

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**RITA MAGALLY OLIVEIRA DA SILVA MARCELINO**

**BIOFERTILIZANTE E INOCULAÇÃO RIZOBIANA NO FEIJÃO-  
CAUPI EM SOLO SALINO-SÓDICO TROPICAL**

**RECIFE – PE  
2022**

Rita Magally Oliveira da Silva Marcelino  
Engenheira Agrônoma

**Biofertilizante e inoculação rizobiana no feijão-caupi em solo salino-sódico tropical**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Newton Pereira Stamford  
Coorientadora: Profa. Dra. Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M314b Marcelino, Rita Magally Oliveira da Silva  
Biofertilizante e inoculação rizobiana no feijão-caupi em solo salino-sódico tropical / Rita Magally Oliveira da Silva  
Marcelino. - 2022.  
56 f. : il.
- Orientador: Newton Pereira Stamford.  
Coorientadora: Carolina Etienne de Rosalia e Silva Santos.  
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2022.
1. Acidithiobacillus. 2. Vigna unguiculata. 3. Enxofre. 4. Fixação Biológica do Nitrogênio. I. Stamford, Newton Pereira, orient. II. Santos, Carolina Etienne de Rosalia e Silva, coorient. III. Título

---

CDD 631.4

RITA MAGALLY OLIVEIRA DA SILVA MARCELINO

**Biofertilizante e inoculação rizobiana no feijão-caupi em solo salino-sódico tropical**

Dissertação/Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre/Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2022

---

Prof. Dr. Mario de Andrade Lira Junior  
Presidente  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

---

Dra. Emmanuella Vila Nova da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior  
Embrapa Semiárido

Dedico este trabalho a minha mãe, que orou e acreditou em mim.

## AGRADECIMENTOS

Não há vitória sem tribulações, desse modo, agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de sair da minha zona de conforto e crescer como profissional e pessoa.

Que mesmo fazendo um mestrado completamente atípico, em meio a uma pandemia, entre dúvidas e incertezas, nada aconteceu, nem comigo e nem com as pessoas que eu amo e assim pude conduzir e concluir minha pesquisa.

Agradeço aos meus pais, Sandra e Marcelino, e à minha irmã Rebeca, pelo apoio recebido durante todas as minhas conquistas, por acreditarem e se orgulharem sempre de mim.

Agradeço ao meu noivo Ítalo, por ter compreendido a grandiosidade que é sair de casa e crescer, por estar sempre ao meu lado e pelo apoio durante a condução do mestrado.

Aos amigos Renato, Franciane (Fran) e Aninha. Nossa amizade surgiu em meio às dificuldades das disciplinas e continua até hoje (mesmo que de forma virtual). É muito bom conversar com vocês, e isso me ajudou muito para que o mestrado fosse mais leve.

À Maria, primeira pessoa do grupo de pesquisa que tive contato, sua orientação e amizade foram muito importantes para mim. A Marlon, agradeço a coleta de solos.

À Vitória agradeço a ajuda nas últimas análises que foram essenciais para a conclusão dos dados.

À Emmanuella agradeço pelos aconselhamentos e orientações que foram fundamentais e que levarei sempre comigo.

Ao Dr. Felix, pesquisador do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), pela disponibilização das sementes de feijão-caupi (cultivar: IPA 206).

Orlando, coordenador da Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim pela disponibilização e orientação sobre o local de coleta do solo.

Paulo Ivan, pesquisador da Embrapa Petrolina, por aceitar a responsabilidade de rodar a estatística da minha pesquisa.

Paulo, Pedro e Eudes pelo apoio laboratorial quando eu precisei.

Ao Prof<sup>o</sup> Newton e à profa. Carol pela orientação, dedicação e paciência.

“Sua determinação dita o seu destino”  
- Anne with an E –

## Biofertilizante e inoculação rizobiana no feijão-caupi em solo salino-sódico tropical

### RESUMO

O desenvolvimento de culturas como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) pode ser limitado pelo excesso de sais e/ou sódio trocável nos solos, sendo necessária a correção de áreas que apresentem esses problemas objetivando torná-las viáveis para a agricultura. A aplicação de produtos como o gesso agrícola são comumente utilizados para reduzir a salinidade, mas não são capazes de contribuir para a redução do pH do solo. Neste caso se faz necessário o uso de produtos acidificantes como o enxofre elementar, que quando associado a bactéria do gênero *Acidithiobacillus thiooxidans* promove a redução do pH do solo. O trabalho teve como objetivo corrigir um solo salino-sódico e determinar através do uso de diferentes condicionantes: Enxofre, Gesso e Enxofre + Gesso (S, G, S+G), qual o mais eficiente para a redução do pH do solo e possibilitar o aumento dos teores de nutrientes no solo em função da aplicação de diferentes doses do biofertilizante (BNPK) inoculados ou não com *Bradyrhizobium* (BR3267). O estudo foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal Rural de Pernambuco em Recife PE, utilizando um Neossolo Flúvico salino-sódico coletado (0-20 cm) na região de Ibimirim-PE. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x3x2 + 1, onde foram avaliadas as interações entre 3 tipos de condicionantes (enxofre + *A. thiooxidans*; gesso; enxofre + *A. thiooxidans* + gesso), 3 doses de BNPK (50, 100 e 150% da dose recomendada de N para a cultura do feijão-caupi, levando em consideração a análise do solo), na ausência e presença de *Bradyrhizobium* sp. (BR 3267), com um tratamento controle (apenas o solo), 3 repetições, totalizando 57 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso (6 kg de solo) com uma planta de feijão-caupi. O desenvolvimento do experimento consistiu na aplicação dos condicionantes durante 45 dias, seguidos da aplicação de lâmina de lixiviação, correspondente a três vezes o volume total de poros do solo. Em seguida realizou-se a adubação do biofertilizante com diferentes doses e o semeio do feijão-caupi inoculados ou não com *Bradyrhizobium*. A aplicação do condicionante S + *A. thiooxidans* proporcionou ao solo redução do valor de pH do solo, quando associado a aplicação de lâmina de lixiviação, esse condicionante contribui também para a redução de sódio trocável no solo. Além disso, a incorporação de doses elevadas do BNPK contribuiu para o incremento de nutrientes no solo como K, Ca e Mg. A inoculação de *Bradyrhizobium* associado ao BNPK influenciou no número de nódulos, no crescimento do feijão-caupi e no acúmulo de nitrogênio na parte aérea.

Palavras-chave: *Acidithiobacillus*. *Vigna unguiculata*. Enxofre. Fixação Biológica do Nitrogênio.

## Biofertilizer and rhizobiana inoculation in cowpea in tropical saline-sodium soil

### ABSTRACT

The development of crops such as cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) can be limited by the excess of salts and/or exchangeable sodium in the soils, being necessary the correction of areas that present these problems in order to make them viable for the agriculture. The application of products such as agricultural gypsum are commonly used to reduce salinity, but are not able to contribute to the reduction of soil pH. In this case, it is necessary to use acidifying products such as elemental sulfur, which when associated with bacteria of the genus *Acidithiobacillus thiooxidans* promotes the reduction of soil pH. The objective of this work was to correct a saline-sodic soil and determine through the use of different conditions: Sulfur, Gypsum, and Sulfur + Gypsum (S, G, S+G), to determine which is the most efficient for the reduction of soil pH. and to enable the increase of soil nutrient contents as a function of the application of different doses of biofertilizer (BNPK) inoculated or not with *Bradyrhizobium* (BR3267). The study was carried out in a greenhouse at the Universidade Federal Rural de Pernambuco in Recife PE, using a Fluvisol Saline-Sodium Neosol collected (0-20 cm) in the region of Ibimirim-PE. A completely randomized design (DIC) was used in a 3x3x2 + 1 factorial scheme, where the interactions between 3 types of conditioning (sulfur + *A. thiooxidans*; gypsum; sulfur + *A. thiooxidans* + gypsum), 3 doses of BNPK (50 , 100 and 150% of the recommended dose of N for the cowpea crop, taking into account the soil analysis), in the absence and presence of *Bradyrhizobium* sp. (BR 3267), with a control treatment (soil only), 3 replications, totaling 57 experimental plots. Each experimental plot consisted of a pot (6 kg of soil) with a cowpea plant. The development of the experiment consisted of the application of the conditioners for 45 days, followed by the application of a leaching depth, corresponding to three times the total volume of soil pores. Then, the fertilization of the biofertilizer with different doses was carried out and the sowing of cowpea inoculated or not with *Bradyrhizobium*. The application of the conditioner S + *A. thiooxidans* provided the soil with a reduction in the pH value of the soil, when associated with the application of leaching depth, this conditioner also contributes to the reduction of exchangeable sodium in the soil. In addition, the incorporation of high doses of BNPK contributed to the increment of nutrients in the soil such as K, Ca and Mg. The inoculation of *Bradyrhizobium* associated with BNPK influenced the number of nodules, the growth of cowpea and the accumulation of nitrogen in the shoot.

Keywords: *Acidithiobacillus*. *Vigna unguiculata*. Sulfur. Biological Fixation of Nitrogen.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Condução do experimento em ordem cronológica.....	22
<b>Figura 2.</b> pH (a) e condutividade elétrica CE (b) do solo em função do tempo, $p < 0,05$ .....	26
<b>Figura 3.</b> pH (a) e CE (b) do solo em função dos condicionantes avaliados pelo teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	27
<b>Figura 4.</b> pH (a) e condutividade elétrica (CE) (b) do solo em função dos condicionantes avaliados após a aplicação da lâmina de lixiviação pelo teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	30
<b>Figura 5.</b> Nitrogênio (N) no solo em função dos condicionantes avaliados após aplicação da lâmina de lixiviação pelo teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	32
<b>Figura 6.</b> Fósforo (P) no solo em função dos condicionantes avaliados após aplicação da lâmina de lixiviação pelo teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização dos atributos químicos do Neossolo Flúvico.....	20
<b>Tabela 2.</b> Análise química do extrato de saturação (es).....	20
<b>Tabela 3.</b> Caracterização física dos atributos do Neossolo Flúvico.....	21
<b>Tabela 4.</b> Caracterização química do biofertilizante BNPK.....	25
<b>Tabela 5.</b> pH, condutividade elétrica (CE), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) no extrato do lixiviado em função do solo condicionado pelo teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	28
<b>Tabela 6.</b> Sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo em função dos condicionantes avaliados após aplicação da lâmina de lixiviação.....	31
<b>Tabela 7.</b> Atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), nitrogênio (N) e fósforo (P). As médias dos tratamentos em negrito diferem do controle de acordo com o teste de Dunnett, $p < 0,05$ .....	35
<b>Tabela 8.</b> Atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), nitrogênio (N) e fósforo (P). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	36
<b>Tabela 9.</b> Atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi: sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	38
<b>Tabela 10.</b> Parâmetros avaliados na planta: massa seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR), total (MST), relação folha/total (MSF/T). As médias dos tratamentos em negrito diferem do controle de acordo com o teste de Dunnett, $p < 0,05$ .....	39
<b>Tabela 11.</b> Parâmetros avaliados na planta: Número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), nitrogênio na folha (NF), comprimento da raiz (CR), altura da planta (Alt P), diâmetro do caule (DC). As médias dos tratamentos em negrito diferem do controle de acordo com o teste de Dunnett, $p < 0,05$ .....	41
<b>Tabela 12.</b> Parâmetros avaliados na planta: massa seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR), total (MST), relação folha/total (MSF/T). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, $p < 0,05$ .....	43
<b>Tabela 13.</b> Parâmetros avaliados na planta: número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), nitrogênio na folha (NF), comprimento da raiz (CR), altura da planta (Alt P) e	

diâmetro do caule (DC). As médias dos tratamentos em **negrito** diferem entre si de acordo com o teste de Tukey,  $p < 0,05$ .....45

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Hipóteses .....	13
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 <i>Objetivo geral</i> .....	13
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Caracterização de solos afetados por sais e/ou sódio .....	13
2.2 Recuperação de solos afetados por sais e/ou sódio .....	15
2.3 Biofertilizante BNPK .....	16
2.4 Fixação biológica de nitrogênio .....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Local e condução do experimento .....	20
3.2 Delineamento experimental.....	22
3.3 Tratamentos .....	22
3.4 Cultivar utilizada .....	24
3.5 Produção do biofertilizante.....	24
3.6 Estatística experimental.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1 Atributos químicos do solo em função dos condicionantes .....	25
4.2 Atributos químicos no extrato do lixiviado .....	28
4.3 Atributos químicos do solo após lâmina de lixiviação .....	29
4.4 Atributos químicos no solo passados 35 dias de condução com feijão-caupi .....	33
4.5 Avaliação de parâmetros na cultura do feijão-caupi .....	39
5 CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

As áreas que compreendem o perímetro irrigado, localizadas no Semiárido brasileiro, se caracterizam por apresentar solos provenientes de depósitos aluviais, assim como os Neossolos Flúvicos. Quando salino-sódicos, os neossolos flúvicos, destacam-se por apresentar elevadas concentrações de sais e/ou sódio trocável e altos valores de pH, além de pequenas concentrações de nutrientes. O acúmulo de sais e/ou sódio trocável nos solos podem ocorrer tanto de forma natural ou por ação antrópica. O uso excessivo de fertilizantes convencionais é um exemplo, da ação proporcionada pelo homem, que contribui com danos ambientais proporcionado pelo acúmulo de sais e/ou sódio nos solos e na água.

O excesso de sódio no solo ocasiona a dispersão dos colóides comprometendo as propriedades físicas do solo, dificultando a drenagem da água e o desenvolvimento das raízes. Enquanto a salinidade, proporciona problemas fisiológicos como a toxidez e o aumento do potencial osmótico da solução do solo que impede a disponibilidade de nutrientes importantes no desenvolvimento das plantas. O conjunto de problemas citados no solo contribui para o abandono de extensas áreas de terra, sendo caracterizado como um problema de cunho socioambiental. O abandono dessas áreas se deve às dificuldades encontradas na hora da remediação, que leva os solos a se tornarem em sua maioria não agricultáveis.

A redução de sais solúveis presentes no solo é feita com aplicação de lâmina d'água de recuperação, enquanto para o sódio trocável este é corrigido com uso de condicionantes. Um exemplo de condicionante comumente utilizado é o gesso agrícola, em função do seu fácil acesso e baixo custo. A adição de gesso no solo soluciona o problema gerado pelo excesso de sais solúveis em solos sódicos e salino-sódicos, porém, não proporciona redução do pH alcalino que também é um dos fatores limitantes para o desenvolvimento de culturas.

A redução do pH do solo pode ser obtida ao aplicar enxofre elementar no solo. O enxofre elementar quando associado com a bactéria do gênero *Acidithiobacillus* possui ação acidificante em solos alcalinos, sendo considerado um condicionante eficaz na redução do pH, e para a redução do excesso de sais solúveis. Além do pH, outro fator limitante no desenvolvimento de culturas refere-se às baixas concentrações de nutrientes nos solos.

