pó de rocha como fonte de adubação complementar na cultura do milho / Rychaellen Silva de Brito; orientador: Dr. Josimar Batista Ferreira e Co-orientador: Dr. Marcio de Oliveira Martins. – 2019.

55 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Ciência Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, 2019.

Inclui referências bibliográficas.

1. Produção. 2. Sustentabilidade. 3. Rochagem e agrominerais. I. Ferreira, Josimar Batista (orientador). II. Martins, Marcio de Oliveira (Co-orientador). III. Título.

CDD:
509

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA

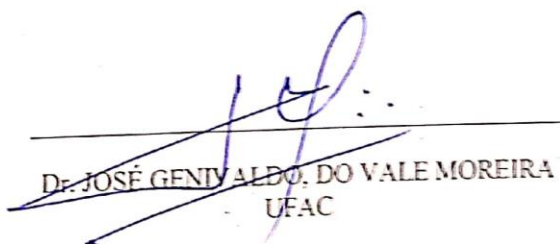
PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE ADUBAÇÃO
COMPLEMENTAR NA CULTURA DO MILHO

RYCHAELEN SILVA DE BRITO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 04/2019



Dr. JOSIMAR BATISTA FERREIRA
UFAC



Dr. JOSÉ GENIVALDO DO VALE MOREIRA
UFAC



Dr. LEONARDO PAULA DE SOUZA
UFAC

À minha avó Maria Araújo da Silva que enquanto viva, sempre foi minha base. Aos meus pais, Maria José da Silva de Brito e Sebastião Virgíneo de Brito, pelo o apoio nesta nova etapa e aos meus irmãos Rychardson Silva de Brito, Bruna Silva de Brito e Angello Francisco Silva de Brito.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me proporcionar a oportunidade de continuar na carreira acadêmica.

A minha família, em especial aos meus pais, que me incentivam diariamente a buscar novas metas para minha vida.

Aos meus orientadores desta pesquisa: Prof. Dr. Josimar Batista Ferreira e o Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins, por estarem sempre solidários mesmo com as dificuldades encontradas a campo.

Aos colegas que me ajudaram nas tentativas de campo, em especial: Jardel, Anderson, Luan, Fábio, Evaldo, Roni, Rosiney, Keilyson e Fiana. A minha amiga Helen, por me auxiliar na tradução do resumo. Ao Prof. Dr. Edson Araújo, pelo auxílio e correção da parte escrita para a etapa de qualificação. Ao Prof. Dr. Genivaldo Moreira pelo auxílio com a estatística. A todos os meus amigos que me motivam e me fazem querer sempre buscar o melhor para minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia da Amazônia e aos professores, e pelo apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Enfim, a todos que contribuem para o meu desenvolvimento e que me ajudam de forma direta ou indireta para alcançar o título de mestre.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

RESUMO

Uma adubação equilibrada é fundamental para o rendimento das plantas cultivadas e conseqüentemente, elevada produção. A rochagem está atualmente entre os temas mais relevantes nesse sentido. Por isso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adubação com pó de rocha sobre o desenvolvimento da cultura do milho (*Zae mays*), tendo como valores para adubação: 0; 3; 5; 7 e 9 t.ha⁻¹ e sendo avaliados aos 20, 40 e 60 dias após a emergência, dispostos em Delineamento em Blocos Casualizados. Para tal, foram avaliadas as características fisiológicas e ecofisiológicas, cujos dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), além das técnicas da análise de regressão para variáveis com níveis quantitativas. Os resultados do estudo convergiram para a conclusão de que: a rochagem apresenta nutrientes capazes de auxiliar no desenvolvimento da cultura; as avaliações de trocas gasosas não são expressivas para indicar um pleno favorecimento da cultura, da mesma forma, não apresenta restrição de uso. No tocante à transpiração, os resultados indicam a necessidade mais estudos quanto ao tempo de incorporação do material e para os parâmetros de produtividade. Recomenda-se, ainda, que a rochagem auxilia no desenvolvimento da cultura, sendo evidente que a adubação proporciona rendimento superior ao da testemunha. Em relação à alocação de biomassa, a rochagem indica maior equilíbrio nutricional.

Palavras-chave: Agrominerais, Intemperismo, Produção, Rochagem Solo e Sustentabilidade.

ABSTRACT

A balanced fertilization is critical to the yield of cultivated plants and high yield. Rocking is currently among the most relevant themes in this regard. Therefore, the present study had as objective to evaluate the effect of fertilization with rock dust on the development of corn crop (Zae mays) according to the fertilization value factors: 0; 3; 5; 7 and 9 t.ha-1 for 20, 40 and 60 days after emergence, according to the Design in Randomized Blocks. For this, the physiological and echophysiological characteristics were evaluated, and the data were submitted to analysis of variance and the means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$), as well as the regression analysis techniques for variables with quantitative levels . The results of the study converged to the conclusion that: the rock presents nutrients able to assist in the development of the crop; the gas exchange evaluations are not expressive the results that indicates the full favor of the culture, in the same way, it does not present restriction of use. Regarding the transpiration, the results indicate the need for more studies regarding the time of incorporation of the material and for the parameters of productivity. It is also suggested that the rocking assists in the development of the crop, being evident that the fertilization yields superior yield to the control. In relation to the biomass allocation, the rock indicates a greater nutritional balance.

Keywords: Production, Sustainability, Weathering, Soil, Rocking and Agrominerals

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Croqui da área experimental.....	34
Figura 2. Fotossíntese Líquida (A); Concentração Intercelular de CO ₂ (B); Condutância estomática (C) e Transpiração (D) realizado em todos os três períodos de avaliações, sendo: 20 dias (T1), 40 dias (T2) e 60 dias (3).....	36
Figura 3 Demonstrativo da variação da transpiração no decorrer das avaliações.....	38
Figura 4. Eficiência de Uso da Água (A) e Eficiência de Carboxilação (B) realizado em todos os três períodos de avaliações, sendo: 20 dias (T1), 40 dias (T2) e 60 dias (T3).....	39
Figura 5. Altura do milho para as diferentes doses de adubação.....	40
Figura 6. Massa seca das folhas (A) e massa seca da raiz (B) sobre diferentes dosagens.....	41
Figura 7. Massa seca do colmo nas diferentes dosagens.....	42
Figura 8. Alocação da biomassa das folhas (BMF), do colmo (BMC) e da raiz (BMR) em porcentagem.....	43

LISTA DE QUADROS E TABELAS

		Pág.
Tabela	Valor das Dosagens Utilizadas.....	28
1.		
Tabela	Principais características agronômicas do híbrido.....	29
2.		
Tabela	Análise química do solo utilizado nos vasos, camada de 0 a 20 cm...	30
3.		
Tabela	Condições climáticas registradas na área, no período do	
4.	experimento.....	30
Tabela	Percentual de elementos disponíveis na Rochagem.....	35edd
5.		

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1. Milho	15
2.2. Época de Plantio	16
2.2.1. Safrinha	16
2.3. Produção	17
2.4. Adubação	18
2.4.1. Macronutrientes.....	18
2.4.2. Micronutrientes	19
2.5. Rochagem	20
2.5.1. Histórico.....	20
2.5.2. Importância da rochagem.....	22
2.5.3. Vantagens e desvantagens da rochagem	23
2.5.4. Trabalhos que utilizaram o pó de rocha	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Área experimental	28
3.2. Material de Estudo	28
3.2.1. Pó de Rocha.....	28
3.3. Caracterização do Solo	29
3.4. Caracterização Cilmáticas	30
3.5. Delineamento Experimental	30
3.6. Implantação do Experimento.	31
3.7. Variáveis analisadas.	32
3.7.1. Mineralogia do Pó de Rocha	32
3.7.2. Caracteres ecofisiológicos dos Híbridos	32
3.7.3. Análise da Fisiologia dos Híbridos	33

3.7.3.1. Massa Seca	33
3.8. Análise Estatística.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1. Análise da Rochagem.....	35
4.2. Avaliação de Fotossíntese e Trocas Gasosas.....	36
4.3. Avaliação de Crescimento	40
4.4. Massa seca	41
5. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
APÊNDICE.....	54

1. INTRODUÇÃO

Sendo o terceiro cereal mais cultivado em todo o mundo, o milho (*Zea mays* L.) tornou-se o principal produto da base alimentar em diversos países. O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial de milho, com cultivo aproximado de 17,3 milhões de hectares para a safra 2016/2017, cuja produção aproximada é de 96 milhões de toneladas (CONAB, 2017a).

No país, o milho tem sido cultivado nas mais variadas condições edafoclimáticas (HARGER et al., 2007). Mas, para que este seja economicamente viável é indispensável que a disponibilidade hídrica e a adubação estejam em equilíbrio (PRIOR et al., 2015).

Uma adubação equilibrada desempenha papel fundamental para o aumento do rendimento das plantas cultivadas e, conseqüentemente, seus níveis de produção (HUANG et al., 2010; BAK e GAJ, 2016). A produtividade se sustenta na incorporação de insumos e técnicas, mas essas podem ser degradantes à natureza e à saúde humana e, com isso, é necessário desenvolver sistemas com base na agricultura sustentável (CAPELLESSO e CAZELLA, 2013).

Fertilizantes sintéticos aplicados ao solo podem ser perdidos rapidamente pelo processo de lixiviação, volatilização ou fixação. Entretanto, os adubos orgânicos e minerais, são liberados de forma gradual, disponibilizando os nutrientes por mais tempo no solo para suprir as necessidades dos vegetais, apresentando a vantagem de serem utilizados em menor quantidade no decorrer dos ciclos (NETO et al., 2016).

A adubação de origem orgânica ou mineral deve apresentar características que influenciem na absorção dos nutrientes, tais como a boa capacidade de troca catiônica, estabilidade física, esterilidade biológica e adequados pH, condutividade elétrica, teor de nutrientes, relação C/N, relação água/ ar, porosidade total, capacidade de retenção de água e drenagem, bem como, favorecer a atividade fisiológica das raízes (OLIVEIRA et al., 2008).

A rochagem está atualmente entre os temas mais relevantes nesse sentido. A técnica se baseia na utilização de pó de rocha como fornecedor de nutrientes e já existem diversos estudos sobre a exigência nutricional da planta, condições ambientais e exigência do solo para a sua aplicação (SOUZA, 2014, TOSCANI e CAMPOS 2017).

As rochas, ao sofrerem a ação do intemperismo, liberam nutrientes de forma gradual e geram argilas capazes de elevar a Capacidade de Trocas Catiônicas (CTC),

agindo no enriquecimento do solo, principalmente em solos tropicais, cuja ação da lixiviação constante reduz a fertilidade e deixa a CTC baixa. Além disso, a rochagem eleva o efeito residual (MARTINS et al., 2010).

Dentre as inúmeras vantagens para a aplicação de pó de rocha, pode-se destacar que sua utilização facilita o desempenho e a dinâmica dos fungos micorrízicos, promovendo melhor absorção dos nutrientes disponíveis ao solo, gerando simbiose benéfica para as plantas (EDWARD, 2016), além do fornecimento lento de macro e micronutrientes, o reequilíbrio do pH do solo e conseqüentemente, o aumento da reserva nutricional do solo (WELTER et al., 2011).

Neste contexto, o uso de rochas moídas é mais viável quando comparadas aos fertilizantes químicos, tendo como característica suprir as necessidades dos produtores orgânicos por elementos menos poluentes ao meio ambiente e ao homem, atendendo, portanto, as pessoas que tendem a buscar alimentos mais saudáveis e produzidos com menor impacto sobre o meio ambiente (BERGMANN et al., 2014).

Apesar das inúmeras vantagens que o uso de rochagem pode gerar ao meio ambiente, como favorecer o desenvolvimento vegetativo, a técnica ainda é pouco difundida entre os produtores (MANNING, 2010; JESUS et al., 2015). Neste sentido, é importante a disponibilização de novas técnicas, capazes de promover o avanço regional, além de outros benefícios socioeconômicos.

Por isso, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar o efeito da adubação com pó de rocha sobre o desenvolvimento vegetativo da cultura do milho (*Zae mays*). Estão também entre os objetivos do estudo: identificar a composição química do pó de rocha; testar a viabilidade agrônômica da rochagem como adubação complementar e avaliar o efeito das diferentes dosagens de pó de rocha no crescimento do milho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Milho

Pertencente à família *Poaceae*, originária da América do Norte, centro de origem genético no México, o milho (*Zea mays* L.) tornou-se um dos cereais mais cultivados em todo o mundo, cuja cultura é implementada em países com condições climáticas e de manejo diversas (SILVEIRA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2017).

