

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

THOMAS OEHNINGER RAMOS

Utilização de Basalto granulado associado à aplicação foliar de
aminoácido e *Azospirillum brasilense* no feijoeiro orgânico

Maringá
2019

THOMAS OEHNINGER RAMOS

Utilização de Basalto granulado associado à aplicação foliar de aminoácido e *Azospirillum brasilense* no feijoeiro orgânico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional, do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia, na área de concentração: Agroecologia.
Orientador: DR. JOSÉ OZINALDO ALVES DE SENA

Maringá
2019

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

R175u

Ramos, Thomas Oehninger

Utilização de basalto granulado associado a aplicação foliar de aminoácido e azospirillum brasilense no feijoeiro orgânico / Thomas Oehninger Ramos. -- Maringá, PR, 2019.

53 f.figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Ozinaldo Alves de Sena.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia - Mestrado Profissional, 2019.

1. Agroecologia. 2. Feijão orgânico. 3. Adubação - basalto granulado. 4. Solo (agricultura) - preparação. 5. Feijão (Phaseolus Vulgaris). I. Sena, José Ozinaldo Alves de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia - Mestrado Profissional. III. Título.

CDD 23.ed. 635

ATA DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PÓS-GRADUANDO THOMAS OEHNINGER RAMOS. Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro de dois mil e dezenove, às dez horas, no Núcleo Maringaense da Sociedade Criacionista Brasileira (NUMAR-SCB), Sala de Reuniões, reuniu-se a Banca Examinadora da Dissertação em epígrafe, composta pelos Professores Doutores José Ozinaldo Alves de Sena e Carlos Alberto De Bastos Andrade da Universidade Estadual de Maringá - UEM e pelo Professor Doutor Luiz Antônio Odenath Penha, do Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR-Londrina. A sessão foi aberta pelo Professor Doutor José Ozinaldo Alves de Sena que apresentou os membros da Banca Examinadora, passando em seguida a palavra ao candidato THOMAS OEHNINGER RAMOS , para que fizesse uma exposição de seu trabalho, intitulado: **Utilização de basalto granulado associado à aplicação foliar de aminoácido e *Azospirillum brasilense* no feijoeiro orgânico.** O candidato foi arguido pela Banca Examinadora e, após o término dos trabalhos, a Banca Examinadora procedeu ao julgamento, sendo, ao final, o pós-graduando THOMAS OEHNINGER RAMOS considerado aprovado. Este resultado deverá ser homologado pelo Conselho de curso do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PROFAGROEC) da UEM. Conforme previsto no Regulamento, o pós-graduando somente fará jus ao respectivo Diploma, que conferirá o Título de Mestre, quando atender às demais exigências do PROFAGROEC relativas à publicação da Dissertação e dos resultados obtidos na mesma, atendendo à normativa expedida pelo Conselho de curso do PROFAGROEC. Nada mais havendo a tratar, o senhor presidente declarou encerrados os trabalhos. Para constar, foi lavrada a presente Ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, após lida e achada conforme. Maringá, aos vinte e oito dias do mês de fevereiro de dois mil e dezenove.



Prof. Dr. Carlos Alberto de Bastos
Andrade



Prof. Dr. Luiz Antônio Odenath Penha



Prof. Dr. José Ozinaldo Alves de Sena

(Orientador)

DEDICATÓRIA

A Deus nosso criador e mantenedor por prover sabedoria e forças. A minha esposa Edilaine Martins Peixoto Ramos, pelo incentivo, apoio e compreensão em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Carlos Alberto Ramos e Junia Eunice Ramos pela contribuição à minha formação educacional e profissional.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional de Agroecologia (MPA), pela oportunidade.

Ao Instituto agrônomo do Paraná (IAPAR) pelas orientações e apoio.

A Raiz Consultoria pelas orientações e apoio técnico.

Em especial aos Professores Dr. Antonio Saraiva Muniz e Dr. José Ozinaldo Alves de Sena, pela orientação, amizade, motivação e presença em todos os momentos necessários.

Aos colegas da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pelo apoio e orientação nas análises estatísticas

Aos amigos do Numar-SCB pelo apoio e suporte.

Aos amigos republicanos por permitirem períodos de apoio e descontração.

A todos que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Utilização de Basalto granulado associado à aplicação foliar de aminoácido e *Azospirillum brasilense* no feijoeiro orgânico

RESUMO

Diante de um cenário de baixa produtividade nacional do feijoeiro, alternativas tem sido buscado para gerar incremento na produção, trazer uma menor dependência de insumos químicos e trazer um incremento de renda ao produtor rural. Neste sentido o emprego de basalto granulado, associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e uso de aminoácidos na agricultura tem sido de forma bastante ampla por apresentarem respostas no incremento da produtividade para diversas culturas, principalmente em regiões onde as plantas estão sendo cultivadas em ambientes de desequilíbrio químico e biológico do solo. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de sub dose de basalto granulado associado com aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e aplicação foliar de aminoácido no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, num esquema fatorial 2x2x2, com cinco repetições. Os fatores consistiram na adubação granulada de pó-de-basalto granulado (0 e 350 kg ha⁻¹), aplicação foliar de *A.* (0 e 200 ml há⁻¹) e aplicação foliar de Aminoácidos (0 e 1 litro ha⁻¹). As seguintes variáveis foram avaliadas: altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa seca planta, número de nódulos, teor macro e micronutrientes da parte aérea, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos. A utilização de pó-de-basalto granulado associado com bactérias fixadoras de nitrogênio e aminoácido proporcionou respostas diferentes para apenas algumas das variáveis analisadas. O uso de pó-de-basalto granulado no sulco de plantio associado à aplicação foliar de *A. brasilense* e aminoácidos não se demonstrou como uma prática viável do ponto de vista fitotécnico e nutricional quando analisados de forma conjunta e isolada.

Palavras-chave: Pó-de-rocha. Co-inoculação. Bactérias fixadoras. *Phaseolus vulgaris*.

Utilization of granulated basalt associated with foliar application of amino acid and *Azospirillum brasilense* in organic Common bean

ABSTRACT

In a scenario of low yields of the bean, alternatives have been sought in order to generate an increase in production, in addition to a less dependence on chemical inputs and also an increase of income to the farmer. In this sense, the use of stonemeal, association with nitrogen-fixing bacteria and use of amino acids in agriculture has been quite broad since they present responses in increasing crop yields, especially in regions where plants are being grown in imbalance environments chemical and biological properties of soil. The main objective of this work was to evaluate the effect of subdosage of granulated basalts associated with *Azospirillum brasilense* foliar application and foliar amino acid application on common bean (*Phaseolus vulgaris*) development. The experimental design was conducted in randomized blocks, in a factorial scheme 2x2x2, with five replications. The factors consisted of granular powder (0 and 350 kg ha⁻¹), foliar application of *A. brasilense* (0 and 200 ml ha⁻¹) and Amino acids (0 and 1 liter ha⁻¹). The following variables were evaluated: plant height, insertion height of the first pod, number of pods per plant, plant dry mass, number of nodules, macro and micronutrients content of aerial part, mass of 1000 grains and grain yield. The use of granulated basalt powder associated with nitrogen and amino acid fixing bacteria gave different responses to only some of the analyzed variables. The use of granulated basalt powder in the planting groove associated with the *A. brasilense* and amino acid foliar application did not demonstrate as a viable practice from the standpoint of plant breeding and nutrition in a joint and isolated analysis.

Keywords: Stonemeal. Co-inoculation. Bacteria fixing. *Phaseolus vulgaris*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análise composição granulométrica do solo.....	28
Figura 2. Efeito da inclusão de basalto.....	29
Figura 3. Efeito da inclusão de azospirillum.....	29
Figura 4. Interação entre inclusão de basalto e azospirillum.....	31
Figura 5. Interação entre inclusão de azospirillum e aminoácido.....	32
Figura 6. Interação entre inclusão de basalto, azospirillum e aminoácido.....	33
Figura 7 – Análise de componentes principais das variáveis fitotécnicas	34
Figura 8. Efeito da inclusão de basalto.....	34
Figura 9. Efeito da inclusão de aminoácido.....	34
Figura 10. Interação entre inclusão de Pó de basalto e aminoácido.....	36
Figura 11 – Análise de componentes principais das variáveis nutricionais.....	37
Figura 12. Precipitação pluviométrica mensal (mm) e temperatura média (graus celsius).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos avaliados no experimento.....	24
--	----

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	10
2.0 HIPÓTESE CIENTÍFICA.....	11
3.0 OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo Geral.....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
4.1 Importância econômica do Feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	13
4.2 Importância do nitrogênio para as Plantas.....	13
4.3 Fixação Biológica.....	14
4.3.1 A fixação Biológica e sua importância para a agricultura.....	14
4.3.2 Fatores que afetam a fixação Biológica.....	16
5.0 MATERIAL E MÉTODO.....	21
5.1 Localização e Características Geográficas.....	21
5.2 Condições Climáticas.....	21
5.3 Tipo de Solo.....	21
5.4 Coleta de solo para Análise.....	22
5.5 Análises Química e Física do solo.....	22
5.6 Preparo do Solo e adubação verde.....	23
5.7 Implantação e condução do experimento.....	23
5.8 Delineamento Experimental.....	24
6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
6.1 Análises Fitotécnicas.....	27
6.2 Resultados nutricionais Parte aérea.....	32
6.3 Condições Climáticas Durante o Experimento.....	36
6.3.1 Duração dos estádios fenológicos.....	36
6.3.2 Balanço hídrico.....	36
7.0 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICE.....	47
Apêndice 1. Composição química Macro Nutrientes no Solo.....	47
Apêndice 2. Composição química Micro Nutrientes no Solo.....	48
Apêndice 3. Composição química Macro Nutrientes no Solo após realização da calagem.....	48
Apêndice 4. Teor de óxidos do material granulado.....	49
Apêndice 5. Teor de micronutrientes do material granulado.....	50

Apêndice 6. Composição Química Material a base de aminoácidos.....	51
Apêndice 7. Valores de probabilidade para o teste F da análise de variância aplicada para as variáveis.....	52

1.0 INTRODUÇÃO

A produção de cereais mostra-se de fundamental importância para a humanidade devido esses alimentos se constituírem uma das principais bases da alimentação mundial, estas culturas de maneira geral são cultivadas em extensas áreas de monocultura; desta maneira nota-se uma necessidade de um aperfeiçoamento e mudança do modelo do sistema de produção atual partindo de um sistema de cultivo convencional para um sistema de menor dependência de insumos externos (FAO,2018). Nesse sentido, a busca de estratégias sustentáveis de produção, torna a pesquisa em sistemas de produção agroecológicos de vital relevância e importância. Sistemas de produção baseados na agroecologia tem como objetivo principal além de alcançar níveis de produtividade dos cultivos e da produção animal que gerem renda adicional de forma que permita ao produtor rural se manter no campo, levar a sustentabilidade do meio ambiente e uma maior justiça social (ALTIERI, 2002).

A adesão e crescimento da agroecologia entre os produtores rurais se limita a entraves técnicos, de modo que há uma necessidade de desenvolvimento técnico envolvendo pesquisas que gerem mais incremento de produtividade e qualidade de produção. Neste sentido a busca de novas tecnologias tem também um papel muito importante para o desenvolvimento e viabilidade do sistema de produção de base ecológica. O investimento em pesquisa para Agroecologia quando comparado ao investimento destinado a agricultura Convencional é extremamente marginal (MAZETO,2012).

A cultura do feijoeiro em especial além de ser de grande relevância para a economia brasileira se constitui um dos alimentos básicos da população, sendo uma das alternativas de exploração agrícola para a agricultura familiar, de ocupação de mão-de-obra para manutenção do homem no campo e um dos principais produtos base de proteína na dieta alimentar de classes sociais economicamente menos favorecidas (Ferreira,2002).

Segundo Mazeto (2012):

O manejo sustentável deve apoiar-se em processos biológicos de adaptação de germoplasmas a condições adversas, no aumento da atividade biológica dos solos, na otimização da ciclagem de nutrientes para minimizar os aportes externos e maximizar a eficiência ecológica e produtiva dos agroecossistemas. Para tanto, a premissa científica básica para o manejo ecológico dos solos é que a biomassa, como fonte mediadora dos nutrientes e da energia do sistema, deve ser manejada diligentemente com o objetivo de

auto-regenerar a fertilidade dos solos. A produção de biomassa nesses sistemas é enfatizada com o uso de adubos verdes de inverno, verão e plantas leguminosas.