A baixa fertilidade nos solos pode ser solucionada com adição de doses biofertilizantes que são provenientes de rochas, que além de fornecerem nutrientes ao solo, proporcionam também a redução do impacto ambiental ocasionado pelo uso excessivo de fertilizantes convencionais. O biofertilizante (BPK) é produzido com rochas fosfatada e potássica moídas, com a adição de enxofre elementar, inoculado com a bactéria do gênero *Acidithiobacillus*, essa

bactéria oxidante do enxofre produz ácido sulfúrico, esse material incubado por um período de no mínimo 60 dias, é capaz de solubilizar os nutrientes, principalmente fósforo (P) e cálcio (Ca) da rocha fosfatada, e potássio (K) e magnésio (Mg) da rocha potássica.

Quando enriquecido com húmus de minhoca, ou verme composto, que neutraliza a acidez do biofertilizante de rochas ajudando na estabilização do pH, e inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre, que fixam nitrogênio em vida livre e contribuem na adição de N ao biofertilizante, forma-se o biofertilizante NPK (BNPK), que fornece nutrientes ao solo. Após correção do solo com uso de condicionadores químicos para a redução da alcalinidade do pH, o uso do BNPK contribuirá como estabilizador do pH e como fontes de macronutrientes ideal para o desenvolvimento de diversas culturas.

A necessidade de corrigir áreas que até então seriam abandonadas e torná-las funcionais com uma cultura de interesse, se faz necessário à crescente demanda por alimentos. O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) representa uma cultura de importância socioeconômica, que além de gerar emprego e renda, está associado também a subsistência das populações de baixa renda, principalmente do Norte e Nordeste do país. Embora seja uma cultura que apresenta resistência ao clima das Regiões Norte e Nordeste do Brasil, o feijão-caupi apresenta expansibilidade para a Região Centro-Oeste, onde acompanha a cultura da soja, deixando de ser uma cultura de subsistência e passando a ser uma cultura de produção comercial.

Por ser uma leguminosa, o feijão-caupi é capaz de obter e fornecer nitrogênio ao solo por meio do processo de Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN). Esse processo consiste em captar nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) e convertê-lo em nitrogênio assimilável pelas plantas. Quando associada à inoculação com estirpes de rizóbios, o feijão-caupi, é capaz de nodular e aumentar sua produtividade, contribuindo de forma eficiente com a disponibilidade de nitrogênio para o meio. A inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* além de reduzir gastos com fertilizantes, tornando-se na maior parte independente do uso de adubação nitrogenada, contribui também para a sustentabilidade do ambiente.

O objetivo no trabalho foi corrigir o solo salino-sódico com uso de condicionantes durante o período de 45 dias, seguidos da aplicação de lâmina de lixiviação objetivando reduzir os sais presentes no solo. Em seguida, adubar o solo condicionando com diferentes doses do biofertilizante, contendo NPK, proveniente de rochas potássica e fosfatada, quando enriquecido com matéria orgânica e inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre, e avaliar a interação do feijão-caupi quando associado ou não com a presença de *Bradyrhizobium* sp. (BR 3267).

## 1.1 Hipóteses

-O uso do condicionante enxofre + bactéria do gênero *Acidithiobacillus* reduz a alcalinidade e a sodicidade presentes no solo;

-O uso do biofertilizante rico em nitrogênio, fósforo e potássio contribui para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo;

-A presença do *Bradyrhizobium* sp. (BR 3267) induz o aumento da fixação biológica e adição de nitrogênio pelo feijão-caupi.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Estudar o efeito de diferentes condicionantes em Neossolo Flúvico da região Semiárida de Pernambuco que apresenta problemas com alcalinidade (pH elevado). Após correção, avaliar o efeito da aplicação do biofertilizante (BNPK) como fonte de nutrientes ao solo e a interação com feijão-caupi, leguminosa de importância socioeconômica, com adição de bactéria diazotrófica selecionada para eficiência no processo de fixação biológica do nitrogênio.

### 1.2.2 Objetivos específicos

-Avaliar qual condicionante apresenta potencial para a redução da alcalinidade do solo;

-Avaliar o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo após a aplicação do biofertilizante (BNPK);

-Avaliar a produção de biomassa no feijão-caupi em solos alcalinos corrigidos com condicionantes, após a aplicação do biofertilizante;

-Avaliar a interação leguminosa e *Bradyrhizobium* sp. (BR 3267) no processo da fixação biológica do nitrogênio.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Caracterização de solos afetados por sais e/ou sódio

A salinização é um processo que resulta no aumento das concentrações de sais solúveis no solo (MARTINS; GONÇALVES; RAMOS, 2017), tais como os íons de cálcio, magnésio, sódio e potássio (SOUZA et al., 2016). Segundo Souza et al (2016), é comum sais como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  serem precipitados nas formas de carbonatos ou sulfatos contribuindo para a elevação de outros sais como o sódio. A sodicidade refere-se ao aumento dos níveis de sódio no solo gerando problemas de degradação devido à redução da macroporosidade do solo que afeta

diretamente a penetração das raízes e a mobilidade do ar e da água (BRADY; WEIL, 2013). O acúmulo de sais e/ou sódio no solo contribui para redução da produção agrícola, que quando em excesso, contribui também para evasão da população, modificando a economia local (CASTRO; SANTOS, 2020).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) atualmente é possível encontrar uma área correspondente a 760.000 km<sup>2</sup> de terra no mundo que apresentam problemas com salinidade, e que tais problemas são ocasionados, na sua maior parte, por ação antrópica (GONÇALVES, 2020). No Brasil, destaca-se na região Nordeste, os solos do semiárido que apresentam problemas com salinidade e/ou sodicidade proporcionando degradação química em extensas áreas de terra. As regiões áridas e semiáridas destacam-se das demais regiões por apresentarem condições favoráveis à ocorrência de solos afetados por sais devido às suas características edafoclimáticas (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

Portanto, o acúmulo de sais e/ou sódio nos solos pode ocorrer tanto em função de características edafoclimáticas de determinada região como também pode ser proporcionado por fatores antropogênicos. No geral, os fatores que contribuem para a salinidade e/ou sodicidade de solos são ocasionados em função do manejo inadequado da água de irrigação, drenagem ineficiente, chuvas irregulares, condições geológicas atuantes e exploração agrícola irracional (PEDROTTI et al., 2015). A salinidade no solo acarreta, para o desenvolvimento de culturas, danos fisiológicos e nutricionais podendo chegar a níveis tóxicos. Uma vez que, devido à pressão osmótica do solo, decorrente do excesso de sais, que contribui para o aumento das forças de retenção, as plantas apresentarão dificuldades em absorver água da solução do solo (AZEVEDO et al., 2018).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, objetivando compreender os processos de formação e desenvolvimento que ocorre nos solos, classifica-os em função das diferentes concentrações de sais e sódio presentes no solo (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Assim, os solos são classificados como salinos quando apresentam Percentagem de Sódio Trocável (PST) < 15%, Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CE<sub>es</sub>) ≥ 4 dS m<sup>-1</sup> e pH < 8,5. Os solos sódicos, por sua vez, possuem PST ≥ 15%, CE<sub>es</sub> < 4 dS m<sup>-1</sup> e pH ≤ 8,5 podendo atingir valores próximos a 10, enquanto que os solos salino-sódicos apresentam PST ≥ 15%, CE<sub>es</sub> ≥ 4 dS m<sup>-1</sup> e pH ≤ 8,5 (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

## 2.2 Recuperação de solos afetados por sais e/ou sódio

O sucessivo aumento da população reflete cada vez mais a necessidade de uma maior demanda por alimentos. Consequentemente, o aumento da demanda alimentar faz com que o setor econômico sofra pressão para atender todo esse consumo, contribuindo para a degradação do solo por excesso de sais e/ou sódio ao realizar manejos inadequados da água e do solo (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). A recuperação de solos afetados por sais e/ou sódio baseia-se em reduzir as concentrações de sais solúveis e sódio trocável presentes no solo (VASCONCELOS et al., 2016), objetivando proporcionar melhores condições para o desenvolvimento de diversas culturas, além de recuperar e restabelecer a microbiota do solo.

Na região semiárida, em áreas que compreendem o perímetro irrigado, é possível encontrar solos provenientes de depósitos aluviais, assim como os Neossolos Flúvicos. Dentre os solos do Brasil, o Neossolo, destaca-se por ser considerado a terceira classe de solos de maior ocorrência no Brasil e que apresenta elevadas concentrações de sais e/ou sódio trocável e altos valores de pH, além de pequenas concentrações de nutrientes. No geral, são solos que apresentam textura arenosa e baixo teor de carbono orgânico (FISTAROL; SANTOS, 2020).

A recuperação de solos salinos e/ou sódicos pode ser feita ao utilizar distintos condicionantes, como: adubos, gesso, enxofre e materiais orgânicos, além de técnicas como fitorremediação e lixiviação dos sais por meio da aplicação de lâmina d'água (TANG et al., 2012; KANG et al., 2013; STAMFORD et al., 2015). O gesso é um condicionante popularmente utilizado devido à sua fácil aquisição no mercado e baixo custo (MELO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2011). Ao reagir com a água, o gesso sofre dissociação entre o íon de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e ânion de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) proporcionando no solo a disponibilidade de fontes de nutrientes para as culturas e lixiviação do alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) (SILVA et al., 2021)

Embora o gesso disponibilize nutrientes, atue no melhoramento da permeabilidade do solo, contribuindo para o aumento da infiltração da água e consequentemente, lixiviação de íons de sódio, ele não é capaz de reduzir os valores de pH do solo (ALBUQUERQUE et al., 2018), sendo necessário utilizar produtos acidificantes para obter um resultado completo na correção do solo (STAMFORD et al., 2015).

O enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans*, bactéria oxidante do enxofre, por produzir ácido sulfúrico, é um exemplo de produto que apresenta potencial acidificante comprovado em trabalhos como o de Stamford et al. (2015). A redução do pH em função da aplicação de enxofre no solo está associada à oxidação biológica proporcionada por este produto, que por sua vez, produz ácido sulfúrico (STAMFORD et al., 2007). Desse modo, o uso do enxofre elementar torna-se um produto eficiente para a melhoria dos atributos

químicos dos solos, que através da redução do pH é possível corrigir solos que apresentam problemas de excesso de sódio trocável (KARIMIZARCHI et al., 2014).

A redução do pH em Neossolos Flúvicos salino-sódicos foi estudada também por Marcelino e Rocha (2019) com a aplicação de um fertilizante produzido à base de resíduo de exploração mineral vermiculita e enxofre elementar que proporcionou maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, especialmente Ca, K e Mg. A junção de dois condicionantes distintos foi estudada por Stamford et al. (2013) que observaram a correção eficiente de solos com pH elevado, mediante aplicação de gesso quando associado ao enxofre elementar e inoculados com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*.

### 2.3 Biofertilizante BNPK

A lei de Liebig, também conhecida como a lei do mínimo, formulada no ano de 1840 ressalta a teoria de que todo nutriente, seja ele macro ou micro, possui importância significativa, de modo que sua ausência ou deficiência interfere no desenvolvimento de qualquer cultura (TISDALE et al., 1993). Desse modo, a produtividade das culturas está diretamente relacionada com a disponibilidade de nutrientes no solo, sendo os elementos: fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) considerados os três macronutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas.

Alguns solos brasileiros, como os solos tropicais, são comuns apresentarem deficiência em P, além de teores de K, Ca e Mg abaixo das necessidades requeridas pelas culturas e N insuficiente no solo devido à ausência de matéria orgânica nesses solos (FREIRE et al., 2021). Embora o P seja disponibilizado no solo através de adubações, esse elemento possui uma eficiência considerada baixa em decorrência ao problema de fixação pelas partículas do solo, fazendo com que o aproveitamento do P pelas plantas seja em média cerca 10 a 20% do P disponibilizado no solo (STAMFORD, 2016).

O potássio (K), importante por atuar em processos fisiológicos nas culturas, quando aplicado no solo, possui elevada mobilidade que pode contribuir para que ocorra lixiviação dos fertilizantes potássicos no solo (SILVA; LAZARINI, 2014). O nitrogênio (N), por sua vez, tem sua necessidade suprida por meio de fertilizantes químicos (ARAÚJO et al., 2017). Entretanto, a atmosfera possui considerável concentração de nitrogênio ( $N_2$ ) que pode ser disponibilizado por meio do processo de Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) que é capaz de converter o  $N_2$  em amônio ( $NH_4^+$ ), e representa possibilidade para a substituição ou redução de fertilizantes nitrogenados (ARAÚJO et al., 2017).

A aplicação de fertilizantes convencionais ocorre quando não há nutrientes disponíveis ou quando estão em quantidades baixas no solo, objetivando promover o aumento da produtividade das culturas para que seja possível atender à crescente demanda por alimentos, (OLIVEIRA; SANTOS, 2015), sendo capazes de disponibilizar de forma rápida e eficiente nutrientes ao solo. A alta demanda por fertilizantes convencionais faz com que o Brasil se torne um país dependente no consumo de fertilizantes, sendo necessário importar de outros países como Canadá, Rússia, Estados Unidos e China (IBRAM, 2010).

Além da necessidade de importação de fertilizantes, que gera um custo elevado ao produtor rural, outro problema relacionado ao uso de fertilizantes convencionais como P, K e N é a alta capacidade de fixação do P pelos colóides do solo, lixiviação do K e do N, volatilização e desnitrificação do N (TIMILSENA et al., 2014). Quando aplicados de forma incorreta, os fertilizantes convencionais, causam danos irreparáveis à natureza tais como: contaminação do solo e água (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018).

Os impactos proporcionados pela aplicação de fertilizantes convencionais no ambiente podem ser reduzidos com a utilização de biofertilizantes que são capazes de atenuar e/ou até eliminar o uso de produtos convencionais solúveis, que causam sérios danos à natureza quando utilizados de forma incorreta. Os biofertilizantes, que contém em sua composição N, P e K, visam proporcionar o aumento dos teores de nutrientes no solo, bem como melhorar a produtividade de culturas comerciais (OLIVEIRA et al., 2014).

Desenvolvido pelo professor Dr. Newton Pereira Stamford e colaboradores, o primeiro projeto de pesquisa objetivando estudar a produção de biofertilizantes foi datado no ano de 1999 e intitulado “Produção de biofertilizantes de rochas fosfatadas com *Acidithiobacillus*”. Sequencialmente, no ano de 2003 foi iniciado o desenvolvimento do projeto de produção de biofertilizante a base de rochas potássica e fosfatada com adição de *Acidithiobacillus*.

Conforme o decorrer das pesquisas observou-se que, embora, as rochas fosfatada e potássica sejam viáveis para a produção de fertilizantes alternativos, elas possuem liberação lenta, que dificulta a disponibilidade de nutrientes de forma rápida e eficiente para o solo e absorção pelas plantas (STAMFORD, 2016). Sendo necessário a atuação de processos biológicos para aumentar a solubilização dos nutrientes (COLA; SIMÃO, 2012).

A baixa solubilização das rochas que contém P e K são solucionadas com a adição de enxofre elementar em associação com a bactéria do gênero *Acidithiobacillus*, que através da oxidação do enxofre promove o aproveitamento de nutrientes existentes no solo e mais a liberação de novos nutrientes necessários (STAMFORD et al., 2006, 2008).