Por isso, a cultura é de grande importância, sobretudo devido às inúmeras formas de utilização deste grão (PORTELA et al., 2016). Além de ser conhecido mundialmente como a principal fonte energética alimentar, o milho pode ser consumido também na forma *in natura*, seja para a alimentação humana ou animal, além da utilização na indústria, transformando-o em farinha, margarina, óleo e entre outros subprodutos (SILVEIRA et al., 2015).

Diante de tamanha utilidade e da crescente necessidade por energias renováveis, a cultura representa, adicionalmente, uma alternativa para a indústria de alta tecnologia, que busca sua utilização para a produção de biocombustíveis. Isso pode impulsionar a buscar por incrementos positivos de quantidade e qualidade de produção nas lavouras do milho (GUIMARÃES et al., 2017).

No Brasil, além de ser o principal cereal, é também o segundo grão mais produzido, perdendo apenas para a cultura da soja (ALMEIDA et al., 2017) e isso faz com que o país se destaque no contexto mundial, apresentando-se como o terceiro maior produtor com 92,2 milhões de toneladas, safra 2017/2018¹. Estados Unidos e China apresentam-se como os maiores produtores de milho (SANTOS et al., 2016; CONAB, 2017b).

No estado do Acre, o plantio da cultura se inicia em no mês de outubro e se estende até dezembro. A produção dos anos 2017/2018 apresentou alguns problemas, principalmente em razão do alto índice pluviométrico registrado na região, que pode ter sido o principal responsável pela redução de aproximadamente 2% da área plantada (CONAB, 2018).

Por sua importância, a cultura passa por mudanças tecnológicas, as quais impulsionam o desenvolvimento de novos híbridos com altos potenciais genéticos, melhorias na qualidade do solo, buscas de manejo adequado para cultura, implantando o sistema de rotação de cultura, plantio direto, melhoria do manejo de calagem e

utilização de adubação equilibrada, garantindo assim uma produtividade promissora a todos os agricultores (SILVA et al., 2017).

2.2. Época de Plantio

A produção nacional de milho ocorre em duas épocas distintas: primeiramente no verão, sendo o principal período produtivo da cultura; já a segunda, também conhecida como safrinha, se destaca pela ocorrência do plantio fora da época convencional (SANTOS et al., 2017a).

2.2.1. Safrinha

O cultivo safrinha destaca-se por ser realizado fora da época de plantio, caracterizando-se por utilizar áreas em que ocorreu plantio anterior, sobretudo de soja, ocorrendo entre os meses de janeiro e abril. Na região Centro-Sul, este método de cultivo é mais voltado para o desenvolvimento de pesquisas, cujo intuito é estudar a adaptação do mesmo a este tipo de cultivo (GUIMARÃES et al., 2017).

A semeadura da safrinha no começo de janeiro até meados de fevereiro apresenta melhores resultados no potencial produtivo da lavoura, cuja motivação pode estar associada à fase de florescimento e enchimento dos grãos, que ocorrerem em abril, marcados pelo final do período chuvoso (MARIZ et al., 2017).

Para as semeaduras tardias, registradas entre o final de fevereiro e início de março, os riscos associados à perda de produção são maiores, pois as fases caracterizadas pelo florescimento e enchimento dos grãos ocorrerão no período de deficiência hídrica, quando capacidade de retenção de água pelo solo é envolta de maiores dificuldades e, portanto, a definição da época de semeadura é crucial para uma boa produção (COSTA et al., 2017b)

A safrinha representa o período de maior produção de milho no Brasil, isso se dá através da reutilização de áreas em sucessão à soja. Essa rotação de cultura traz benefícios em longo prazo, aumentando a sustentabilidade do sistema de cultivo (MARIZ et al., 2017). Tais vantagens são expressas quando para a produção da safra e da safrinha, sendo que a safrinha apresenta 70% de toda a produção nacional, cerca de 67,17 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2017b).

Para que na safrinha a cultura do milho tenha bom desenvolvimento é necessário adequar o solo de modo que o mesmo permita que o sistema radicular da planta se desenvolva em maiores profundidades, pois se o solo apresenta tal característica, a

planta consegue aumentar a absorção de nutrientes e água no perfil (AMARAL et al., 2017)

2.3. Produção

Os sucessivos ganhos em rendimento da cultura do milho estão ligados aos avanços tecnológicos voltados para uma produção com maiores valores de rendimento, isso pode ser exemplificado com o uso de híbridos cada vez mais adaptados para as condições climáticas de algumas regiões, bem como a incorporação de ferramentas de biotecnologias (transgênia utilizando o milho Bt) (BORGHI et al., 2017).

A baixa produtividade está relacionada ao uso de cultivares não adaptadas as condições locais e, além disso, destaca-se: os estresses climáticos e biológicos, ataque de insetos e pragas, arranjo populacional de forma inadequada, baixa fertilidade do solo e injúrias ocasionadas pelo tráfego na cultura, ocasionando uma redução na área foliar, afetando diretamente na produção e conseqüentemente o rendimento da lavoura (TROGELLO et al., 2017).

O déficit hídrico tem grande importância no rendimento da cultura, pois, assim como os outros fatores que atuam no cultivo do milho, ele pode ocasionar a redução da área foliar, que por sua vez afeta a taxa de fotossíntese, interferindo de forma negativa no ambiente físico da cultura, acarretando modificações no balanço energético do sistema, dentre outros processos (TIGGES et al., 2016). De acordo com os referidos autores, no período entre o pré-florescimento até o início de enchimento de grãos se houver déficit hídrico, mesmo que a cultura em outros estágios tiver clima favorável, esse déficit acarreta efeitos negativos na produção, mediante a ocorrência no período crítico.

Para que o potencial produtivo do milho seja mais elevado, a cultura necessita de um bom planejamento, a fim de proporcionar um melhor aproveitamento dos períodos chuvosos, onde a cultura expressa melhores resultados na produção (SANTOS et al., 2017b). Tal planejamento por sua vez está voltado à adoção de outras técnicas tais como: manejo adequado do solo, escolha dos genótipos, espaçamento, densidade de semeadura e controle das plantas daninhas (TROGELLO et al., 2017).

A eficiência na produção deste grão é correlacionada com o manejo e processos de condução da lavoura, obtendo maior rendimento com o uso racional dos recursos naturais, estabelecendo a relação de quanto maior os conhecimentos aplicados, maiores os rendimentos no produto final, afirmando, portanto, que o planejamento das práticas

adotadas deve ser o ponto inicial para lavouras com maiores rentabilidades (GASSEN, 2010).

O cultivo em áreas em que o suporte financeiro é menor que o de primeiro ciclo, deve-se atentar para que a safrinha seja implementada em locais com boa fertilidade, com adubação conforme requerida pela cultura para a extração e transporte de nutrientes, fatores que, quando associados à época de semeadura e conseqüentemente as condições climáticas, são cruciais para que a escolha de produção no período da safrinha não cause prejuízos ao produtor, bem como não seja afetado o potencial produtivo da planta de milho carecido à falta de estrutura do sistema de cultivo (SIMÃO et al., 2017)

2.4. Adubação

As interações entre o ambiente de cultivo e os genótipos são primordiais para que a cultura do milho consiga se desenvolver, principalmente para as várias condições edafoclimáticas, uma vez que, segundo estimativas, 60% dos produtores agrícolas em todo o mundo cultivam em áreas que sofrem algum tipo de estresse abiótico (COLOMBO et al., 2018). Dentre as variáveis que causam estresse abiótico, a nutrição do solo é um dos fatores limitantes, visto que a cultura necessita que o ambiente forneça uma boa quantidade de nutrientes para conseguir alcançar a máxima produtividade (ROLIM et al., 2018).

Grande parte do insucesso da produção em algumas lavouras é atribuída diretamente com a baixa fertilidade do solo em que a mesma foi implementada, isso porque, o milho apresenta um grande poder de extração de nutrientes do solo, e aliado ao uma inadequada adubação e aplicação de corretivos a cultura não apresenta valores de produção satisfatórios (COSTA et al., 2012).

A produção agrícola no Brasil se dá de maneira convencional, com o uso de sementes geneticamente melhoradas (híbridas) e com o uso de adubos sintéticos como fonte de nutrientes para a cultura. Essa maneira de produção torna o país um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o quarto maior consumidor (ARAÚJO JUNIOR et al., 2015; ALOVISI et al., 2017).

2.4.1. Macronutrientes

Para a cultura do milho, o nitrogênio (N) é um dos nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento, uma vez que, as principais reações bioquímicas que ocorrem na

planta necessitam que este seja absorvido e, com isso, torna-se o nutriente absorvido em maior quantidade, acarretando numa grande demanda (CAIRES e MILLA, 2016).

Outro elemento requerido pela cultura é o potássio (K), e assim como o N, a deficiência deste, limita a produtividade do milho, pois ele contribui positivamente com o número de grãos por espiga, bem como a massa individual de grãos (ROLIM et al., 2018). Baixos teores de K no solo acarretam baixo crescimento do milho, além de afetar diretamente a fragilidade dos tecidos e gerar maior sensibilidade da cultura à seca (COSTA et al., 2017a).

Em termos de quantidade, a cultura requer maior proporção dos nutrientes N e K, sendo o fósforo (P) o menos exigido. No entanto, o fósforo é o nutriente determinante para a produção dos grãos porque a cultura exporta entre 80 e 90% do que é extraído para os grãos, indicando, portanto, a necessidade de reposição constante de tal nutriente (GUEDES et al., 2017). A deficiência desse nutriente afeta diretamente a absorção de N, podendo reduzir o crescimento de folhas além de prejudicar a formação e o desenvolvimento dos grãos (OLIVEIRA et al., 2012).

2.4.2. Micronutrientes

Tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo, os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) são requeridos em pequenas concentrações, mas, apesar de suas baixas concentrações nos tecidos e órgãos das plantas, eles acabam tendo a mesma importância que os macronutrientes. Mesmo em baixas concentrações, estes são fundamentais tanto para o crescimento como também para o desenvolvimento das plantas, pois, estes agem como constituintes das paredes celulares (B), das membranas celulares (B, Zn), agem como constituintes de enzimas (Fe, Mn, Cu, Ni), como ativadores de enzimas (Mn, Zn) e na fotossíntese (Fe, Cu, Mn, Cl) (SILVA, 2015).

Saulnier (2012) expõe que a quantidade de micronutrientes exportados pela cultura do milho para a produção de nove toneladas de grãos é de aproximadamente 340 g de manganês, 110 g de cobre e 400 g de zinco, além dos requeridos para a produção e desenvolvimento dos grãos, sendo estes em mg / 100 g de grãos: 287 potássio, 35 sódio, 7 cálcio, 210 fósforo, 127 magnésio, 271 ferro, 2,02 zinco, 0,31 cobre, 0,46 manganês e 0,004 de selênio (NETO et al., 2015).

Cada micronutriente acima citado exerce funções diferentes na planta, e para o milho, o boro e o Zinco são os nutrientes mais estudados, sendo que o Z é o nutriente que limita a produção, por este está ligado diretamente as funções básicas relacionadas

ao metabolismo dos carboidratos, das proteínas, dos fosfatos, na formação da estrutura de auxinas, de RNA e dos ribossomos (SOUSA et al., 2017).

Nos últimos anos houve um aumento na utilização de cobre, manganês e molibdênio para a cultura do milho, essa utilização é advinda da necessidade de melhor aproveitar as tecnologias das sementes de híbridos adquiridas, havendo a necessidade do suprimento adequado de todos os nutrientes (ALVIM et al., 2010). O Mo é um micronutriente que atua na redutase do nitrato, melhorando a absorção de N pelas plantas, participa também da enzima nitrogenase, essencial para as plantas fixadoras do N atmosférico (SILVA et al., 2018).

2.5. Rochagem

A adição de compostos inorgânicos de origem mineral que agem como corretivos e fertilizantes no solo é conhecida por rochagem. A técnica visa a remineralização mediante a aplicação direta ao solo, tendo a calagem e a fosfatagem natural dois exemplos típicos (LUZ et al., 2010).

2.5.1. Histórico

A utilização de fertilizantes já era uma prática realizada desde a Grécia antiga e relatos do uso de rochagem são caracterizados por Plínio (62-113 d.C.), quando este, afirmava que o calcário (rocha sedimentar que contém minerais com quantidades acima de 30% de carbonato de cálcio) poderia ser espalhado no solo para formar uma fina camada, sendo por tanto, uma adubação suficiente para culturas por longos anos (SILVEIRA, 2016).

Assim como Plínio, Columelo também reconhecia que a utilização de calcários ou cinzas poderiam ser responsáveis por baixar os níveis de acidez no solo (LOUREIRO e NASCIMENTO, 2009).