Além da adubação verde à associação de plantas com microrganismos de diversos gêneros de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) através da inoculação ou co inoculação apresentam associação com diferentes espécies de importância agrícola, destacando-se os organismos: *Azobacter*, *Azospirillum brasilense*, *Arthobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Streptomyces* (Steenhoudt e Vanderleyden, 2000; Hungria et al. 2010). Os organismos do gênero *Azospirillum* (bactérias), em associação com raízes das plantas, são capazes de promover o crescimento vegetal através da produção de aminoácidos, ácido indol-acético, giberelinas e outras poliaminas, favorecendo assim o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, absorção de água e nutrientes do solo (Tien et al., 1979; Thuler et al., 2003; Bashan; de-Bashan, 2010; Doornbos et al., 2012). Além desses benefícios, bactérias do gênero *Azospirillum* *brasilense* possuem capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico por um processo denominado de fixação biológica do nitrogênio (FBN) e, dessa forma, podem contribuir diretamente para disponibilização de nitrogênio para várias espécies leguminosas e não leguminosas (Hungria et al., 2010; Bashan et al., 2012; Ferreira et al., 2013). Observa-se também um efeito positivo no aumento de crescimento na ordem de 5 a 30% em diversas culturas de relevância como algodão, lentilha, milho e arroz após a realização de inoculação de organismos BPVC (Dashti et al., 1998).

Há também uma grande preocupação a crescente produção de resíduos industriais e seu destino podendo tornar-se um passivo ambiental como o caso do pó-de-rocha. Neste sentido a agroecologia pode-se tornar um grande aliado como um dos principais destinos destes resíduos, porém há a necessidade de desenvolvimento tecnológico por meios de mais pesquisas para a transformação destes resíduos de maneira que estejam aptos para serem aplicados na agricultura. Desta forma trabalhos como este tem fundamental importância para o desenvolvimento e aplicação prática de pesquisa de fácil acesso ao produtor rural com redução potencial de custo.

2.0 HIPÓTESE CIENTÍFICA

A associação de sub dose de pó de basalto com aminoácidos e *Azospirillum brasilense* viabiliza a produção do feijoeiro sem o uso do adubo mineral.

3.0 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de sub dose de pó-de-basalto granulado associado com aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e aplicação foliar de aminoácido no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*).

3.2 Objetivos Específicos

Avaliar efeito dos tratamentos isolados e interação e entre os efeitos do uso pó de basalto granulado, aplicação foliar de aminoácidos e *Azospirillum brasilense* associados na produção do feijoreio (*Phaseolus vulgaris*).

4.0 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância econômica do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)

A cultura do feijoeiro possui importância expressiva no cenário agrícola mundial, dada à extensão de suas áreas cultivadas e por seu grande papel sócio econômico. Segundo dados da FAO (Food Agriculture Organization), o feijão está entre principais leguminosas em área cultivada e produção no mundo, com estimativa de produção de 26,85 milhões de toneladas para o ano agrícola de 2016 (FAO, 2016).

O Brasil produz anualmente 3,1 milhões de toneladas de grãos de feijão em uma área cultivada de 3,17 milhões de hectares, ocupando posição de destaque no cenário internacional como o terceiro maior produtor mundial, superado apenas pela Índia e Myanmar (FAO, 2016).

O feijoeiro é cultivado durante o ano todo no Brasil, devido a isto, denominou-se a cultura de acordo a época de plantio: feijão das águas, feijão da seca e feijão do inverno. Apesar de o Brasil estar entre os maiores produtores do mundo sua produtividade média está entre as mais baixas dentre os maiores produtores com uma média de produtividade de apenas 981 kg há⁻¹ (CONAB, 2018) na safra 2017/2018 enquanto os EUA apresenta uma produtividade média próxima de 4000 kg há⁻¹ seguido pelo Myanmar que apresenta uma produtividade média de 3.200 kg há⁻¹.

De acordo com prognóstico da CONAB (2018), a produção total de feijão por região do Brasil é distribuída da seguinte forma: Norte – 78,3 mil toneladas (3% da produção nacional), Nordeste – 641,1 mil toneladas (21%), Centro-Oeste – 791,4 mil toneladas (25%), Sudeste – 783,4 mil toneladas (25%) e Sul – 822,7 mil toneladas (26%). Portanto pode observar uma produção em grande parte dos estados e regiões do Brasil.

O Paraná é principal produtor da Região Sul e o maior estado produtor do Brasil, contribuindo com aproximadamente 19% da produção nacional. Na Safra de 2017/18, o Paraná cultivou uma área de 399,4 mil hectares, na qual obteve uma produção de 587,7 mil toneladas e produtividade média de 1.471 kg há⁻¹. Porém apesar do rendimento médio do Paraná ser aproximadamente 49% superior ao rendimento médio nacional, o mesmo ainda está muito aquém do potencial produtivo (CONAB, 2018).

4.2 Fertilidade e Nutrição de Plantas em Sistema de cultivo em Base Ecológica

Em solos tropicais nota-se uma grande deficiência de nitrogênio (N) abaixo dos níveis requeridos para que as espécies cultivadas atinjam produtividades de forma satisfatória (Urquiaga & Zapata, 2000). O nutriente N possui uma grande importância para o metabolismo vegetal, sendo presente em vários compostos orgânicos nas plantas, dentre eles ácidos nucleicos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas e clorofilas (Mifflin e Lea, 1976). Desta forma, como consequência pode-se dizer que as principais reações bioquímicas que ocorrem nos vegetais envolvem de

alguma forma a participação de N, se tornando o elemento de maior necessidade pelas plantas (Taiz e Zeiger, 2010). Pode-se atribuir ao uso de N grande parte do incremento de produtividade no século XX para diversas culturas (Hirel et al., 2007).

Muitos são os fatores que podem impossibilitar ou reduzir a disponibilidade do nitrogênio no solo. Dentre estes fatores pode-se destacar a lixiviação com o principal fator para regiões de alta precipitação pluviométrica para principalmente solos de textura arenosa. Devido a ocorrência desta grande perda no sistema é recomendado aplicar fertilizantes nitrogenados em duas ou mais vezes em cada ciclo vegetativo. Uma vez que a eficiência de absorção de N pelas plantas varia de 15 a 30% sendo afetada pela dose, época e forma de aplicação, fonte de fornecimento de N, além de fatores como acidez do solo, toxidez por alumínio, disponibilidade de água e pela atividade de bactérias nitrificadoras no solo o manejo adequado visando uma melhor eficiência no sistema sem dúvidas é indispensável (Rhodes, 1987; Wiedenfeld e Braverman, 1991).

Por outro lado, é crescente também a preocupação pelo uso excessivo de N no meio ambiente com a ocorrência de poluição dos recursos hídricos, eutrofização dos solos e emissão de gases de efeito estufa, causados pelo uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, em virtude, principalmente, da instabilidade desse nutriente, o que pode deixá-lo sujeito a perdas por erosão, desnitrificação, lixiviação e volatilização (Lara Cabezas et al., 2000; Dungait et al., 2012). Há alternativas que trazem uma redução nas perdas de N no solo através do emprego do sulfato de amônio no lugar de uréia, porém devido ao custo elevado não possui viabilidade econômica. Outra preocupação é também referente a necessidade da redução de custo devido grande parte da matéria prima utilizada na produção ser importada.

4.3 Fixação Biológica

4.3.1 A fixação Biológica e sua importância para a agricultura

A fixação biológica pode ser considerada fator relevante para a sustentabilidade de solos tropicais que frequentemente são considerados deficientes em Nitrogênio e seu emprego pode levar a um suprimento de N total para as plantas sem a necessidade da aplicação de fertilizantes químicos. Um grande exemplo de sucesso foi o que ocorreu com a cultura da soja (*Glycine max*) onde o melhoramento genético dos organismos de fixação biológica iniciou-se em 1930

(Alcântara et al. 2009) e atualmente consegue suprir necessidade de nitrogênio desta cultura de forma satisfatória. Por outro lado a cultura do feijão, diferentemente da soja, possui uma alta dependência do uso de uréia e outras fontes químicas, este fato se deve a baixa eficiência do processo de fixação biológica e também ao baixo emprego por parte do produtor da associação do feijão com espécies de bactérias do grupo dos rizóbios e azospirillum, ferramentas capazes de substituir a adubação nitrogenada, total ou parcialmente de forma a proporcionar altos rendimentos da cultura (ALCANTARA, 2009).

A baixa eficiência de fixação biológica no feijoeiro pode estar ligada ao baixo investimento em pesquisas envolvendo melhoramento genético de organismos potenciais. Entretanto alguns trabalhos já demonstram um enorme potencial para melhora no caráter de nodulação, bem como associação com diversos microorganismos, atuando de maneira conjunta para fixação de nitrogênio para o feijoeiro e outras culturas (Herridge & Rose 2000).

A cultura do feijão atualmente realiza simbiose com inúmeros microorganismos do gênero rhizobia, incluindo *R. leguminosarum* bv. *phaseoli*, *R. tropici*, *R. etli*, *R. gallicum* e *R. giardinii*. Porém diversos estudos apontam para o *R. tropici* a uma maior tolerância a altas temperaturas quando comparado *R. leguminosarum* and *R. etli* (MartõÁnez-Romero et al., 1991; Hungria et al., 1993; Mercante, 1993; SaÂ et al., 1993), além de apresentar uma maior tolerância a acidez do solo (Graham et al., 1994; Anyango et al., 1995) e maior estabilidade genética, mantendo propriedades de simbiose em condições de estresse. (SOBERO et al., 1986; MartõÁnez-Romero et al., 1991; Hungria et al., 1993; Segovia et al., 1993; Michiels et al., 1994). A estabilidade é uma dos principais fatores que viabiliza a aplicação dos organismos *R. tropici* e *A. Brasilense* na comercialização e multiplicação industrial destes organismos na agricultura.

Na cultura do milho (*Zea mays*) trabalhos apontam que *A. brasilense* foi eficiente na melhora da nutrição do milho não apenas em relação ao N, mas em alguns casos também em relação ao fósforo (P), casos em que também houve maior colonização por bactérias diazotróficas no interior da planta (Fagotti, 2011).

4.3.2 Fatores que afetam a fixação Biológica

Os microorganismos simbióticos podem ser considerados sensíveis a acidez do solo, alta temperaturas e baixa umidade do solo quando comparados com as plantas. Estas limitações são apontadas como a principal causa de falha na nodulação, afetando as relações de simbiose, crescimento dos microorganismos e sua sobrevivência.

Quanto a temperatura, a faixa ótima de desenvolvimento simbiose nodular é considerada na faixa de 25 a 33 graus (Barrios et al., 1963; Pankhurst and Sprent, 1976; Graham and Halliday, 1977), porém pode ser observado uma queda na fixação de nitrogênio acima de 28 graus (Hungria et al., 1985; Piha and Munns, 1987; Hungria and Franco, 1993). No Brasil um dos principais fatores de menor nodulação do feijão está relacionada a alta temperaturas no campo (Hungria et al., 1993, 1997b). No caso de estresse hídrico a falta de umidade no solo compromete o crescimento vegetal e pode ser apontado como principal causa de falha na nodulação nas plantas. O estresse hídrico também afeta a sobrevivência e crescimento da população de rizóbios do solo, formação de novos nódulos, a longevidade dos nódulos, síntese de leg-hemoglobina e funções nodulares. Trabalhos apontam que locais sob severos condições estressees hídrico podem causar a interrupção de fixação de maneira irreversível (Sprent, 1971; Vicent, 1980).

O Baixo pH no solo esta normalmente relacionado com incremento de Alumínio e Manganês e redução de cálcio no solo. Os microorganismos simbióticos geralmente são mais sensíveis ao pH do meio em que estão. Porém algumas espécies de rizóbio são tolerantes a certos níveis de acidez quando comparadas com outras espécies e cepas. (Lowendorff, 1981; Vargas and Graham, 1988; Brockwell et al., 1995; Hungria et al., 1997b). A faixa ótima do pH para crescimento é considerado na faixa entre 6 e 7 (Jordan, 1984) sendo que poucos rizóbio possuem um bom crescimento com pH abaixo de de 5,0 (Graham et al., 1994). Há algumas exceções que incluem cepas de *Rhizobium tropici*, *Mesorhizobium loti* and *Bradyrhizobium sp.* e *Sinorhizobium meliloti* que demonstraram baixa sensibilidade a baixos níveis de pH, porém variações na tolerância de pH forma reportadas (Graham et al., 1994). Trabalhos demonstram haver tolerância em manter o pH intracelular na faixa de 7,2 e 7,5 mesmo em ambientes externos ácidos (Kashket, 1985; O'Hara et al., 1989; Graham et al., 1994).