A partir do ano de 2004 objetivou-se desenvolver um biofertilizante misto, rico em N, P e K. Esse biofertilizante era composto por rochas potássica e fosfatada com adição de enxofre elementar e *Acidithiobacillus*, e enriquecido com húmus de minhoca e bactérias fixadores de nitrogênio ou diazotróficas de vida livre. A adição de húmus de minhoca inoculado com as bactérias diazotróficas de vida livre no biofertilizante BPK, segundo a metodologia descrita por Lima et al. (2010) torna o biofertilizante um produto completo, sendo capaz de fornecer N, P e K para diversas culturas.

Oliveira et al. (2014) ao avaliar a aplicação do biofertilizante, proveniente de rochas potássicas e fosfatadas quando associadas a *Acidithiobacillus* e enriquecidas com matéria orgânica e inoculadas com bactérias diazotróficas de vida livre, em comparação com bioprotetor, o qual é o biofertilizante associado a quitosana, como alternativa a utilização de fertilizante convencionais verificou que melhores respostas foram observadas na cultura do melão (*Cucumis melon*), que contribuiu para o aumento dos teores de nutrientes no solo, em especial, N, P e K, além de Ca e Mg, os quais foram solubilizados devido aos componentes presentes nas rochas utilizadas para matéria prima do biofertilizante.

Stamford et al. (2019) objetivando estudar o efeito da aplicação do biofertilizante, proveniente de rochas associado a *Acidithiobacillus thiooxidans*, enriquecido com matéria orgânica e inoculado com a bactéria diazotrófica de vida livre, *Beijerinckia indica*, em comparação aos fertilizantes convencionais, verificou que a aplicação do biofertilizante aplicado contribuiu com efeitos residuais no solo, disponibilizando nutriente como N, P e K para a cultura da alface (*Lactuca sativa*). Segundo os autores, o biofertilizante tem grande potencial para ser usado como alternativa a fertilizantes convencionais.

## **2.4 Fixação biológica de nitrogênio**

O nitrogênio (N) é considerado um macronutriente essencial para os vegetais, sendo requerido em grandes quantidades; sua ausência ou deficiência limita o desenvolvimento de diversas culturas (VIEIRA, 2017). A entrada de nitrogênio no solo pode ser feita por meio do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo é realizado de forma natural através de microorganismos edáficos, possuidores de um complexo enzimático chamado de nitrogenase, que os capacita de fixar nitrogênio atmosférico em associações ou não com plantas (BATISTA, 2021).

A atmosfera é composta por vários gases, dentre eles, o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>), que compõe cerca de 78% da atmosfera (VIEIRA, 2017). Os microorganismos edáficos, também denominados de fixadores de nitrogênio ou diazotróficos, são capazes de fixar o nitrogênio

atmosférico (N<sub>2</sub>) (BATISTA, 2021). O conjunto de microorganismos diazotróficos presentes no solo são capazes de converter o N<sub>2</sub> em nitrogênio assimilável pelas plantas na forma sua de amônia (FREITAS; FERNANDES-JÚNIOR, 2021).

Em plantas da família Leguminosae, a FBN ocorre em associação simbiótica com bactérias denominadas genericamente de rizóbios que formam estruturas nas raízes das plantas (nódulos); os rizóbios contidos nos nódulos são responsáveis por fixar o N<sub>2</sub>, convertê-lo e torná-lo assimilável para as plantas (VIEIRA, 2017). O feijão-caupi é uma leguminosa que possui potencial para nodular, com uma grande variedade de bactérias edáficas diazotróficas, e realizar o processo de FBN (FREITAS; FERNANDES-JÚNIOR, 2021).

Por ser cultivada, em sua maioria, por agricultores familiares de baixa renda, o feijão-caupi está associado ao consumo e a subsistência das populações Norte e Nordeste do Brasil, por fornecer alimento completo, rico em proteínas, carboidratos, vitaminas e sais minerais (SILVA et al., 2018; CONAB, 2018). O crescente interesse pela expansão do feijão-caupi em outras regiões do Brasil se deve a sua adaptabilidade, possuindo tolerância às diversas condições climáticas do Brasil, proporcionando elevada produtividade com baixo custo de produção, excelente valor nutricional, ampla variabilidade genética, além de desempenhar com eficiência o processo de FBN (CAMICIA et al., 2015; MARINHO et al., 2017).

Devido à importância socioeconômica, trabalhos vêm sendo realizados objetivando selecionar estirpes recomendadas para a produção de feijão-caupi. Segundo, Leite et al. (2017) ao avaliarem a diversidade de comunidades microbianas presentes no solo observaram que o feijão-caupi apresenta preferência maior de nodulação com isolados do gênero *Bradyrhizobium*. A estirpe BR 3267, selecionada pela Embrapa Agrobiologia, proporciona aumento da produtividade do feijão-caupi de 40 a 52% em média (RUMJANEK, 2006). Rocha et al. (2019) ao compararem a produtividade de feijão-caupi em função do uso da estirpe BR 3267, ureia e o tratamento controle (apenas solo) verificaram que as sementes inoculadas com a estirpe efetiva apresentaram maior ganho produtivo em comparação com a adubação mineral.

Trabalhos avaliando a inoculação com estirpes de rizóbios efetivos para a leguminosa selecionada, em condições de elevada acidez e temperatura foram avaliados por Stamford et al. (1995). As estirpes selecionadas foram eficientes em solos com alta concentração de sódio sendo eficaz no processo de FBN e fornecendo o N necessário (STAMFORD et al., 2002). Silva et al. (2012) observaram aumento da nodulação de feijão-caupi, contribuído para a quantidade de N acumulado, em função da utilização da estirpe BR 3267.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local e condução do experimento

O experimento foi realizado entre os meses de julho e novembro de 2021, em casa de vegetação, localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife PE. O solo utilizado foi um Neossolo Flúvico salino sódico (EMBRAPA, 2018) coletado de 0-20 cm na Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAIL) - PE, pertencentes à UFRPE, localizada na região do Sertão do Moxotó (8°30'30.6"S 37°41'14.9"W). De acordo com a classificação de Köppen o clima da região de Ibimirim caracteriza-se como semiárido (BSh) com características intermediárias entre climas desérticos (BW) e climas úmidos (TAVARES FILHO, 2010).

O solo coletado foi encaminhado para o Departamento de Agronomia da UFRPE, campus sede. Em seguida, o solo foi destorroado e passado em peneira com malha de 4 mm. Nos laboratórios de física e química do solo, e biotecnológica ambiental pertencentes à UFRPE, campus sede, foram determinados os atributos físicos e químicos do solo. A determinação dos cátions trocáveis no solo e a capacidade de troca de cátions (CTC) (Tabela 1) foram extraídos utilizando acetato de amônio conforme a metodologia de Freire, Pessoa e Gheyi (2016), o fósforo foi determinado utilizando o extrator de Mehlich 1 (EMBRAPA, 1998) e o nitrogênio pela metodologia de Mendonça e Matos (2005).

**Tabela 1.** Caracterização dos atributos químicos do Neossolo Flúvico.

<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>CTC</b>	<b>PST</b>
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%
7,20	161,23	0,99	4,51	5,19	1,10	0,12	11,67	38,54

CTC = capacidade de troca de cátions; PST = porcentagem de sódio trocável.

Os atributos químicos determinados pelo extrato, proveniente da pasta de saturação (Tabela 2), bem como, a caracterização física do solo (Tabela 3) foram determinados pela metodologia da EMBRAPA (2017).

**Tabela 2.** Análise química do extrato de saturação (es).

<b>pH<sub>es</sub></b>	<b>CE<sub>es</sub></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>RAS</b>
	dS m <sup>-1</sup>	-----cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----				
7,70	5,38	6,20	7,01	3,75	2,10	3,63

RAS = Relação de adsorção de sódio.

**Tabela 3.** Caracterização física dos atributos do Neossolo Flúvico.

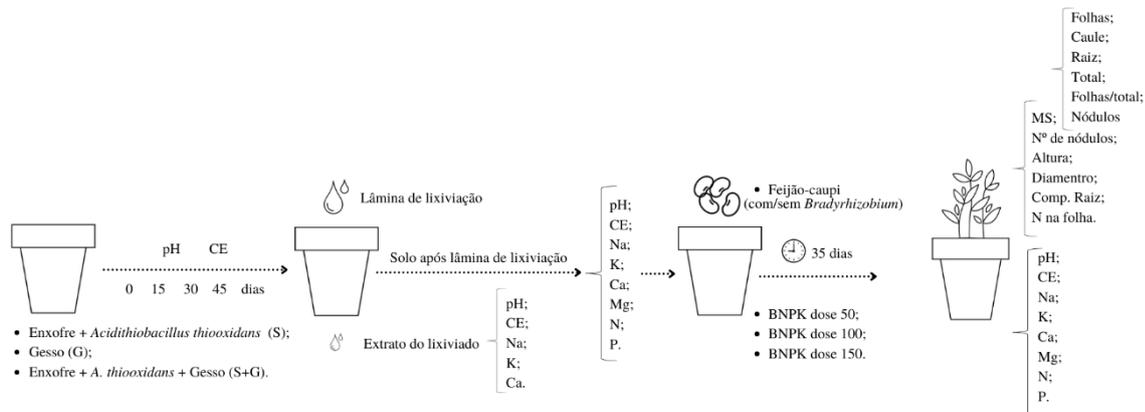
<b>Ds</b>	<b>Dp</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Porosidade</b>	<b>Classe textural</b>	<b><math>\theta_{cc}</math></b>
$\text{Kg dm}^{-3}$		-----%-----					$\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$
1,38	2,51	60	10	30	45	Franco argilo arenosa	18,83

Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas;  $\theta_{cc}$  = umidade da capacidade de campo.

A figura 1 representa a condução do experimento em ordem cronológica (da esquerda para a direita). Inicialmente pesou-se 6 Kg de solo para cada vaso e adicionou-se os condicionantes: Enxofre + *A. thiooxidans* (S); Gesso (G); Enxofre + *A. thiooxidans* + Gesso (S+G). Durante o período de 45 dias o solo foi mantido na sua capacidade de campo (60%), sendo a umidade na capacidade de campo determinada pelo método de Funil de Haines, e foram avaliados quinzenalmente o pH e a CE do solo. Passados 45 dias realizou-se a aplicação de uma única lâmina de lixiviação, correspondente a três vezes a porosidade total do solo, com água destilada, onde foi coletado o extrato do lixiviado e realizada análises de pH, CE,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ . Foi coletado também o solo após a aplicação da lâmina de lixiviação e nele foram realizadas análises de pH, CE,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , N e P.

No dia seguinte foi realizada a semeadura do feijão-caupi inoculados ou não com *Bradyrhizobium* e a aplicação do biofertilizante BNPK nas doses 50, 100 e 150%, levando-se em consideração a necessidade da cultura. Durante 35 dias, equivalentes ao desenvolvimento do feijão-caupi, o solo foi mantido a sua capacidade de campo e ao final do experimento (passados 35 dias) foram realizadas análises no solo, as mesmas citadas anteriormente, e dos parâmetros na planta. A altura da planta e o comprimento da raiz foram mensurados com auxílio da trena métrica (cm). A determinação da altura da planta foi realizada do caule até a gema apical. O diâmetro do caule foi determinado usando paquímetro digital (mm) e a contagem do número de nódulos foi feita utilizando um contador numérico manual. Os nódulos, folhas, caule e raiz foram secos em estufa de ventilação forçada e pesados em balança analítica digital (g).

**Figura 1.** Condução do experimento em ordem cronológica.



### 3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial  $3 \times 3 \times 2 + 1$ , em que foram estudados os seguintes fatores: três tipos de condicionantes (Enxofre + *A. thiooxidans*; Gesso; Enxofre + *A. thiooxidans* + Gesso), três doses de biofertilizante (BNPK nas doses 50, 100 e 150%) e na ausência e presença de rizóbio. Um tratamento adicional foi acrescentado como controle absoluto (apenas solo) para todos os tratamentos estudados, com 3 repetições, totalizando 57 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi constituída de 1 vaso com 6 Kg de solo e uma planta de feijão-caupi.

### 3.3 Tratamentos

Os tratamentos foram compostos por três condicionantes e três doses do biofertilizante, e na ausência e presença de *Bradyrhizobium*. As quantidades de condicionantes foram estimadas de acordo com a necessidade da correção da porcentagem de sódio trocável (PST) do solo a 10% objetivando substituir o sódio trocável presente no solo.

A necessidade de gesso foi determinada utilizando a seguinte fórmula proposta por Vitti et al. (1995):

$$NG = \frac{(PST_i - PST_f) \times CTC \times 86 \times h \times D_s}{100}$$

Em que:

NG - Necessidade de gesso, kg ha<sup>-1</sup>;

PST<sub>i</sub> - Percentagem de sódio trocável inicial, %;

PST<sub>f</sub> - Percentagem de sódio trocável final desejada, %;

CTC - Capacidade de troca de cátions do solo, cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>;

h - Espessura da camada de solo que se deseja recuperar, cm;

Ds - Densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>.

As doses de enxofre, por sua vez, foram determinadas calculando inicialmente a quantidade de sódio trocável a ser substituído no solo utilizando a seguinte fórmula (VITTI et al., 1995):

:

$$ST = \frac{(PST_i - PST_f) \times CTC}{100}$$

Em que:

ST - Sódio trocável a ser substituído, cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>;

PST<sub>i</sub> - Percentagem de sódio trocável inicial, %;

PST<sub>f</sub> - Percentagem de sódio trocável final, %;

CTC - Capacidade de troca de cátions do solo, cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.

Depois de calculado o sódio trocável a ser substituído no solo, o resultado obtido foi comparado com a dose de enxofre recomendada para correção sódio trocável no solo descrita pelo manual de Recomendações de Adubação Para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Incorporado ao condicionante enxofre, foi adicionado 1mL por g de enxofre de meio de cultura com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* cultivada em meio líquido 9K (GARCIA JUNIOR et al., 2005), em Erlenmeyers de 250 mL contendo 150 mL do meio, em temperatura ambiente, sob agitação mecânica de 130 rpm.

Dessa forma, foram aplicadas as seguintes doses dos condicionantes por vaso: 24 g de gesso, 4,70 g de S<sup>o</sup> + 4,70 mL de inoculante com *A. thiooxidans* e 12,0 g de gesso com 2,35 g de S<sup>o</sup> + 2,35 mL de meio líquido com *A. thiooxidans*. As doses do biofertilizante foram determinadas levando em consideração a necessidade de N para a cultura do feijão-caupi, 30 kg ha<sup>-1</sup>, conforme estabelecido no manual de Recomendações de Adubação Para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Levando em consideração que 30 kg ha<sup>-1</sup> corresponde a dose recomendada de 100% de N, 15 kg ha<sup>-1</sup> a dose 50% e 45 kg ha<sup>-1</sup> a dose 150%.

Foi utilizada a estirpe de *Bradyrhizobium* sp. cepa BR 3267, selecionada pela Embrapa Agrobiologia, recomendada como inoculante para a cultura do feijão-caupi. Ela foi cultivada em meio YM (Yeast, Mannitol – manitol, extrato de levedura) em Erlenmeyers de 250 mL

contendo 150 mL do meio, em temperatura ambiente, sob agitação mecânica de 150 rpm. (VINCENT, 1970) e inoculada junto com as sementes com dois mL do inoculante, por semente, contendo  $10^9$ UFC mL<sup>-1</sup>.