No século XVIII, Benjamin Franklin, em um experimento que analisava a variação causada pela aplicação de gesso agrícola, verificou o crescimento e desenvolvimento das pastagens. (SILVEIRA, 2016). No século XIX, grande quantidade de trabalhos relata resultados favoráveis à utilização da rochagem, a exemplo do livro de Hensel, publicado no ano de 1898 em Leipzig, entitulado por “Pães de Pedra”, cujo enfoque é a potencialidade de fertilização do solo com pós de rochas, convertendo pedras em alimentos (ASSIS, 2015).

A tecnologia de utilização de rochagem como fonte de adubação no Brasil, foi sugerida e divulgada na década de 1950 no estado de Minas Gerais pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenjo (MARTINS e THEODORO, 2010). Posteriormente, o professor e pesquisador Othon Leonardos da Universidade de Brasília, desenvolveu diversas pesquisas tendo como principal enfoque, testar diferentes tipos de rochas brasileiras, dando aos aspectos geoquímicos e agronômicos um viés mais social e ambiental à pesquisa e, por isso, hoje é uma das principais referências no âmbito nacional em trabalhos voltados a tal temática (LINS et al., 2010).

No período compreendido entre as décadas de 1970 e 1980 as pesquisas se intensificaram no sentido de buscarem rochagem que pudessem fornecer K (potássio) e outros nutrientes para as culturas, além de desenvolverem novas rotas alternativas para a obtenção de fertilizantes (CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2010).

Ainda no século XX, na década de 1990, por meio de uma parceria entre a Embrapa Cerrados e a Universidade de Brasília, foram desenvolvidos estudos que buscaram aplicar o uso de rochagem como fonte alternativa K nos sistemas agropecuários, resultando em diversas informações relevantes, fazendo com que a busca por novas fontes de nutrientes ganhasse mais importância frente ao crescimento de diversas culturas (PÁDUA, 2012).

No século XXI, pesquisas com pó de rocha apresentaram resultados promissores para o fornecimento de K, por essa razão, foi estabelecida uma rede de pesquisa, a Rede Agri Rocha, no ano de 2003, cujo principal propósito era estudar potenciais de substituição de fontes convencionais de K por parte de rochagens brasileiras (BRANDÃO, 2012)

No mesmo sentido, pesquisadores do Brasil, da África do Sul, de Angola e de Camarões, formaram um grupo de estudo que tinha como principal objetivo, buscar alternativas, soluções e estratégias produtivas que conseguissem mudar a realidade em meio aos agricultores familiares afro-brasileiros, sendo, portanto criado a rede de pesquisadores Sul-Sul, buscando apoio do CNPq por meio do edital MCT/CNPq nº 012/2008, que aprovou o Projeto - Fomento às ações afirmativas em meio a agricultores afrodescendentes (THEODORO et al., 2013).

Tal projeto tinha como enfoque o uso de determinados tipos de rochas moídas, buscando um equilíbrio dos nutrientes, para remineralizar ou rejuvenescer solos que sofrem acelerado processo de intemperismo (solos tropicais) e, com isso, melhorar os níveis de fertilidade deixando-os aptos para uso agrícola (THEODORO et al., 2010).

Em função da maior carência em solos brasileiros de P (fosforo) e K (potássio), os estudos com rochas foram direcionados a estes nutrientes, sendo realizados eventos de grande porte como o I Congresso Brasileiro de Rochagem realizados em 2009, mostrando assim o fortalecimento de pesquisas voltadas para a utilização de rochagem no país. No evento foram apresentados mais de sessenta trabalhos científicos com a participação de representantes de diversas áreas de interesse, tais resultado positivos acarretaram na realização do II Congresso Brasileiro de Rochagem em 2013 (ASSIS, 2015).

Diante da importância do tema, instituições e pesquisadores desencadearam discussões sobre o aspecto legal para a utilização de rochagem como fertilizante (SOUZA, 2014). A problemática acarretou alteração na Lei nº 12.890/2013, que acabou dando suporte para a utilização da técnica em destaque. Segundo Brasil (2013), o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.

2.5.2. Importância da rochagem

Em países de clima tropical, o empobrecimento químico do solo em razão de diversos fatores como os processos de formação acarreta grandes prejuízos na implementação de algumas culturas. Com isso, surge a necessidade de incorporação de insumos/fertilizantes que possam corrigir a necessidade nutricional do solo para que haja, portanto, bom desenvolvimento de culturas (ASSIS et al, 2013). Os referidos autores também relatam que insumos químicos, além de serem altamente solúveis (perdidos rapidamente pelo processo de lixiviação), são importados e onerosos aos produtores devido, em sua maioria, serem advindos dos Estados Unidos, Rússia e do Canadá, países estes os principais produtores de minerais utilizados para a formulação do NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio).

Para não sofrer com a dependência de insumos altamente solúveis, a exemplo do NPK, o reaproveitamento de rochagem acaba por configurar uma nova alternativa, auxiliando na redução de uso de produtos químicos, além de atuarem de forma restituídores de nutrientes, recuperando e renovando o solo. Isso é importante, pois a produção brasileira utiliza de forma intensiva água e solo, estes quando aliados, acabam

por acarretarem degradações, que por sua vez, diminuem os níveis de fertilidade (COLA e SIMÃO, 2012).

A utilização de rochagem é uma tecnologia dada pelo acréscimo ao solo de determinados macro e micronutrientes a depender do tipo de rocha utilizada, melhorando a fertilidade do solo, em especial, solos tropicais, agindo de forma a reverter os processos de erosão e degradação causados por atividades antrópicas ou mesmo natural nos solos lixiviados pelo intemperismo (THEODORO et al., 2013).

O pó de rocha pode ser considerado uma excelente alternativa, visto que o Brasil detém excelente geodiversidade, podendo surgir diferentes tipos de rochas com características distintas em diferentes regiões do país, além de ser atribuído vantagem sobre o aspecto social e ambiental, pois aproveita-se os rejeitos de pedreiras e mineradoras gerando assim fertilizantes minerais com ampla variedade de nutrientes entre os quais o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio, além de uma série de micronutrientes, ocasionando um rejuvenescimento para os solos de baixa fertilidade (ASSIS, 2015).

Pode-se afirmar, que dentre as diversas características que diferenciam os remineralizadores dos fertilizantes é a velocidade de disponibilidade e a diversidade que cada um apresentam, pois, enquanto os fertilizantes convencionais agem de forma imediata para o desenvolvimento das plantas, os remineralizadores agem mais lentamente, além de uma oferta de nutrientes variada (MEDEIRO, 2017).

A atuação em longo prazo acaba por caracterizar a rochagem como uma alternativa de reserva de nutrientes, e o pleno aproveitamento destes de forma mais acelerada, depende das atividades biológicas contínuas, pois, a aplicação do pó de rocha acaba sendo complementada com a utilização de adubos orgânicos, gerando portanto, um aproveitamento dos nutrientes de forma mais rápida (THEODORO et al., 2010).

2.5.3. Vantagens e desvantagens da rochagem

A adição de rocha em pó na agricultura favorece a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos melhorando seu estado nutricional (MELAMED et al., 2007). No entanto, a utilização dos resíduos de rocha em pó deve ocorrer no sentido de priorizar o material que é encontrado na região e de fácil acessibilidade aos agricultores. Outra vantagem seu uso é a liberação de nutrientes gradualmente, reduzindo as perdas por lixiviação e favorecendo a ação em longo prazo para fertilizar solos tropicais que

são, em geral, altamente lixiviados e pobres em nutrientes disponíveis para plantas (SOUZA et al., 2013).

Dentre algumas vantagens da utilização de pó de rocha quando comparadas aos fertilizantes solúveis, destaca-se por ser um subproduto que é considerado ecologicamente correto, proporcionar maior velocidade de crescimento e sanidade das plantas, apresentar um custo reduzido, melhorar a fertilidade do solo, além de ser, possivelmente, um incremento para a produtividade (CAMARGO et al., 2012).

A granulometria é fator crucial para a disponibilidade de nutrientes oriundo de rochagem, pois quando estes são materiais mais finos (tamanho de argila e silte, ou seja, respectivamente, menores que 0,002 mm e entre 0,002 e 0,05 mm) acabam sendo facilmente disponibilizados ao solo os seus principais nutrientes em função do processo de intemperismo. Já os materiais que possuem granulometria mais grossa, fornecem de forma prolongada e lenta os nutrientes, e devido ao manejo e irrigação, a oferta de macro e micronutrientes é duradoura (THEODORO et al., 2006).

Interferir nas taxas de intemperismo acaba acelerando a liberação dos nutrientes contidos na rochagem, para isso, a diminuição das partículas de pó de rocha através do processo de moagem facilita a disponibilização dos nutrientes, com a redução das partículas, há um aumento na superfície de ação dos agentes físicos, químicos e biológicos, aumentando o intemperismo e a solubilidade mineral (THEODORO et al., 2010).

Esse tipo de adubação é viável economicamente e ecologicamente, visto não existir nenhuma aplicação de origem química no solo, pois, de forma geral, corresponde apenas a moagem das rochas para assim gerar o produto a ser aplicado e a eficiência deste depender apenas do tipo de rocha utilizado e o tamanho da partícula a ser incorporado ao solo (WELTER et al., 2011).

Uma outra vantagem na utilização de rochagem é o fornecimento de silício, que apesar de não ser considerado um dos elementos pertencente ao grupo de essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta, ele é tido como benéfico, uma vez que estudos apontam que quando a planta está bem nutrida de sílica, a mesma apresenta um maior potencial a resistência ao ataque de pragas e doenças (SANTOS et al., 2014).

Em solos tropicais, onde fatores de solo (baixa capacidade de troca de cátions) e do clima (alta pluviosidade) interagem, os fertilizantes solúveis acabam sendo lixiviados facilmente, gerando carência ao meio, por outro lado, esse tipo de clima acaba sendo o

ideal para a rochagem, visto que a mesma apresenta uma baixa solubilidade (SOUZA, 2014).

Essa liberação lenta apresenta caráter positivo por apresentar efeitos residuais que podem ser aproveitados pelos cultivos sucessíveis, bem como a formação de minerais secundários, obtidos pela elevação da CTC, resultante da redução das perdas por lixiviação dos nutrientes no solo (MARTINS et al., 2010).

Estudos apontam que alguns tipos de rochas tem a capacidade de fornecer nutrientes que as plantas demandam para seu desenvolvimento por um período longo de até cinco anos, e como as plantas absorvem somente aquilo necessário para seu desenvolvimento, os nutrientes não necessários para a cultura ficam retidos na estrutura mineralógica da rocha incorporada ao solo, este fato, acaba por proporcionar uma reserva de nutrientes ao solo, que são disponibilizadas para safras subseqüentes/rotação de culturas, essa reserva nutricional é de grande relevância econômica e ambiental, principalmente por não causarem poluição no solo, água e ar (BENEDUZZI, 2011).

Um dos principais desafios apontados para a utilização de rochagem como fertilizantes é o tempo e intensidade de fornecimento, ou seja, é fornecer os nutrientes nas quantidades certas e no tempo adequado de cada cultura incorporada, sendo necessária uma aplicação de grandes doses com granulometrias finas para haver uma melhor incorporação, mesmo tendo baixa solubilidade ou baixa concentração de nutrientes, estes fatores, acabam corroborando no aumento de custo desta técnica (PÁDUA, 2012).

Para tanto, os resultados que possam indicar a eficiência agrônômica com o uso de rochagem depende, em sua maioria, da origem da rocha utilizada, de sua mineralogia e composição química, assim como os fatores associados a características do solo, do tempo de incubação do composto mineral, das espécies cultivadas, fatores que podem ser prejudicados devido à maioria das pesquisas estarem voltadas ao reaproveitamento de rejeitos de minas e pedreiras no intuito de redução de poluição ambiental (LUZ et al., 2010).

De forma geral, os resultados negativos apontados pela utilização de rochagem estão majoritariamente associados ao ciclo curto da cultura utilizada como planta “piloto”, período de avaliação curto, condições climáticas não favoráveis ao intemperismo, solo extremamente estéreis e com pouca atividade microbiana, fatores este que estando em equilíbrio, são capazes de agir de forma positiva para a utilização de pó de rocha microbiana (SILVA et al., 2008).

2.5.4. Trabalhos que utilizaram o pó de rocha

Alguns pesquisadores evidenciaram bons resultados com o uso de pó de rocha sobre os incrementos da produção de algumas culturas: em soja em sucessão ao milheto (Resende et al., 2006); em girassol (Castro et al., 2006) e em morango (Camargo et al., 2012).