4.3.3 Práticas sustentáveis e seus benefícios

Algumas práticas na agricultura podem atenuar os efeitos externos adversos e também criar um ambiente melhor para crescimento e desenvolvimento dos microorganismos, dentre estas práticas podemos destacar a rotação de cultura, adubação verde, demonstrando serem economicamente viáveis e microbiologicamente satisfatórias contribuindo para a melhora da fixação biológica de N, um aumento na produtividade de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Em áreas extensas de cultivo convencional com revolvimento de solo observa-se uma redução de matéria orgânica e erosão laminar. Por outro lado o sistema de plantio direto com o aproveitamento de resíduos da agricultura antecessora, há uma maior proteção do solo contra erosão laminar, incremento na matéria orgânica do solo, melhora na estrutura física do solo, estabilidade e ajuda na regulação de temperatura do solo (Derpsch et al., 1991). O plantio direto pode contribuir para uma redução da temperatura do solo na entre 5 a 10 graus bem como reduzir as oscilações de temperatura quando comparado com o sistema convencional (Lal, 1993). Observa-se também um crescimento populacional de rizóbios significativa, a atividade dos nódulos, produtividade e diversidade de cepas também sofrem incremento (Hungria and Vargas, 1996).

4.4 Uso da Rochagem na agricultura

Grande parte dos elementos essenciais as plantas, com exceção do nitrogênio, está presente na litosfera, fazendo parte da constituição das rochas e dos minerais. Para que se tornem disponíveis as plantas, as rochas passam por processos de intemperismo que ocorrem naturalmente de forma lenta. O resíduo de britagem de rochas basálticas, rico em elementos nutritivos as plantas, é um material de baixo custo e pesquisas tem demonstrado que o pó de rocha libera lentamente grande quantidades de nutrientes as plantas, podendo elevar a CTC de solos de baixa fertilidade (Blum et al, 1989 a,b), observando-se esses efeitos mais intensivos em rochas vulcânicas básicas, como o basalto. As rochas são constituídas por uma grande diversidade de minerais porém os elementos que fazem parte da sua composição mineralógica não estão diretamente disponíveis para as plantas devendo ser submetidos a processos de

intemperismo para só então serem fontes de nutrientes (Straaten, 2002). A prática da rochagem e incremento matéria orgânica no solo, além de proporcionar melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo, fornecendo nutrientes, aumentando a capacidade de troca de cátions e o teor de matéria orgânica, podem conter microrganismos que produzem substâncias capazes de acelerar a decomposição da rocha, liberando os elementos dos minerais para o solo (Hoffmann et al., 2001). O clima tropical para o uso de pó de rocha tem grande potencialidade devido as taxas de dissolução dos minerais e as reações entre superfície dos minerais e a solução do solo serem aumentadas sob alta temperatura e regime de umidade alta (Van Straate 2006).

Há registros de trabalhos com pó de rocha no século XVIII, James Hutton não só recomendava, como ele próprio utilizava marga e rochas similares em sua fazenda na Escócia, para que a fertilidade do solo fosse aumentada (Bailey, 1967 apud Leonardos et al 1976). No Brasil, os trabalhos pioneiros foram registrados pela Ilchenko e Guimarães (1953 apud Leonardos et. al., 1976), que chamaram a atenção para as potencialidades das rochas de Cedro do Abaeté, Serra da Mata da Corda e Poços de Caldas. Segundo Theodoro (2000), outros estudos, como os de Lima (1969) e de Lopes (1971), abordam interessantes experimentos de adição de pó de rocha ao solo, demonstrando a potencialidade de inúmeros tipos de rochas como fontes efetivas de nutrientes.

Vários trabalhos apontam que a prática da rochagem por meio da utilização da rocha básica de origem vulcânica como o basalto com granulação fina, sendo os principais constituintes minerais silicatos do grupo dos piroxênios e plagioclásios, pouco resistentes ao intemperismo químico, porém que podem tornar fontes de Ca, Mg e micronutrientes (Leonardos ,1987; Resende, 2007). Adicionalmente vários autores têm relatado resultados benéficos pela aplicação desse material, como Theodoro & Leonardos (2006) que avaliaram o potencial de uma rocha vulcânica em um solo arenoso e constataram aumento do pH e dos teores de Ca, Mg, P e K após o primeiro ano, com tendência a diminuir, mas permanecendo com teores maiores aos das parcelas que não receberam o pó, mesmo após cinco anos da implantação do experimento.

A aplicação do pó de rocha ao solo é muito eficaz na medida em que a rocha utilizada possua grande diversidade mineralógica, e conseqüentemente uma diversidade química, contendo assim grande parte dos macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Além de fornecerem os nutrientes de forma gradativa, de maneira que haja uma fertilização mais eficaz e duradoura quando comparada a adubação química (Theodoro, 2000).

Diversos trabalhos com uso de rochagem para diferentes culturas como milho, feijoeiro, arroz, mandioca, cana-de-açúcar e hortifruti granjeiros, resultaram em uma manutenção de produção quando comparada com a adubação convencional, a construção da fertilidade do solo de maneira mais sustentável para pequenos produtores que não possuem acesso aos recursos financeiros e incentivos tecnológicos (Theodoro et al., 2018; Silva et al., 2011). Estudos avaliando o potencial do pó de basalto como única fonte de nutrientes para o feijoeiro em um cambisso húmico verificaram, após o primeiro ano, que todos os tratamentos com pó de basalto e esterco bovino proporcionaram produtividades similares às dos tratamentos com calcário e com adubo convencional (Ferreira, 2009).

Alguns fertilizantes químicos podem apresentar concentrações demasiadamente elevadas de certos nutrientes que podem levar ao desequilíbrio nutricional do solo e das plantas do sistema de cultivo (Moreira et al. 2006). De modo que o efeito danoso de metais e elementos-traços dependerá da quantidade acumulada e das formas químicas em que se apresentam no solo, desta forma a ocorrência de metais pesados em formas precipitadas, solúveis, trocáveis ou complexas é que definirá o potencial poluidor deste material (Martins et al. ,2008).

Por outro lado a eficácia do pó de rocha como fonte de nutrientes para o solo é questionada devido à baixa solubilidade e à necessidade da aplicação de grandes quantidades para se alcançar respostas positivas (Bolland & Baker, 2000). Resultados negativos do emprego da rochagem de maneira geral estão associados aos períodos curtos de avaliação, ciclo curto das culturas utilizadas como planta-teste e solos com baixa atividade microbiana, condições climáticas desfavoráveis ao intemperismo, material de origem e granulometria do material (GILKES, 1996; BAKKEN et al., 2000; BOLLAND; BAKER, 2000;Theodoro, 2011;SILVA et al., 2008). De maneira geral materiais oriundos de basaltos vulcânicas são as que têm apresentado as melhores respostas, uma vez que em sua composição possuem minerais formados a partir de magmas mais segregados quimicamente e com baixo conteúdo de sílica e portando o conhecimento geoquímico da basalto mãe e do seu potencial de fertilização tem papel fundamental para a utilização de materiais geológicos e certificar o correto manejo (Theodoro, 2011).

O emprego da rochagem apresenta diversas vantagens, em relação a adubação química. Dentre estas vantagens pode-se citar o fato de apresentar custo reduzido, propiciar maior

sanidade das plantas, ser ecologicamente correto melhorar fertilidade do solo e factível de gerar incremento na produtividade (Ferreira, 2009).

4.4.1 Importância do Fósforo para o Feijoeiro e a rocha como fonte de nutriente

O nutriente fósforo possui grande relevância na formação de grãos para as leguminosas e gramíneas de forma geral. Trabalhos apontam para uma resposta linear quanto ao incremento na produtividade através da aplicação química de fósforo no sulco de plantio (Miranda, 2002).

O material Basalto de maneira geral possui quantidades significativas dos principais macronutrientes, em especial o piroxenito, com 1,026% de fósforo e 3,71% de potássio, mostrando que é viável a utilização desses materiais como alternativa de fertilização natural. Trabalhos apontam que o emprego da rochagem pelo uso do material piroxenito apresentou melhor resultado devido ao seu teor de fósforo comparado ao uso de fertilizantes químicos (Silverol, 2006).

Trabalhos com pó de basalto em feijoeiro apontam para composições de P nos grãos de feijão na faixa 3,0 a 4,2 g kg⁻¹, que sugerem valor médio de 3,68 g kg⁻¹ de fósforo, para cultivares de feijão (Beebe, 2000). Os resultados demonstraram que, apesar de o tratamento com adubo solúvel ter apresentado maior teor de fósforo em relação a testemunha, os tratamentos à base de pó de rocha promoveram aos grãos um conteúdo de fósforo similar aos encontrados por outros autores, utilizando adubação convencional. O aumento das doses de pó de rochas proporcionou acréscimo no teor de fósforo nos grãos, mas o teor de fitato se manteve constante. O pó de basalto demonstrou ser uma alternativa para se manter níveis baixos de fósforo na forma de fitato nos grãos, refletindo em maior valor nutricional (Silva, 2011).

Há trabalhos que apontam para teores de P nas folhas da planta sem diferir em nenhum dos tratamentos analisados comparando pó de rocha com adubação convencional. Apesar disto, em outro estudo realizado com as mesmas plantas, foi analisado o teor de P total no grão do feijão e constatado que o tratamento com adubação convencional proporcionou maior teor de P em relação à testemunha (Silva et al. 2011). Este maior acúmulo de P nos grãos de feijão, verificado no tratamento com adubação convencional se deu em função, provavelmente, da maior rapidez na disponibilização dos nutrientes do fertilizante solúvel, ao contrário do P presente no pó de rochas, cujo nutriente se encontra fazendo parte da sua composição

mineralógica e não está de forma diretamente disponível para as plantas, devendo ser submetido aos processos naturais de desintegração física e decomposição química ou biológica, a fim de ser fonte de nutrientes para as culturas (Straaten, 2002).

5.0 MATERIAL E MÉTODO

5.1 Localização e Características Geográficas

O trabalho foi conduzido na fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá (UEM) localizada no município de Iguatemi, estado do Paraná, Brasil e apresenta as seguintes características geográficas: 550 metros de altitude, latitude de 23° 25' sul e longitude 51° 57' oeste.

5.2 Condições Climáticas

O clima da região, segundo classificação de Köppen como sendo Cfa, isto é, do tipo subtropical. Clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão e com geadas pouco frequentes, temperatura média anual 21 °C a 22 °, tendência a concentração de chuvas nos meses de verão porém sem estação seca definida e precipitação média anual de 1600 a 1800 milímetros, 30 mm de chuva no mês mais seco.

5.3 Tipo de Solo

O tipo de solo da área de experimento é Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006), A classificação textural do solo trata-se de um solo de Tipo 2 (solo de Textura média) por possuir teor de argila no intervalo de 15 e 35% .

5.4 Coleta de solo para Análise

Foram coletadas amostras simples nas profundidades foi de 0 a 20 e 20 a 40 centímetros. As amostras simples foram misturadas para obtenção da amostra composta, da qual retirada uma pequena quantidade para análise química laboratorial de macro e micronutrientes e análise granulométrica. A amostragem refere-se a área experimental certificada em base agroecológica. Os resultados da análise química podem ser observados neste trabalho (Apêndice 1 e 2). Quanto aos resultados físicos o solo em estudo é composto por 25% de argila, somente 3% de silte e 73% de areia total, sendo classificado como solo de textura média.

