

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS - CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Júlio César Mascarenhas Dos Santos

**EFEITO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA NUDULAÇÃO DO
FEIJOEIRO COMUM**

São Joao Evangelista

2024

JÚLIO CÉSAR MASCARENHAS DOS SANTOS

**EFEITO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA NUDULAÇÃO DO
FEIJOEIRO COMUM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Instituto Federal de Minas Gerais do Campus São João Evangelista, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alisson

São Joao Evangelista

2024

S237e Santos, Júlio César Mascarenhas dos.
Efeito de silicato de cálcio e magnésio na nodulação do feijoeiro comum / Júlio César Mascarenhas dos Santos – 2024.
38f.: il.

Orientador: Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2024.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Adubação silicatada. 3. Crescimento. 4. Bases trocáveis. 5. Fertilidade do solo. I. Santos, Júlio César Mascarenhas dos. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 635.652

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/003372/P

Júlio César Mascarenhas Dos Santos

**EFEITO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA NUDULAÇÃO DO
FEJJOEIRO COMUM**

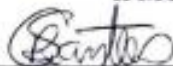
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Instituto Federal de Minas Gerais do Campus São João Evangelista, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Alisson José Eufrásio de Carvalho


Data de aprovação 18/03/2024.



Prof. Dr. Alisson José Eufrásio de Carvalho
IFMG



Prof. Dr. Rafael Carlos dos Santos
IFMG



Me. Ricardo Gomes de Oliveira
IFMG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para superar todas as dificuldades.

Meus sinceros agradecimentos a minha família, que sempre me ajudou e acreditou em mim mais do que eu mesmo acreditava.

A república UzzPaKacHorrO e agregados, que estiveram comigo nesta jornada, me apoiando de maneiras diretas e indiretas.

Ao professor e orientador Alisson José Eufrásio de Carvalho e aos componentes da banca Professor Rafael Carlos dos Santos e Ricardo Gomes de Oliveira, por aceitarem fazer parte desta banca e por me instruírem muito bem ao longo da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Ciência e tecnologia de Minas Gerais, Campus São João evangelista, pelo conhecimento teórico e prático adquirido ao longo desse tempo e também pelo crescimento pessoal.

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado um dos mais importantes grãos para a alimentação humana, devido a sua composição nutricional e adaptabilidade, sendo cultivado em diversas partes do mundo. E algumas vezes, a sua cultura é associada com a utilização de fertilizante, com intuito de aumentar a produtividade e trazer maiores benefícios para o plantio de feijão. Neste sentido, visando entender a relação do uso do silicato aplicado a cultura de feijão comum, realizou-se um experimento no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus São João Evangelista, em estufa no viveiro de mudas no período de 18/12/2019 à 28/05/2020, com objetivo de avaliar a morfologia e nodulação do feijoeiro comum em diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio, como: T1: controle, T2: 850 kg ha⁻¹, T3: 1750 kg ha⁻¹, T4: 3625 kg ha⁻¹, e T5: 3500 kg ha⁻¹, aplicados no solo. Além disto, avaliar o número e diâmetro de nódulos, comprimento da raiz e da parte aérea, massa úmida e seca da parte aérea, massa úmida e seca da raiz e análise bromatológica. Com isto, utilizou-se ferramentas estatísticas para avaliar todas as variáveis estudadas, obtendo-se diferença significativa apenas para análises de massa úmida e seca da raiz, o número e diâmetro dos nódulos e massa seca da parte aérea. De acordo com a pesquisa, encontrou-se os melhores pontos de aplicação de silicato com os maiores índices, como: matéria fresca da raiz (T2: 850 kg ha⁻¹ apresentando 38,06g); matéria seca da raiz (T2: 850 kg ha⁻¹ apresentando 3,28g); massa seca da parte aérea (T5: 3500 kg ha⁻¹ apresentando 4,55g); o número de nódulos (T3: 1750 kg ha⁻¹ apresentando 132 nódulos); e diâmetro dos nódulos (T2: 850 kg ha⁻¹, apresentando 2,63 cm). Sobretudo, ficou evidente que mesmo não apresentando diferença significativa em algumas análises, todos os fatores apresentaram correlação positiva com o uso do silicato de cálcio e magnésio em relação ao controle, sendo de suma importância para aumentar a produtividade no uso do feijoeiro comum.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Adubação silicatada. Bases trocáveis. Fertilidade do solo.

ABSTRACT

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are considered one of the most important grains for human consumption, due to their nutritional composition and adaptability, being cultivated in different parts of the world. And sometimes, its culture is associated with the use of fertilizer, with the aim of increasing productivity and bringing greater benefits to the planting of beans. In this sense, aiming to understand the relationship between the use of silicate applied to common bean crops, an experiment was carried out at the Federal Institute of Minas Gerais, Campus São João Evangelista, in a greenhouse in the seedling nursery from 12/18/2019 to 05/28/2020, with the objective of evaluating the morphology and nodulation of common bean in different doses of calcium and magnesium silicate, such as: T1: control, T2: 850 kg ha⁻¹, T3: 1750 kg ha⁻¹, T4 : 3625 kg ha⁻¹, and T5: 3500 kg ha⁻¹, applied to the soil. In addition, evaluate the number and diameter of nodules, length of the root and shoot, wet and dry mass of the shoot, wet and dry mass of the root and bromatological analysis. With this, statistical tools were used to evaluate all the variables studied, obtaining a significant difference only for analyzes of wet and dry mass of the root, the number and diameter of nodules and dry mass of the aerial part. According to the research, the best silicate application points were found with the highest rates, such as: fresh root matter (T2: 850 kg ha⁻¹ presenting 38.06g); root dry matter (T2: 850 kg ha⁻¹ presenting 3.28g); dry mass of the aerial part (T5: 3500 kg ha⁻¹ presenting 4.55g); the number of nodules (T3: 1750 kg ha⁻¹ presenting 132 nodules); and nodule diameter (T2: 850 kg ha⁻¹, measuring 2.63 cm). Above all, it was evident that even though there was no significant difference in some analyses, all factors showed a positive correlation with the use of calcium and magnesium silicate in relation to the control, being extremely important to increase productivity in the use of common bean.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.. Silicate fertilizer. Exchangeable bases. Soil fertility.

LISTA DE SIGLAS

CFSMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

FBN - Fixação Biológica de Nitrogênio

DBC - Delineamento de Blocos Casualizados

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (A) Extração, peneiramento e medição de volume de solo (B) Adição e mistura dos diferentes tratamentos no solo	17
Figura 2 - Teste de germinação do feijão em BOD	19
Figura 3 - Plantio de quatro sementes por vaso.....	19
Figura 4 – (A) Pesagem dos Micronutrientes (B) Aplicação dos micronutrientes.....	20
Figura 5 - Parte aérea da planta utilizada no experimento	20
Figura 6 – (A) Retirada das plantas do vaso (B) Medição das raízes e parte aérea da planta..	21
Figura 7 -(A) Contagem dos nódulos e (B) Medição do diâmetro dos nódulos com auxílio do paquímetro	21
Figura 8 – (A) Pesagem das amostras frescas (B) Secagem em estufa de circulação de ar forçada	22
Figura 9 - Pesagem da massa seca de raiz das plantas de feijão.	22
Figura 10 - Digestão das amostras pelo método Kjeldahl	23
Figura 11 – Destilação das amostras digeridas.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição fenológica do Desenvolvimento das Plantas do feijoeiro <i>Phaseolus vulgaris</i> L. em Ciclo Produtivo	14
Tabela 2 - Tratamentos com Silicato de cálcio e magnésio	17
Tabela 3 - Características químicas do solo.	18
Tabela 4 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as análises do número dos nódulos, matéria fresca da raiz, matéria seca da raiz, matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, comprimento de caule, comprimento de raiz, diâmetro de nódulo e nitrogênio total do feijoeiro comum.....	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação gráfica da matéria fresca da raiz (g.vaso^{-1}) do feijoeiro comum <i>Phaseolus vulgaris L</i> , em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.....	27
Gráfico 2 - Representação gráfica da matéria seca da raiz (g.vaso^{-1}) do feijoeiro comum <i>Phaseolus vulgaris L</i> , em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.....	27
Gráfico 3 - Representação gráfica da matéria seca aérea (g.vaso^{-1}) do feijoeiro comum <i>Phaseolus vulgaris L</i> , em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.....	28
Gráfico 4 - Representação gráfica da diâmetro (mm) dos nódulos do feijoeiro comum <i>Phaseolus vulgaris L</i> , em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.....	29
Gráfico 5 - Representação gráfica da número de nódulos do feijoeiro comum <i>Phaseolus vulgaris L</i> , em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.....	30