A inoculação de sementes de feijão com a utilização de produtos em associação (pó de rocha, molibdênio e extrato de alga) ocasionou efeito benéfico para a cultura em relação ao uso da inoculação isoladamente, assim como propicia maior eficiência nos caracteres de emergência e nodulação, quando comparados aos métodos tradicionais de cultivo. Já o método de cultivo com inoculação e complementação via sementes com extrato de alga, molibdênio e pó de rocha proporciona manutenção no rendimento de grãos com menor custo, também quando comparado ao método de cultivo convencional (BERTOLDO et al., 2015).

Em trabalho feito por Theodoro et al (2006), foi concluído que o uso da rochagem manteve produções de milho, arroz, mandioca, cana-de-açúcar e hortifrutigranjeiros equiparáveis às com adubação convencional e proporcionou uma fertilidade no solo de modo mais sustentável para pequenos produtores familiares no estado de Minas Gerais. O trabalho ressalta que a rochagem é bem mais viável para os pequenos agricultores, pois o acesso aos recursos e incentivos financeiros e tecnológicos são mais difíceis.

O pó de rocha, quando incorporado com esterco, proporciona efeitos positivos sobre os componentes de produção e produtividade da cultura do feijão comum podendo, portanto, ser utilizado em no sistema agroecológico de produção do feijoeiro na agricultura familiar, pois, neste, a produtividade de grãos de feijão de 1204 kg ha⁻¹, alcançada com 103,67 g cova ha⁻¹ (4,15 t ha⁻¹) de pó de rocha (SANTOS et al., 2015).

Smalberger et al. (2010) relatam que cultura distintas podem apresentar diferentes resultados quanto a aplicação de pó de rocha, cuja conclusão advém de pesquisa sobre a eficiência agrônômica de três rochas fosfáticas provenientes da Tunísia, Mali e Togo, sobre diferentes dosagens, após um primeiro cultivo com trigo, canola e azevém e o segundo com trigo.

Santos et al. (2014) afirmam que, a associação de pó de rocha com esterco bovino apresenta as melhores respostas nos tratamentos testados, ressaltando ainda que, o pó de rocha aplicado de forma isolada, também exerce efeito positivo sobre os componentes de produção e produtividade da cultura da batata.

Castro et al. (2006), testando as rochas biotita e ultramáfica alcalina na fertilização de girassol cultivado em vasos, observaram que a técnica de rochagem com estes agrominerais influenciou tanto a produção quanto o acúmulo de K nos tecidos do girassol, com eficiência agronômica comparável à do KCl.

Camargo et al. (2012) afirmam que as rochas basálticas reduzidas a pó fornecem apreciáveis quantidades de nutrientes ao solo, e em sua aplicação acaba sendo proporcionado a adição de colóides negativos oriundos da presença da sílica, estes colóides possibilitam a adsorção de cátions, como Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} , impedindo que eles sejam levados pela água no processo de lixiviação, concluindo que as maiores doses de esterco bovino combinadas com doses intermediárias de pó de basalto proporcionaram maior produtividade total e produção comercial dos frutos de morangueiro.

Ribeiro et al. (2010) avaliaram que em vasos, o efeito da aplicação de pó das rochas silicáticas ultramáfica alcalina, brecha piroclástica e flogopitito sobre um Latossolo Amarelo distrófico, pobre em K e nestes, observaram que a rocha ultramáfica e a brecha alcalina se mostraram mais promissoras como fontes de K e ainda liberaram P para o solo. A rocha ultramáfica alcalina proporcionou a elevação do pH do solo, evidenciando o poder corretivo desta rocha, apesar do teor de sódio liberado, assim como também na brecha alcalina.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi conduzido no campo, na horta da Universidade Federal do Acre (UFAC) localizado em Rio Branco-AC (9°57'36"S e 67°52'14"W, datum WGS84, com altitude de 163m). O clima na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado por ser quente e úmido, com temperatura do ar variando entre 31°C a 21°C, precipitação pluviométrica anual em torno de 1.940 mm e umidade relativa de 83% (ALVARES et al., 2013).

3.2. Material de Estudo

3.2.1. Pó de Rocha

O remineralizador (pó de rocha) foi coletado na região de Rondônia (RO), na cidade de Porto Velho no Distrito Vista Alegre do Abunã. Peneirado em peneira de 0,3 mm conforme metodologia descrita por Souza et al. (2017a). Para a adubação, foram mensuradas as seguintes dosagens: 0, 3, 5, 7 e 9 (t.ha⁻¹), sendo 0 t.ha⁻¹ a testemunha.

O presente estudo se deu com o plantio de milho em vasos de 8 litros (altura 21 cm, base 21 cm e boca 24 cm), seguindo a metodologia proposta por Braga (2013) para cálculo da quantidade de fertilizantes para a aplicação por vaso, encontrado pelos seguintes passos:

1º Passo: cálculo para o volume, segundo a equação a seguir:

$$\frac{3,1416 \times h(R1^2 + R1 \times R2 + R2^2)}{3}$$

Onde:

h é a altura (cm);

R1 é o raio da base menor (cm);

R2 é o raio da base maior (cm).

2º Passo: Cálculo das necessidades de nutrientes por vaso, sendo necessário ser feita transformação de dados afim de trabalhar com valores em mesma unidade de medida, cujos resultados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. valor das dosagens utilizadas.

T	Gramas	ha	area (dm ³)	Aplicação (g)	Volume (dm ³)	Dose (g)/vaso
3	3000000	1	1000000	3	8,36	25,09
5	5000000	1	1000000	5	8,36	41,81
7	7000000	1	1000000	7	8,36	58,54
9	9000000	1	1000000	9	8,36	75,26

*T: toneladas, ha: hectares, dm³: decímetro cúbico, g: gramas

As dosagens foram estabelecidas a fim de que os resultados obtidos proporcionem uma análise de regressão, permitindo identificar a dosagem recomendada para a cultura em estudo.

3.2.2. Caracterização do Híbrido AG 7088 PRO 3

Utilizou-se, no presente estudo, o híbrido AG 7088 PRO 3, pois é de grande valia o uso de um cultivar já produzido na região que é palco da pesquisa, uma vez que o intuito é a incorporação da rochagem na produção local. As características agronômicas da cultivar são expressas na Tabela 2.

Tabela 2. Principais características agronômicas do híbrido.

AG 7088 PRO3	
Transgênica	SIM
Tipo	HS
Ciclo	P
Graus dia ⁹⁽¹⁾	880
Época de plantio	C/N/S
Uso	GRÃOS
Cor do Grão	AL
Densidade (Plantas/ha)	55-65
Textura do grão	SMDURO
Resistência Acamamento	A
Altura Espiga (m)	1,3
Altura Planta (m)	2,3
Nível Tecnologia	A
Spodoptera frugiperda	R
Cercospora sorgi	T
Puccinia polysora	T
Phaeosphaeria maydis	T

*HS - Híbrido simples; P - Precoce; N - Normal; S - Safrinha; C - Cedo; AL - Alaranjado; SMDURO - Semiduro; A - Alto; R - Resistente; T - Tolerante; ⁽¹⁾ valores sem especificação se referem a graus dias em °C.

3.3. Caracterização do Solo

O solo utilizado, é proveniente da Fazenda São João, localizada no município de Senador Guiomard, BR 317, km 57 (estrada para Boca do Acre - AM), estado do Acre,

situada a 09° 50,9' S e 67° 26,4' W, em datum WGS84, com altitude de 190 m. Atualmente, é ocupado com a implementação de culturas perenes e anuais.

A coleta realizada na camada que corresponde de 0 – 20 cm do perfil. O resultado da análise de solo da região está expresso na Tabela 3.

Tabela 3. Análise química do solo utilizado nos vasos, camada de 0 a 20 cm.

Macronutrientes e Resultados Complementares											
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	S	CTC	V	MO	
H ₂ O	CaCl ₂	mg/dm ³		-----cmol _c /dm ³ -----					%	g/dm ³	
5,4	4,6	10,4	45,3	1,3	0,5	0,25	3,35	1,92	5,52	34,78	20,6

*pH – potencial hidrogeniônico em água e cloreto de cálcio; S – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – saturação por bases; MO – matéria orgânica.

3.4. Caracterização Climáticas

Para o período de execução do experimento, os dados climáticos foram retirados na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e calculados os valores referentes ao tempo em campo da cultivar. Os valores apresentados na Tabela 4 representam as três fases do projeto o que corresponde aos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019.

Tabela 4. Condições climáticas registradas na área, no período do experimento

DADOS	TM (°C)	UR (%)	Chuva (mm)
1° COLETA	26,26	89,04	166,5
2° COLETA	26,10	88,74	202,2
3° COLETA	25,96	89,39	187,5

*TM – Temperatura Média do ar; UR – Umidade Relativa do ar. Dados coletados do INMET.

3.5. Delineamento Experimental

Para a análise das características ecofisiológicas (fotossíntese, etc.), o delineamento experimental adotado foi Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), em esquema fatorial 5 x 3, tendo a dosagem de aplicação do pó de rocha (0, 3, 5, 7 e 9 t.ha⁻¹) e o tempo após a emergência (20, 40 e 60 dias), respectivamente, dispostos em 6 blocos com ordem randomizada (PIMENTEL-GOMES, 2009; BANZATTO e KRONKA, 2006). Cada parcela foi constituída de duas plantas escolhidas ao acaso e obtido o valor médio em cada bloco e fatores dentre as unidades dispostas na área

experimental conforme croqui apresentado na Figura 1. Em campo, cada parcela delimitada foi composta de 5 vasos, totalizando 150.

Os blocos em que os vasos estavam dispostos, estavam organizados em 5 linhas e 5 colunas, com espaçamento de 0,40x0,40 m.

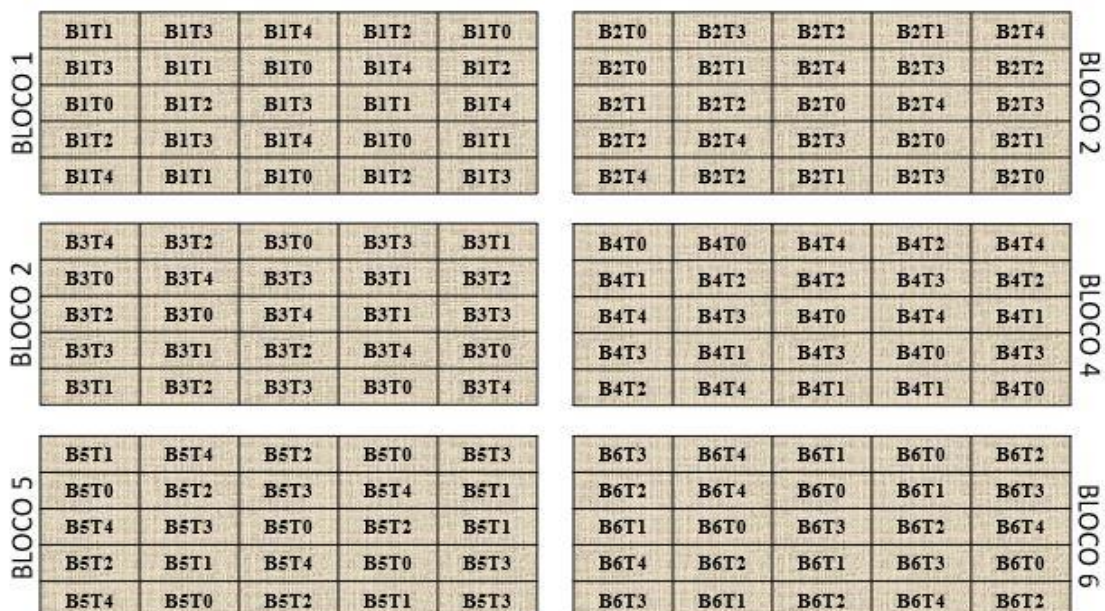


Figura 1. Croqui da área experimental.

No tocante à análise das características fisiológicas (massa seca, altura e alocação da biomassa), utilizou-se o DBC com apenas um fator. Utilizou-se, também, tanto para as características ecofisiológicas quanto fisiológicas, a análise de regressão para os casos de variáveis cujo fator de variação possui níveis quantitativos (PIMENTEL-GOMES, 2009; BANZATTO e KRONKA, 2006).

3.6. Implantação do Experimento.

Para facilitar a drenagem do solo, visto que o experimento foi desenvolvido em pleno sol, foi adicionado ao fundo do recipiente uma camada com espessura de 2cm de brita, coletada na própria horta e completado o restante com o solo utilizado no experimento.

Após o cálculo de adubação por vaso, os valores de cada dosagem foram aplicados ao solo de maneira individual no dia 01 de novembro de 2018, para que a incorporação da rochagem no solo ocorresse de forma gradual. No dia 08 de novembro de 2018 foram semeadas 2 sementes por vaso, na profundidade de 3 cm, ocorrendo, após 2 dias a emergência total das plântulas. A seleção e desbastes realizados após 5 dias decorrido a emergência, resultando, portanto, em apenas 1 plântula por vaso.