5.5 Análises Química do solo

Para efeito de diagnose química foram coletadas 7 amostras simples e uma amostra composta nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Verificou-se por meio da análise química do solo (Apêndice 1 e 2) para as profundidades 0-20 e 20-40 respectivamente as seguintes características: Saturação de bases (V%) 29,93 e 26,67, CTC (pH 7,0) 5,58 e 4,95 cmolc/dm³, Carbono (C) 7,22 e 4,39 g/dm⁻³, Matéria Orgânica (MO) 12,44 e 7,57 g/dm⁻³, P Mehlich 1 (P meh) 5,83 e 2,11 mg/dm³, Ca 0,92 e 0,74 cmolc/dm³, Mg 0,60 e 0,52 cmolc/dm³, K 0,15 e 0,06 cmolc/dm³ e Na não significativo. No índice de saturação, Ca apresentou 16,49 e 14,95 %, Mg 10,75 e 10,51 % e K 2,69 e 1,21 %. Efetuou-se o calculo de necessidade de calagem com base no V% e posteriormente a correção de solo por meio da calagem. Depois de finalizada a colheita do experimento foi realizada uma nova amostragem de solo de 0-20 cm realizando uma segunda análise química (apêndice 3). Confirmou-se a correção de solo por do V% que passou para 50,86% para as demais características observou-se os seguintes resultados: CTC (pH 7,0) 5,25 cmolc/dm³, Carbono (C) 7,81 g/dm⁻³, Matéria Orgânica (MO) 13,47 g/dm⁻³, P Mehlich 1 (P meh) 2,37 mg/dm³, Ca 1,59 cmolc/dm³, Mg 0,99 cmolc/dm³, K 0,09 cmolc/dm³ e Na não significativo. No índice de saturação, Ca apresentou 30,29 %, Mg 18,86 % e K 1,71 %.

5.6 Preparo do Solo e adubação verde

Efetuiu-se a aplicação de calcário a lanço, com a aplicação de 2 t há⁻¹ de pó de calcário (30 % CaO, 18% MgO, 100% RN e 100% PRNT) e incorporado ao solo por meio da subsolagem. A quantidade aplicada foi baseada no cálculo das saturações por bases e nas recomendações da EMBRAPA (2004).

Após a calagem foi realizada uma adubação verde por meio da implantação da cultura da aveia preta (*Avena strigosa*) em consórcio com o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) com distribuição das sementes a lanço da gradagem e subsolagem. Para fins de implantação da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) foi realizada 2 operações de passagem em área total com rolo faca no estágio vegetativo (Embarrachamento) de ambas as culturas *R. sativus* e *A. strigosa*. Após a implantação do feijoeiro constou-se brotação da aveia preta (*Avena strigosa*).

5.7 Implantação e condução do experimento

Foi realizado o plantio direto no espaçamento médio de 0,50m entre linhas com população média de 12 a 13 plantas por metro. O ensaio foi realizado utilizando o pulverizador costal motorizado, com capacidade de 20L. Foi realizada a coinoculação dos organismos *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* no tratamento de semente de feijão (*Phaseolus vulgaris*). A estirpe de *R. tropici* utilizada foi a SEMIA 4077 com 2×10^9 UFC g⁻¹ de inoculante turfoso, marca comercial Mr Bean (Forquímica R) e *A. brasilense* estirpes ABV5 e ABV6 com 2×10^8 UFC g⁻¹ de inoculante líquido, marca comercial Grammy Crop (Forquímica R).

A inoculação de *A. brasilense* foi realizada na proporção de 100 ml para cada 50 kg de semente e a inoculação do organismo *R. tropici* foi realizada na proporção de 80 g para cada 50 kg de sementes de feijão conforme recomendação do fabricante.

A cultivar de feijão utilizada foi a IPR Curió de ciclo curto (média 70 dias) pertencente ao IAPAR na população média de 260 mil plantas por hectare. O manejo de plantas adventícias foi realizado primeiramente uma capina e posteriormente uma roçada, o controle de pragas foi

realizado conforme monitoramento e necessidade com o produto orgânico comercial Tribus a base de fungos Boveria (fungo entopatogênico) fornecido pela empresa Raiz Consultoria. Já o controle de doenças foi realizado por meio da aplicação dos produtos orgânicos comerciais AloePlus (6% cargonô orgânico, 2% manganês, 2% enxofre e 1,4% cobre) e Bacsil (7,5% de silício) conduzidos de maneira preventiva fornecidos pela empresa Raiz Consultoria.

5.8 Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso – DBC, em esquema fatorial 2x2x2, com cinco blocos, um total de 8 tratamentos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8) descritos na Tabela 1, totalizando 40 parcelas. As unidades experimentais foram de 2 m de largura por 5 m de comprimento. O primeiro fator foi composto pelos tratamentos sem adubação e com aplicação no sulco do plantio de pó de basalto granulado (P). O segundo fator foi composto pelos tratamentos: sem aplicação foliar e com aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* (Az). O terceiro fator foi composto pelos tratamentos: sem aplicação e com aplicação foliar de Aminoácido (A).

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos avaliados no experimento, sendo: Tratamento 1 composto por Pó de basalto granulado associado com *Azospirillum brasilense* e Aminoácido (P+Az+A), tratamento 2 composto por Pó de basalto granulado associado com *Azospirillum brasilense* (P + Az), tratamento 3 composto por Pó de basalto granulado associado com Aminoácido (P + A), tratamento 4 composto por Pó de basalto granulado somente (P), tratamento 5 composto por *Azospirillum brasilense* associado com Aminoácido (Az + A), tratamento 6 composto por *Azospirillum brasilense* (AZ), tratamento 7 composto por Aminoácido (A) e tratamento 8 sem adição de nenhum Fator denominado testemunha (T).

N. Trat	Descrição/ dose	Kg/há	ml/há	l/ha
		P	Az	A
1	P+Az+A	350	200	1
2	P+Az	350	200	0
3	P+A	350	0	1
4	P	350	0	0
5	Az+A	0	200	1
6	Az	0	200	0
7	A	0	0	1
8	Testemunha (T)	0	0	0

O material granulado a base de pó-de-basalto bioativo uma granulometria média de 3,5 mm e devido sua composição química (Apêndice 4 e 5) predominante em dióxido de silício (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), Óxido de Cálcio (CaO), cobre (Cu), Vanádio (V), Zinco (Zn), Bário (Ba) e Estrôncio (Sr). A aplicação do granulado foi realizada no sulco de plantio.

O tratamento de aminoácidos trata-se de um material classificado como resíduo de origem animal sendo sua composição rica em Nitrogênio (Apêndice 6). Foi realizada a aplicação foliar no início do estágio de pré-floração (R5). Para os tratamentos com aplicação de bactérias promotoras de crescimento de plantas (*Azospirillum brasilense*) a aplicação foliar foi realizada também no estágio de estágio de estágio de pré-floração (R5).

As variáveis respostas fitotécnicas analisadas foram: número de nódulos (NOD), massa seca planta (MSP), altura de plantas (A), número de nós (NN), comprimento vagem (CV), número de vagens por planta (NV), massa de 1000 grãos (P1000) e produtividade de grãos (PROD). As variáveis nutricionais analisadas foram: Enxofre (S), Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn).

Cada unidade experimental contou com quatro linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m, perfazendo 5 m² de área total. A área útil foi composta pelas duas linhas centrais, totalizando 4,0 m², e a densidade de semeadura foi de 12 a 13 plantas m⁻¹. A característica Produtividade avaliada da cultura foi baseada na área útil de 4 m² por parcela, corrigida para 13% de umidade. Com exceção das características nutricionais, número de nódulos e Massa seca da planta que tiveram suas avaliações realizadas no início da formação de vagens (R7) as demais avaliações das variáveis respostas foram realizadas no estágio de maturação de colheita (R9).

Os dados foram submetidos a análise de variância, pelo teste F, a 10%, e desdobramento dos fatores com classificação de médias. Posterior foi realizado uma análise multivariada dos componentes principais. A análise do teste F foi realizada através do software SISVAR 5.6, enquanto a análise dos componentes principais foi utilizada do software R (R CORE TEAM) e pacote facto extravessão 1.0.5 (KASSAMBARA; MUNDT, 2017).

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral para todos os tratamentos foram observadas baixas produtividades, obtendo uma média de produção dos tratamentos de apenas 310 kg.há⁻¹. A baixa produtividade do ensaio pode estar ligada a baixa umidade do solo em que resultados semelhantes foram observados por Ferreira et al. (2009). Adicionalmente o efeito residual da rochagem é um fator de grande relevância apontado em diversos estudos, de forma que apenas trabalhos com períodos que variam de médio a longo prazo, tendem a ser mais aptos para identificar este efeito (TOSCANI, 2017).

Os solos brasileiros, de maneira geral, são predominantemente ácidos e pobres em nutrientes. Neste sentido, o cálcio e o magnésio podem apresentar teores baixos. A literatura recomenda uma relação para Ca:Mg entre 3-5 (EMBRAPA,2004) como a ideal para a maioria das culturas, porém para o presente trabalho foi observado para a análise química do solo uma relação de apenas 1,6 (apêndice 3). Apesar do excesso de magnésio pode inibir a absorção de cálcio e vice-versa, podendo afetar o desenvolvimento da planta, um trabalho com feijoeiro apontou para o desenvolvimento de plantas, florescimento, rendimento de grãos e rendimentos de matéria seca de forma mais satisfatória com a relação Ca:Mg em torno de 2,0 (OLIVEIRA,2003). Para Key et al. (1962), na existência de quantidades suficientes de Ca e Mg, a relação Ca:Mg uma vez superior a 1:1, não tinha influência no rendimento de soja e milho. Mais trabalhos apresentaram resultados semelhante relatados por Simson et al. (1979), Fox & Piekielek (1984), Muchovej et al. (1986) e Oliveira (1993) verificando a ausência de efeito de uma ampla variação na relação Ca:Mg do solo no rendimento para diferentes culturas.

A estratificação em profundidade da distribuição e suprimento do nutriente P no solo observada neste trabalho (apêndice 1), pode ter influenciado negativamente a distribuição das raízes através do perfil do solo, levando a uma maior suscetibilidade ao estresse hídrico, deficiência de P e conseqüentemente uma baixa produção. A proliferação de raízes perto da superfície do solo pode ser aumentada por altas concentrações de P perto da superfície do solo, como foi demonstrado em estudos usando trigo e trevo subterrâneo (Sewell e Ozanne, 1970). Em situações em que a demanda de água pelas culturas excede a oferta, a alta concentração de raízes na superfície do solo pode levar à rápida secagem do solo. Sewell e Ozanne (1970) relataram que a bandagem P profunda no solo levou a um aumento de quase três vezes na proliferação de raízes

por trigo e trevo subterrâneo no local de aplicação de P e sugeriu que algumas das respostas de produtividade obtidas com altas taxas de P podem ser devidas para aumentar a quantidade de água disponível devido a um melhor acesso à água mais profundo no perfil. Embora a proliferação de raízes em torno de uma faixa de fertilizante colocada perto da superfície possa aumentar a suscetibilidade da cultura à secagem do solo, em muitos ambientes, a precipitação na estação de crescimento pode levar a níveis de umidade próximos à superfície do solo a níveis mais profundos. Raízes podem regenerar-se perto da superfície em resposta ao rehumecimento do solo (Volkmar e Bremner, 1998).

6.1 Resultados Fitotécnicos

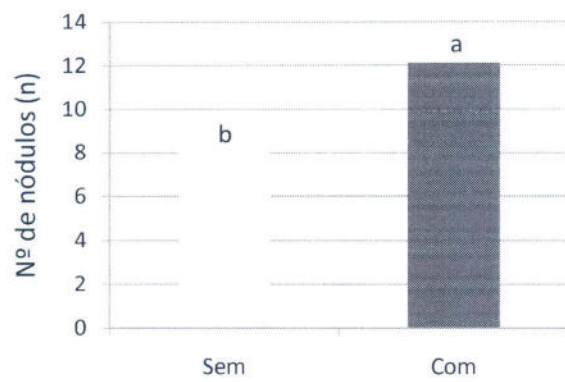
Por meio da análise de variância (Test F), foram verificadas algumas diferenças significativas entre alguns dos tratamentos analisados. As diferenças significativas de forma isolada foram observadas para as características NOD, PROD e P1000 (Figura 1). Para o fator A, analisado de forma isolada não foi observado diferença significativas entre os tratamentos (Apêndice 7). Para a PROD o tratamento Az demonstrou um efeito negativo quando comparado com os demais tratamentos. Na variável resposta P1000 o fator P também demonstrou efeito negativo frente aos demais tratamentos. Por outro lado, para a característica NOD o fator P apresentou um efeito positivo.