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Feijoeiro comum	14
2.2. Fixação biológica de nitrogênio	14
2.3. Silicato de cálcio e magnésio	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
4. DISCUSSÃO E RESULTADOS	25
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado um dos mais importantes grãos para a alimentação humana. Sendo amplamente cultivado em diversas partes do mundo (JADOSKI, 2012). O feijoeiro comum tem destaque no Brasil pela sua importância socioeconômica e faz parte da dieta principal dos brasileiros, sendo este grão fonte importante de proteína (SILVA; WANDER, 2013, p. 11).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2023), considerando a área semeada e a produtividade esperada nas três safras, a produção total de feijão na safra 2022/2023 chegou a 227,2 mil de toneladas, a produção nacional de feijão nesta safra ficou 13,2% maior que na temporada 2021/2022. Este aumento veio decorrente a uma melhor distribuição de chuvas durante o ciclo da cultura.

A classificação botânica do feijoeiro-comum segundo Vilhordo (1996) se dá como pertencente a ordem Rosales, família *Fabaceae*, sub-família *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L. Esta planta tem como característica a nodulação nas raízes que ocorre pela simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (FRANCO *et al.*, 2002). Os *Bradyrhizobium* têm grande importância na agricultura trazendo benefícios na melhor fertilidade dos solos e reduzindo a utilização de adubação nitrogenada (MARTINS, *et al.*, 2017).

A produção do feijão varia de 85 a 120 dias sendo considerado de ciclo curto, e tem estágios fenológicos divididos em vegetativo e reprodutivo, onde o vegetativo varia de V0 (germinação) a Vn. A planta começa a depender totalmente dos nutrientes do solo quando atinge o estágio fenológico V3, entre os nutrientes um dos principais é o nitrogênio que é responsável pelo acúmulo de matéria seca da planta, sendo assim quando ela atinge o estágio V4 já ocorre a presença de nódulos e está ativa a FBN (EMBRAPA, 2018).

Em estudos com feijoeiro comum, Campanharo *et al.*, (2008) encontraram resultados satisfatórios com a elevação do pH e menores concentrações de Al^{3+} , H^+ + Al^{3+} no solo, observando um incremento na área foliar, matéria seca da parte aérea e da raiz, comprimento da raiz e N total, assim como influência positiva no número de nódulos e na matéria seca dos nódulos.

Segundo Bertani *et al.*, (2012) tendo em vista que as raízes não crescem adequadamente em solos com pH baixo, a correção do solo é de suma importância para uma boa produção e conseqüentemente uma boa produtividade.

Diante do exposto, o presente trabalho possui o objetivo de avaliar a nodulação e crescimento do feijoeiro comum em diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio aplicados no solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Feijoeiro comum

O feijão é originário das Américas e tem 55 espécies, dentre elas destaca-se o feijoeiro comum, *Phaseolus vulgaris* L, sendo amplamente difundido e consumido por toda parte do planeta (CARNEIRO; PAULA JUNIOR e BORÉM, 2015). O feijão comum faz parte de um grupo de plantas caracterizadas como leguminosas, este grupo é capaz de produzir estruturas no sistema radicular designados de nódulos, isso por conta da simbiose com bactérias (SANTOS *et al.*, 2015). Segundo Fernández & Gepts, (1986) o feijão é uma planta com sistema radicular pivotante que concentra maior parte suas raízes de 20 a 25cm de profundidade do solo.

A produção do feijão varia de 85 a 120 dias sendo considerado de ciclo curto, e tem estádios fenológicos divididos em vegetativo e reprodutivo, no qual o vegetativo varia de V0 (germinação) a Vn (EMBRAPA, 2018). É de suma importância o conhecimento sobre a fenologia do feijão comum para a tomada de algumas decisões, a fenologia é marcada temporalmente por características morfológicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição fenológica do Desenvolvimento das Plantas do feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. em Ciclo Produtivo

Estádio	Descrição
V0	Germinação, ocorrência da absorção de água e sua transformação em raiz primária.
V1	Emergência: os cotilédones aparecem ao nível do solo e começam a separar-se. O epicótilo inicia o desenvolvimento.
V2	Folhas primárias: folhas primárias em posição horizontal completamente aberta.
V3	Primeira folha trifoliolada: abertura da 1ª folha trifoliolada e surgimento da 2ª folha trifoliolada.
V4	Terceira folha trifoliolada: abertura da 3ª folha trifoliolada, gemas e nós inferiores produzem ramos.
R5	Pré-floração: aparecimento do primeiro botão floral e o primeiro racimo
R6	Floração: abre-se a primeira flor
R7	Formação das vagens: aparece a primeira vagem.
R8	Enchimento das vagens: inicia o enchimento da primeira vagem (crescimento das sementes). Início da senescência.
R9	Maturação fisiológica: as vagens perdem a pigmentação e começam a secar. As sementes adquirem a coloração típica da cultivar.

¹Vn= fase vegetativa; Rn = fase reprodutiva.

²Cada etapa inicia-se quando 50% das plantas mostram as condições que correspondem à descrição da etapa.

Fonte: QUINTELA *et al.*, 2005.

Em escala mundial o Brasil é segundo maior produtor de feijão com cerca de 2,9 milhões de toneladas produzidas, ficando atrás da Índia que obteve o primeiro lugar com cerca de 6,2 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2023).

2.2. Fixação biológica de nitrogênio

Algumas plantas caracterizadas como leguminosas são capazes de produzir nódulos em seu sistema radicular por meio de simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, essas bactérias são capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico (N_2) e ofertar para a planta, essa ação é conhecida como fixação biológica de nitrogênio (FBN) de forma a complementar ou até mesmo fornecer todo teor de N para estas plantas (FRANCO *et al.*, 2002).

Assim como a água é fundamental para a sobrevivência de todos os seres vivos, o nitrogênio também é um nutriente que assim como a água pode ser limitante para todos os seres vivos. O N é abundante na atmosfera terrestre compondo 78%, contudo está disponibilizado na forma de N_2 que não é absorvido pela maioria dos vegetais, assim grande parte das plantas dependem de N dos fertilizantes ou de matéria orgânica (SANTOS *et al.*, 2008).

A fixação biológica de nitrogênio só é possível porque as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* possuem uma enzima chamada nitrogenase, conseguindo reduzir o N_2 atmosférico e transformando em NH_3 , molécula que é utilizada pelas plantas para a obtenção de N. Como a simbiose mutualística é definida pela troca de benefícios entre os parceiros, as bactérias fornecem NH_3 para as plantas e em contrapartida as plantas ofertam CO_2 fixados em carboidratos para as bactérias (MOREIRA, 2008). A fixação biológica de nitrogênio é de suma importância para a vida no planeta, atrás apenas da fotossíntese, sendo o segundo maior processo biológico do planeta (ZILLI *et al.*, 2009a).

Além disto, cabe destacar que alguns fatores podem afetar positivamente a fixação biológica de nitrogênio (FBN) sendo uma delas a complementação nutricional com molibdênio (Mo) (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), pois o Mo tem papel importante na enzima redutase metabolizando nitrogênio pela forma nítrica, e nitrogenase metabolizando nitrogênio atmosférico (PESSOA *et al.*, 2001).