No decorrer do desenvolvimento da cultura em campo, foram realizadas 2 adubações afim de suprir a necessidade de N (40% no V4 e 40% no V8), sendo aplicado valores referente a adubação de 120 kg.ha⁻¹ de N.

Em campo, constantou-se, também, a deficiência de fósforo no desenvolvimento do milho, fazendo-se necessária a aplicação de 60 kg.ha⁻¹ de P na forma de Super Simples (P₂O₅) como fornecedor de P.

Foram realizadas eliminações de plantas daninhas de forma manual durante o período em campo, e para o controle de insetos presentes, foi aplicado o inseticida Decis (produto de contato e ingestão do grupo químico piretróide) na dose de 5 g ha⁻¹ do i.a.

3.7. Variáveis analisadas.

3.7.1. Mineralogia do Pó de Rocha

Para avaliação mineralógica do pó de rocha, foi destinado 700g do material ao Laboratório de Perícia Técnica da Polícia Civil para a realização das análises de Fluorescência de raios-X com Energia Dispersiva, utilizando o Espectrômetro Shimadzu EDX-720. O objetivo era identificar a composição química e mineralógica da rochagem coletada (SANTOS et al., 2013), após a análise de difração de raios-x realizou-se a quantificação de fases minerais e análise química por fluorescência de raios-x de elementos traços (Sc, V, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Cs, Ba, Pb, Cd, Th, U).

3.7.2. Caracteres ecofisiológicos dos Híbridos

Para analisar as medidas de assimilação de CO₂ e trocas gasosas utilizou-se o analisador de gás no infravermelho - IRGA, modelo LI-6400XT (Li-Cor Inc., Lincoln, EUA), sendo expresso os valores da assimilação do CO₂ atmosférico obtendo-se, desta forma, a fotossíntese líquida, trocas gasosas, resultando em medidas de transpiração foliar e condutância estomática. Essas medidas foram realizadas em folhas adaptadas ao claro que tinham sua bainha completamente expandida.

As avaliações ocorreram em 20, 40 e 60 dias após a emergência, no período da manhã (entre 09:00 e 11:00 horas), em 2 plantas de cada tratamento nos seis blocos e obtido o valor médio entre elas para fins de análise. Todas as avaliações ocorreram no mesmo dia para que todos estivessem mesma condição ambiental.

Seguindo metodologia descrita por Santos et al. (2017a), as variáveis a serem trabalhadas estão descritas da seguinte forma:

1. Para trocas gasosas foram avaliadas: taxa de assimilação de CO₂ (PN); concentração intercelular de CO₂ (Ci); condutância estomática (gs) e transpiração foliar (E).
2. Eficiência de uso da água (EUA) e a eficiência de carboxilação (EC), através da relação entre CO₂ assimilado e transpiração e do CO₂ assimilado com o CO₂ intercelular, respectivamente, nas folhas de milho avaliados.

3.7.3. Análises fisiológicas dos Híbridos

Aos 60 dias após a germinação todas as plantas estavam em estágio vegetativo VT (pendoamento) sendo que algumas delas já estavam entrando no florescimento. A altura foi mensurada com o auxílio de uma trena, onde media-se da superfície do solo até a base da folha bandeira (SOARES et al., 2017). Em cada tratamento foram medidas duas plantas aleatórias em cada um dos blocos, totalizando 60 plantas.

3.7.3.1. Massa Seca

Visando obter resultados mais expressivos e conseqüentemente ser feito a alocação da biomassa, seguindo a metodologia descrita por Silva et al. (2016), a planta de milho foi dividida em três partes distintas: raiz, caule e folha. Tal avaliação foi realizada nas mesmas plantas em que se mediram a altura. Colocadas em sacos de papel e postas para secar em estufa com circulação de ar forçado a 72 °C até que apresentassem peso constante para ser feito a tabulação dos dados, sendo os resultados expressos em gramas por planta.

3.7.3.2. Alocação da biomassa

Seguindo a metodologia descrita por Magalhães et al. (2014), após obtidos os valores referentes a massa fresca de cada parte vegetativa da planta, a alocação de biomassa foi obtida por meio da seguinte equação:

$$BMR = \frac{MSR}{MST} \times 100 \quad BMC = \frac{MSC}{MST} \times 100 \quad BMF = \frac{MSF}{MST} \times 100$$

Onde:

BMR: Biomassa Raiz; BMC: Biomassa Colmo e BMF: Biomassa Folha

MSR: Massa Seca Raiz; MSC: Massa Seca Colmo; MSF: Massa Seca Folha e MST: Massa Seca Total (todas as variáveis em gramas).

3.8. Análise Estatística.

Para verificação dos pressupostos da Análise de Variância, foram realizados os testes de Anderson-Darling para normalidade e Levene para homogeneidade das variâncias, ambos ao nível de significância $\alpha=0,05$. As rotinas de cálculos foram realizadas por meio do software estatístico Sisvar®, além do uso dos programas do pacote Microsoft Office® (PIMENTEL-GOMES, 2009; BANZATTO e KRONKA, 2006; FERREIRA, 2011)

Atendido os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste de Teste Tukey para análise de comparação entre as médias dos tratamentos ($\alpha=0,05$). A análise de regressão avaliou a linha de tendência e o coeficiente de determinação “R²”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.1. Análise da Rochagem.

Os resultados obtidos com a análise de raio-x, demonstram a ausência de N e P no material utilizado, cujos elementos são comumente utilizados em adubos químicos. Apesar da falta dos nutrientes, a amostragem evidencia teores tanto de macronutrientes como de micronutrientes, além de outros elementos que, em suas proporções, são utilizados pela cultura. A Tabela 5 exibe o percentual de elementos disponíveis na rochagem.

Tabela 5: percentual de elementos disponíveis na Rochagem

Elementos												
Si	Fe	K	Ca	Ti	Ba	Mn	Zr	Rb	Sr	Y	Zn	Nb
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
55,992	21,946	12,385	5,820	1,917	0,998	0,460	0,202	0,108	0,069	0,045	0,043	0,013

Foi constatado que, para a rochagem em estudo, há maior disponibilidade de Silício (Si). Esse elemento é comumente encontrado em grandes quantidades no pó de basalto.

Com a ampla diversidade de substâncias que o compõem, tais como minerais silicatados, cálcio, magnésio, ferro e óxidos de silício, o pó de basalto pode promover maior crescimento radicular das plantas e, no solo, maior elevação na capacidade de troca de cátions (CTC) devido a formação de minerais de argila (GROTH et al., 2017).

O Ferro é micronutriente que é apresentado em maior porcentagem no pó de rocha em questão. A presença dele é importante para o desenvolvimento da planta, pois, ele desempenha funções em rotas bioquímicas que garantem a formação de proteínas e lipídios, atuando na estruturação das membranas celulares (PRAZERES e COELHO, 2016).

Os valores de referência, mostram que a rochagem apresenta como terceiro maior elemento o Potássio. Este nutriente pertence à classe dos macronutrientes, e sua eventual incorporação no solo tende a favorecer o desenvolvimento do milho, visto que participa dos principais processos metabólicos.

O K age diretamente na regulação osmótica, no balanço de cátions-ânions, na relação hídrica nas plantas, no movimento dos estômatos, no alongamento celular, na estabilização do pH do citoplasma, na neutralização de ânions orgânicos e inorgânicos,

na ativação enzimática para um grande número de enzimas, na síntese de proteína e na fotossíntese e no transporte de açúcares no floema (COLA e SIMÃO, 2012).

A presença de Cálcio auxilia na melhor eficiência do uso dos nutrientes e água do solo, além de que, na falta deste elemento, a planta pode desenvolver limitações quanto ao crescimento das raízes no solo (COLDEBELLA et al., 2018).

Os demais nutrientes observados na análise do pó de rocha, apesar de pequenas porcentagens, mostram que o material de estudo apresenta uma diversidade maior de elementos quando comparados a adubação convencional. Isso é um fator benéfico, uma vez que não incorporado pela cultura, eles ficam disponíveis no solo por um período maior de tempo para culturas futuras (rotação de cultura).

4.2. Avaliação de Fotossíntese e Trocas Gasosas

Para as variáveis de trocas gasosas, avaliadas nos três períodos de desenvolvimento, em suas respectivas dosagens (Fig. 2), não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para a fotossíntese líquida (P_N), condutância estomática (g_s) e transpiração (E). Por outro lado, foram encontradas diferenças ($p < 0,05$) para a variável de concentração intercelular de CO_2 (C_i).

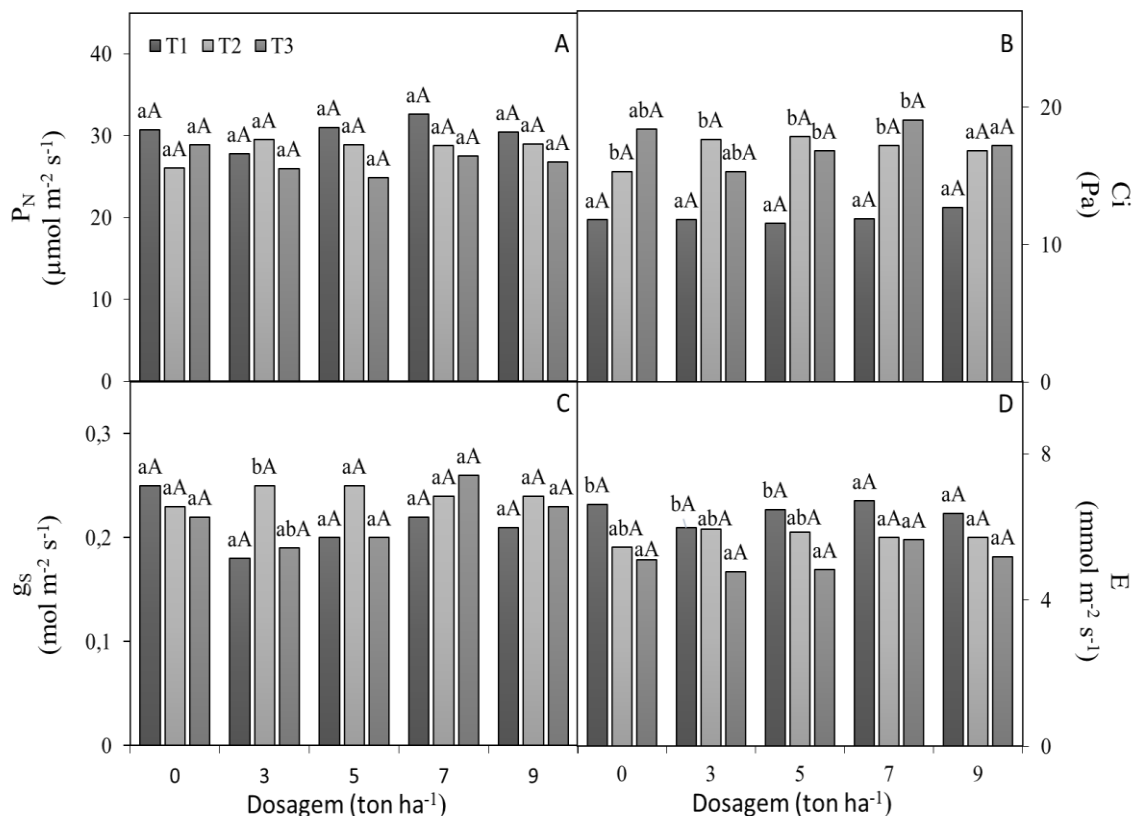


Figura 2. Fotossíntese Líquida (A); Concentração Intercelular de CO_2 (B); Condutância estomática (C) e Transpiração (D) realizado em todos os três períodos de avaliações,

sendo: 20 dias (T1), 40 dias (T2) e 60 dias (3). (As médias seguidas da mesma letra minúscula não se diferem entre si no tocante ao tempo de avaliação, enquanto as letras maiúsculas iguais não se diferem em relação à dosagem, segundo o teste de Tukey, ao nível de significância 5%).

Percebeu-se que a taxa de Fotossíntese líquida se manteve constante no decorrer do experimento, houve uma correlação quanto ao aumento ou decréscimo das médias, mantendo sempre valores próximos uns aos outros, gerando assim resultados que não se diferenciam no parâmetro estatístico.

Renato et al. (2018) demonstraram que, com o aumento da concentração de CO₂ (Ci) há uma indução de diminuição da condutância estomática (g_s), isso acarreta a redução da taxa de transpiração (E) e conseqüentemente, o aumento da eficiência do uso da água (EUA). E com a diminuição da transpiração, a temperatura da folha reduz e pode promover o aumento da fotossíntese (P_N), principalmente nas plantas C₄, a exemplo o milho.