### 3.4 Cultivar utilizada

Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi, IPA 206, recomendada para a estado de Pernambuco, e desenvolvida pelo Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA). A cultivar IPA 206 apresenta características como porte semiereto com ciclo total de 70 dias e cor das sementes marrom claro (EMBRAPA, 1997). As sementes utilizadas no experimento foram desinfestadas em álcool 70% por 30 segundos, seguidas por hipoclorito de sódio (NaClO) a 2% por 3 min, e ao final lavadas por dez vezes em água estéril (SOUSA, et al. 2018). Foram semeadas diretamente ao solo 4 sementes de feijão-caupi por vaso e depois de 7 dias, quando as plântulas atingiram uma altura de cerca de 10 a 15 cm, ocorreu o desbaste, deixando em cada vaso uma planta.

### 3.5 Produção do biofertilizante

O biofertilizante foi produzido, inicialmente, pesando-se 2 kg de rochas fosfatada (apatita) e potássica (biotita) (RP+RK), Em seguida, cada rocha foi misturada com 10% de enxofre elementar e inoculadas com a bactéria do gênero *Acidithiobacillus thiooxidans*, cultivada em meio líquido 9K (GARCIA JUNIOR et al., 2005), o material foi incubado por um período de 60 dias, com adição diária de água, segundo a metodologia proposta por Stamford et al. (2007). Ao final dos 60 dias de incubação, foi obtido o biofertilizante de rochas potássica e fosfatada (BPK). Foi incorporado ao BPK, 6 Kg de húmus de minhoca inoculado com a bactéria diazotrófica de vida livre *Beijerinckia indica*, isolada pelo grupo e denominada (NFB 10001), proveniente do Laboratório de Biotecnologia Ambiental, cultivadas em meio líquido LG (DÖBEREINER, BALDANI e BALDANI, 1995), em Erlenmeyers de 250 mL contendo 150 mL do meio, em temperatura ambiente, sob agitação mecânica de 150 rpm, como proposto por Lima et al. (2010), correspondente à relação BPK:HM = 1:3, ficando por um período de 30 dias em incubação, com adição diária de água. Passados 30 dias de incubação, foi obtido como produto final o biofertilizante rico em nitrogênio, fósforo e potássio (BNPK) e na sequência foi realizada a caracterização dos seus atributos químicos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Caracterização química do biofertilizante BNPK.

pH (H <sub>2</sub> O)	CE <sub>es</sub>	P	N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	dS m <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		g dm <sup>-3</sup>		cmolc dm <sup>-3</sup>	
6,32	8,81	239,00	6,34	1,69	2,17	0,66	0,77

### 3.6 Estatística experimental

Os dados foram submetidos à análise de variância (tabela ANOVA). A primeira parte do experimento, que avaliou os condicionantes (enxofre, gesso e enxofre com gesso) durante 45 dias de condução, foram submetidos à análise de regressão para os condicionantes em função do tempo avaliado (dados quantitativos). Os dados qualitativos, referentes aos condicionantes independentes do tempo avaliado, foram submetidos ao teste de médias Tukey ( $p < 0,05$ ), ambos utilizando o programa estatístico Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2011). A segunda parte do experimento, referente aos resultados obtidos no extrato do lixiviado e no solo após a aplicação da lâmina de lixiviação, também foram submetidos ao teste de médias Tukey ( $p < 0,05$ ), pelo programa estatístico Sisvar.

Os dados referentes ao final do experimento (solo e parâmetros da planta), foram submetidos ao teste de comparação de médias Dunnett ( $p < 0,05$ ) pelo software Estatística 7.0 (TIBCO Software Inc., EUA), onde foi possível comparar os tratamentos aplicados no solo com controle (apenas solo). Depois, realizou-se o desdobramento desses resultados, que foram submetidos ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), objetivando, com o fatorial, observar quem se sobressai entre os tratamentos avaliados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

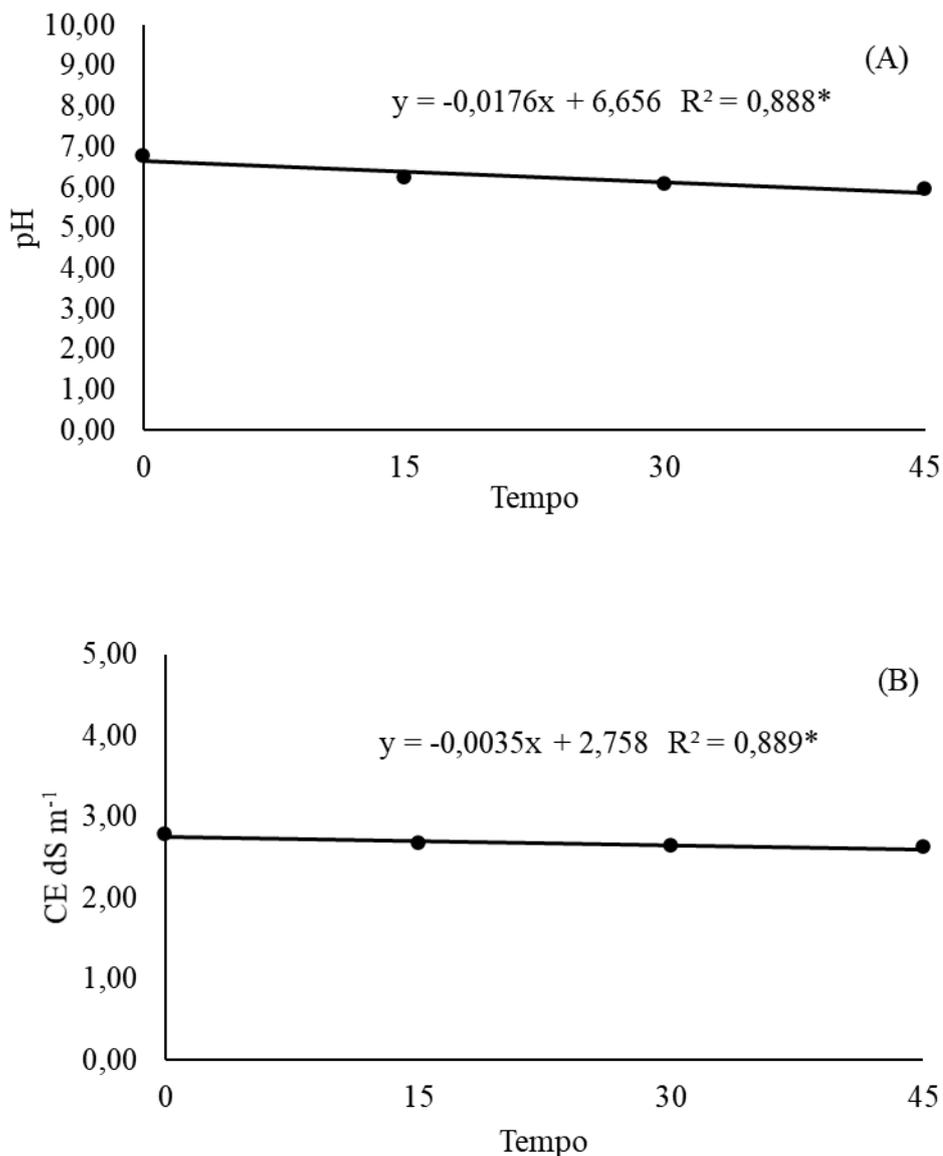
### 4.1 Atributos químicos do solo em função dos condicionantes

O potencial hidrogeniônico (pH) (Figura 2A) e a condutividade elétrica (CE) do solo (Figura 2B) apresentaram redução significativa de seus valores em função do tempo avaliado independente do condicionante aplicado no solo. A redução do pH e CE no solo ao longo do tempo foram avaliados até o tempo 45 (dias), esse comportamento indica a necessidade de incubação do solo por períodos maiores para que seja possível alcançar resultados mais satisfatórios na redução do pH e CE no solo.

Resultados semelhantes foram observados no trabalho de Martins (2021) ao avaliar a adição de enxofre elementar (S) com a bactéria do gênero *Acidithiobacillus thiooxidans*, gesso (G), e enxofre + bactéria + gesso (S+G) em solos sódico e salino-sódico durante 45 dias.

Segundo o autor, para que se tenha a redução desejada de elevados valores de pH e/ou CE se faz necessário o uso de períodos maiores de incubação do solo com condicionantes.

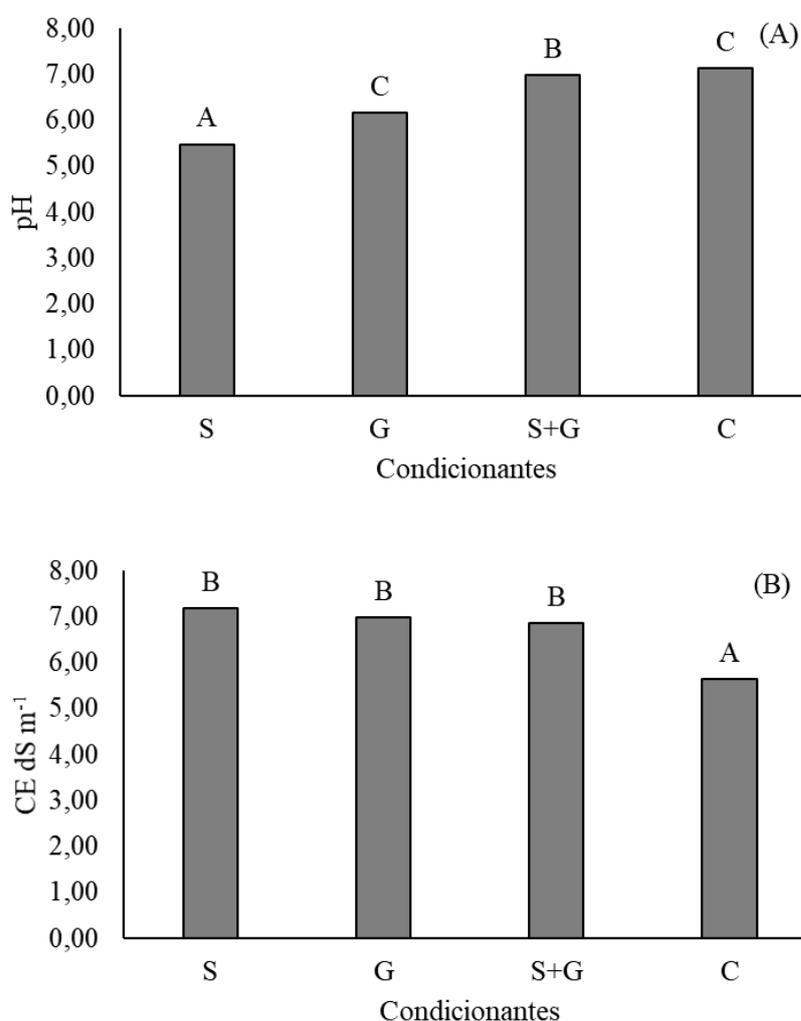
**Figura 2.** pH (a) e condutividade elétrica CE (b) do solo em função do tempo,  $p < 0,05$ .



A figura 3 representa pH (Figura 3A) e CE (Figura 3B) no solo em função dos diferentes condicionantes aplicados, independentemente do tempo avaliado. Observa-se que a maior redução do valor de pH no solo foi proporcionada quando utilizado o condicionante enxofre + bactéria *A. thiooxidans*, que foi capaz de contribuir para uma média final de 5,48 no valor de pH. A redução do pH se deve a oxidação biológica que ocorreu devido à presença da bactéria *A. thiooxidans* capaz de incorporar ácido sulfúrico ao meio (STAMFORD et al., 2007).

Para a CE (Figura 3B), não houve diferença significativa entres os condicionantes estudados, exceto para o controle. Isso significa que os condicionantes avaliados, quando aplicados no solo de maneira isolada, não foram eficientes para a redução da CE do solo a níveis desejáveis. De acordo com Pedrotti et al. (2015), para a completa recuperação de áreas afetadas por sais, é necessário o uso de técnicas combinadas ao invés de técnicas isoladas objetivando alcançar resultados satisfatórios. Segundo os autores, destacam-se como técnicas combinadas o uso de corretivos químicos e lavagem do solo. Outras técnicas também podem ser utilizadas como drenagem, aração, utilização de resíduos orgânicos, entre outros.

**Figura 3.** pH (a) e CE (b) do solo em função dos condicionantes avaliados pelo teste de Tukey,  $p < 0,05$ .



S: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: Gesso; S+G: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + Gesso; C: Controle (apenas solo).

#### 4.2 Atributos químicos no extrato do lixiviado

A tabela 5 representa os atributos químicos analisados no extrato dos lixiviados. Observa-se que para o pH houve diferença significativa entre os extratos dos lixiviados quando o solo tratado com distintos condicionantes. A maior redução do pH foi observada quando o solo foi tratado com o condicionante enxofre + *A. thiooxidans*. Possivelmente, esse comportamento corrobora com os resultados da figura 3A em que o enxofre quando associado a bactéria do gênero *Acidithiobacillus* destacou-se como melhor condicionante promovendo maior redução no valor de pH devido a produção de ácido sulfúrico ao meio.

Para CE, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> nos extratos dos lixiviados, nota-se que não houve diferenças significativas independente do condicionante utilizado no solo. No entanto, observa-se que a CE no extrato do lixiviado apresentou elevação de suas concentrações após aplicação da lâmina de lixiviação. O aumento na condutividade elétrica no extrato reflete a lixiviação dos sais presentes no solo e agora acumulados no extrato (TAZEH et al., 2013), o mesmo vale para os cátions trocáveis do solo. Embora, a aplicação da lâmina de lixiviação objetive a lixiviação de sais no solo, em especial, o sódio trocável. Sua aplicação é responsável também pela lixiviação de cátions considerados importantes para fertilidade do solo.

Freire et al. (2007), ao avaliar a composição nos extratos dos lixiviados coletados em diferentes solos no estado do Rio Grande do Norte, quando cultivados com melão (*C. melon*), em função da aplicação de lâminas de lixiviação com distintos tipos de CE, observou o aumento nas concentrações de elementos solúveis no extrato do lixiviado (aos 30 dias de coleta) nas classes de Neossolo e Cambissolo. Segundo os autores, uma consequência associada a lixiviação de cátions e ânions no solo é a percolação desses lixiviados para os lençóis freáticos contribuindo para a salinização da água.

**Tabela 5.** pH, condutividade elétrica (CE), sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>) e cálcio (Ca<sup>2+</sup>) no extrato do lixiviado em função do solo condicionado pelo teste de Tukey, p < 0,05.

Tratamentos	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
	-		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----		
S	6,1A	10,08 <sup>a</sup>	0,91A	0,10 <sup>a</sup>	3,55A
G	7,02BC	9,41 <sup>a</sup>	0,96A	0,10 <sup>a</sup>	3,31A
S+G	6,69AB	9,65 <sup>a</sup>	1,04A	0,10 <sup>a</sup>	3,78A
C	7,5C	8,06 <sup>a</sup>	0,81A	0,08 <sup>a</sup>	4,23A

S: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: Gesso; S+G: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + Gesso; C: Controle (apenas solo).