Quando comparamos a FBN com os fertilizantes nitrogenados podemos observar algumas vantagens da FBN como grande quantidade de N que se tem na atmosfera e baixo custo (NASCIMENTO *et al.*, 2010).

2.3. Silicato de cálcio e magnésio

Os atributos desejados agronomicamente pelas fontes de silício podem ser encontrados no silicato de cálcio e magnésio, que é um subproduto da atividade siderúrgica e tratadas como escória. Sendo composto basicamente por $CaSiO$ e $MgSiO$ tem uma boa relação

cálcio e magnésio, promovendo à solo elevação do pH, disponibilizando no solo silício, cálcio e magnésio trocáveis no solo (KORNDORFER, PEREIRA e CAMARGO, 2002). As características químicas do silicato de cálcio e magnésio são apresentadas em geral: 43% CaO; 11% MgO; 43% SiO₂ e PRNT de 70%. O SiO₂ libera OH⁻ quando reage com a água presente no solo, conseqüentemente o OH⁻ reage com Al₃⁺ fazendo a sua neutralização (FORTES *et al.*, 2008).

O feijoeiro comum é uma cultura que apresenta sensibilidade em solos ácidos, que é observada em grande parte dos solos brasileiros (HUNGRIA & VARGAS, 2000). A cultura apresenta faixa de PH ideal que varia de 5,5 a 6,8, sendo assim, a correção do solo de suma importância para proporcionar maiores produtividades (BARBOSA FILHO & SILVA, 2000; HUNGRIA & VARGAS, 2000).

A acidez dos solos além de afetar o desenvolvimento da cultura, afeta também a microbiota do solo, em especial as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, interferindo na sua sobrevivência, persistência e multiplicação, sendo reduzida a fixação biológica de nitrogênio (SLATTERY *et al.*, 2001; MACCIÓ *et al.*, 2002; BALA *et al.*, 2003). Estas bactérias sofrem interferência da acidez do solo pela dificuldade em manter o PH intracelular (MACCIÓ *et al.*, 2002).

Historicamente, não há uma data exata sobre o início do uso de fertilizantes de silício pelo ser humano. No entanto, existem evidências de que camponeses chineses e romanos, há milênios atrás, faziam o uso de cinzas de cereais para fertilizar os campos de cultivos, isto devido aos incentivos pelos sábios da época, como Virgílio (Publius Vergilius Maro, 70 - 19 a.C). Neste sentido, um dos fatores responsáveis pelos efeitos positivos da mistura destas cinzas para os solos pobres em nutrientes, seria devido à capacidade das plantas em acumular altos teores de sílica em seus tecidos (EMBRAPA, 2009).

E até os dias de hoje, o silício tem desempenhado um papel de suma importância na produtividade das colheitas, principalmente devido a sua função positiva no metabolismo das plantas (KAYA *et al.*, 2006). As suas funções já testadas em vários tipos de cultura são: aumentar a resistência dos tecidos, reduzir a taxa de transpiração, estimular a fotossíntese, auxiliar no aumento da produção de massa seca e na resistência da planta ao estresse químico, físico e biológico. Além disto, o silício pode ser utilizado para auxílio na atividade metabólica, fisiológica e estrutural em plantas superiores, principalmente quando estão submetidas a estresses bióticos e abióticos (ÁLVAREZ e OSORIO, 2014; LIANG *et al.*, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto Federal de Minas Gerais no Campus São João Evangelista - MG (18° 30'S, 43° 45'W, 720 m). O município de São João evangelista está localizado nas coordenadas UTM 23K 736207.29 m e 7947253.00 m S e tem clima do tipo Cwa temperado chuvoso, com verões quentes e chuvosos e inverno frio e seco (SCOLFORO; MELLO; SILVA, 2008).

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados (DBC) com 5 doses de silicatos silicato de cálcio e magnésio, em 4 repetições. As doses testadas do corretivo estão elencadas Tabela 2, com a respectiva dose equivalente por hectare.

Tabela 2 - Tratamentos com Silicato de cálcio e magnésio

Tratamentos	Dose (g.dm ⁻³)	Dose (kg.ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	0,4375	850
T3	0,875	1750
T4	1,3125	2625
T5	1,75	3500

Fonte: Autor, 2023.

O solo utilizado foi caracterizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018) Latossolo Vermelho distrófico (LVd), coletados superficialmente (0-0,20 m) em áreas nativas de floresta tropical e Cerrado no município de São João Evangelista (MG), separada em cinco lotes de 160 litros. Além disto, realizou-se a homogeneização de toda o solo e coletou-se amostra única para ser encaminhada para laboratório de solos do Campus São João Evangelista. Após a separação dos lotes adicionou-se as doses de silicato de cálcio e magnésio separadamente, realizando-se assim a homogeneização e cobertura com lona, na qual ficou incubado por um período de três meses, conforme Figura 1.

Figura 1 – (A) Extração, peneiramento e medição de volume de solo (B) Adição e mistura dos diferentes tratamentos no solo



Fonte: Autor, 2023.

Após o período de incubação e considerando as características químicas do solo, apresentadas pela análise de solo, conforme a Tabela 3, as recomendações de adubação são realizadas de acordo com os níveis de tecnologia empregados, que varia de NT1 a NT4, correspondentes a produtividade esperada (Ribeiro et al, 1999). Realizou-se adubação com fósforo (P) e potássio (K) (FIG. 4), optando-se pelo nível de tecnologia 1 para a aplicação de nitrogênio (N) como dose de arranque, todos calculados baseados na metodologia apresentada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Ribeiro *et al*, 1999).

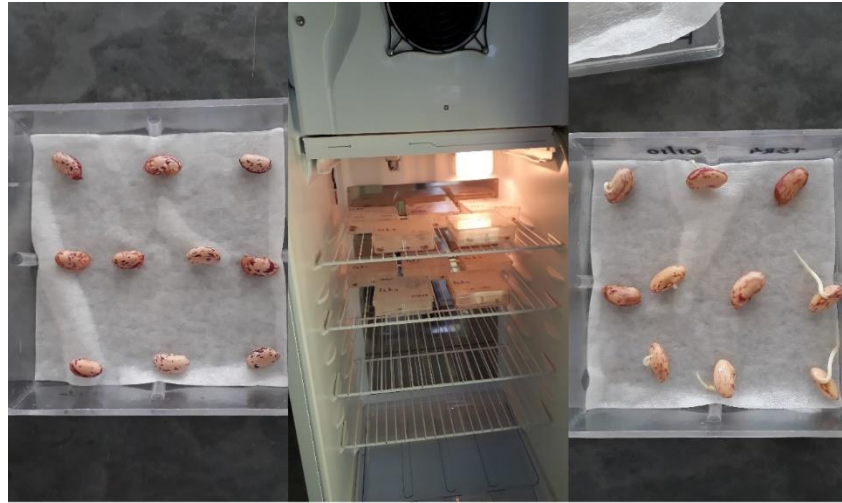
Tabela 3 - Características químicas do solo.

Atributos	Teores
pH em água	4,38
P Merlich-1(cmolc/dm³)	0,048
K Merlich-1(cmolc/dm³)	0,12
Ca²⁺ (cmolc/dm³)	1,1
Mg²⁺(cmolc/dm³)	0,4
Al³⁺ (cmolc/dm³)	0,55
H + Al (cmolc/dm³)	3,54
SB (cmolc/dm³)	1,62
CTC (t) (cmolc/dm³)	2,17
CTC (T) (cmolc/dm³)	5,16
V %	31,44
m%	25,31
MO (dag/kg)	1,16
P-rem (mg/L)	9,69

SB: Soma de bases trocáveis; CTC (t): capacidade de troca catiônica; CTC (T): Capacidade de troca catiônica a pH 7,0. V: Índice de Saturação de bases; m: Índice de saturação de Alumínio; P-rem: Fósforo remanescente.
Fonte: Autor, 2023.