Valores para g_s evidenciam que independente da dosagem, para o segundo período de avaliação, suas médias mostram determinado padrão, o que propicia a não diferenciação estatística. Comparando-se os valores de Ci com os valores de g_s, verifica-se que não há interferência de Ci em relação aumento ou diminuição em suas médias para g_s.

As respostas obtidas na Fig. 2, demonstram que os resultados amostrados não corroboram com os resultados descritos por Renato et al. (2018), pois, os valores de Ci no primeiro período de avaliação eram baixos, e P_N não diminuiu, pelo contrário, manteve-se praticamente constante em todos os períodos e dosagens.

Ursula et al. (2015) testando elevadas concentrações de CO₂ para o milho, não obtiveram resultados que comprovassem que existe a relação entre elevada Ci e aumento de fotossíntese, já que, as plantas do tipo C₄ possuem mecanismos que deixem o valor de CO₂ equiparados aos da atmosfera e, desta forma, suficiente para a saturação da fotossíntese.

Quando comparado os valores de Ci com E, nota-se que a variação existente não apresenta a normalidade relatada em trabalhos anteriores. Como exemplo, destaca-se que as avaliações feitas em vasos com adubação de 5 t.ha⁻¹ constataram que para a primeira avaliação, enquanto Ci tinha menor valor comparada as demais avaliações para a mesma dosagem, o E apresentava o melhor desempenho.

No que se refere ao período de avaliação, não foi constatado significância para Ci, mas, fica evidenciando que as dosagens de 5 e 7 t.ha⁻¹ apresentavam melhores

resultados de médias e a dosagem de 7 t.ha⁻¹ que proporcionou maiores valores (Fig. 2B) e os períodos de avaliação T2 e T3 as plantas estavam mais expressivas quanto ao seu desenvolvimento em relação a dosagem.

Santos et al. (2018) associaram os menores consumos de CO₂ a baixa eficiência de carboxilação da enzima Rubisco, pois, essa deficiência resultou em maiores concentrações internas de CO₂ nas células das plantas em seu primeiro período de avaliação. Com isso, conclui-se que, apesar da absorção do CO₂ a enzima não utilizou o carbono disponível e, desta forma, exibiu menores taxas fotossintéticas.

Apesar da não significância, notou-se que, para a taxa de transpiração (E), assim como a testemunha, as dosagens de 3 e 5 t ha⁻¹ apresentavam os menores valores de referência, esse fator é pertinente, pois, segundo Miranda et al. (2018), o coeficiente de transpiração baixo é indicativo da incorporação de silício nos tecidos das plantas.

Tal fator é observado quando se compara o primeiro período de avaliação com o último, quando se verifica que no T1 a absorção do pó de rocha é mais lenta e a transpiração ocorre em maiores índices. Além disso, com o decorrer do experimento, fatores relacionados com o intemperismo tendem a favorecer a liberação gradual dos nutrientes, e, por isso,, a taxa de assimilação pela planta é maior e, esta hipótese pode explicar a diminuição da transpiração no T3.

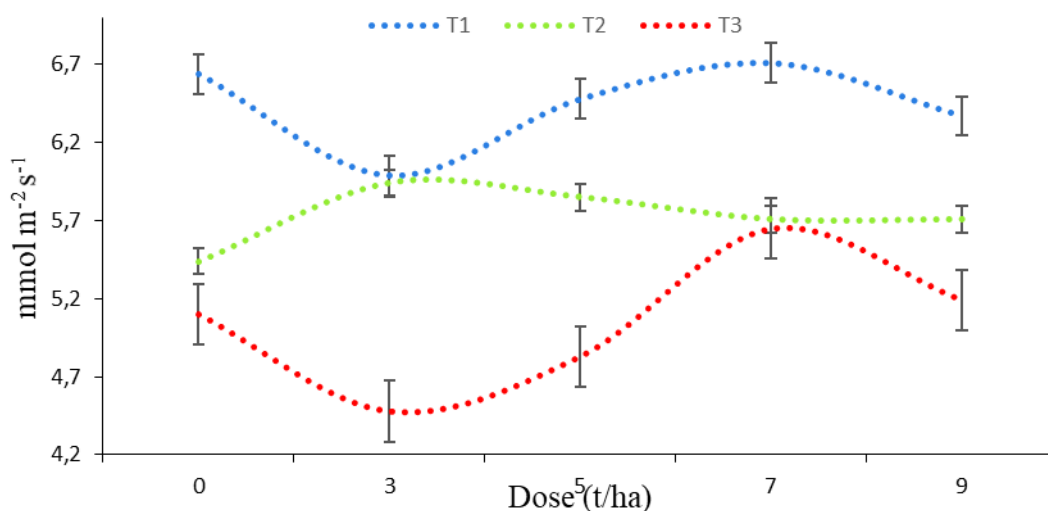


Figura 3. Demonstrativo da variação da transpiração no decorrer das avaliações. T1: 1º Avaliação; T2: 2º Avaliação; T3: 3º avaliação. (A barras no decorrer das linhas referem-se ao erro padrão adicionado)

Para o período de T2, há uma oscilação no pico máximo e mínimo da linha de resposta, isso pode ser decorrente de fatores climáticos e da microbiologia do solo, que influenciam diretamente na ação de liberação dos nutrientes em questão.

Para esses resultados, vistos de forma separada, verifica-se estudos mais voltados a estudar o tempo de inoculação dos compostos e a sua disponibilidade por um período de tempo maior. Esta observação abre pressupostos para que sejam feitas novas pesquisas que trabalhem com um período a campo maior, bem como a incorporação da rochagem no solo de forma mais precoce para que, no momento de instalação, já esteja disponível no solo os nutrientes através do processo da ação do intemperismo.

No que se refere aos resultados obtidos quanto a eficiência de uso da água (EUA) e de carboxilação (EC), foi observado que em ambos ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) para o período de avaliação (Fig. 4).

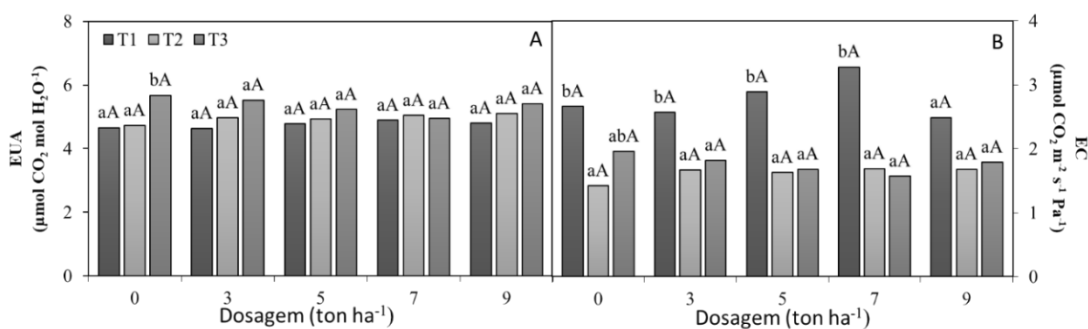


Figura 4. Eficiência de Uso da Água (A) e Eficiência de Carboxilação (B) realizado em todos os três períodos de avaliações, sendo: 20 dias (T1), 40 dias (T2) e 60 dias (T3). (As médias seguidas da mesma letra minúscula não se diferem entre si no tocante ao tempo de avaliação, enquanto as letras maiúsculas iguais não se diferem em relação à dosagem, segundo o teste de Tukey, ao nível de significância 5%).

Os resultados da pesquisa apontam para a conclusão de que as dosagens aplicadas não interferem diretamente na Eficiência do Uso da Água (EUA). Por ter apresentado apenas diferença significativa na testemunha durante o último período de avaliação constata-se, portanto, que independente da dosagem utilizada, não há divergência entre as médias amostradas.

Para a Eficiência de Carboxilação, observa-se que, para as dosagens: 3, 5 e 7 t.ha⁻¹ apresentam resultados promissores, pois as médias apresentam diferença em T1. Então, em primeiro momento, a adubação nesses percentuais, favorecem a EC.

Santos et al. (2018) afirmam que a elevada eficiência de carboxilação ocorre em razão das altas taxas fotossintéticas aliadas com as baixas concentrações internas de CO₂. Os resultados aqui apresentados corroboram com tal afirmativa para o período de

T1, onde os valores se adequam ao que foram encontrados pelos autores. Em contrapartida, para o período de T2 e T3 houve um aumento da concentração de C_i , afetando apenas no rendimento da EC e não da P_N .

4.3. Avaliação de Crescimento

Os resultados do presente estudo apresentaram evidências de que a variável altura (cm) sofre variação crescente ao passo em que se aumenta a dosagem de adubação com o pó de rocha, até o valor da dose que gera valor máximo. Verificou-se ainda, que os dados de altura apresentam boa conformidade à regressão polinomial de terceiro grau (Figura 4).

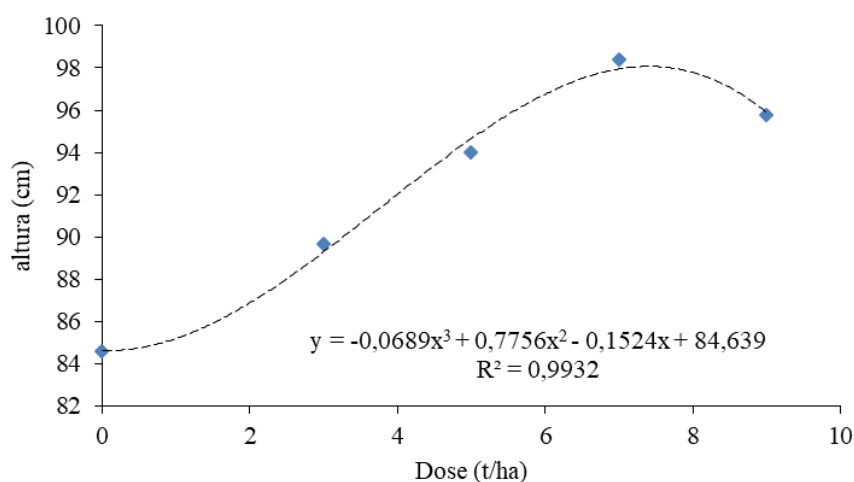


Figura 5. Altura do milho para as diferentes doses de adubação.

A partir da equação ajustada aos dados ($R^2=0,9932$), evidencia que para a dosagem com valores próximos de 0 o milho apresenta menor altura, enquanto a dosagem de 7,4 t/ha apresenta-se como a de melhor resultado no que tange à altura. Para valores superiores ao de 7,4 t/ha a curva evidencia decréscimo em função do aumento da dose de adubação.

Neto et al. (2016) avaliando crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino, verificaram que as plantas obtiveram altura máxima de 84,7 cm quando utilizado 25% do biofertilizante. Fazendo o comparativo sobre esse tipo de adubação, observa-se que o uso de rochagem como adubo se adequa melhor quanto ao crescimento do milho, pois, na dosagem de 7 t. ha^{-1} apresentou-se altura média de 98,42 cm, cujo valor é superior à altura máxima da adubação que utiliza biofertilizantes bovinos.

4.4. Massa seca

Para o parâmetro de massa seca da folha e da raiz, observou-se comportamento polinomial de quarto grau ($R^2=1$) para ambos os valores, em função da dosagem de pó de rocha utilizada (t/ha), evidenciando aumento no peso em decorrência ao nível de adubação. Observa-se que o peso da Massa Seca da Folha (MSF) (Fig. 6A) apresentou valores similares ao da Massa Seca da Raiz (MSR). No tocante ao valor da dosagem de adubação, em t/ha, que proporciona valor máximo para a MSF e a MSR, concentram-se em torno de 5,93 e 5,93, respectivamente. Tais valores podem indicar condição mais vigorosa para a planta e, conseqüentemente, que tenha padrões de produtividade mais elevados ou dentro da média esperada.