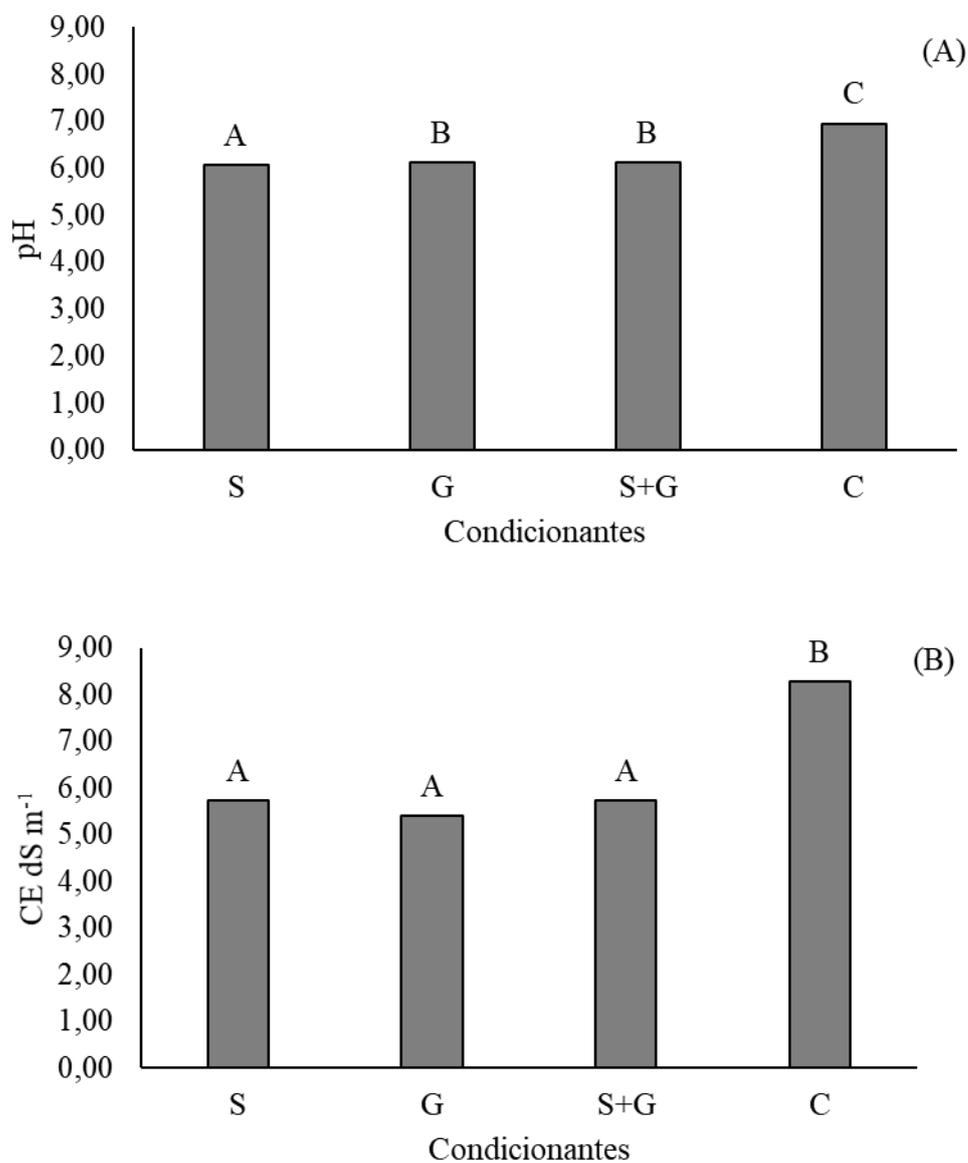
### 4.3 Atributos químicos do solo após lâmina de lixiviação

A figura 4 representa pH e CE no solo após a aplicação da lâmina de lixiviação. Para pH (Figura 4A) o melhor resultado foi obtido no solo quando condicionado com enxofre + *A. thiooxidans* que apresentou uma média de valor 6,0. Isso significa que mesmo após a aplicação da lâmina de lixiviação, o condicionante enxofre + *A. thiooxidans* quando aplicado no solo se sobressai aos demais condicionantes, contribuindo para a redução do pH, devido a oxidação biológica e a produção de ácido sulfúrico.

Em relação a CE, os melhores resultados foram obtidos no solo quando corrigidos com os condicionantes S, G e S+G. Observa-se que independente do condicionante aplicado, houve diferença significativa e tendência para a redução da CE do solo entre os condicionantes avaliados em comparação ao controle (apenas solo). Ao avaliar a influência do parcelamento de lâminas de lixiviação, Ruiz et al. (2004) observaram que ao aplicar uma única lâmina de lixiviação em Neossolo Flúvico verificou-se o aumento da CE do solo.

De acordo com os autores, para que se tenha a redução da salinidade do solo de forma eficiente se faz necessário o uso parcelado de lâminas de lixiviação ao invés da aplicação de uma única lâmina de lixiviação. Isso reforça o comportamento observado na CE do solo no sentido de que sua redução poderia ter sido maior ao aplicar lâminas fracionadas de lixiviação, uma vez que o comportamento constatado na CE do solo foi obtido em função do solo tratado com distintos condicionantes sob a aplicação de uma lâmina de lixiviação.

**Figura 4.** pH (a) e condutividade elétrica (CE) (b) do solo em função dos condicionantes avaliados após a aplicação da lâmina de lixiviação pelo teste de Tukey,  $p < 0,05$ .



S: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: Gesso; S+G: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + Gesso; C: Controle (apenas solo).

Para os cátions trocáveis presentes no solo (Tabela 6), após a aplicação da lâmina de lixiviação, observa-se que para o sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ) houve diferença significativa entre os condicionantes estudados, em que o melhor resultado foi obtido no solo quando condicionado com enxofre + *A. thiooxidans*. Comparando os resultados de  $\text{Na}^+$  (Tabela 6) com os de caracterização inicial do solo (Tabela 1), observa-se que houve redução de cerca de 46% de  $\text{Na}^+$ , após o solo ser condicionado com enxofre + *A. thiooxidans* seguidos da aplicação da

lâmina de lixiviação. A redução de  $\text{Na}^+$  trocável ocorreu em função da ação oxidante promovida pela presença do enxofre e da bactéria *A. thiooxidans* (STAMFORD et al., 2007), seguidos da aplicação da lâmina de lixiviação que contribuiu para a substituição do sódio trocável resultante do acúmulo de  $\text{Na}^+$  no lixiviado (TAZEH et al, 2013).

Em relação a  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  houve diferença significativa entre os condicionantes avaliados no solo, após a aplicação da lâmina de lixiviação. O condicionante S+G destacou-se por contribuir com o aumento nos teores de  $\text{K}^+$  no solo. Para  $\text{Ca}^{2+}$  observa-se que os condicionantes G e S+G forneceram maior disponibilidade desse nutriente no solo, enquanto para  $\text{Mg}^{2+}$  os condicionantes S e G, dentre os tratamentos estudados, apresentaram elevação nos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  no solo após aplicação da lâmina de lixiviação.

O aumento nas concentrações dos cátions trocáveis no solo se deve a solubilização desses elementos que foram proporcionados em função da aplicação dos condicionantes. Por ser composto por cálcio e enxofre, o gesso, quando aplicado no solo, é capaz de solubilizar  $\text{Ca}^{2+}$  e contribuir para a substituição do  $\text{Na}^+$  no complexo de troca (BRASIL; CRAVO; VIEGAS, 2020). Além disso, o enxofre presente em sua constituição gera íon sulfato ( $\text{SO}_4$ ) capaz de proporcionar associações aos íons metálicos presentes no solo, contribuindo para a aumento de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  no solo (BRASIL; CRAVO; VIEGAS; 2020).

Severo et al. (2019) ao avaliar o efeito dos atributos químicos de um Neossolo flúvico em função de diferentes doses de enxofre elementar observou o aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo devido a acidez proporcionada pelo enxofre elementar. Em contrapartida, para o K presente no solo, não houve resposta significativa em função das doses de enxofre aplicadas no solo.

**Tabela 6.** Sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo em função dos condicionantes avaliados após aplicação da lâmina de lixiviação.

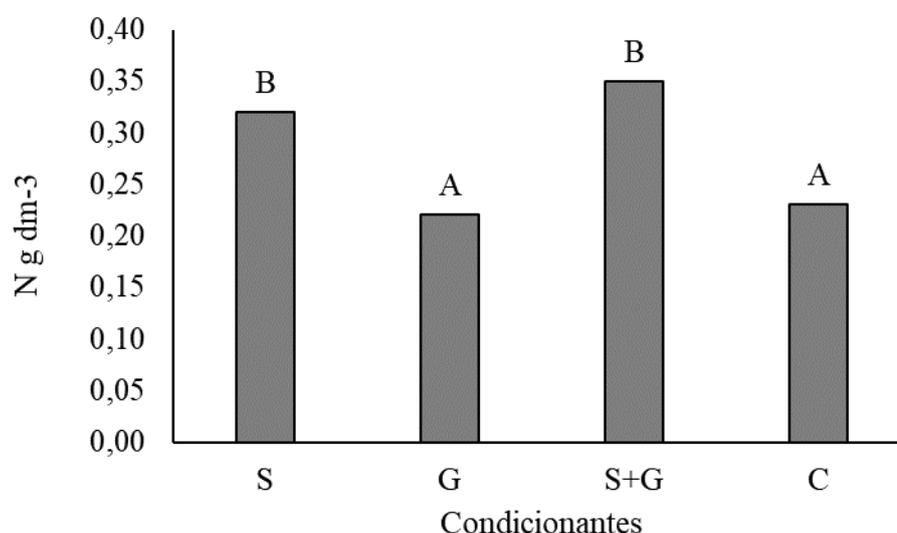
Tratamentos	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
	-----cmolc $\text{dm}^{-3}$ -----			
S	2,11A	1,44A	0,89B	0,38C
G	2,76C	1,89B	1,10C	0,35C
S+G	3,07C	2,19C	1,10C	0,31B
C	2,62B	1,75B	0,60 <sup>a</sup>	0,25A

S: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: Gesso; S+G: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + Gesso; C: Controle (apenas solo).

Para as concentrações de nitrogênio (N) (Figura 5) no solo, houve diferença significativa em função dos condicionantes avaliados e após a aplicação da lâmina de lixiviação. Os condicionantes S e S+G proporcionaram maiores concentrações de N no solo em comparação

aos demais tratamentos aplicados. O aumento nos teores de N no solo se deve a sua solubilização que foi proporcionada pela presença do enxofre elementar. Segundo Araujo (2018) o enxofre elementar possui relação com o nitrogênio, de modo que sua ausência interfere na disponibilidade de nitrogênio no solo. Posteriormente, a presença de enxofre elementar no solo contribuirá também, segundo Hungria et al. (2007), para o processo de fixação biológica do nitrogênio, sendo responsável pela ativação da enzima nitrogenase.

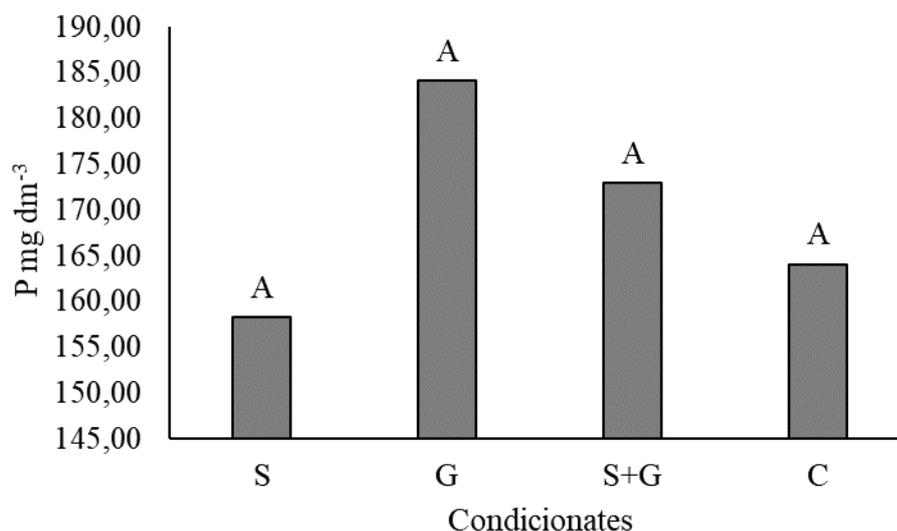
**Figura 5.** Nitrogênio (N) no solo em função dos condicionantes avaliados após aplicação da lâmina de lixiviação pelo teste de Tukey,  $p < 0,05$ .



S: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: Gesso; S+G: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + Gesso; C: Controle (apenas solo).

As concentrações de fósforo (P) no solo (Figura 6) em função dos diferentes condicionantes avaliados e após a aplicação da lâmina de lixiviação, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Esse comportamento, possivelmente, está associado à mobilidade do elemento P no solo. Segundo Pereira (2009) o P é um nutriente que se encontra imóvel ou com baixa mobilidade no solo.

**Figura 6.** Fósforo (P) no solo em função dos condicionantes avaliados após aplicação da lâmina de lixiviação pelo teste de Tukey,  $p < 0,05$ .



S: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: Gesso; S+G: Enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + Gesso; C: Controle (apenas solo).

#### 4.4 Atributos químicos no solo passados 35 dias de condução com feijão-caupi

A tabela 7 representa os atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi. Para pH, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados em comparação ao controle. Isso significa que durante um período de 35 dias, em que ocorreu o desenvolvimento do feijão-caupi, a aplicação do conjunto de tratamentos (representados na tabela 7) referentes ao biofertilizante no solo não alterou os valores do pH do solo. Diferentemente do que foi proposto no trabalho de Stamford et al. (2007).

Stamford et al. (2007) em seu trabalho ao avaliarem a aplicação de biofertilizante proveniente de rocha fosfatada com adição de enxofre elementar e bactéria do gênero *Acidithiobacillus* na cultura de *Pachyrhizus erosus*, quando cultivada em solos com baixo teor de P, observaram que a aplicação do biofertilizante, em doses maiores de P, contribuiu para a redução do pH do solo devido à ação oxidante proporcionada pelo enxofre elementar e bactéria do gênero *Acidithiobacillus*. Entretanto, os autores concluíram que devido a produção constante de ácido sulfúrico, a aplicação a longo prazo do biofertilizante pode reduzir o pH do solo a níveis baixos, interferindo de forma direta no desenvolvimento de diversas culturas.

A condutividade elétrica (CE) do solo apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados quando comparado com controle, exceto para o tratamento utilizando o

biofertilizante na dose 50, solo condicionando com gesso e na ausência de rizóbio. O aumento na CE se deve a aplicação do biofertilizante que proporcionou ao solo o incremento de íons solúveis (SÁ et al. 2017, STAMFORD et al. 2015) presentes em sua composição, como observado na Tabela 4 de caracterização química do biofertilizante.