Foi também observado interação dos fatores avaliados para alguns caracteres, demonstrando que os tratamentos não apresentaram comportamento similar. As interações entre os fatores foram observados nas características CV e A. Para a variável resposta comprimento de vagem (CV) observou-se uma interação entre os fatores Pó de basalto (P) e *A. brasilense* (AZ) e também uma interação P, Az e Aminoácido (A), na interação P x Az observou-se um efeito negativo, já na interação P, Az e A observou-se um efeito positivo para a característica CV. Para a variável resposta Altura (A) foi observado as interações P e Az, Az e A, para ambas as interações observou-se um efeito negativo de decréscimo de altura.

Um dos indicativos da ocorrência da simbiose em plantas é o número de nódulos por planta (Figura 1). Porém a realização da simbiose depende não unicamente da presença do nódulo, mas também de diversos outros fatores não lineares como: ambientais, físicos,

nutricionais e biológicos. Há também fatores relacionados com a genética e fisiologia das plantas e estirpes na interação dentre eles (SOARES et AL., 2006 a,b).

(A)



(B)

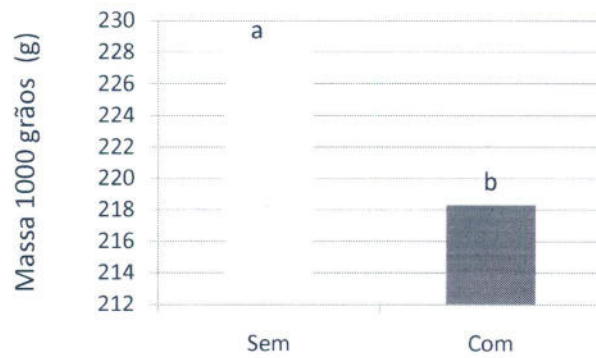


Figura 1. Efeito da inclusão de basalto sobre as características : (A) Número de Nódulos (média por planta) ;(B) Peso 1000 grãos (g por 1000 grãos). ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*.

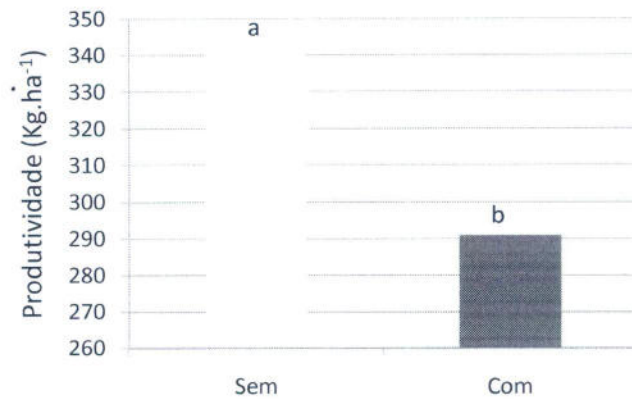
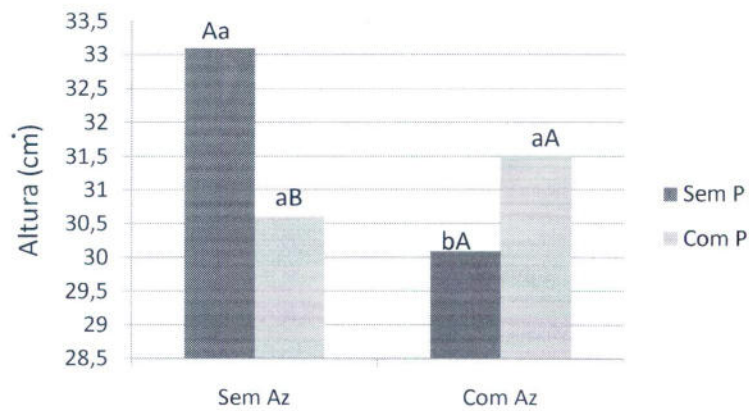


Figura 2. Efeito da inclusão de *A. brasilense* sobre as características Produtividade média por tratamento (kg por hectare). ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*.

(A)



(B)

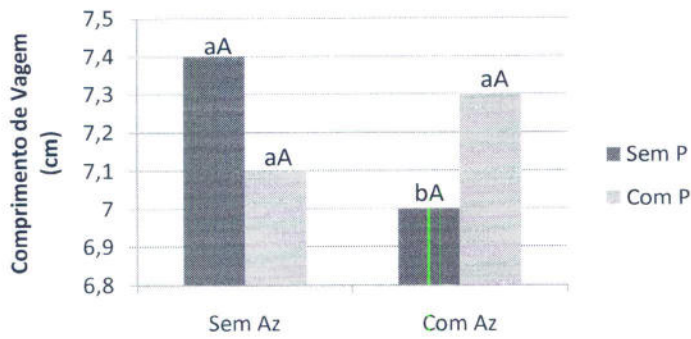
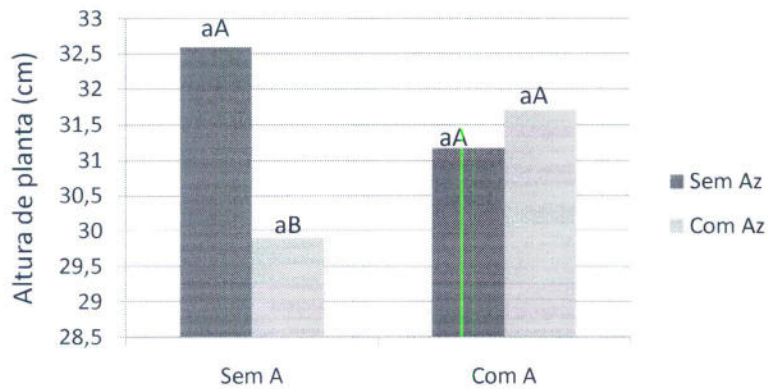


Figura 3. Interação entre inclusão de basalto e *A. brasilense* sobre as características: (A) Altura média planta por tratamento (cm por planta) e (B) Comprimento de Vagem (cm por vagem). ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*. ^{A,B}Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre fatores se diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste de *F*.

(A)



(B)

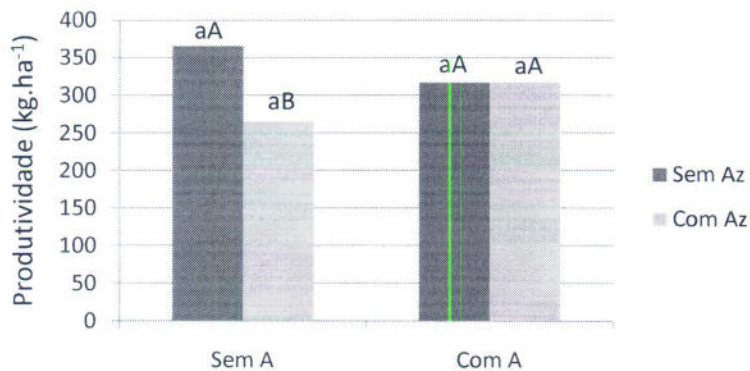


Figura 4. Interação entre inclusão de *azospirillum* e aminoácido sobre as características: (A) Altura média planta por tratamento (cm por planta) e (B) Produtividade média por tratamento (kgs por hectare). ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*. ^{A,B}Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre fatores se diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste de *F*.

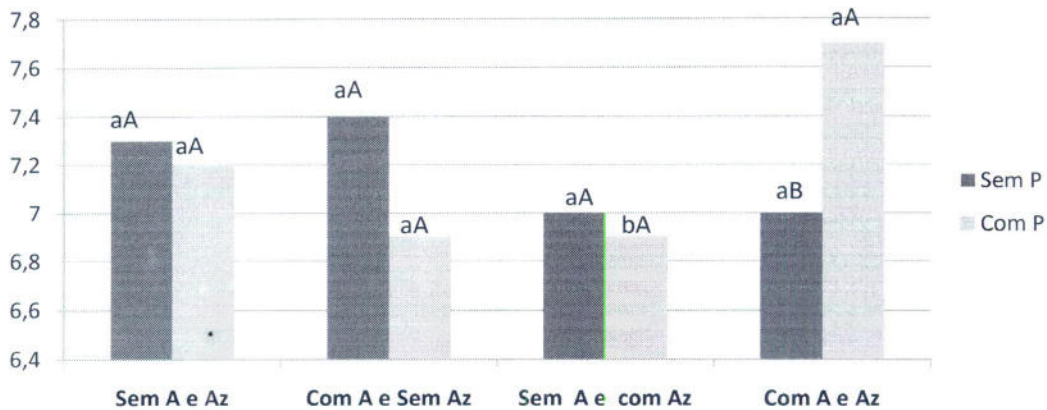


Figura 5. Interação entre inclusão de basalto, *A. brasilense* e aminoácido ($P=0,0706$) sobre o comprimento de vagem da planta. ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*. ^{A,B}Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre fatores se diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste de *F*.

Na figura 6 é apresentada a análise de componentes principais, a qual demonstra que todas as variáveis analisadas foram satisfatoriamente representadas pelos dois primeiros componentes (Dim. 1 e Dim. 2), que somados explicam 71,3 % da variação dos resultados. No componente 1 (Dim. 1) representado pelo eixo X, as variáveis que mais contribuíram para a formação do MSP foram A, NN, CV e NV. No componente 2 (Dim. 2), representado pelo eixo Y, as variáveis que mais contribuíram foram NOD, PROD e P1000.

Na análise de componentes principais os tratamentos foram distribuídos de acordo com a formação dos dois primeiros componentes, de modo que é possível visualizar que os tratamentos Az + A e P + Az apresentaram como os piores resultados (Figura 3).

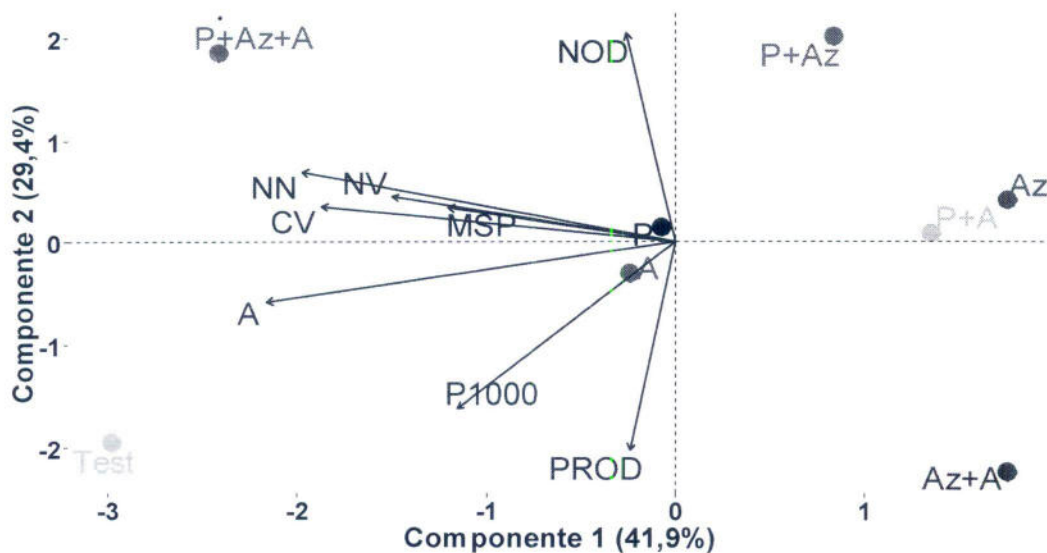


Figura 6 – Análise de componentes principais das variáveis fitotécnicas Produtividade (PROD), Altura da planta (A), peso dos 1000 grãos (P1000), massa seca parte aérea (MSP), Comprimento de Vagem (CV), Número de nódulos (NOD), Número de Nós (NN) e Número de Vagem (NV) com os fatores.