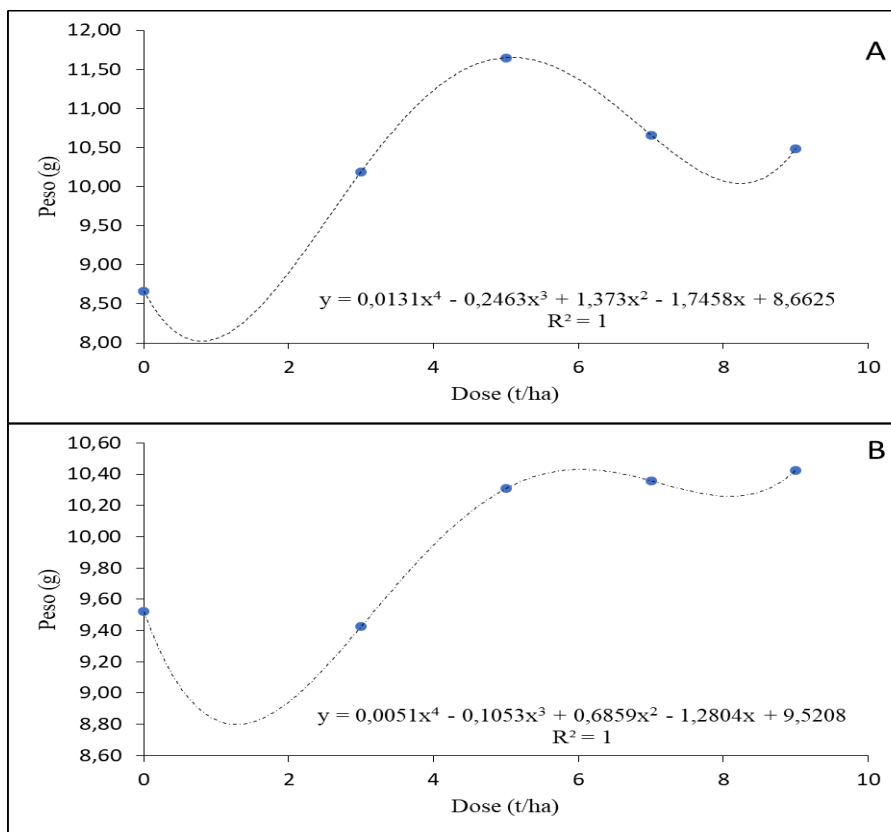


Figura 6. Massa seca das folhas (A) e massa seca da raiz (B) sob diferentes dosagens de pó de rocha (t/ha).

Souza et al. (2017b) testando o crescimento inicial do milho sob doses de esterco caprino e disponibilidade de água no solo constataram comportamento linear crescente da massa seca da parte aérea (folha e colmo) em relação as dosagens de esterco caprino. O referido estudo destacou comportamento polinomial para a MSR em função das doses

de esterco caprino, indicando uma adubação de 9,2 t.ha⁻¹ como o valor que proporciona valor máximo para a variável em questão

Estimando doses de esterco de galinha e água disponível sob o desenvolvimento inicial do milho, Souza et al. (2016) verificaram comportamento polinomial quadrático para a variável massa seca da raiz, sendo a dosagem de 8,5 t.ha⁻¹ a que expressa maior produção. Os autores complementam que a resposta quadrática para o sistema radicular pode estar relacionado ao grande aporte de nutrientes que a cama de frango pode oferecer, não havendo a necessidade da planta expandir seu sistema radicular em busca de nutrientes.

Os resultados decorrentes da adubação com rochagem evidenciam que tal técnica é promissora no que se refere a MSR (Fig. 6B), sobretudo quando se compara aos resultados obtidos com a utilização do esterco de caprino ou de galinha, pois, para estes, é necessário uma adubação superior a de 5,08 t.ha⁻¹ para que o milho alcance boa produção de raízes, que conseqüentemente auxiliam no processo de fixação de nutrientes bem como em seu desenvolvimento.

Para o parâmetro de massa seca do colmo, foi observado maiores rendimentos quando se aumenta a dosagem, sendo que, para os tratamentos que não tinham pó de rocha obteve valor de média próximo a adubação de 3 t.ha⁻¹. A equação polinomial de terceiro grau ($R^2=0,9992$) ressalta que, o melhor acúmulo de MSC ocorre no ponto máximo de 7,64 t.ha⁻¹(Fig. 7).

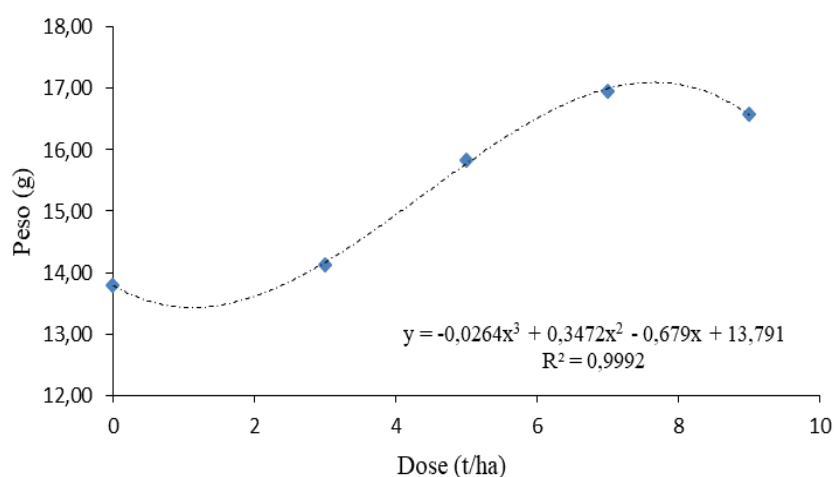


Figura 7. Massa seca do colmo nas diferentes dosagens.

Magalhães et al. (2014) estudando o desenvolvimento inicial do milho submetido à adubação com manipueira, verificaram que a massa seca das folhas e do colmo aumentam em função da quantidade de adubação. Esses resultados remetem a

alusão de que quanto maior a adubação de pó de rocha, a quantidade de nutrientes a serem incorporados é maior, consequentemente, favorece o milho tanto de forma imediata como em longo prazo.

Para Oliveira et al. (2013), em período próximo ao florescimento, o acúmulo de massa seca das folhas é maior, enquanto, após esse período, o acúmulo de massa seca do colmo é mais expressivo. Desta forma, foi evidenciado que para a alocação de biomassa, houve uma maior taxa de massa seca destinada ao colmo, pois a cultura fornece mais nutrientes para a formação e estruturação do colmo, para garantir o porte ereto da planta e, consequentemente, faz com que o colmo apresente maior percentual de biomassa quando comparado aos parâmetros de raiz e folha. Com valor de $R^2=0,883$ para o colmo, observa-se que as medias obtidas estão bem próximas ao esperada para a equação polinomial aplicada (Fig. 8).

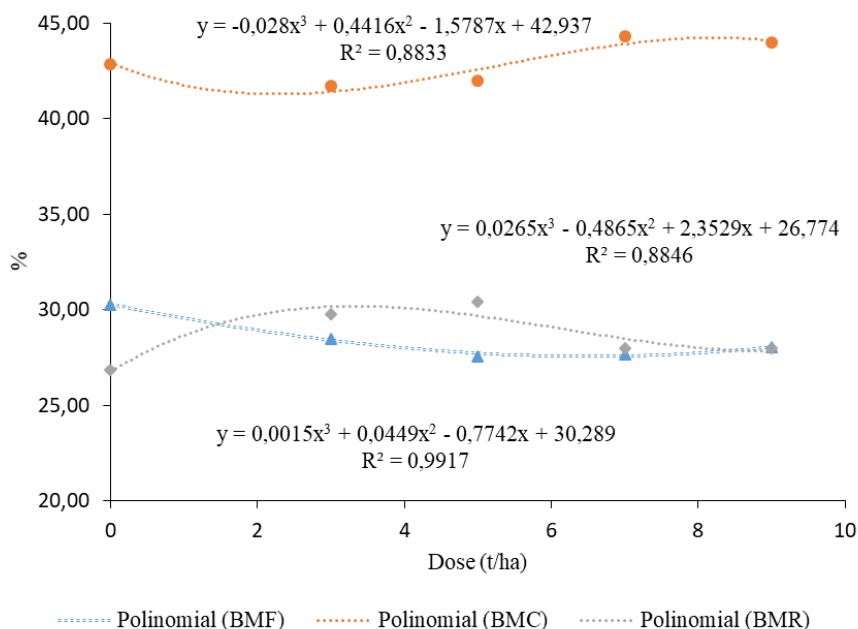


Figura 8. Alocação da biomassa das folhas (BMF), do colmo (BMC) e da raiz (BMR) em porcentagem.

A plasticidade na alocação de biomassa entre estruturas da planta ocorre nos estágios iniciais. Isso se deve ao fato de que, no começo de seu desenvolvimento, a cultura pode ter seu crescimento afetado por ocasião de competição com plantas daninhas e, uma vez verificada tal situação, a resposta da planta é o aumento da alocação da biomassa para as raízes em função de restrições de recursos no solo (ACCIARESI e GUIAMET, 2010).

Para os valores de biomassa da testemunha, percebe-se que os resultados se assimilam aos mencionados posteriormente, com a biomassa da raiz sendo superior à da

folha, sendo como característica de um possível desequilíbrio nutricional do solo sem a adubação complementar da rochagem.

Deprá et al. (2016) demonstraram que o crescimento das plantas está relacionado diretamente por três fatores: a fotossíntese, a absorção de nutrientes e água. Segundo os autores, a massa seca das plantas apresenta maior incremento nos períodos iniciais do ciclo caso influenciados pelos diferentes regimes hídricos, apresentando redução no desenvolvimento da planta.

Os resultados aqui expostos, demonstram que, no tocante à alocação de biomassa para a raiz, o milho não apresenta resposta a um desequilíbrio nutricional capaz de comprometer o seu desenvolvimento, visto que a alocação para as raízes é inferior as demais estruturas da planta para as dosagens testadas.

5. CONCLUSÕES

As evidências obtidas a partir da consecução do presente estudo foram suficientes para concluir o seguinte:

(1) A rochagem trabalhada apresenta nutrientes que são capazes de auxiliar no desenvolvimento da cultura, sendo o Si o principal nutriente encontrado.

(2) Para as avaliações de trocas, gasosas a rochagem não expressa resultados que indique o pleno favorecimento para o desenvolvimento da cultura e, da mesma forma, não apresenta restrição de uso.

(3) Os resultados referentes a transpiração indicam que são necessários mais estudos quanto ao tempo de incorporação do material.

(4) Para os parâmetros fisiológicos, os valores obtidos quanto a altura, sugerem que a rochagem auxilia no desenvolvimento da cultura. Quando se refere a produção de massa seca, é evidente que a adubação proporciona um ganho de rendimento superior a testemunha.

(5) A alocação de biomassa expressa que os tratamentos com rochagem indicam melhor equilíbrio nutricional quando referido ao comparativo de médias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIARESI, H. A.; GUIAMET, J. J. Below- and above-ground growth and biomass allocation in maize and Sorghum halepense in response to soil water competition. **Weed Research**. v. 50, p. 481–492, 2010.
- ALMEIDA, A. C. S. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Rev. Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.3, p. 1448-1457, 2017.
- ALOVISI, A. M. T. et al. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. Edição Especial: II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura, **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 57-68, 2017.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de MORAES.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013.
- ALVIM, K. R. T. et al. Efeito da aplicação foliar de cobalto e molibdênio na produtividade e qualidade de grãos da cultura do milho. In: congresso nacional de milho e sorgo, 2010, **Anais...** Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p.1692-1696.
- AMARAL, L. A. et al. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Rev. Agrarian**, v.10, n.35, p. 31-41, 2017.
- ARAÚJO JUNIOR, B. B. et al. Avaliação de variedades crioulas de milho para produção orgânica no semiárido potiguar. **Rev. Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte**, v. 3, p. 102-108, 2015.
- ASSIS, L. B. **Agroecologia sob a visão do direito: estudo do manejo da rochagem como demonstração de que a agroecologia é instrumento de direito à alimentação e de preservação da vida**. GOIÂNIA, 2015, 101 p. Dissertação (Mestrado em Direito Agrário) - Universidade Federal de Goiás, 2015.
- ASSIS, L. B. et al. Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa sustentável. **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**. Poços de Caldas, 2013, p.125-132.
- BAK, K.; GAJ, R. Effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on maize grain yield and plant nutritional status at a critical growth stage. **Journal of Elementology**, v. 21, n.2, p. 337-348, 2016.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006, 237 p.
- BENEDUZZI, E. B. **Rochagem**: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos. 2011, 90 f. Monografia (Bacharel em Geologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociência.

BERGMANN, M. et al. Considerações sobre o potencial de uso agrônomo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná.. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J;T. DA; DONATO, M.. (Org.). **Anais** Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração. Porto Alegre: UFRGS, 2014, p. 119-126.

BORGHI, E. et al. Dez dicas para Produção de Milho. **Embrapa Milho e Sorgo**. Documentos 216, 34 p, 2017.

BRAGA, Gastão Ney Monte. *Cálculo da Quantidade de Fertilizantes para Aplicação num Vaso*. Disponível em:< agronomiacomgismonti.blogspot.com>. Acesso em 23 agosto 2017.

BRANDÃO, Juliana Andréia Vrba. **Pó de rocha como fonte de nutriente no contexto da agroecologia**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, 2012.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p.87-95, 2016.