Para  $\text{Na}^+$  no solo não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados quando comparados com o controle. Possivelmente, esses resultados significam que a aplicação do biofertilizante no solo não proporcionou incremento e nem redução de  $\text{Na}^+$  no solo em comparação ao controle. A redução de  $\text{Na}^+$  no solo foi observada por Stamford et al. (2015) ao avaliar a correção de solos salinos com a aplicação de diferentes condicionantes (S + *Acidithobacillus*, G e S + *Acidithobacillus* + G), seguidos da aplicação de biofertilizante proveniente de rochas fosfatada e potássica (BPK). Mesmo após a redução da salinidade do solo em função da aplicação do condicionante, foi observado pelos autores que aplicação do biofertilizante PK foi capaz promover a redução ainda mais dos teores de  $\text{Na}^+$  no solo devido à ação oxidante, que produz ácido sulfúrico, proporcionada pelo enxofre e a bactéria *Acidithobacillus*.

Em relação a  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e P, não houve efeito significativo entre os tratamentos avaliados em comparação ao controle (apenas solo). Isso significa que a aplicação do biofertilizante no solo, após 35 dias de condução do experimento com feijão-caupi, pode ter proporcionado a incorporação desses nutrientes no solo, no entanto, foram removidos em função da necessidade nutricional da cultura do feijão-caupi. Stamford et al. (2019) ao avaliar a interação de um biofertilizante inoculado com vários microorganismos, dentre eles o *Acidithobacillus thiooxidans*, *Beijerinckia indica* e *Cunninghamella elegans*, na cultura da alface (*L. sativa*) observaram que o biofertilizante desenvolvido proporcionou ao solo disponibilidade de nutrientes como P,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  quando aplicados em doses mais elevadas. Entretanto, foi observado que em alguns momentos não houve uma diferença significativa para os nutrientes avaliados no solo em função da remoção dos nutrientes pela cultura da alface (*L. sativa*).

Para  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, observa-se que houve diferença significativa para todos os tratamentos avaliados, exceto para o biofertilizante na dose 50 e 150, solo condicionado com S e na ausência de *Bradyrhizobium*; biofertilizante na dose 50, solo condicionado com S+G, na ausência *Bradyrhizobium*; e biofertilizante na dose 100 e 150, solo condicionado com S e S+G, respectivamente, ambos na presença de *Bradyrhizobium*. O aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo em comparação ao controle se deve a liberação desse nutriente presente no biofertilizante. De acordo com Luz et al. (2010) é comum que as rochas fosfatas, base para a matéria prima para a

produção do biofertilizante, presente em sua composição certas concentrações de Ca. Podendo contribuir assim para a incorporação desse nutriente ao solo.

Em relação ao N no solo, observa-se diferença significativa para os tratamentos referentes ao biofertilizante na dose 100, solo condicionado com S e G, na ausência de *Bradyrhizobium*; biofertilizante na dose 150, solo condicionado com S+G, na ausência de *Bradyrhizobium* e biofertilizante na dose 100 e 150, solo condicionado com S, ambos na presença de *Bradyrhizobium*. A incorporação de N ao solo em comparação ao controle se deve a composição do BNPK que foi produzido com húmus de minhoca e enriquecido com *Beijerinckia indica* tornando -se um produto rico em N.

Esses resultados corroboram com os de Oliveira et al. (2014) ao avaliar a aplicação do biofertilizante, produzido com matéria orgânica e bactéria de vida livre, na produtividade da cultura do melão (*C. melon*), em que o biofertilizante BNPK é uma alternativa em substituição aos fertilizantes solúveis, pois, segundo os autores, contribui para aumento dos teores de nutrientes do solo e melhora a produtividade de culturas.

**Tabela 7.** Atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), nitrogênio (N) e fósforo (P). As médias dos tratamentos em negrito diferem do controle de acordo com o teste de Dunnett, p < 0,05.

Tratamentos	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> -----cmolc dm <sup>-3</sup> -----	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	N g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>
B50 S R0	5,16	<b>5,41</b>	3,379	1,499	1,06	0,42	0,90	220
B100 S R0	5,08	<b>5,86</b>	3,411	1,466	<b>1,24</b>	0,44	<b>1,05</b>	192
B150 S R0	5,16	<b>5,75</b>	3,411	1,499	0,98	0,47	0,90	183
B50 G R0	6,66	4,53	3,217	1,628	<b>1,58</b>	0,36	0,77	216
B100 G R0	6,56	<b>5,13</b>	3,152	1,370	<b>1,44</b>	0,41	<b>1,05</b>	266
B150 G R0	6,63	<b>5,28</b>	3,541	1,660	<b>2,03</b>	0,47	0,87	245
B50 S+G R0	5,80	<b>5,36</b>	3,346	1,563	1,18	0,33	1,00	122
B100 S+G R0	5,77	<b>5,27</b>	4,741	2,823	<b>1,33</b>	0,36	0,87	161
B150 S+G R0	5,70	<b>5,45</b>	3,606	1,596	<b>1,90</b>	0,45	<b>1,08</b>	205
B50 S R1	5,28	<b>5,85</b>	3,606	1,693	<b>1,33</b>	0,40	1,00	121
B100 S R1	5,15	<b>5,58</b>	5,227	3,340	1,22	0,39	<b>1,16</b>	96
B150 S R1	5,11	<b>6,85</b>	3,962	1,822	<b>1,61</b>	0,50	<b>1,08</b>	141
B50 G R1	6,58	<b>5,70</b>	3,638	1,693	<b>1,64</b>	0,41	0,95	142
B100 G R1	6,65	<b>5,84</b>	4,125	2,016	<b>1,52</b>	0,43	0,95	108
B150 G R1	6,49	<b>5,60</b>	3,833	1,822	<b>1,44</b>	0,43	0,98	129
B50 S+G R1	5,67	<b>5,70</b>	4,254	2,177	1,15	0,38	0,87	100
B100 S+G R1	5,72	<b>6,17</b>	3,573	1,789	<b>1,41</b>	0,46	0,90	190
B150 S+G R1	5,66	<b>5,97</b>	3,638	1,693	<b>1,39</b>	0,41	0,67	227
Controle	6,80	4,15	3,346	1,499	0,55	0,35	0,58	180

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium* C: controle (apenas solo).

A tabela 8 representa o desdobramento dos tratamentos avaliados no solo, após 35 dias de condução do experimento com a cultura do feijão-caupi, pelo teste de tukey (p < 0,05) para o potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), nitrogênio (N) e fósforo (P). Observa-se que para pH não houve respostas significativas para os tratamentos aplicados no solo em função da ausência ou presença de *Bradyrhizobium*. Esses resultados corroboram com os resultados da tabela 7 no sentido de que os tratamentos aplicados no solo não foram suficientes para alterar os valores de pH. De acordo com Lima et al. (2017) esse comportamento se deve ao poder tampão do solo, que é a capacidade do pH em resistir a alterações.

Para CE do solo houve diferença significativa para os tratamentos em que o solo foi condicionado com S e biofertilizante na dose 150, solo condicionado com G e S+G, ambos na dose 100. O aumento na condutividade elétrica foi observado nos tratamentos citados quando

associados a presença de *Bradyrhizobium*. Esse comportamento pode ser justificado devido a solubilização de cátions trocáveis no solo devido a presença de *Bradyrhizobium* e consequentemente a elevação dos íons solúveis presentes no solo.

Segundo Severo et al. (2019) ao avaliarem o efeito de doses de S durante diferentes períodos de incubação observaram o aumento da CE em função da aplicação de diferentes doses de S e esse aumento foi proporcionado pela elevação da acidez gerada pelo S que contribuiu também para a solubilização de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Deve-se levar em consideração que o biofertilizante BNPK utilizado nos tratamentos possui em sua composição S e *Acidithobacillus* contribuindo também para acidificação e elevação da CE e cátions do solo.

Os teores de N no solo apresentaram diferença significativa apenas para o tratamento referente ao solo condicionando com S+G e biofertilizado na dose 150. Para P no solo houve resposta significativa quando o solo foi condicionado com G e biofertilizado na dose 100. Tanto para N quanto para P no solo, a associação com *Bradyrhizobium*, não contribuiu com o aumento desses nutrientes. Embora a aplicação do biofertilizante no solo contribui para aumento dos teores desses nutrientes no solo (Oliveira, et al. 2014) esses resultados sugerem que o biofertilizante, sem associações de *Bradyrhizobium*, apenas com a bactéria de vida livre, é suficientemente capaz de fornecer N e P para o solo.

**Tabela 8.** Atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), nitrogênio (N) e fósforo (P). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey,  $p < 0,05$ .

Tratamentos	pH		CE		N		P	
	-----	-----	-----dS m <sup>-1</sup> -----	-----	-----g dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----mg dm <sup>-3</sup> -----	-----
	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1
S B50	5,16	5,28	5,41	5,48	0,89	1,00	220,33	120,66
S B100	5,08	5,14	5,86	5,58	1,05	1,15	192,00	95,66
S B150	5,15	5,11	<b>5,75</b>	<b>6,85</b>	0,90	1,07	183,00	141,00
G B50	6,66	6,57	4,53	5,70	0,77	0,95	215,66	142,66
G B100	6,65	6,64	<b>5,13</b>	<b>5,84</b>	1,05	0,95	<b>266,33</b>	<b>108,33</b>
G B150	6,62	6,48	5,28	5,60	0,87	0,97	245,33	128,66
S+G B50	5,79	5,66	5,36	5,70	1,00	0,88	121,66	100,00
S+G B100	5,76	5,72	<b>5,27</b>	<b>6,17</b>	0,87	0,90	161,33	189,66
S+G B150	5,70	5,65	5,45	5,97	<b>1,08</b>	<b>0,66</b>	205,66	227,33

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium*.

A tabela 9 representa os resultados obtidos em função dos desdobramentos da análise estatística para os cátions trocáveis. Para  $\text{Na}^+$  observa-se que houve diferença significativa para o tratamento S e solo biofertilizado na dose 100. Observa-se que nesse tratamento a ausência de *Bradyrhizobium* se sobressaiu em menor concentração de  $\text{Na}^+$  no solo. Diferentemente do que foi observado na tabela 7 em que os tratamentos aplicados no solo em comparação com o controle não diferiram significativamente. Freitas (2019) ao avaliar a aplicação de um fertilizante microbiano em solos salino-sódico, quando recuperados com enxofre elementar e inoculados com *Acidithiobacillus*, observou que o solo quando condicionado com S + *Acidithiobacillus* e tratado com fertilizante microbiano, de *Cunninghamella elegans*, apresentou menor teor de  $\text{Na}^+$  no solo em comparação com outros tratamentos. O Fertilizante microbioano utilizado por de Freitas (2019) era proveniente de rochas potássica e fosfatada, adicionados com S elementar e bactéria do gênero *Acidithiobacillus thiooxidans* e enriquecidos com bactéria diazotrófica *Beijerinckia indica* e inoculado com *Cunninghamella elegans*.

Os teores de  $\text{K}^+$  no solo apresentaram diferença significativa para o tratamento referente ao solo condicionado com S e biofertilizado na dose 100, em que a presença de *Bradyrhizobium* contribuiu com a melhor resposta ao incremento desse nutriente. Para  $\text{Ca}^{2+}$ , houve diferença significativa em dois tratamentos. O primeiro tratamento refere-se ao solo quando condicionado com S e biofertilizado na dose 150, em que a presença de *Bradyrhizobium* contribuiu para o incremento desse cátion. O segundo tratamento, por sua vez, indica resposta significativa no solo quando condicionado com G e biofertilizado na dose 150. Entretanto, neste tratamento, diferentemente do anterior, a ausência de *Bradyrhizobium* se sobressaiu para o incremento de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo. Os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  no solo apresentaram resposta significativa quando utilizado o tratamento referente ao solo condicionado com S+G e biofertilizado na dose 100 e associado a presença de *Bradyrhizobium*.

No geral, os resultados referentes aos cátions trocáveis no solo ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) indicam o incremento desses elementos no solo quando associados à presença de *Bradyrhizobium*. De acordo com Stamford et al. (2019) ao avaliar a aplicação de um biofertilizante misto (BNPK) no crescimento da alface (*L. sativa*), este contribuiu para o incremento de nutrientes no solo como K, P, entre outros. A solubilização dos cátions no solo se deve a presença de S e da bactéria *Acidithiobacillus* presentes no biofertilizante, que possui ação acidificante, contribuindo para a liberação desses e outros nutrientes presentes nas rochas (STAMFORD et al., 2006, 2008). Além disso a aplicação de um biofertilizante misto associado com vários microorganismos foi estudado por Oliveira et al. (2014), e neste trabalho os autores observaram que é possível com a presença de um conjunto de microorganismos tais como:

*Acidithiobacillus*, *Beijerinckia* e *Cunninghamella elegans*, contribuírem para o incremento de nutrientes no solo. Compreende-se, portanto, que a presença de *Bradyrhizobium*, embora atue no processo de FBN, é importante para o incremento de cátions trocáveis no solo.

**Tabela 9.** Atributos químicos avaliados no solo após 35 dias de condução com a cultura do feijão-caupi: sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey,  $p < 0,05$ .

Tratamentos	$\text{Na}^+$		$\text{K}^+$		$\text{Ca}^{2+}$		$\text{Mg}^{2+}$	
	-----cmolc $\text{dm}^{-3}$ -----							
	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1
S B50	3,37	3,60	1,49	1,69	1,06	1,33	0,42	0,39
S B100	<b>3,41</b>	<b>5,22</b>	<b>1,46</b>	<b>3,33</b>	1,24	1,22	0,44	0,38
S B150	3,41	3,96	1,49	1,82	<b>0,97</b>	<b>1,61</b>	0,47	0,49
G B50	3,21	3,63	1,62	1,69	1,58	1,64	0,36	0,41
G B100	3,15	4,12	1,36	2,01	1,44	1,51	0,41	0,43
G B150	3,54	3,83	1,66	1,82	<b>2,02</b>	<b>1,44</b>	0,46	0,43
S+G B50	3,34	4,25	1,56	2,17	1,17	1,15	0,33	0,38
S+G B100	4,74	3,57	2,82	1,78	1,33	1,41	<b>0,36</b>	<b>0,46</b>
S+G B150	3,60	3,63	1,59	1,69	1,83	1,39	0,45	0,41

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium*.

#### 4.5 Avaliação de parâmetros na cultura do feijão-caupi

A tabela 10 e 11 representa os parâmetros avaliados na cultura do feijão-caupi. Para a massa seca da folha (MSF) (Tabela 10) houve diferença significativa para o tratamento quando utilizado o biofertilizante na dose 100, solo condicionado com S e na ausência de rizóbio em comparação ao tratamento controle (apenas solo). Houve diferença significativa para a massa seca da raiz (MSR) ao utilizar o tratamento referente ao biofertilizante na dose 150, solo condicionado com G e na ausência de rizóbio em comparação ao controle.

Para a massa seca total (folhas + caule + raiz) (MST) houve diferença significativa para os tratamentos nas doses 100 e 150 do biofertilizante, solo condicionado com S e G, respectivamente, e ambos na ausência de rizóbio. Em relação à massa seca do caule (MSC) e para a relação de massa seca das folhas/total (MSF/T) não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados em comparação ao controle.