A variedade de feijão utilizada foi a BRSMG REALCE, que foi submetida a teste de germinação em BOD durante sete dias e apresentou taxa de germinação de 88%, conforme Figura 2.

Figura 2 - Teste de germinação do feijão em BOD



Fonte: Autor, 2023.

Desta forma, conduziu-se o experimento em vasos preenchidos com volume de solo de dez litros. Realizou-se o plantio com quatro sementes e posteriormente feito o desbaste, deixando duas plantas por vaso, sendo cada vaso uma unidade experimental (FIG. 3).

Figura 3 - Plantio de quatro sementes por vaso.

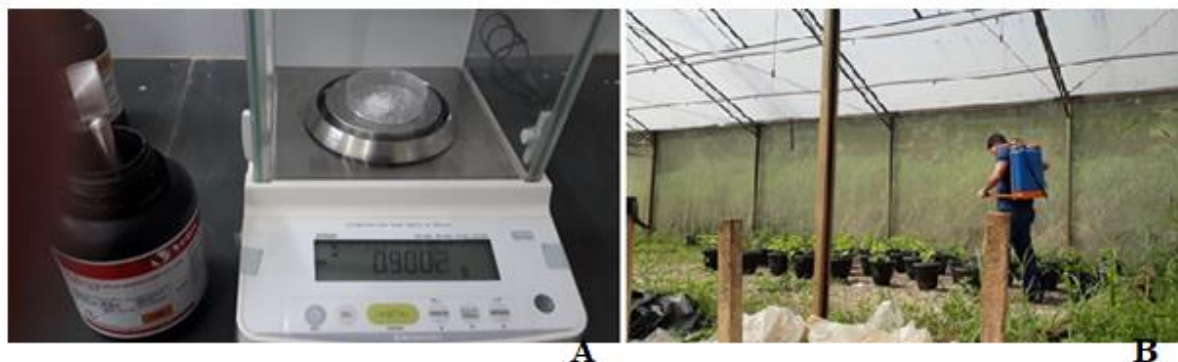


Fonte: Autor, 2023.

Obteve-se quantidades necessária de micronutrientes como Mo, B e Zn de acordo com a metodologia da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) para complementar a nutrição do feijoeiro comum (FIG 4 A). Os micronutrientes foram aplicados

com auxílio de um pulverizador costal por via foliar, com volume de calda de 300 L.ha⁻¹, vinte e quatro dias após o plantio (DAP), conforme Figura 4B.

Figura 4 – (A) Pesagem dos Micronutrientes (B) Aplicação dos micronutrientes



Fonte: Autor, 2023.

Por fim, coletou-se as plantas para análise 38 dias após o plantio (FIG 5), pois neste tempo ocorre o pico máximo de nódulos na raiz, sendo que passando disto, há maiores possibilidades de ocorrer a senescência dos nódulos e conseqüentemente a minimização da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (FERNÁNDEZ-LUQUEÑO *et al.*, 2008; LUQUEÑO *et al.*, 2008).

Figura 5 - Parte aérea da planta utilizada no experimento



Fonte: Autor, 2023.

Para a lavagem do sistema radicular das plantas, utilizou-se auxílio de mangueira com água e retirada de todo solo (FIG. 6A). Ainda em campo, realizaram-se as primeiras análises como: comprimento de caule (FIG. 6B); comprimento de raiz (FIG. 11), número de nódulos (FIG. 12), diâmetro de nódulos (FIG. 13).

Figura 6 – (A) Retirada das plantas do vaso (B) Medição das raízes e parte aérea da planta



Fonte: Autor, 2023.

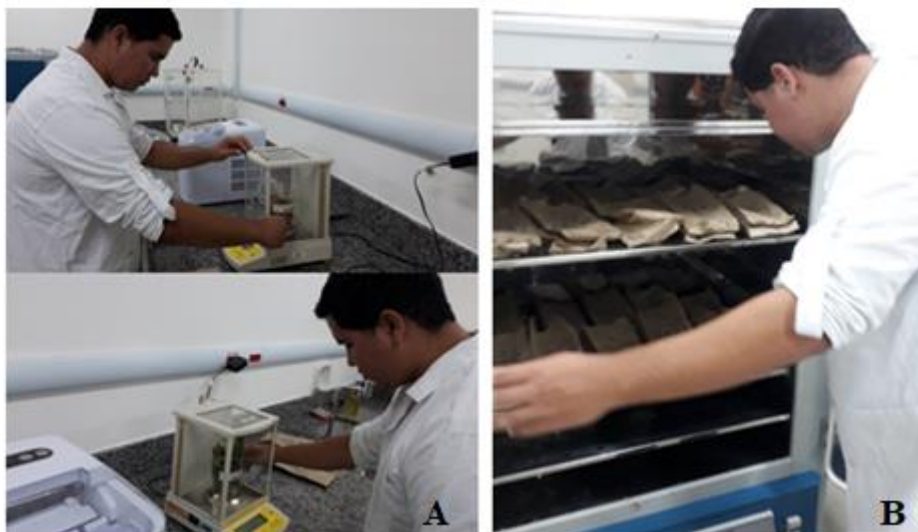
Figura 7 -(A) Contagem dos nódulos e (B) Medição do diâmetro dos nódulos com auxílio do paquímetro



Fonte: Autor, 2023.

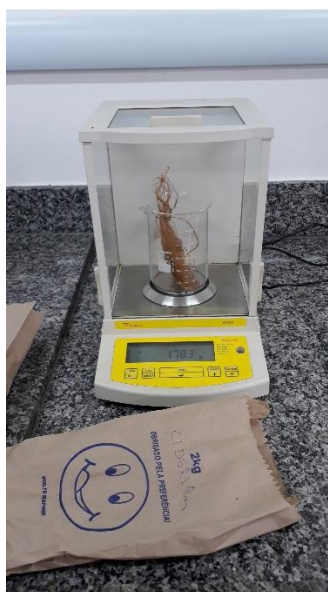
Em laboratório, coletou-se o peso da massa fresca da raiz e massa fresca da parte aérea separadamente (FIG 8A). Após a coleta do peso da massa fresca, encaminhou-se amostras para a estufa de circulação de ar forçada, com temperatura aproximada de 65°C, por três dias, de acordo com a metodologia de Melo *et al.* (2013) (FIG 8B), para determinação da massa seca da parte aérea e da raiz (FIG. 9).

Figura 8 – (A) Pesagem das amostras frescas (B) Secagem em estufa de circulação de ar forçada



Fonte: Autor, 2023.

Figura 9 - Pesagem da massa seca de raiz das plantas de feijão.



Fonte: Autor, 2023.

Para a análise bromatológica, realizou-se a adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio, que consiste basicamente em três princípios: digestão, destilação e titulação (EMBRAPA, 2006). Com as amostras já secas da parte aérea das plantas foi realizada a moagem e separação das amostras em duplicatas. Posteriormente, seguiu-se os princípios da metodologia Kjeldahl, primeiramente com a digestão das amostras com ácido sulfúrico concentrado, sob temperaturas de 400 °C no bloco digestor e dentro da capela (Figura 10).

Figura 10 - Digestão das amostras pelo método Kjeldahl



Fonte: Autor, 2023.

Após o processo de digestão, realizou-se a destilação das amostras, que foram tratadas com 6,20ml hidróxido de sódio a 40% e como indicador 1,25ml da solução receptora indicadora com 10 ml de ácido bórico a 2%, 6 ml de solução alcoólica de vermelho de metila a 0,1% e 15ml de solução alcoólica de verde de bromocresol a 0,1% (Figura 11). Por fim, realizou-se a titulação das duplicatas com ácido clorídrico 0,01 mol.L⁻¹ até a viragem do indicador que passa da cor verde para vermelho.