CAMARGO, C.K. et al. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, suplemento 1, p. 2985-2994, 2012.

CAPELLESSO, A. J.; CAZELLA, A. A. Indicador de sustentabilidade dos agroecossistemas: estudo de caso em áreas de cultivo de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.12, p.2297-2303, 2013.

CASTRO, C. et al. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Espaço e Geografia**, v. 9, n. 2, p. 179-190, 2006.

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

COLDEBELLA, N. et al. Desempenho do milho à elevação da participação do cálcio na CTC. **Sci. Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 4, p. 443-450, 2018.

COLOMBO, G. A. et al. Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. **Rev. Agrogeoambiental**, v. 10, n. 2, p. 47-60, 2018.

CONAB (Compania Nacional De Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 6 Safra 2017/18 - Sexto levantamento, Brasília, p. 1-140, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 26 março 2018.

CONAB (Compania Nacional De Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2016/2017. 2017a. Disponível em: < www.conab.gov.br >. Acesso em: 20 jul 2017

- CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). Perspectivas para a Agropecuária. Brasília, v.5, p. 1-112, 2017b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 março 2018.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Cerrados, 322 p. 2010.
- COSTA, M. N. F. et al. Desempenho e produtividade do milho em função do cultivar e da adubação de cobertura em regime de sequeiro no Cariri-CE. **Cultura Agronômica**, v.26, n.3, p.310-319, 2017a.
- COSTA, M. S et. al. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 12 - 26, 2012.
- COSTA, R. V. et al. Cultivares de milho afetadas pela época de semeadura na safrinha em Tocantins. **Rev. Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 469-480, 2017b.
- DEPRÁ, M. S. et al. Modelo logístico de crescimento de cultivares crioulas de milho e de progênies de meios-irmãos maternos em função da soma térmica. **Ciência Rural**, v.46, n.1, p.36-43, 2016.
- EDWARD, Winnie Oku Oliveira. **Influência do uso de pó de rochas fosfáticas e basálticas na ocorrência de micorrizas arbusculares em solo de cerrado**. 2016. ix, 45 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal)—Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- FERREIRA, D. F. SISVAR.: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GASSEN, D. Processos no plantio direto e na produção de grãos. **Rev. Plantio Direto**, Passo Fundo: Aldeia Norte, ed. 115, 2010.
- GROTH, M. Z. et al. Pó-de-basalto no desenvolvimento de plantas de alface e na dinâmica populacional de insetos.i **Rev. Ciências Agroveterinárias**. v.16, n.4, 2017.
- GUEDES, B. R et al. Produtividade de massa verde de milho transgênico em função da adubação em regime de sequeiro no Cariri-CE. **Rev. de Ciências Agroambientais**. v.15, n.1, p. 53-61, 2017.
- GUIMARÃES, A. G. et al. Comportamento agronômico e ganhos por seleção em híbridos experimentais de milho em condições de safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis, **Anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 538-543.
- HARGER, N. et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Rev. Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

- HUANG S. et al. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of Southern China. **Agriculture, Ecosystems e Environment.**, v. 138, ed. 1-2, p. 44-50, 2010.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.
- JESUS, A. C. et al. Levantamento e análise fitossociológica de ervas espontâneas em área de produção orgânica de milho (*Zea mays* L.) com adubação de pó de rocha e cinza. **Rev. Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n.3, 2015.
- LINS, F. F. et al. Apresentação. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, 2010, Planaltina – DF. Apresentação: **Anais** do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Embrapa Cerrados, p. 302. 2010.
- LOUREIRO, F. E. V. L.; NASCIMENTO, M. "Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva", In: Lapiro Loureiro, F.E., Melamed, R., Figueiredo Neto, J. (eds), **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**, 1 ed., capítulo 2, Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009.
- LUZ, A. B. et al. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: **Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT**, 2010. Cap.4, p.61-88.
- MAGALHÃES, A. G. et al. Desenvolvimento inicial do milho submetido à adubação com manipueira. **Rev. Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 18, n. 7, p.675–681, 2014.
- MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. **Agronomy for Sustainable Development**, v.3, n.2, p.281-294, 2010.
- MARIZ, Bruna Lopes. et al. Desempenho de cultivares de milho de baixo custo de sementes na safrinha 2016. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis, **Anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 364-369.
- MARTINS, E.S; THEODORO, S.H. Congresso Brasileiro de Rochagem In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, 2010: Brasília. **Anais** do I Congresso Brasileiro de Rochagem; editores Eder de Souza Martins, Suzi Huff Theodoro Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 322, 2010.
- MEDEIROS, Fernanda de Paula. **Uso dos remineralizadores associado a policultivos para produção da palma forrageira no semiárido baiano**. 2017. xxii, 110 f., il. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, Planaltina, 2017.
- MELAMED, R. et al. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos. 2007, p. 26.

- MIRANDA, P. S. et al. Aplicação de silício na cultura do milho. **Rev. de Ciências Agroambientais**, v.16, n.1, 2018.
- NETO, D. D. et al. El tratamiento de semillas de maíz con micronutrientes aumenta el rendimiento de grano. **Rev. Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 86-92, 2015.
- NETO, M. O. R. et al. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino. **Cadernos Cajuína**, v. 1, n. 3, p.4 – 14, 2016.
- OLIVEIRA, A. B. et al. Pó de coco verde, uma alternativa de substrato na produção de mudas de berinjela. **Revi. Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 01, p. 39-44, 2008.
- OLIVEIRA, M. A. et al. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1040–1046, 2012.
- OLIVEIRA, P. et al. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 239-246, 2013.
- PÁDUA, Eduane José de. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Lavras, 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras. 2014.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451p.
- PORTELA, M. G. T. et al. Características agrônômicas do milho Submetido a fontes e parcelamento de Nitrogênio em cobertura. **Rev. Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 3, p. 248-258, 2016.
- PRAZERES, C. S; COELHO, C. M. M. Divergência genética e heterose relacionada à qualidade fisiológica em sementes de milho. **Ahead of print**, 2016.
- PRIOR, M. et al. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. **Rev. Engenharia Agrícola**, v.35, n.4, p.744-755, 2015.
- RENATO, N. S. et al. Modelo fotossintético para simulação da produtividade do milho em condições de temperatura e CO₂ elevados. **Rev. de Ciências Agrárias**, v. 41, n.4, p. 1067-1074, 2018.
- RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.; MARTINS, E. de S.; SENA, M.C. de; NASCIMENTO, M.T. do; SILVA, L. de C. R.; LINHARES, N. W. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Rev. Espaço e Geografia**, v.9, n.1, p.135-161. 2006.
- RIBEIRO, L. S. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 891-897. 2010.

ROLIM, R. R. et al. Produtividade e rentabilidade do milho em função do manejo da adubação na região do Cariri-CE. **Rev. Científica Rural**, v. 20, n. 1, p. 204-221, 2018.

SANTOS, A. L. F. et al. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Rev. de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 52-60, 2018.

SANTOS, A. M. S. et al. Efeito da Fertilização Amoniacal na Aclimação de Ingá Sob Alta e Moderada Irradiância. **Rev. Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 01-10, 2017.a

SANTOS, E. S. et al. Espectrometria de fluorescência de raios-x na determinação de espécies químicas. *Enciclopedia Biosfera*. v. 9, n. 17, p. 3413-3432, 2013.

SANTOS, J. F. et al. Produção de feijão sob doses de pó de rocha (mp4) em sistema agroecológico. In: V CONGRESO LATINOAMERICANO DE AGROECOLOGÍA, 2015, La Plata -Argentina. *La Agroecología: Un nuevo paradigma para redefinir la investigación, la educación y la extensión para una Agricultura Sustentable.*, 2015. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-34-1265-7. Disponível em: < sedici.unlp.edu.ar>. Acesso em 23 março 2018.

SANTOS, J. F. et al.. Produção agroecológica de batata em relação à doses de pó de rocha. **Rev. Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.8, n.1, p.29-35, 2014.

SANTOS, M. A. et al. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão de corda em diferentes populações e arranjos de plantas no semiárido mineiro. **Rev. Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 3, p. 201-208, 2016.

SANTOS, P. R. A. et al. Características morfológicas e produtivas do milho no consórcio com forrageiras em diferentes épocas de semeadura. **Rev. Brasileira de Agricultura Irrigada** v.11, n.7, p. 2031-2039, 2017b

SAULNIER, L. Les grains de céréales: diversité et compositions nutritionnelles Cereals grains: diversity and nutritional composition. **Cahiers de nutrition et diététique**, v. 47, n.1, p. 4-15, 2012.

SILVA, C. G. M. et al. Doses de molibdênio na produtividade do milho. **Rev. Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, p. 47-55, 2018.

SILVA, E. A. et al. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Rev. Árvore**, v. 32, n. 2, p. 323-333. 2008.

SILVA, Jordano Sandri. et al. Produtividade de híbridos de milho na safra 2016/2017 em dois vizinhos – pr. In: IV Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR, **Anais**. Dois Vizinhos. UTFPR-DV, 2017, p. 166-168.

SILVA, R. A. Características agrônômicas de cultivares de milho verde submetidas a doses de Ribumin®. **Rev. de Ciências Agrárias**. v. 39, n. 3, p. 395-403, 2016.

SILVA, Romário Lemes da. **Doses de micronutrientes aplicadas no tratamento de sementes de milho (Zea mays) e seus efeitos no rendimento de grãos**. 2015.

33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015

SILVEIRA, D. C. et al. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Rev. Ciência e Tecnologia**, v.1, n.1, p 01-11, 2015.

SILVEIRA, R. T. G. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. viii, 98 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SIMÃO, E. P. et al. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Rev. Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 481-494, 2017.

SMALBERGER, S. A. et al. Relative agronomic effectiveness of phosphate rock compared with triple superphosphate for initial canola, wheat, or ryegrass, and residual wheat in two acid soils. **Soil Science**, v. 175, n. 1, p. 36-40, 2010.

SOARES, R. J. S. et al. Produtividade de massa verde de milho transgênico em função do arranjo populacional na região do Cariri, CE. **Interações**, v. 18, n. 2, p. 117-127, 2017.

SOUSA, Í. M. et al. Adubação nitrogenada e modos de disponibilização de micronutrientes na produção de milho verde. **Rev. Agropecuária Científica no Semiárido**, v.13, n.1, p.15-21, 2017.

SOUZA, F. M. et al. Crescimento inicial do milho sob doses de esterco caprino e disponibilidade de água no solo. **Rev. Verde**. v. 12, n. 2, p. 241-245, 2017b.

SOUZA, F. M. et al. Doses de esterco de galinha e água disponível sob o desenvolvimento inicial do milho. **Rev. Verde**. v. 11, n. 5, p.64-69, 2016.

SOUZA, Fred Newton da Silva. **O potencial de agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. 2014. xii, 107 f., il. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUZA, M. D. B. et al. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Rev. Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017a.

SOUZA, M. E. P. et al. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology**. v. 69, p. 56-60, 2013.

THEODORO, S. H. et al. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Rev. Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2013.

THEODORO, S. H. et al. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Rev. Espaço e Geografia**, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006.

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

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

TIGGES, C. H. P. et al. Épocas de semeadura de milho em plantios de sequeiro e irrigado em Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo**. Circular Técnica 225, 20 p, 2016.

TOSCANI, R. D. S; CAMPOS, J.E.G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Rev. Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017.

TROGELLO, E. et al. Respostas morfoagronômicas de milho submetido a desfolha artificial. **Rev. Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 460-468, 2017.

WELTER, M. K. et al. Efeito da aplicação de pó de basalto no desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Rev. Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 922-931, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE 1: Resumo da análise de variância das variáveis ecofisiológicas avaliadas nos três períodos de avaliação (20, 40 e 60 dias).

FV	GL	Pr>Fc					
		P _N	C _i	g _s	E	EUA	EC
DOSE	4	0,7838 ^{NS}	0,9112 ^{NS}	0,2912 ^{NS}	0,6207 ^{NS}	0,9714 ^{NS}	0,9487 ^{NS}
TEMPO	2	0,0075*	0,0000*	0,0096*	0,0000*	0,0031*	0,0000*
DOSE*TEMPO	8	0,5453 ^{NS}	0,8420 ^{NS}	0,6912 ^{NS}	0,7508 ^{NS}	0,7249 ^{NS}	0,7738 ^{NS}
BLOCO	5	0,0195 ^{NS}	0,6884 ^{NS}	0,3892 ^{NS}	0,0021*	0,0308*	0,2464 ^{NS}
CV(%)		15,56	23,63	21,02	14,92	12,45	27,15

P_N - Fotossíntese líquida; C_i - Concentração intercelular de CO₂; g_s - Condutância estomática; E - Transpiração foliar; EUA - Eficiência de uso da água; EC - Eficiência de carboxilação; * - significativo; ^{NS} - não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.