O incremento de massa seca da folha, raiz e total no feijão-caupi foi adquirido ao utilizar doses maiores do biofertilizante. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira (2012) e Stamford et al. (2008) ao aplicar o biofertilizante na cultura da cana de açúcar (*Saccharum*

*officinarum*). Oliveira (2012) ao avaliar o efeito da aplicação do biofertilizante misto (BNPK) para melhorar os atributos químicos do solo e conseqüentemente promover a produção da cultura da cana de açúcar, observou que doses superiores do biofertilizante contribuem diretamente para a elevação do incremento de massa seca da parte aérea da cana de açúcar. Para Stamford et al. (2008) o incremento de massa seca da cana de açúcar foi observada ao avaliar a aplicação de biofertilizante proveniente de rochas potássica e fosfatada adicionadas a enxofre elementar e inoculadas com *Acidithiobacillus* (BPK).

**Tabela 10.** Parâmetros avaliados na planta: massa seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR), total (MST), relação folha/total (MSF/T). As médias dos tratamentos em negrito diferem do controle de acordo com o teste de Dunnett,  $p < 0,05$ .

Tratamentos	MSF	MSC	MSR	MST	MSF/T
	-----g-----				
B50 S R0	6,85	4,88	1,32	13,05	0,52
B100 S R0	<b>9,12</b>	5,02	1,05	<b>15,18</b>	0,60
B150 S R0	7,22	4,65	0,98	12,85	0,56
B50 G R0	7,18	4,80	0,98	12,95	0,55
B100 G R0	7,00	4,40	1,20	12,60	0,56
B150 G R0	7,77	5,32	<b>1,72</b>	<b>14,80</b>	0,53
B50 S+G R0	7,37	3,78	1,15	12,30	0,60
B100 S+G R0	7,70	4,47	1,38	13,55	0,57
B150 S+G R0	7,68	4,15	1,32	13,15	0,58
B50 S R1	7,27	4,93	1,07	13,27	0,55
B100 S R1	7,15	4,57	1,27	12,98	0,55
B150 S R1	6,25	4,07	0,90	11,22	0,56
B50 G R1	7,13	4,73	1,18	13,05	0,55
B100 G R1	6,43	4,37	0,92	11,72	0,55
B150 G R1	5,57	4,37	1,07	11,00	0,51
B50 S+G R1	6,10	4,53	0,87	11,50	0,53
B100 S+G R1	6,53	4,20	1,02	11,75	0,56
B150 S+G R1	6,05	4,70	1,22	11,97	0,51
Controle	4,97	3,28	0,85	9,10	0,55

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium* C: controle (apenas solo).

Em relação ao número de nódulos (NN) (tabela 11) observa-se que para os tratamentos em que os solos foram condicionados por G e S+G, e fertilizados nas doses 50, 100 e 150 do biofertilizante, quando associados ao *Bradyrhizobium*, estes apresentaram diferença significativa em comparação ao controle. O aumento no número de nódulos ocorreu em função

tanto da adubação nitrogenada fornecida pelo biofertilizante, quando enriquecido com húmus de minhoca e inoculado com a bactéria de vida livre (*B. indica*), quanto pela presença do *Bradyrhizobium*.

Respostas significativas para o incremento no número de nódulos em feijão-caupi também foram observados por Cavalcante et al. (2017), ao avaliar a produtividade de diferentes cultivares de feijão-caupi em função da inoculação com estirpes de rizóbio. A presença de nódulos, mesmo na ausência da inoculação com *Bradyrhizobium* e em quantidades menores, se deve, segundo Cavalcante et al. (2017) a presença de bactérias simbióticas nativas no solo que pode contribuir para a nodulação do feijão-caupi.

Para a massa seca de nódulos (MSN), independente do condicionante utilizado no solo (S, G ou S+G), quando aplicado as doses 50, 100 e 150 do biofertilizante, associada a presença de *Bradyrhizobium* proporciona efeito significativo em comparação ao controle. Stamford et al. (2013) ao avaliar os efeitos do biofertilizante de rochas PK na nodulação, biomassa e absorção de nutrientes em feijão-caupi constatou que a administração do biofertilizante quando inoculadas com rizóbio são capazes de proporcionar o aumento da nodulação em feijão e consequentemente proporcionar melhores respostas ao aumento da massa seca de nódulos em comparação com o controle. Desse modo, o aumento na massa seca dos nódulos do feijão-caupi foi proporcionado pela adubação do biofertilizante, enriquecido com húmus de minhoca e inoculado com a bactéria de vida livre (*B. indica*) e associado ao *Bradyrhizobium*.

Para nitrogênio na folha (NF) houve resposta significativa para todos os tratamentos avaliados em comparação ao controle. Esse comportamento se deve a necessidade do feijão-caupi em requerer N em maior quantidade que os demais nutrientes. Oliveira et al. (2014) ao avaliar o uso do biofertilizante, produzido com matéria orgânica e bactéria de vida livre (BNPK) na produtividade da cultura do melão (*C. melon*), observou que o BNPK destaca -se por disponibilizar nutrientes ao solo e consequentemente as plantas. Desse modo, por ser um produto rico em N e quando associado a inoculação de *Bradyrhizobium*, o biofertilizante (BNPK), torna-se um produto completo considerado capaz de disponibilizar o que a cultura necessita.

A altura da planta apresentou diferença significativa apenas para o tratamento referente a dose 150 do biofertilizante, solo condicionado com S+G, na presença de *Bradyrhizobium*, em comparação ao tratamento controle. Guimarães et al. (2019) ao avaliar o desenvolvimento do feijão-caupi em função da inoculação de diferentes estirpes de rizóbio cultivados em latossolo, observaram que entre os tratamentos avaliados não houve diferença significativa em relação ao crescimento do feijão-caupi, exceto, em comparação com a testemunha. Associado a isso,

entende-se que o biofertilizante BNPK quando inoculado ao *Bradyrhizobium* contribui para um melhor desenvolvimento do feijão-caupi cultivado em Neossolo flúvico. Entretanto, não houve diferença significativa para os tratamentos avaliados em comparação ao controle para o comprimento da raiz (CR) e diâmetro do caule (DC) na cultura estudada. Esse comportamento indica que independente do tratamento utilizando o comprimento da raiz ou diâmetro do caule não sofrerá alterações.

**Tabela 11.** Parâmetros avaliados na planta: Número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), nitrogênio na folha (NF), comprimento da raiz (CR), altura da planta (Alt P), diâmetro do caule (DC). As médias dos tratamentos em negrito diferem do controle de acordo com o teste de Dunnett,  $p < 0,05$ .

Tratamentos	NN -	MSN G	NF g Kg <sup>-1</sup>	CR -----cm-----	Alt P	DC mm
B50 S R0	1,00	0,03	<b>5,32</b>	15,33	54,50	8,39
B100 S R0	0,00	0,00	<b>6,94</b>	16,00	68,50	7,84
B150 S R0	0,00	0,00	<b>10,38</b>	13,67	67,50	8,33
B50 G R0	2,00	0,06	<b>6,30</b>	13,33	70,00	9,07
B100 G R0	1,00	0,02	<b>9,13</b>	18,33	60,00	7,83
B150 G R0	1,00	0,03	<b>12,60</b>	18,00	54,00	7,40
B50 S+G R0	1,00	0,03	<b>5,51</b>	15,33	64,00	7,83
B100 S+G R0	2,00	0,02	<b>6,49</b>	17,00	65,00	9,09
B150 S+G R0	0,00	0,00	<b>11,64</b>	14,67	60,67	7,92
B50 S R1	6,00	0,14	<b>8,15</b>	14,33	68,00	7,79
B100 S R1	5,00	0,12	<b>9,55</b>	15,67	70,00	7,74
B150 S R1	9,00	<b>0,33</b>	<b>13,31</b>	16,33	55,00	7,46
B50 G R1	<b>21,00</b>	0,20	<b>8,98</b>	17,33	65,00	7,03
B100 G R1	<b>25,00</b>	<b>0,26</b>	<b>6,95</b>	14,67	72,00	7,03
B150 G R1	<b>31,00</b>	<b>0,25</b>	<b>12,13</b>	16,67	66,00	7,68
B50 S+G R1	<b>28,00</b>	<b>0,25</b>	<b>5,53</b>	13,00	69,50	7,76
B100 S+G R1	<b>29,00</b>	<b>0,28</b>	<b>8,48</b>	15,33	58,00	8,08
B150 S+G R1	<b>15,00</b>	0,15	<b>15,20</b>	14,67	<b>90,00</b>	8,32
Controle	2,00	0,01	0,62	15,67	61,50	7,20

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium* C: controle (apenas solo).

A tabela 12 e 13 representa o desdobramento dos parâmetros avaliados no feijão-caupi pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Passa massa seca da folha (MSF) (Tabela 11), observa-se que houve respostas significativas ao utilizarem dois tratamentos: solo condicionando com S, biofertilizante na dose 100, e solo condicionado com G, biofertilizante na dose 150, em que ambos os tratamentos apresentaram resposta superior na ausência de *Bradyrhizobium*. Borges

et al. (2012) ao avaliarem o uso de estirpes de rizóbio na contribuição de massa seca do feijão-caupi em diferentes períodos, observaram que para MSF, os primeiros 35 dias de avaliação a testemunha (sem inoculação) se sobressaiu em relação às estirpes de *Bradyrhizobium* e que só houve diferença significativa, para as estirpes inoculadas, a partir dos 45 dias. O comportamento observado por Borges et al. (2012) se assemelha com os resultados obtidos em que os parâmetros avaliados no feijão-caupi, durante 35 dias, apresentaram resposta superior à ausência de *Bradyrhizobium*. Possivelmente, para que se tenha resposta significativa da influência *Bradyrhizobium* na MSF seria necessário períodos maiores de avaliações como observado por Borges et al. (2012).

Não houve resposta significativa entre os tratamentos aplicados no solo para massa seca do caule (MSC) em função da presença ou ausência de *Bradyrhizobium*. Esses resultados corroboram com os dados da tabela 10 ao comparar os resultados obtidos entre os tratamentos aplicados no solo e o controle (apenas solo). Esse comportamento sugere que os tratamentos aplicados no solo, bem como a influência da presença ou ausência de *Bradyrhizobium*, não contribuíram para incrementar a MSC. Diferentemente do que foi observado por Borges et al. (2012), aos 35 dias de condução após o semeio do feijão-caupi, em que a testemunha (sem inoculação de *Bradyrhizobium*) se sobressaiu, pelo menos nesse intervalo de tempo, dos demais inoculantes.

Para massa a seca da raiz (MSR) e total (MST), observa-se que houve respostas significativas ao utilizar o mesmo tratamento: solo condicionado com G e biofertilizante na dose 150, quando associados a ausência de *Bradyrhizobium*. A relação entre a massa seca das folhas/total (MSF/T) apresentou resposta significativa apenas quando utilizado o tratamento referente ao solo condicionando com S+G, biofertilizado na dose 150 em função da ausência de *Bradyrhizobium*. Embora a inoculação com *Bradyrhizobium* não tenha influenciado no incremento de massa seca da raiz, total e relação folhas/total, é comum, na literatura, encontrar trabalhos que indiquem o incremento dessas variáveis pela influência de estirpes de rizóbio.

Silva et al. (2019), ao avaliar a produção de biomassa em cultivares de feijão-caupi inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio sob diferentes doses de P, observaram que a cv. BRS Nova Era, independente das doses de P aplicadas no solo, destacou-se das demais cultivares por apresentar incremento de massa seca nas raízes em função da aplicação de estirpes (INPA 03-11B e BR 3277) que foram superiores ao tratamento testemunha (sem inoculação). O incremento de massa seca foi observado também por Stamford et al. (2008), dessa vez na cultura da cana de açúcar, ao aplicar um biofertilizante proveniente de rochas

potássica e fosfatada, adicionadas a enxofre elementar e inoculadas com *Acidithiobacillus* (BPK).

**Tabela 12.** Parâmetros avaliados na planta: massa seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR), total (MST), relação folha/total (MSF/T). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey,  $p < 0,05$ .

Tratamentos	MSF		MSC		MSR		MST		RME/T	
	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1
S B50	6,85	7,26	4,88	4,93	1,31	1,06	13,05	13,26	0,52	0,55
S B100	<b>9,12</b>	<b>7,15</b>	5,01	4,56	1,05	1,26	15,18	12,98	0,59	0,55
S B150	7,21	6,25	4,65	4,06	0,98	0,90	12,85	11,21	0,56	0,56
G B50	7,17	7,13	4,80	4,73	0,97	1,18	12,95	13,05	0,55	0,55
G B100	7,00	6,43	4,40	4,36	1,20	0,91	12,60	11,71	0,55	0,54
G B150	<b>7,76</b>	<b>5,56</b>	5,31	4,36	<b>1,71</b>	<b>1,06</b>	<b>14,80</b>	<b>11,00</b>	0,53	0,50
S+G B50	7,36	6,10	3,78	4,53	1,15	0,86	12,30	11,50	0,59	0,53
S+G B100	7,70	6,53	4,46	4,20	1,38	1,01	13,55	11,75	0,57	0,55
S+G B150	7,68	6,05	4,16	4,70	1,31	1,21	13,15	11,96	<b>0,58</b>	<b>0,50</b>

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium*.

Para o número de nódulos (NN) (Tabela 13) observa-se que houve efeito significativo para os tratamentos aplicados no solo, exceto para o solo quando condicionando com S e biofertilizado nas doses 50, 100 e 150, na ausência e presença de *Bradyrhizobium*. Os melhores resultados referentes a quantidade de nódulos nas raízes foram obtidos com a presença de *Bradyrhizobium*. Resultados semelhantes foram observados no trabalho de Andrade et al. (2009) ao avaliarem a atuação de um biofertilizante de rochas, com fungo micorrizico arbuscular e *Bradyrhizobium*. Os autores observaram que a inoculação com *Bradyrhizobium* influenciou em uma maior quantidade de nodulação no feijão-caupi. Isso significa que independe do biofertilizante utilizado, seja ele proveniente de rochas (BPK), ou enriquecido com nitrogênio (BNPK), quando associado com *Bradyrhizobium* irá contribuir para elevação da nodulação de feijão-caupi.

A massa seca de nódulos (MSN) obteve respostas significativas quando aplicados os tratamentos no solo, exceto para os tratamentos referentes ao solo condicionando com S, nas doses 50 e 100, na ausência e presença de *Bradyrhizobium*. As melhores respostas em relação a MSN foram influenciadas pela presença de *Bradyrhizobium*. Para Stamford et al. (2013) a utilização de biofertilizante proveniente de rochas potássica e fosfatada (BPK) na maior dose

avaliada quando inoculada com rizóbio (Semia 6156) contribui para o aumento da MSN em comparação ao controle. Esses resultados sugerem que a aplicação do biofertilizante proveniente de rochas, quando enriquecido ou não com nitrogênio, e associado com rizóbio, seja ele Semia 6156 ou *Bradyrhizobium* (BR 3267), influencia o incremento da massa seca de nódulos.

Os teores de nitrogênio na folha (NF) obtiveram respostas significativas quando se utilizou, no solo, os tratamentos: solo condicionado com S, biofertilizado na dose 50 e 150, e solo condicionando com S+G, biofertilizado na dose 150. A presença de *Bradyrhizobium* contribuiu com melhores respostas ao incremento de N na folha. Esse comportamento se deve a associação simbiótica que ocorreu entre as bactérias fixadoras de nitrogênio que por meio do processo de FBN converteu o N<sub>2</sub> em nitrogênio assimilável para o feijão-caupi (VIEIRA, 2017).