Figura 11 – Destilação das amostras digeridas



Fonte: Autor, 2023.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos, quando significativas, comparadas pela análise de regressão a 5% de probabilidade, utilizando-se programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2003).

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

As doses de silicato testadas no presente trabalho influenciaram significativamente ($p < 0,05$) as variáveis número e diâmetro dos nódulos, matéria fresca da raiz, matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea do feijoeiro comum. As demais variáveis não foram influenciadas significativamente.

A dose 1750 kg.ha^{-1} foi a que proporcionou a máxima produtividade de $40,57 \text{ g}$ de matéria fresca e $3,28 \text{ g}$ de matéria seca conforme Gráfico 1 e 2. No entanto, quando comparado os trabalhos obtidos por César (2018), com outros tipos de feijoeiro, como o BRS Campeiro, Esplendor e Madrepérola, sem qualquer adição de silicato, foi possível verificar que os valores para a matéria fresca foram muito superiores a todos os tipos, representando duas vezes mais a que obteve maior valor, o Madrepérola, com $8,0575 \text{ g}$ (isto levando em consideração apenas o controle, com $19,68 \text{ g}$). Já em relação a matéria seca da raiz, os valores também foram superiores do que todos, sendo que o maior valor $3,28 \text{ g}$ (com 1.750 kg.ha^{-1}) apresentou o dobro do valor apresentado pelo autor ($1,46 \text{ g}$).

Com isto, é importante ressaltar que o aumento na quantidade de matéria fresca e, conseqüentemente, a de matéria seca obtidas durante o experimento, implica em um maior crescimento radicular, o qual pode ser explicado devido a melhora na disponibilidade de fósforo no solo, considerado um dos efeitos mais importantes da aplicação de silicatos dentro de culturas (EPSTEIN e BLOOM, 2005). Além disto, a adição de silicato também aumenta a disponibilidade de outros elementos, como Ca, Mg, K e B, contrariando ainda os efeitos antagônicos criados em solos que apresentam altas saturações de alumínio e ferro (EPSTEIN e BLOOM, 2005; ÁLVAREZ e OSORIO 2014).

Sobretudo, de acordo com a EMBRAPA (2009), existe ainda efeito positivo no crescimento geral das plantas com a utilização do silicato, pois há aumento na área foliar, crescimento da parte aérea, biomassa seca e ainda aumento considerável da produtividade. Ademais, uma maior disponibilidade de nutrientes estimula naturalmente um maior desenvolvimento da planta, criando assim maiores chances de um crescimento mais satisfatório.

Sandoval et al (2017), estudando doses crescentes de silicato, com a maior dose representando cerca de 25% da máxima utilizada no presente trabalho, observaram correlação positiva diretamente proporcional para a massa fresca e seca de raiz.

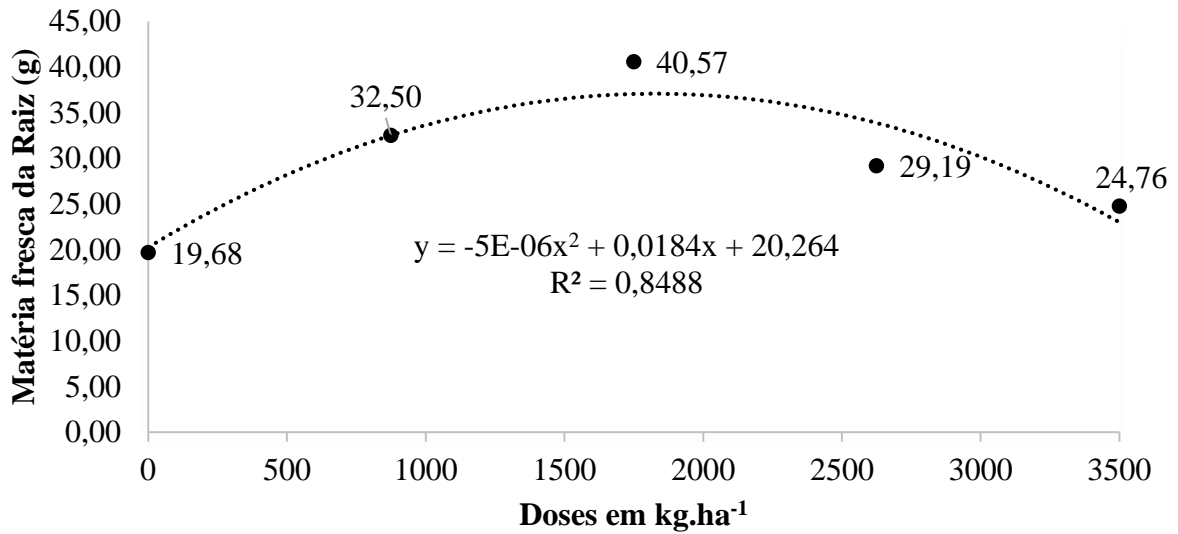
Tabela 4 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as análises do número dos nódulos, matéria fresca da raiz, matéria seca da raiz, matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, comprimento de caule, comprimento de raiz, diâmetro de nódulo e nitrogênio total do feijoeiro comum.

		NN	MFR	MSR	MFPA	MSPA	CC	CR	DN	NT
FV	GL	QM								
Blocos	3	534,98	160,98	0,09	97,43	1,76	387,24	2,43	0,0004	0,37
Tratamentos	4	11.554,45*	199,16*	1,94*	130,22 ^{ns}	4,44*	122,48 ^{ns}	56,8 ^{ns}	0,0044 ^{ns}	1,27*
Erro	12	288,82	49,65	0,27	57,52	1,25	178,43	191,06	0,0022	0,29
Total	19									
CV (%)		18,34	24,43	24,46	31,91	29,54	26,92	24,55	18,32	26,32

CV: Coeficiente de variação; GL: Graus de Liberdade; ns: não significativo; *: significativo a 5%.

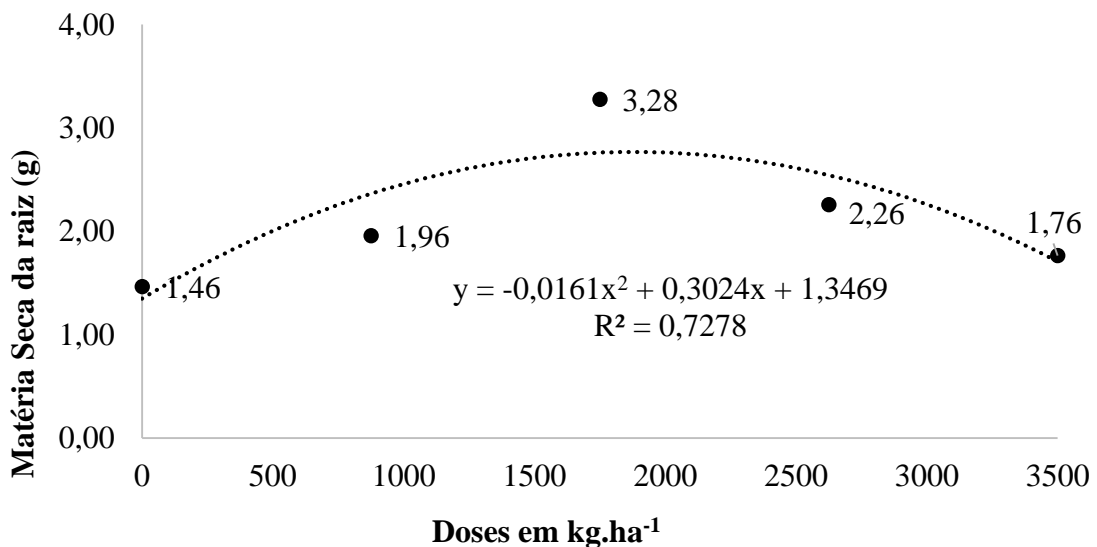
NN: número de nódulos; MFR: matéria fresca raiz; MSR: matéria seca de raiz; MFPA: matéria fresca parte aérea; MSPA: matéria seca parte aérea; CC: comprimento do caule; CR: comprimento da raiz; DN: diâmetro de nódulos; NT: nitrogênio total

Gráfico 1 - Representação gráfica da matéria fresca da raiz (g.vaso^{-1}) do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L, em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.