6.2 Resultados nutricionais Parte aérea

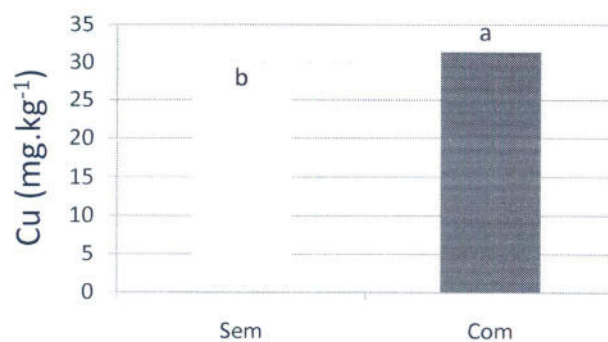
Por meio da análise de variância (Test F), foram verificadas algumas diferenças significativas entre alguns dos tratamentos analisados. As diferenças significativas de forma isolada foram observadas para as variáveis Cu, Mg, P e Ca nos demais tratamentos analisados de forma isolada não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (figura 4). Para Cu o tratamento P demonstrou um efeito positivo quando comparado aos demais tratamentos. Na variável resposta Mg o tratamento A demonstrou efeito negativo frente aos demais tratamentos. Para a característica P também foi observado efeito negativo do tratamento P (Pó de basalto) comparado aos demais tratamentos. Por outro lado na variável Ca foi observado um efeito positivo do tratamento P.

Foi observado interação entre alguns dos fatores avaliados para alguns caracteres, demonstrando que os tratamentos não apresentaram comportamento similar. As interações entre os fatores foram observadas para as características Zn e Mg. Para Zn ocorreu uma interação entre os fatores P x A de efeito positivo de acréscimo para a característica analisada. Para a variável

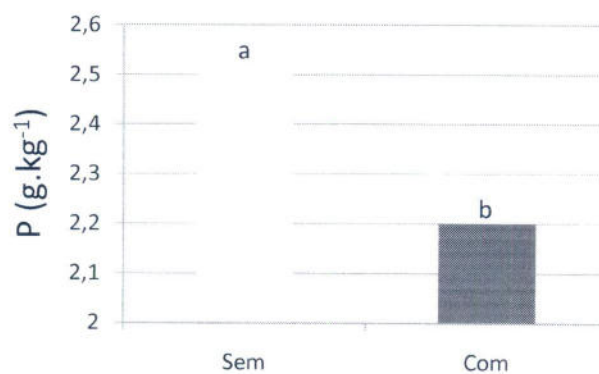
resposta Mg foi observado a interação P x A constatando-se também um efeito positivo de acréscimo do nutriente na parte aérea da planta.

Os dados apresentados permitem inferir que o emprego da rochagem resulta em um significativo aumento de alguns dos nutrientes, bem como de um melhor desenvolvimento da área foliar, além de apresentar um importante efeito residual. Esses efeitos positivos estão em acordo com diversos estudos como Toscani et al. (2017), Waigwa et al. (2003) e Husnain et al. (2014).

(A)



(B)



(C)

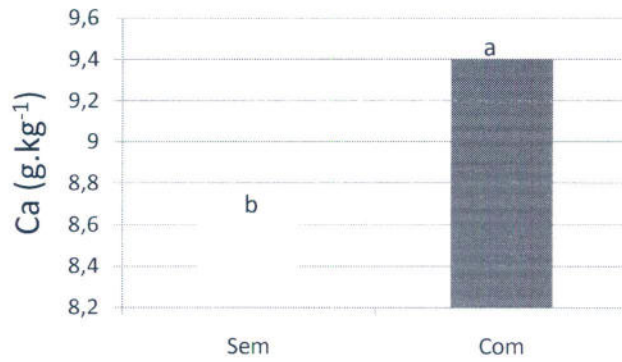


Figura 7. Efeito da inclusão do fator pó de basalto sobre as características: (A) Cu (mg por kg); (B) P (g por kg); (C) Ca (g por kg). ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*.

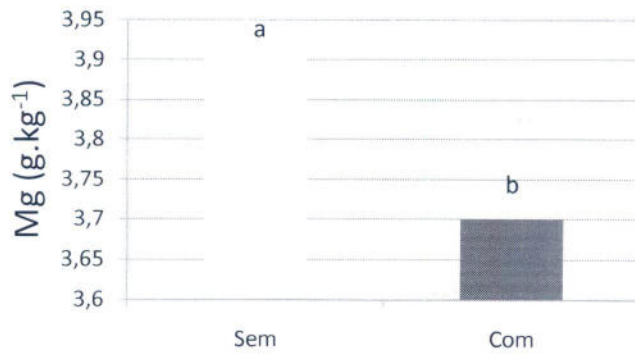
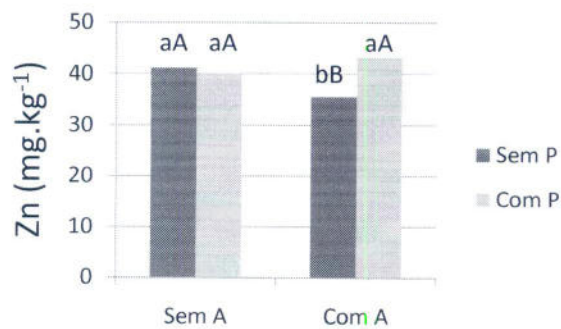


Figura 8. Efeito da inclusão de aminoácido sobre as característica Mg (g por kg) na parte aérea da planta. ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*.
(A)



(B)

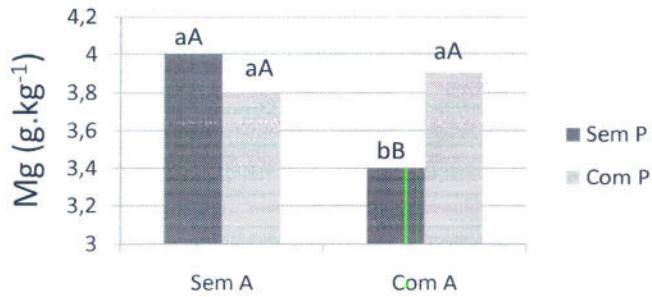


Figura 9. Interação entre inclusão de Pó de basalto e aminoácido sobre teores acumulado na parte aérea do feijoeiro dos nutrientes: (A) Zn (mg por kg) e (B) Mg (g por kg). ^{a,b}Médias seguidas por letras minúsculas diferentes para o mesmo fator diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste *F*. ^{A,B}Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre fatores se diferem a uma probabilidade de 10% pelo teste de *F*.

Na figura 10 é apresentada a análise de componentes principais, a qual demonstra que todas as variáveis analisadas foram satisfatoriamente representadas pelos dois primeiros componentes (Dim. 1 e Dim. 2), que somados explicam 63,8 % da variação dos resultados. No componente 1 (Dim. 1) representado pelo eixo X, as variáveis que mais contribuíram para a formação do mesmo foram Zn, Mg, K, Ca e S. No componente 2 (Dim. 2), representado pelo eixo Y, as variáveis que mais contribuíram foram P, N, Cu, Ca e S.

Da mesma forma é possível observar que, considerando as variáveis analisadas em conjunto, os tratamentos que mais se destacaram foram P+Az+A, P+A e AZ.

Na análise de componentes principais os tratamentos foram distribuídos de acordo com a formação dos dois primeiros componentes, de modo que é possível visualizar que o tratamento Az + A, apresentou os piores resultados.

Nota-se na figura 10 uma tendência de maior concentração do nutriente P para os tratamentos Test e A, para o tratamento Test esta tendência é confirmada pela análise de variância e teste de média (apêndice 7), enquanto para o tratamento A esta tendência não é confirmada a nível de significância estatística. Apesar de verificar-se uma tendência o mesmo pode ser explicado pelo efeito de diluição do nutriente em nível de planta, denominado efeito de “Piper-Steenbjerg”, onde altas concentrações de um determinado nutriente, podem significar apenas um resultado de diluição no tecido vegetal frente ao maior crescimento vegetal nestes

tratamentos (Steenbjerg, 1951; Rosell & Ulrich, 1964). Este efeito foi observado por diversos trabalhos, culturas e para diferentes nutrientes inclusive para o nutriente P (Poulsen, 1950).

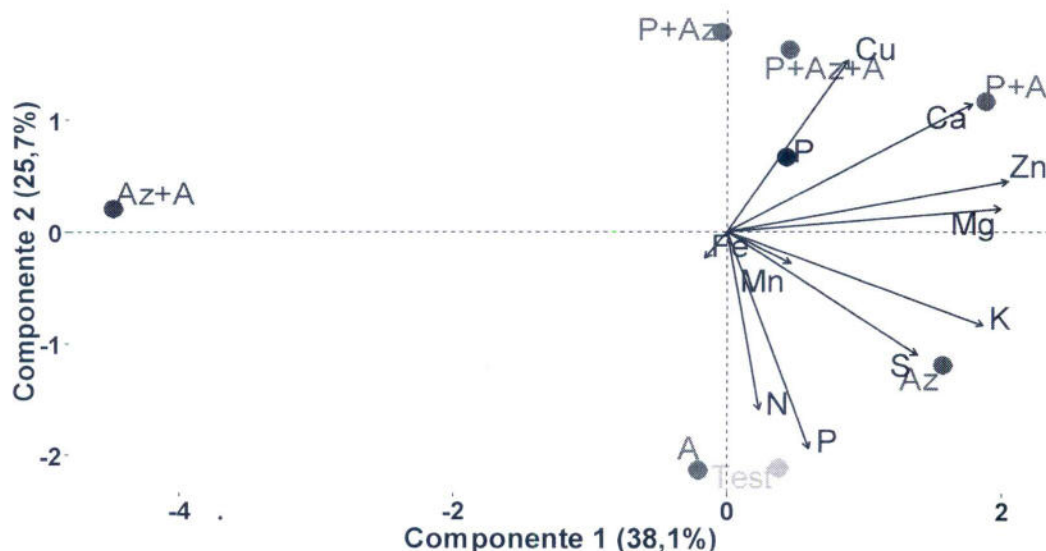


Figura 10 – Análise de componentes principais das variáveis nutricionais Potássio (K), Fósforo (P), Cobre (Cu), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Zinco (Zn), Ferro (Fe), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Manganês (Mn) com os tratamentos.

6.3 Condições Climáticas Durante o Experimento

6.3.1 Duração dos estádios fenológicos

O ciclo total do cultivar IAPAR-IPR CURIÓ foi de 75 dias. O estágio fenológico do florescimento foi de 30 a 35 dias e o estágio da formação da vagem e enchimento de grãos, de 40 dias. Essas informações foram consideradas na elaboração dos balanços.

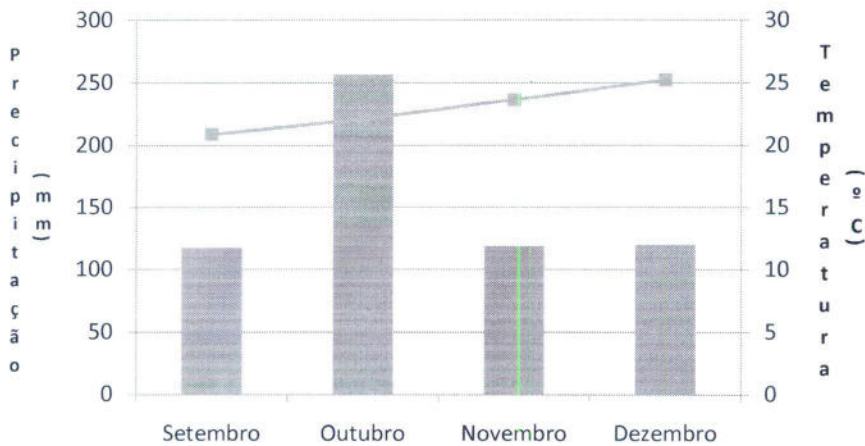
6.3.2 Balanço hídrico

O extrato do balanço hídrico climatológico decendiais, é referente ao presente trabalho conduzido durante os meses de setembro a dezembro de 2018. Foram utilizados dos dados meteorológicos da estação da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá localizada em Iguatemi-PR que se encontrava próximo ao local do experimento. Na Figura 11 - é possível observar períodos com deficiências e excedentes hídricos e suas intensidades durante todo o ciclo da cultura e, assim, relacioná-los com a quebra de produtividade observada.