Fonte: Autor, 2023.

Gráfico 2 - Representação gráfica da matéria seca da raiz (g.vaso^{-1}) do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L, em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato



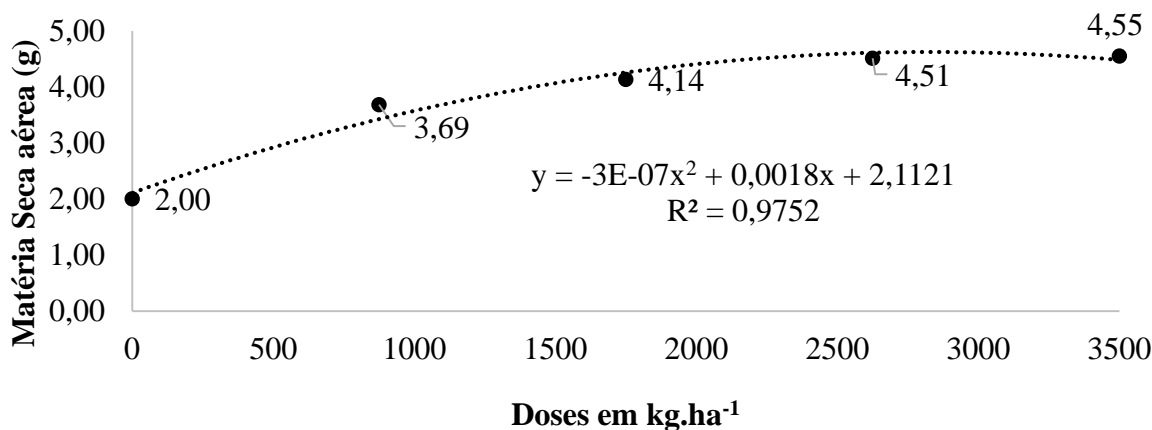
Fonte: Autor, 2023.

Para a matéria seca da parte aérea foi observado aumento crescente com a elevação das doses de silicato, tendendo a estabilização na maior dose (Gráfico 3). O aumento observado para a maior dose em relação a testemunha foi de 2,27 vezes. Neste caso, quando comparou-se os valores com o trabalho de César (2018), com o BRS Campeiro, Esplendor e Madrepérola, sem qualquer adição de silicato, os valores para a matéria seca da parte aérea apresentaram um valor levemente mais alto dos obtidos no trabalho, cerca de 25% de diferença, do maior valor

apresentado pelo BRS Campeiro (3,3975) e do maior valor obtido no trabalho, com 3,500 kg.ha⁻¹ de silicato (4,55).

Além disto, cabe ressaltar os estudos de Izidoro Junior et al., (2019), o qual utilizou quantidades de silicato variando de 0 até 11.200 kg.ha⁻¹, evidenciando que há correlação positiva da adição com o aumento da matéria aérea seca. Neste caso, obteve-se maiores valores com aplicação de 1500 kg.ha⁻¹ (2,8g), cerca de 38% menor do que o maior valor obtido na pesquisa (4,55g).

Gráfico 3 - Representação gráfica da matéria seca aérea (g. vaso⁻¹) do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L, em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.



Fonte: Autor, 2023.

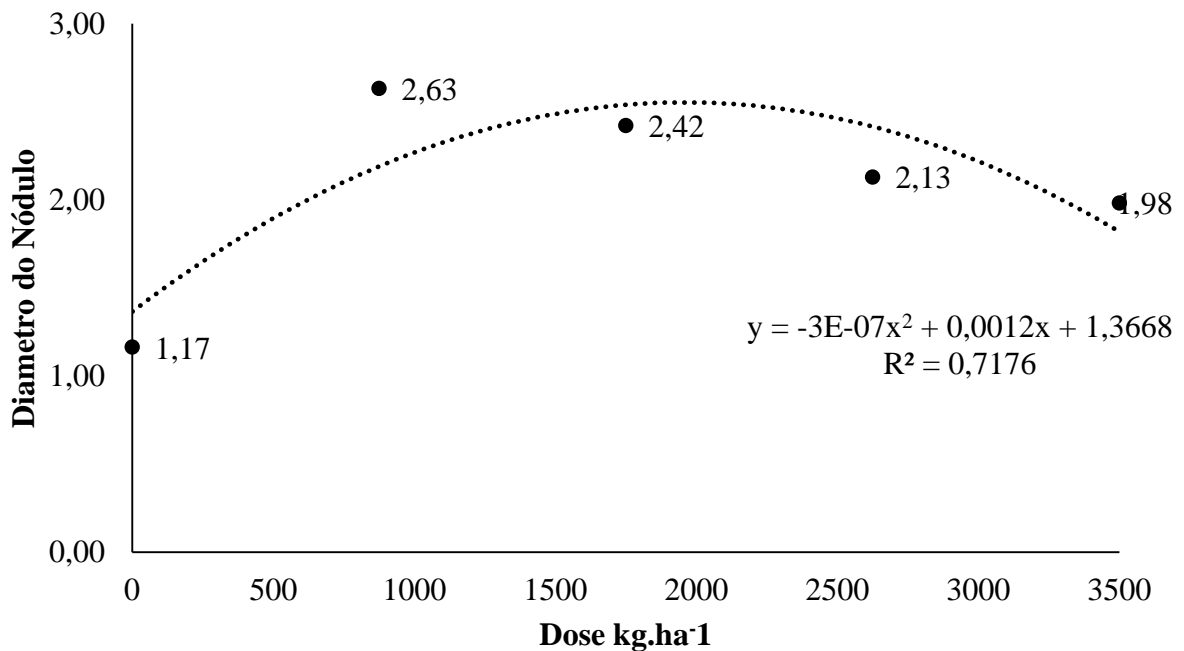
Para o diâmetro dos nódulos, o maior diâmetro ocorreu na dose de 850 kg ha⁻¹, com um média de 2,63 cm, 25,8 % superior a dose máxima, que apresenta média de apenas 1,76 cm, indicando que a elevação das doses não proporciona aumento no tamanho dos nódulos. De acordo com os estudos desenvolvidos por Soares et al., (2006), os tamanhos dos nódulos variaram de 1 a 2 mm para o controle, nos testes com cultivar do BRSMG Talismã. Com isto, é possível inferir que os valores obtidos no trabalho estão acima do esperado, obtendo um diâmetro cerca de 24% sobre o maior valor obtido por Soares et al. (2006).

Em relação ao número de nódulos, a dose de silicato de 1750 kg ha⁻¹ proporcionou o maior número, de 132, 10% superior aos nódulos observados para a maior dose. Em relação à testemunha, o aumento foi 66 vezes, demonstrando a resposta a nodulação em função da correção do pH do solo (RUFINI *et al.*, 2011). Além disto, cabe ressaltar o estudo de Rocha et al., (2022), com o feijoeiro comum BRS Esteio, na qual o número de nódulos apresentado pelo

controle foi de 5,50, apresentando um número bem inferior quando comparado com os 132 nódulos obtidos no trabalho.