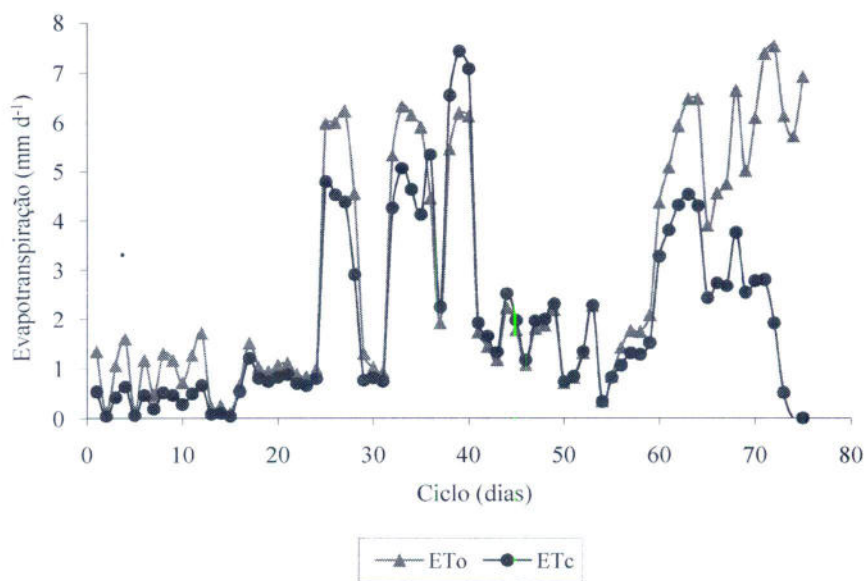
Durante o ciclo da cultura estudada apresentou períodos com excedentes hídricos durante o primeiro ciclo da cultura sendo observada umidade de solo próxima a capacidade de campo (CC), porém ocorreram períodos com deficiências hídricas em novembro e dezembro, com destaque para mês de novembro que por 14 dias não foi observado ocorrência de chuvas, nestes meses também foram observados umidade de solo próxima ao ponto de murcha permanente (PMP). Em relação à temperatura verifica-se pelos dados da estação a ocorrência de altas temperaturas nos meses de novembro a dezembro Figura 11 - A. Foi observado também o evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo), na figura 11 – B nota-se uma elevação de ambas as variáveis no final do ciclo da cultura coincidindo com a maior fase de estresse hídrico do balanço hídrico.

Essas condições coincidiram com os períodos fenológicos críticos da cultura, as quais provocaram reduções na produtividade observada, especialmente no enchimento de grãos, a partir de meados de novembro e início de dezembro.

(A)



(B)



(C)

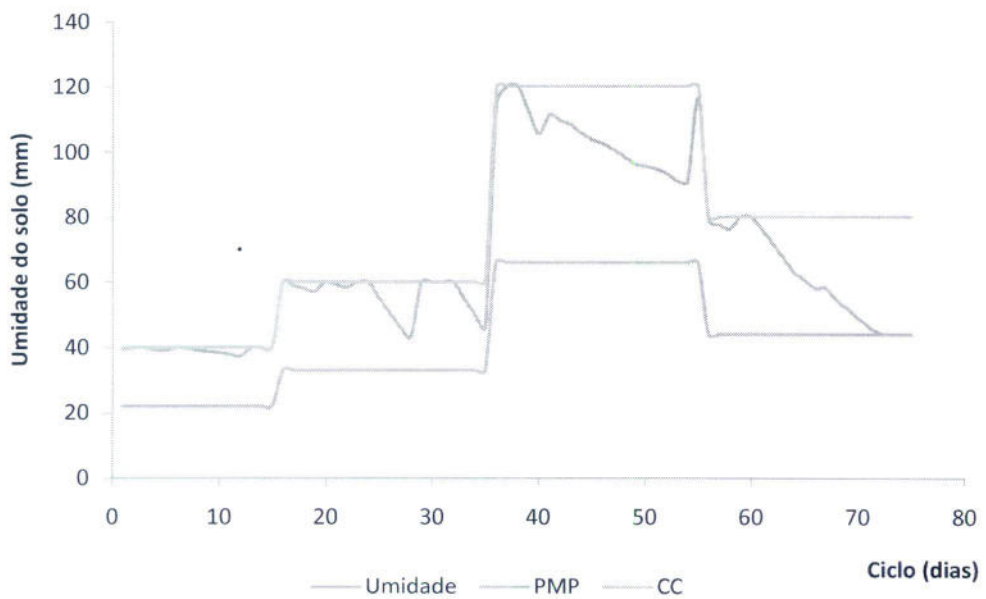


Figura 11. Precipitação, Balanço hídrico e evapotranspiração durante experimento conduzido nos meses de setembro a dezembro de 2019, dados obtidos da estação meteorológica da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá (FEI) localizada em Iguatemi – PR sendo: A) Precipitação pluviométrica mensal (mm) e temperatura média (graus celsius). B) Evapotranspiração no Feijoeiro - estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo) C) Extrato do balanço hídrico – estimativa da umidade do solo em relação a capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP).

7.0 CONCLUSÕES

A utilização de pó de basalto granulado associado com bactérias fixadoras de nitrogênio e aminoácido proporcionou respostas diferentes para as variáveis quando analisadas de forma conjunta e isoladas. Apesar de observadas algumas diferenças significativas, nem todas as diferenças foram respostas positivas do ponto de vista fitotécnico e nutricional.

O uso do composto de pó de rocha granulado associado com aminoácido e *Azospirillum*, não se apresentou como uma alternativa viável para a adubação em solos de baixa fertilidade e nas condições do trabalho conduzido rejeitando-se a hipótese inicial proposta.

Apesar de observados alguns efeitos positivos sobre algumas variáveis, não foi evidenciado efeito positivo da aplicação do pó de basalto sobre a produção de grãos de feijão, possivelmente devido a baixo teor de fósforo e matéria orgânica no solo aliado à falta de umidade do solo, efeito de estratificação superficial do nutriente P no solo, baixa distribuição e crescimento radicular e principalmente ao curto ciclo da culta e período para liberação dos nutrientes, por se tratar de uma rocha que apresenta dissolução lenta dos minerais.

Frente ao pouco tempo de avaliação deste trabalho e ao fato de que os processos agroecológicos de construção da fertilidade e atividade biológica do solo devem se dar ao longo do tempo, estudos de maior duração deverão ser realizados para se obter resultados mais conclusivos.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, R. M. C. M. et al. Estado atual da arte quanto à seleção e o melhoramento de genótipos para a otimização da FBN. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.
- ALTIERI, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba-RS, Agropecuária, 2002, 592 p.
- BAKKEN, A. et al. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 53-57, Mar. 2000.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L.E. Chapter two-how the plant growth-promoting bacterium Azospirillum brasilense promotes plant growth - a critical assessment. Advances in Agronomy, 108:77-136, 2010.
- BASHAN, L. E.; HERNANDEZ, J-P.; BASHAN, Y. The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation—A comprehensive evaluation. Applied Soil Ecology, 61:171-189, 2012.
- Blum W.E.H.; Herbinger, B.; Mentler, A.; Ottner, F.; Pollak, M.; Unger, E.; Wenzel, W.W. 1989a. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. I. Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 152: 421–425.
- Blum, W.E.H.; Herbinger, B.; Mentler, A.; Ottner, F.; Pollak, M.; Unger, E.; Wenzel, W.W. 1989b. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. II. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 152: 427–430.
- Bolland, M. D. A.; Baker, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.56, n.1, p.59-68, 2000. <<http://www.springerlink.com/content/k3038r06q2621132/>>. 08 Jan. 2019. doi:10.1023/A:1009757525421.
- BOLLAND, M.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 59-68, Mar. 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Avaliação da Safra Agrícola 2018/2019 – Boletim Outubro. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em 11 outubro 2018.
- CAMARGO, C. K. et al. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2985-2994, 2012.

DASHTI, N.; ZHANG, F.; HYNES, R.; SMITH, D.L. Plant growth promoting rhizobacteria accelerate nodulation and increase nitrogen fixation activity by field grown soybean (*Glycine max* L. Merr) under short season conditions. *Plant and Soil*, 200:205-213, 1998.

DOORNBOS, R.F.; VAN LOON, L.C.; BAKKER, P.A.H.M. Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32:227-243, 2012.

DUNGAIT, J.A.; CARDENAS, L.M.; BLACKWELL, M.S.A.; WU, L.; WITHERS, P.J.A.; CHADWICK, D.R.; BOL, R.; MURRAY, P.J.; MACDONALD, A.J.; WHITMORE, A.P.; GOULDING, K.W.T. Advances in the understanding of nutrient dynamics and management in UK agriculture. *Science of the Total Environment*, 434:39-50, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Produção de Sementes Sadias de Feijão Comum em Várzeas Tropicais. Embrapa Arroz e Feijão Sistemas de Produção. Versão eletrônica. ISSN 1679-8869, n.4, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAO (Food And Agriculture Organization Of The United Nations). Economics and Statistics. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 set. 2018.

FAGOTTI, D. S; CERZINI, P. *Azospirillum brasilense* associado a pós de rocha no cultivo de milho orgânico, Congresso Brasileiro de Microbiologia, 2011.

FERREIRA, A.S.; PIRES, R.R.; RABELO, P.G.; OLIVEIRA, R.C.; LUZ, J.M.Q.; BRITO, C.H. Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology*, 72:103-108, 2013.

FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 8, n.2, p.111-121, 2009.

Ferreira, M. C; Peloso, M. J; Faria, L. C. Feijão na Economia Nacional, Embrapa, Agosto, 2002.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 715-720, 2006.

GRAHAM, P.H., Halliday, J., 1977. Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus*. In: Vincent, J.M., Whitney, A.S., Bose, J. (Eds.), *Exploiting the Legume Symbiosis in Tropical Agriculture*. College of Tropical Agricultural Miscel. Publication 145, Hawaii, pp. 313±333.

GRAHAM, P.H., DRAEGER, K.J., Ferrey, M.L., CONROY, M.J., HAMMER, B.E., MartõÁnez, E., Aarons, S.R., Quinto, C., 1994. Acid Ph tolerance in strains of Rhizobium and Bradyrhizobium, and initial studies on the basis for acid tolerance of Rhizobium tropici UMR1899. *Can. J. Microbiol.* 40, 198±207.

HERRIDGE, D. E.; ROSE, I. Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 65, n. 2-3, p. 229-248, 2000.

HINSINGER, P.; BOLLAND, M. D. A.; GILKES, R. J. Silicate rock powder: effect on selected chemical properties of a range of soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 69-79, 1996.

HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58:2369-2387, 2007.

HOFFMANN, I.; GERLING, D.; KYIOGWOM, U. B.; MANÉ-BIELFELDT, A. Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture Ecosystems Environment*, v. 86, n. 3, p. 263-275, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331:413-425, 2010.

HUNGRIA, M., STACEY, G., 1997. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potential application in agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 29, 519±830.

HUNGRIA, M., THOMAS, R.J., D., EBREINER, J., 1985. Efeito do sombreamento na Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.* 20, 1143±1156.

HUSNAINA; ROCHAYATIA, S.; SUTRIADIA, T.; NASSIRB, A.; SARWANIC, M. Improvement of Soil Fertility and Crop Production through Direct Application of Phosphate rock on Maize in Indonesia. *SYMPHOS 2013*, v. 83, n. 1, p. 336-343, 2014.

KASSAMBARA A.; MUNDT F. (2017). Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>

KEY, J.L.; KURTZ, L.T. & TUCKER, B.B. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. *Soil Sci.*, 4:265-271, 1962.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNODÔRF, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:363-376, 2000.

LEONARDOS, O. H.; KRONBERG, B. I. & FYFE, W.S. Rochagem: método de aumento de fertilidade em solos lixiviados e arenosos. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 19. , 1976, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto: SBG, 1976, v. 1, p. 137-145

LEONARDOS, O. H.; Fyfe, W. S.; KRONBERG, B. I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? *Chemical Geology*, v.60, n.4, p.361-370, 1987. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0009254187901434>>. 6 Jan. 2019. doi:10.1016/0009-2541(87)90143-4.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: basaltos silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. *Basaltos e minerais industriais*. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-223.

MARTO, A. R. E., SEGOVIA, E., MERCANTE, F.M., FRANCO, A.A., Graham, P.H., Pardo, M.A., 1991. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 41, 417±426.

MAZETO, V.A. Produção de plantas energéticas como alternativa em sistema de produção conservacionista agroecológico. Londrina, 2012.

MERCANTE, F.M., 1993. Uso de *Leucaena leucocephala* na obtenção de *Rhizobium* tolerante a temperatura elevada para inoculação do feijoeiro. M.Sc. Thesis. UFRRJ, Itaguaí/Brazil.

MIFLIN, B.J.; LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. *Phytochemistry*, 15:873-885, 1976.