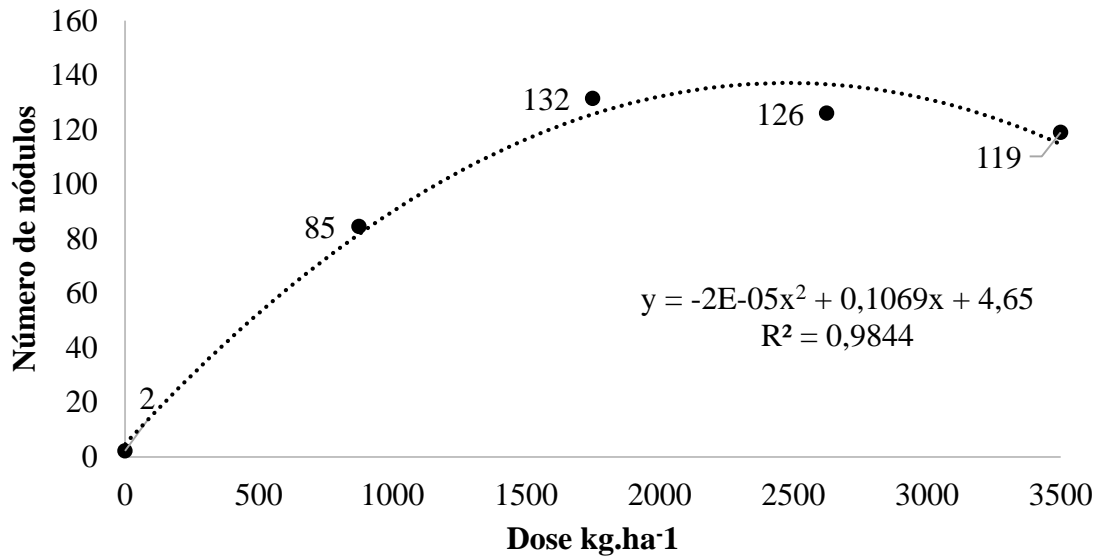
No trabalho realizado por Santos *et al.* (2018), os melhores resultados para o número de nódulos foram observados em dose de silicato acima de 10 g.dm^{-3} (2.000 kg.ha^{-1}), com o menor valor na dose 100 g.dm^{-3} . No entanto, assim como observado no presente trabalho, observou-se uma diminuição após o pico observado, sendo que, possivelmente podemos inferir que existe um limite de atuação do silicato no feijoeiro comum.

Gráfico 4 - Representação gráfica da diâmetro (mm) dos nódulos do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris L.*, em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.



Fonte: Autor, 2023.

Gráfico 5 - Representação gráfica da número de nódulos do feijoeiro comum *Phaseolus vulgaris* L, em função das concentrações de silicato de cálcio e magnésio no substrato.



Fonte: Autor, 2023.

Já em relação a resposta positiva na formação e no diâmetro dos nódulos, estes valores podem estar relacionados ao seu efeito benéfico do silicato no metabolismo e na biossíntese dos compostos fenólicos, como os isoflavonóides (NELWAMONDO & DAKORA, 1999). Estes compostos, segundo Eckardt (2006), quando liberados pelas raízes das leguminosas, participam em diferentes estágios do processo de nodulação, principalmente porque atuam como quimioatraentes do *Bradyrhizobium* e ainda regulam a expressão dos genes dos nódulos.

Carvalho et al., (2015), avaliando a interação de doses de silicato com lâminas de irrigação em feijoeiro BRS Estilo e BRS Perola, observou efeito positivo do silicato, em dose de 2000 kg.ha⁻¹, associado a lâminas de irrigação nas variáveis matéria seca, fresca da raiz e para o número de nódulos.

Desta forma, com todos os resultados obtidos durante o experimento, percebeu-se que o uso do silicato de cálcio e magnésio foi benéfico para a cultura de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), apresentando vários efeitos positivos dentro os parâmetros analisados. No entanto, também foi possível concluir que existe um limite de valores máximos para o efeito do silicato, uma vez que não houve crescimento diretamente proporcional para alguns fatores. Sobretudo, ainda é possível combinar outros fatores para avaliar o efeito do silicato, como a reposição hídrica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de tudo isto, foi possível alcançar todos os objetivos da pesquisa, avaliando a morfologia e nodulação do feijoeiro comum em diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio, como: T1: controle, T2: 850 kg ha⁻¹, T3: 1750 kg ha⁻¹, T4: 3625 kg ha⁻¹, e T5: 3500 kg ha⁻¹, aplicados no solo. Neste sentido, avaliou-se número e diâmetro de nódulos, comprimento da raiz e da parte aérea, massa úmida e seca da parte aérea, massa úmida e seca da raiz e análise bromatológica.

Embora várias análises não apresentaram diferença significativa, todas apresentam variação positiva em relação ao controle com o uso do silicato. Contudo, também foi possível identificar e avaliar, utilizando as ferramentas estatísticas, as análises de massa úmida e seca da raiz, o número e diâmetro dos nódulos e massa seca da parte aérea, evidenciando os melhores pontos com os maiores índices.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros e complemento do trabalho atual, sugere-se como avaliação de outros pontos relacionados a morfologia do feijoeiro, como teor de clorofila, área foliar, espessura da folha e influência do uso do silicato contra microrganismos patogênicos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, H. C. de; et al. Capacidade nodulatória e características agronômicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.214-221, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/ZJjTw3cQ7ywXK9mXKc4c53x/?lang=pt>. Acesso em 26 de fev. de 2024.
- ÁLVAREZ, C. e OSORIO, W. (2014). **Silício Agronomicamente essencial**. Universidade Nacional de Colômbia. Faculdade de Ciências Agrárias. Colômbia. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/issue/download/4761/1389>. Acesso em 20 de dez de 2023.
- BALA, A.; et al. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. **Applied Soil Ecology**, v.22, n.3, p.211-223, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139302001579>. Acesso em 26 de fev. de 2024.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/zxkgngKFVgpXZV3F5LTWP9L/>. Acesso em 26 de fev. de 2024.
- BERTANI, R. M. A.; FERNANDES, D. M.; BÜLL L. T; VIDAL A. A. **Calagem e Adubação na Cultura da Goiaba**. Pesquisa & Tecnologia. São Paulo, 2012.
- CAMPANHARO, M et al. Acidez do solo na fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro comum. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 5, núm. 3, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119016971001.pdf>. Acesso em 26 de fev. de 2024.
- CARNEIRO J. E. S.; PAULA JÚNIOR T. J.; BORÉM A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa – MG, Ed. UFV, 2015. 384 p.
- CARVALHO, J. J. et al. Crescimento de feijoeiro comum em semeadura direta com aplicação de silício sob diferentes reposições hídricas. In: **INOVAGRI International Meeting, III**, 2015, Fortaleza. Disponível em: https://web.archive.org/web/20180721081703id_/http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/III-INOVAGRI-2015/02.09.2015/a239.pdf. Acesso em 20 de fev. de 2024.
- Cézaro, E. E. de. **Caracterização do sistema radicular de cultivares de feijão**. 62 f. Monografia (trabalho de conclusão de curso em agronomia). Universidade tecnológica federal do paraná, 2018.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos: safra 2015/2016, décimo primeiro levantamento**. Brasília, 2016.

Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/1305_92934803e5c32864b0ca922bb93bfc34. Acesso em 20 de jan. de 2024.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Conjunturas da Agropecuária. Feijão Janeiro/2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analise-regional-do-mercado-agropecuário/analise-regional-mg-feijao/item/download/46458_7a626990c33cbaf815b942faa411d811. Acesso em 24 de jan. 2024.

ECKARDT, N. A. The role of flavonoids in root nodule development and auxin transport in *Medicago truncatula*. **The Plant Cell**, v. 18, n. 7, p. 1539-1540, 2006. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1488913/>. Acesso em 20 de dez. de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de Nitrogênio Total e Proteína Bruta**. Circular Técnica 63. Mato Grosso do Sul, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/812198/adequacao-da-metodologia-kjeldahl-para-determinacao-de-nitrogenio-total-e-proteina-bruta>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **História e uso do silicato de sódio na agricultura**. Mato Grosso do Sul, 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/696871/historia-e-uso-do-silicato-de-sodio-na-agricultura>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

EPSTEIN, E, E BLOOM, A. (2005). Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. **Sinauer Associates**, 2 ed., 400 p, Sunderland, 2004.

FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F.; et al. Micro-morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules undergoing senescence. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 30, n. 4, p. 545-552, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227153036_Micro-morphology_of_common_bean_Phaseolus_vulgaris_L_nodules_undergoing_senescence. Acesso em 26 de fev. de 2024.

FRANCO, M. C. et al. Nodulation in Andean and Mesoamerican cultivars of dry bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1145- 1150, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/DHfTsNvtxpyx3dpsr7LLpwL/abstract/?lang=en>. Acesso em 14 de dez. de 2023.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Centro Internacional de Agricultura Tropical**, 34 p. Cali, 1986. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/69566>. Acesso dia 12 de dez. de 2023.

FORTES, C.A. et al. . Níveis de silicato de cálcio e magnésio na produção das gramíneas Marandu e Tanzânia cultivadas em um Neossolo Quartzarênico. **Ciência. agrotec**.v. 32, nº 1, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542008000100038&script=sci_arttext. Acesso em 26 de fev. de 2024.

FONSECA, G. G. (2011). **Resposta de Cultivares de Feijoeiro-comum à inoculação das sementes com estirpes de rizóbio em Minas Gerais**. 166 f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1785>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v.65, n.1-2, p.151- 164, 2000. Disponível em: <https://www.bashanfoundation.org/contributions/Hungria-M/2000.-Hungria-FCR.pdf>. Acesso em 26 de fev. de 2024.

IZIDORO JUNIOR, et al. Influence of calcium silicate in the culture of black beans. **Scientific Electronic Archives Issue** vol. 12 (5). Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/download/867/pdf/2968>. Acesso em 9 de março de 2024.

JADOSKI, C. J. **Efeitos fisiológicos da piraclostrobina em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) condicionado sob diferentes tensões de água no solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/86393?mode=full>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

KAYA, C.; TUNA, L; HIGGS, D. 2006. Effect of Silicon on Plant Growth and Mineral Nutrition of Maize Grown Under Water-Stress Conditions. **Journal of Plant Nutrition**. p. 1469-1480. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160600837238#:~:text=Water%20stress%20reduced%20leaf%20calcium,\(WS%20%2B%20Si%20treatment\)](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160600837238#:~:text=Water%20stress%20reduced%20leaf%20calcium,(WS%20%2B%20Si%20treatment)). Acesso em 20 de dez. de 2023.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & CAMARGO, M.S. Silicato de cálcio e magnésio na agricultura. **Boletim Técnico 1**, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, 2002. 15p. Disponível em: [https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=244968&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CAMARGO,%20M.%22&qFacets=autoria:%22CAMARGO,%20M.%22&ort=&paginacao=t&paginaAtual=3](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=244968&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CAMARGO,%20M.%22&qFacets=autoria:%22CAMARGO,%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=3). Acesso em 26 de fev. de 2024.

LIANG Y, SUN W, ZHU Y; CHRISTIE G. Mechanisms of silicon mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, 422–428, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026974910600385X>. Acesso em 23 de dez. de 2023.

LUQUEÑO, F. F.; et al. Nodule senescence and biomass components in common bean cultivars. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 31, n. 3, p. 195-201, 2008. Disponível em: <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/31-3/2a.pdf>. Acesso em 26 de fev. de 2024.

MACCIÓ, D.; FABRA, A.; CASTRO, S. Acidity and calcium interaction affect the growth of Bradyrhizobium sp. and the attachment to peanut roots. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, n.2, p.201-208, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071701001742>. Acesso em 26 de fev. de 2024.

MARTINS, C. M.; MARTINS, S. C.; BORGES, W. L. Correção da acidez, adubação e fixação biológica. In: DOVALE, J. C. et al. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2017. Cap. 5, p. 89-112. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1066712&biblioteca=vazio&busca=1066712&qFacets=1066712&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em 20 de jan. de 2024.

MELO, G. W. *et al.* Secagem Rápida de Tecidos de Plantas para Determinação da Matéria Seca. Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, XXXIV, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/992430>. Acesso em 20 de dez. de 2023.

MOREIRA, F. M. S. Bactérias fixadoras de nitrogênio que nodulam Leguminosae. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras, MG: UFLA, 2008. Cap. 18, p. 621-680. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/perguntas-e-respostas>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

NASCIMENTO, L. R. S. et al. Eficiência de isolados de rizóbios nativos do agreste paraibano em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n.1, p. 36-42, 2010. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v5i1a575>. Acesso em 24 de jan. de 2023.

NELWAMONDO, A.; DAKORA, F. D. Silicon promotes nodule formation and nodule function in symbiotic cowpea (*Vigna unguiculata*). **The New Phytologist**, v. 142, n. 3, p. 463-467, 1999. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1469-8137.1999.00409.x>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA - FAOSTAT. Production quantities of feijão. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 11 abr. 2023.

PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.217-224, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QsNdjtG4H63sdQr8gWRjrhL/abstract/?lang=pt>. Acesso em 26 de fev. de 2024.

QUINTELA, E. D.; et al. Manejo Fitossanitário do Feijoeiro. **Circular Técnica/ Embrapa Arroz e Feijão**, 16 p. Goiás, 2005. ISSN 1678-9636; 73. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/193134/manejo-fitossanitario-do-feijoeiro>. Acesso em 8 de dez. de 2023.

ROCHA, T. T. T., et al. Nodulação do feijão - comum (*Phaseolus vulgaris* L. Cv brs esteio) a partir de sementes tratadas com um inoculante alternativo e a influência da adubação foliar com molibdênio na FBN / Nodulation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. Cv brs esteio) from seeds treated with an alternative inoculant and the influence of foliar molybdenium

fertilization on BNF. **Brazilian Journal of Development**, 8(1), 5243–5259.
<https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-350>

RUFINI, M., et al. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(1), 81-88, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011000100011&lang=pt. Acesso em 6 de março de 2023.

SANDOVAL, P. *et al.* (2017). **Effect of magnesium silicate in cv. ‘ICA Cerinza’ common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) under field conditions**. Universidade Nacional de Colômbia. Faculdade de Ciências Agrárias. Colômbia, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/1799/179955074006/movil/>. Acesso em 10 de dez. 2023.

SANTOS, A. N. M. R. *et al.* **Influência de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio na nodulação em raízes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*)**. Instituto Federal Minas Gerais. São João Evangelista, 2018. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-anteriores/resumos-2018/influencia-de-diferentes-doses-de-silicato-de-calcio-e-magnesio-na-nodulacao-em-raizes-de-feijoeiro-phaseolus-vulgaris-l.pdf>. Acesso em 10 de dez. de 2023.

SANTOS, J. B.; et al. **Botânica**. Pagina. In CARNEIRO J. E. S. e PAULA JÚNIOR T. J.; BOREM A. Feijão: do plantio à colheita. Viçosa, Minas Gerais, Ed. UFV, 38 – 66 p. 2015.

SANTOS, C. E. R. S.; et al. Fixação simbiótica do N₂ em leguminosas tropicais. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. **Microrganismos e Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**, 2008. Cap 1, p. 17-41.

SLATTERY, J.F.; COVENTRY, D.R.; SLATTERY, W.J. Rhizobial ecology as affected by the soil environment. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, n.3, p.289-298, 2001. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/an/ea99159>. Acesso em 26 de fev. de 2024.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; SILVA, C. P. de C. (ed.). Inventário florestal de Minas Gerais: floresta estacional semidecidual e ombrófila: florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal. **Lavras, MG: UFLA**, 2008.

SILVA, O. F; WANDER, A.E. Embrapa. **O Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro**, Santo Antônio de Goiás, 2013 11 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/961699>. Acesso em 10 de dez. de 2023.
 VILHORDO, B.W. Morfologia. In: ARAUJO, R.S. (Coord). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.71-99.

ZILLI, J. E.; XAVIER, G. R.; MOREIRA, F. M. S.; FREITAS, A. C. R.; OLIVEIRA, L. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. **A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009a. Cap 5, p. 185-221.