MIRANDA, L. N.; AZEVEDO, J. A.; MIRANDA, J.C. C.; GOMES, A. C. Calibração de métodos de análise de fósforo e resposta do feijão ao fósforo no sulco. Embrapa, 2002.

MYAKA, F.M.; SAKALA, W.D.; ADU-GYAMFI, I.J.; KAMALONGO, D. NGWIRA, A.; ODGAARD, R. NIJELSEN, N. E.; HOGH-JENSEN, H. Yields and accumulations of N and P in farmer-managed intercrops of maize-pigeonpea in semi-arid Africa. *Plant Soil*, v. 285, p. 207-220, 2006.

MOREIRA, A. et al. Efeito residual de basaltos brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo. *Espaço&Geografia*, Brasília, v. 9, n. 2, p. 163-177, 2006.

MUCHOVEJ, R.M.C.; BORGES, A.C.; NOVAIS, R.F. & THIEBAUT, T.J.L. Effect of liming levels and Ca:Mg ratios on yields, nitrogen content and nodulation of soybeans grown in acid cerrado soil. *J. Soil Sci.*, 37:235-240, 1986.

NOGUEIRA, C.P. Seletividade dos herbicidas bentazon e nicosulfuron para *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis* em consórcio com a cultura do milho. Jaboticabal, 2015.

OLIVEIRA, E.L. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio magnésio no solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:383-388, 1993.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M.S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre Magnésio na capacidade de troca de cátions de Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 27:859-866, 2003.

PIHA, M.I., MUNNS, D.N., 1987. Sensitivity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) symbiosis to high soil temperature. *Plant Soil* 98, 183±194.

PLEWKA, R. G. et al. Avaliação do uso do pó de basalto na produção de feijão. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 4397-4400, 2009.

Poulsen, J. F. 1950. *Tidskr. Plunteavl* 53, 413-442.

RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S. B.; CORREA G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Lavras: Editora da UFLA, 2007. 322p.

R CORE TEAM R: *A language and environment for statistical computing*. 2017.

RHODES, D.; HOGAN, A. L.; DEAL, L.; JAMIESON, G. C.; HAWORTH, P. Amino acid metabolism of *Lemna minor* L. II. Responses to chlorsulfuron. *Plant Physiology*, 84: 775-780, 1987.

Rosell R.A. & Ulrich A. (1964) Critical zinc concentration and leaf minerals of sugar beet plants. *Soil Science* 97, 152-167.

SANTOS, G. M. et al. Características e rendimento de feijão-vagem em função de fontes e doses de matéria orgânica. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, v. 19, n. 1, p. 30-35, 2001.

SAS INSTITUTE INC. SAS® university edition: installation guide for Windows. Cary: SAS Institute, 2014.

Sewell, P. L. and Ozanne, P. G. 1970. The effect of modifying root profiles and fertilizer solubility on nutrient uptake. Section 1(d). Pages 6–9 in T.C.

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

SILVA, A.; PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; ALMEIRA, J. A.; SCHMITT, C. Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto. 2011.

SIMSON, C.R.; COREY, R.B. & SUMNER, M.E. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn (*Zea mays*) and alfafa (*Mendicago sativa*). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:153-162, 1979.

SIMSON, C.R.; COREY, R.B. & SUMNER, M.E. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn (*Zea mays*) and alfafa (*Mendicago sativa*). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*,19:153-162, 1979.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEDEN, J. *Azospirillum brasilense*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiology Reviews*, 24:487-506, 2000.

STRAATEN, P. *Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa*. Nairobi: ICRAF, 2002. 338p.

SAÃ, N.M.H., Scotti, M.R.M.L., Paiva, E., Franco, A.A., DoÈbereiner, J., 1993. Selection and characterization of *Rhizobium* spp. strains stable and capable of fixing nitrogen in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Microbiol.* 24, 38±48.

SOARES, A.L.L.; PEREIRA, J.P.A.R.; FERREIRA, P.A.A.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Pendões (MG). I - Caupi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.795-802, 2006a.

SOARES, A.L.L.; FERREIRA, P.A.A.; PEREIRA, J.P.A.R. VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Pendões (MG). II - Feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.803-811, 2006b.

SOBERO, AN-CHAVEZ, G., NaAjera, R., Oliveira, H., Segovia, L., 1986. Genetic rearrangements of a *Rhizobium phaseoli* symbiotic plasmid. *J. Bacteriol.* 167, 487±491.

Steenbjerg F. (1951) Yield curves and chemical plant analysis. *Plant and Soil* 3,97-109.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 764p.

TELHADO, S.F.P.;FANCELLI, A. L. Desempenho e produtividade de milho em consorcios com adubos verdes em sistema organico de produção. Piracicaba, p. 18 ,2007.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetumamericanum* L.). *Applied and Environmental Microbiology*, 37:1016-1024, 1979.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. *Basaltogem: Uma questão de soberania nacional*. 2011.

THEODORO, S. C. H. *Fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural*. 2000. 225f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

THULER, D.S.; FLOH, E.I.S.; HANDRO, W.; BARBOSA, H.R. Plant growth regulators and amino acids released by *Azospirillum brasilense* sp. in chemically defined media. *Letters in Applied Microbiology*, 37:174-178, 2003.

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

URQUIAGA, S. & ZAPATA, F. Fertilización nitrogenada en sistemas de producción agrícola. In: URQUIAGA, S. & ZAPATA, F., eds. *Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe*. Porto Alegre, Gênese, 2000. p.77-88.

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

VOLKMAR, K. M; BREMER, E. 1998. Effects of seed inoculation with a strain of *Pseudomonas fluorescens* on root growth and activity of wheat in well-watered and drought-stressed glass-fronted rhizotrons. *Can. J. Plant Sci.* 78: 545–551. *Can. J.*

WAIGWA M.W., OTHIENO C.O., OKALEBO J.R. Phosphorus availability as affected by the application of phosphate rock combined with organic materials to acid soils in western Kenya. *Experimental Agriculture*, v. 39, n. 1, p. 395-407, 2003.

WIEDENFELD, R.; BRAVERMAN, M. 1991. Fertilizer nitrogen sources for vegetable production. *Subtropical Plant Science* 44:33-36, 1991.

APÊNDICE

Apêndice 1. Composição química Macro Nutrientes no Solo

Nutriente	Unidade/profundidade	0-20 cm	20-40 cm
Alumínio (Al3+)	cmolc/ dm-3	0,16	0,38
Calcio (Ca2+)	cmolc/ dm-3	0,92	0,74
Fosforo mehllich I (P meh)	mg/dm-3	5,83	2,11
Hidrogenio + Alumínio (H+ Al3+)	cmolc/ dm-3	3,91	3,63
Magnésio MG2+	cmolc/ dm-3	0,6	0,52
PH CaCl2	cmolc/ dm-3	4,4	4,1
PH SMP	cmolc/ dm-3	6,3	6,4
Potássio (K+)	cmolc/ dm-3	0,15	0,06
Soma de Bases (SB)	cmolc/ dm-3	1,67	1,32
CTC	cmolc/ dm-3	5,58	4,95
V%	%	29,93	26,67

Fonte: Agrisolum, 2018.

Apêndice 2. Composição química Micro Nutrientes no Solo

Nutriente	Unidade/profundidade	0-20 cm	20-40 cm
Boro (B)	mg/dm-3	NS	NS
Cobre (Cu2+)	mg/dm-3	3,72	3,18
Enxofre (S)	mg/dm-3	NS	NS
Ferro (Fe2+)	mg/dm-3	175,8	131,1
Manganês (Mn2+)	mg/dm-3	62,52	28,38
Sódio (Na+)	mg/dm-3	NS	NS
Zinco (Zn2+)	mg/dm-3	1,02	0,18

Ns – Não Significativo

Fonte: Agrisolum, 2018.

Apêndice 3. Composição química Macro Nutrientes no Solo após realização da calagem

Nutriente	Unidade/profundidade	0-20 cm
Alumínio (Al ³⁺)	cmolc/ dm-3	0
Calcio (Ca ²⁺)	cmolc/ dm-3	1,59
Fosforo mehlich I (P meh)	mg/dm-3	2,37
Hidrogenio + Alumínio (H+ Al3+)	cmolc/ dm-3	2,58
Magnésio MG ²⁺	cmolc/ dm-3	0,99
PH CaCl ₂	cmolc/ dm-3	5,8
PH SMP	cmolc/ dm-3	6,9
Potássio (K ⁺)	cmolc/ dm-3	0,09
Soma de Bases (SB)	cmolc/ dm-3	2,67
CTC pH 7,0	cmolc/ dm-3	5,25
V%	%	50,86

Fonte: Agrisolum, 2019.

Apêndice 4. Teor de óxidos do Pó-de-basalto granulado

Óxidos	Teor %
Al ₂ O ₃	12,05
CaO	10,64
Fe ₂ O ₃	13,14
K ₂ O	1,04
MgO	4,88
MnO	0,19
Na ₂ O	2,07
P ₂ O ₅	1,23
SiO ₂	48,14
SO ₃	<LQ
TiO ₂	1,91
LOI (%)	3,95
SOMA (%)	99,23

<LQ=Abaixo do limite quantificável, LOI=Perda da Ignição
Fonte: Crti, 2018.

Apêndice 5. Teor de micronutrientes do Pó-de-basalto granulado

Micro nutrientes	Teor (ppm)
As	<LQ
Ba	352
Cd	<LQ
Ce	58
Co	29
Cr	64
Cs	17
Cu	221
Ga	20
La	25
Mo	<LQ
Nb	18
Ni	52
Pb	<LQ
Rb	20
Sb	<LQ
Sc	37
Sn	<LQ
Sr	343
Th	<LQ
U	<LQ
V	325
Y	32
Zn	118
Zr	156

<LQ=Abaixo do limite quantificável

Fonte: Crti, 2018.

Apêndice 6. Composição Química Material a base de aminoácidos

Nutriente	Teor %
Boro	0,002
Cálcio	0,11
Carbono Orgânico	19,8
Cloretos	1,6
Cobre	0,0005
Enxofre	0,95
Ferro	0,0007
Fósforo	0,38
Magnésio	0,009
Molegênio, Cobalto, Molebidênio	<0,0002
Nitrogenio	7,8
Potássio	0,13
Silício	1,1

Fonte: CELQA, 2018.

Apêndice 7. Valores de probabilidade para o teste *F* da análise de variância aplicada para as variáveis

Variável	Fontes de variação						
	Basalto (B)	Azospirillum (Az)	Aminoácido (Am)	B × Az	B × Am	Az × Am	B × Az × Am
N_NODULO	0,0947	0,3887	0,7765	0,6568	0,2700	0,5275	0,3153
MASSA_SECA	0,8460	0,7341	0,1663	0,1170	0,8082	0,6980	0,3354
ALTURA	0,5023	0,2451	0,8071	0,0368	0,2859	0,0706	0,8175
N_NOS	0,6006	0,6455	0,4059	0,0827	0,3827	0,6364	0,9218
COMP_VAGEM	0,8179	0,6095	0,3317	0,0488	0,6007	0,1205	0,0725
N_VAGENS	0,1716	0,2285	0,8893	0,6466	0,8338	0,1126	0,2091
PESO	0,0781	0,6594	0,5268	0,4479	0,2508	0,1861	0,2956
PRODUTIVIDADE	0,1243	0,0619	0,9720	0,1277	0,9053	0,0647	0,5648
S	0,8041	0,1008	0,4266	0,7554	0,9172	0,1863	0,2619
N	0,8067	0,1015	0,4277	0,7538	0,9198	0,1865	0,2640
Fe	0,6711	0,4089	0,4618	0,9078	0,2854	0,2924	0,4510
Zn	0,1557	0,4722	0,5840	0,7892	0,0727	0,4764	0,2510
Mn	0,9815	0,8985	0,8363	0,4085	0,3149	0,1558	0,2067
Cu	0,0778	0,8267	0,9543	0,5826	0,9514	0,4023	0,5328
P	0,0802	0,1491	0,3598	0,2917	0,3598	0,8416	0,6481
Mg	0,2431	0,6315	0,0871	0,7950	0,0325	0,2138	0,8377
Ca	0,0252	0,7985	0,5029	0,5810	0,1126	0,2809	0,6524
K	0,9270	0,2465	0,7083	0,7916	0,1105	0,4260	0,2448

Valores em negritos foram significativos a 10% Fonte: Autor, 2019.