Para altura da planta (Alt P) houve respostas significativas quando aplicado no solo dois tratamentos distintos: solo condicionado com S, biofertilizado na dose 50, e solo condicionado com S+G, biofertilizado na dose 150. A diferença de altura entre plantas de feijão-caupi foi observada com a presença de *Bradyrhizobium*. Dessa forma o crescimento vegetativo pode ser estimulado com o uso de bactérias promotoras de crescimento (BPC) (RODRIGUES et al. 2012) assim como as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e *Beijerinckia* (presente no biofertilizante). Essas bactérias, são microorganismos de vida livre, que quando presentes no solo, estimula o desenvolvimento das raízes, contribuindo para melhor absorção de água e nutrientes, além de atuarem no processo de FBN (GERICÓ, 2019; RODRIGUES et al. 2012).

Em relação diâmetro do caule, houve diferença significativa apenas quando aplicado, no solo, o tratamento referente ao solo condicionado com G, biofertilizado na dose 50, em que a melhor resposta ao tamanho do diâmetro do caule foi observada na ausência de *Bradyrhizobium*. Embora a inoculação com *Bradyrhizobium* não tenha influenciado no desenvolvimento do caule do feijão-caupi, o biofertilizante, por sua vez, por conter em sua composição consideráveis concentrações de nutrientes, foi suficiente para promover resposta significativa ao diâmetro do caule. Segundo Melém Junior et al. (2011) a aplicação de biofertilizantes nos solos, bem como adubos orgânicos, além de fornecerem nutrientes contribui para a incorporação de matéria orgânica no solo, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Não houve respostas significativas em relação ao comprimento da raiz (CR) entre os tratamentos aplicados no solo, corroborando com os dados da tabela 11. Esse comportamento indica que independente do tratamento aplicado no solo, não houve favorecimento ou redução do tamanho da raiz. Embora nenhum tratamento tenha contribuído para o aumento do tamanho

da raiz no feijão-caupi, a aplicação do biofertilizante, bem como a inoculação com *Bradyrhizobium* é relevante devido a influência em outras características importantes na cultura discutidas anteriormente.

**Tabela 13.** Parâmetros avaliados na planta: número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), nitrogênio na folha (NF), comprimento da raiz (CR), altura da planta (Alt P) e diâmetro do caule (DC). As médias dos tratamentos em negrito diferem entre si de acordo com o teste de Tukey,  $p < 0,05$ .

Tratamentos	NN		MSN		NF		CR		Alt P		DC	
			g		g Kg <sup>-1</sup>		-----cm-----				mm	
	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1	R0	R1
S B50	1,00	6,00	0,03	0,14	<b>5,32</b>	<b>8,15</b>	15,33	14,33	<b>54,50</b>	<b>68,00</b>	8,39	7,78
S B100	0,00	5,00	0,00	0,12	6,94	9,55	16,00	15,66	68,50	70,00	7,84	7,73
S B150	0,00	9,00	<b>0,00</b>	<b>0,32</b>	<b>10,38</b>	<b>13,31</b>	13,66	16,33	67,50	55,00	8,33	7,46
G B50	<b>2,00</b>	<b>21,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>	6,30	8,98	13,33	17,33	65,00	70,00	<b>9,07</b>	<b>7,03</b>
G B100	<b>1,00</b>	<b>25,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,26</b>	9,13	6,95	18,33	14,66	60,00	72,00	7,82	7,02
G B150	<b>1,00</b>	<b>31,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,24</b>	12,60	12,13	18,00	16,66	54,00	66,00	7,40	7,68
S+G B50	<b>1,00</b>	<b>28,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,24</b>	5,51	5,53	15,33	13,00	64,00	69,00	7,83	7,45
S+G B100	<b>2,00</b>	<b>29,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,27</b>	6,49	8,48	17,00	15,33	65,00	58,00	9,08	8,08
S+G B150	<b>0,00</b>	<b>15,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,14</b>	<b>11,63</b>	<b>15,20</b>	14,66	14,66	<b>60,66</b>	<b>90,00</b>	7,92	8,31

B50: biofertilizante na dose 50%, B100: biofertilizante na dose 100%; B150: biofertilizante na dose 150% S: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans*; G: gesso; S+G: enxofre + *Acidithiobacillus thiooxidans* + gesso; R0: sem *Bradyrhizobium*, R1: com *Bradyrhizobium*

## 5 CONCLUSÕES

Dentre os condicionantes avaliados no solo, o enxofre elementar quando associado com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*, foi o mais eficiente para a redução do pH do solo. Sua utilização seguida da aplicação da lâmina de lixiviação contribuiu para redução do teor de sódio trocável no solo. A aplicação do biofertilizante BNPK na dose 100 proporcionou ao solo incorporação dos nutrientes como K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, enquanto para Ca<sup>2+</sup>, seu incremento foi proporcionado na dose 150 do biofertilizante. A inoculação das sementes de feijão-caupi com *Bradyrhizobium* foi fundamental para o incremento no número de nódulos, importantes no processo de fixação biológica de nitrogênio, contribuindo para o acúmulo de nitrogênio na folha, quando associado a aplicação com o biofertilizante, e para crescimento vegetativo do feijão-caupi.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. S.; FONSÊCA, N. C.; SANTOS, R. V. dos; MEDEIROS, W. P.; Atributos químicos em solo salino-sódico e efeito do ácido sulfúrico no crescimento da *Prosopis juliflora*. **Revista de ciências agrárias**, v. 61, 2018. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2811>
- ANDRADE, M. M. M.; STAMFORD, N. P.; SOUSA, C. A.; SILVEIRA, A. C. G. A.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. E. R. S. Fertilização mineral e biofertilizante de rochas com Bradyrhizobium e fungos micorrízicos arbusculares em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 289-292, 2009. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v4i3a10>.
- ARAÚJO, A. P. B. de; COSTA, R. N. T.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R. Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado de Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.377-382, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400008>
- ARAÚJO, A. S. F. de; ROCHA, S. M. B.; MONTE, D. L. da C.; FIGUEIREDO, M. do V. B. Perspectivas para inoculação do feijão-fava (*Phaseolus lunatus*) no Nordeste brasileiro. Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo. **Fertbio**. V. 2, n.5, 2017
- ARAUJO, O. B. de. **Doses de enxofre e de nitrogênio em cobertura nos componentes de produção da canola**. 2018. p. 25. Trabalho de conclusão de curso (engenheiro agrônomo). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, 2018
- AZEVEDO, L. C. de; OLIVEIRA, A. C. de; MARTINS, I. C. S.; SILVA, V. L. da; RIBEIRO, C. de S. Salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista ciências exatas e da terra e ciências agrárias**, v. 13, n. 1, p.52-69, 2018. ISSN:1981-092X.
- BATISTA, R. L. A. **Fixação simbiótica de nitrogênio na cultura da soja**. 2021. p. 27. Trabalho de conclusão de curso (engenheiro agrônomo) - Universidade Federal da Paraíba, Areia PB, 2021.
- BORGES, P. R. S.; SABOYA, R. de C. C.; SABOYA, L. M. F.; SANTOS, E. R. dos; SOUZA, S. E. A. de. Distribuição de massa seca e rendimento de feijão-caupi inoculadas com rizóbio em Gurupi, TO. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 37-44, 2012. ISSN 1983-2125.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Degradação física dos solos devido as condições químicas sódicas. In:\_\_\_\_\_. (3ªed.) Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 2013 p.341, Disponível em: [integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837798/](http://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837798/)
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. (2ªed.) – Brasília, DF : Embrapa, 2020. p. 419;
- CAMICIA, R. G. M.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M.; CAMICIA, R. F. da M. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 206-214, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n323rc>
- CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. dos. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator**, v.19, 2020. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>

CAVALCANTE, A. C. P.; CAVALCANTE, A. G.; DINIZ NETO, M. A.; MATOS, B. F.; DINIZ, B. L. M. T.; BERTINO, A. M. P. Inoculação das cultivares locais de feijão-caupi com estirpes de rizóbio. **Revista de ciências agrárias**, v. 60, n. 1, p. 38-44, 2017.

<http://dx.doi.org/10.4322/rca.2170>

COLA, G. P. A; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012. ISSN 1981-8203.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 5, n. 9, 2018.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. (1995) **Como Isolar e Identificar Bactérias Diazotróficas de Plantas não-Leguminosas**. Embrapa-SPI, Itaguaí.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. Embrapa Solos, 1998

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed, revisada e ampliada. Brasília, DF, Embrapa Solos, 2018, p. 219-223.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa, 3.ed. rev. e ampl., 2017, p.573.

EMBRAPA-CPAMN, 1997. 26p. (EMBRAPA-CPAMN. Documentos, 22).

FERREIRA DF (2011) **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia. n. 35, v. 6, p. 1039-1042, 2011.

FISTAROL, P. H. B.; SANTOS, J. Y. G. Implicações das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Ondas, no estado da Bahia. **Revista Okara: Geografia em debate**, v. 14, n. 1, p. 81–103, 2020.

<https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.0vn0.51691>

FREIRE, F. J.; SANTOS, R. L. dos; LIMA, D. R. M. de; ALMEIDA, I. V. de. Fertilidade em solos tropicais. In: Fernandes, J. G.; Carvalho, E. X. de. **Solos: estudos, potencialidades e uso**. Recife PE, 2021. cap. 1, p. 16-41.

FREIRE, M. B. G. S.; PESSOA, L. G. M.; GHEYI, H. R. Métodos de análises químicas para solos salinos. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; FILHO, E. G. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza, 2016. cap. 10, p.123-145.

FREIRE, M. B. G. S.; SILVA, M. O.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; GÓES, G. B.; FERNANDES, M. B. Composição do lixiviado em quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas. **Anais...** In: XXXI Congresso brasileiro de ciência do solo, 2007.

FREITAS, A. D. S. de; FERNANDES JUNIOR, P. I. Fixação biológica de nitrogênio em agroecossistemas da região Semiárida do Nordeste. In: SOUZA, H. A. de; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. (Ed.). **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Parte 3, cap. 2, p. 375-408.

FREITAS, M. I. de. **Fertilizante microbiano solo salino-sódico condicionado por enxofre com *Acidithiobacillus* em interação com resíduo orgânico**. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2019.

GARCIA JUNIOR, O.; BIGHAM, J. M.; TUOVINEM, O. H. Oxidation of isochemical FeS<sub>2</sub> (marcasite-pyrite) by *Acidithiobacillus thiooxidans* and *Acidithiobacillus ferrooxidans*. **Minerals Engineering**, v.20, p. 98-101, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.05.005>

GERICÓ, T. G. **Efeitos da utilização de bactérias promotoras do crescimento de plantas no desenvolvimento e na produtividade do amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**. Dissertação (Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã SP, 2019

GONÇALVES, J. P. F. dos S. **Seleção de rizóbios para feijão-caupi resistentes à salinidade do solo oriundos do Brejo paraibano**. 2020. 43 f. TCC (Graduação em agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia PB, 2020

GUIMARÃES, S. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, A. C. P. de; CÂNDIDO, A. k. A. A.; SOUZA, W. P. de. Desenvolvimento inicial de feijão caupi inoculado com rizóbio em Latossolo de Cerrado. **Acta Iguazu**, v.8, n.3, p. 30-41, 2019. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v8i3.19571>

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina, Embrapa Soja, p. 79, 2007.

IBRAM, **Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira: Fosfato/Potássio/Fertilizantes**. 5a Edição, 2010.

IPA – **Instituto Agronômico de Pernambuco. Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. 3. ed., IPA, 2008, p. 212.

KANG, Y.-H.; LIU, S.-H.; WAN, S.-Q.; WANG, R.-S. Assessment of soil enzyme activities of saline-sodic soil under drip irrigation in the Songnen plain. **Paddy and Water Environment**, Heidelberg, v. 11, p. 87-95, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10333-011-0295-x>

KARIMIZARCHI, M.; AMINUDDIN, H.; YUSOP, M. K.; OTHMAN, R. Elemental sulphur application and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. **Malaysian Journal of Soil Science**, v.18, n. 1, p. 75-86, 2014.

LEITE, J.; FISCHER, D.; ROUWS, L. F. M.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; HOFMANN, A.; KUBLIK, S.; SCHLOTTER, M.; XAVIER, G. R.; RADL, V. Cowpea nodules harbor non-rhizobial bacterial communities that are shaped by soil type rather than plant genotype. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02064>

LIMA, F. S.; STAMFORD, N. P.; SOUSA, C. S.; LIRA JUNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M.; VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**. v. 26, p. 1769 – 1775, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0357-z>

LIMA, R. de S.; SOUZA JUNIOR, I. G. de; COSTA, A. C. S. da; SERANINI, G. V. Determinação do pH de latossolos vermelhos de textura contrastante em função da adição de ácido e base. In: Encontro internacional de produção científica. 2017, Maringá. **Anais... UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá**, 2017.

LUZ, A. B. LAPIDO-LOUREIRO F. E.; SAMPAIO J. A.; CASTILHO, Z. C. C.; BEZERRA, M. S. 2010. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: capítulo IV - **Agrominerais para o Brasil**, 1:61-83.

MARCELINO, R. M. O. da S.; ROCHA, J. L. A. Produção de um fertilizante à base de resíduo de mineração indicado para solos salino-sódicos. In: XVI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2019, Campina Grande PB. **Anais... Campina Grande**, 2019, volume III.

MARINHO, R. C. N.; FERREIRA, L. V. M.; SILVA, A. F.; MARTINS, L. M. V.; NÓBREGA, R. S. A.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian Semi-Arid. **Soil and Plant Nutrition**, v.76, p.273-281, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.003>

MARTINS, J.C.; GONÇALVES, M. da C. RAMOS, T. B. **A salinidade dos solos**: extensão, prevenção e recuperação. XXX: (Dossier técnico) Vida Rural, 2017. 2 p;

MARTINS, M. dos S. **Solos salino-sódicos condicionados com gesso e enxofre com *Acidithiobacillus thiooxidans***. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2021.

MELÉM JÚNIOR, N. J.; BRITO, O. R.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; FONSECA, I. C. B.; AGUIAR, S. X. Nutrição mineral e produção de feijão em áreas manejadas com e sem queima de resíduos orgânicos e diferentes tipos de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.1, p.7-18, 2011.

MELO, R. M.; BARROS, M. de F. C.; SANTOS P. M.; ROLIM, M. M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.376-380, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400007>

MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, 2005.

OLIVEIRA, F. L. N. de. **Biofertilizante de rochas mais matéria orgânica inoculada com bactéria diazotrófica na cana-de-açúcar**. Tese (doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, departamento de agronomia, Recife, 2012.

OLIVEIRA, F. L. N., STAMFORD, N. P., SIMOES NETO, D. E., OLIVEIRA, E. C. A., OLIVEIRA, W. J., SANTOS, C. E. R. S. Effects of biofertilizers produced from rocks and organic matter, enriched by diazotrophic bacteria inoculation on growth and yield of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**. v. 9, p. 504-511, 2015.

<https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.298019872719382>

OLIVEIRA, W. da S.; STAMFORD, N. P.; Silva, E. V. N. da; SANTOS, C. E. de R. e S.; FREITAS, A. D. S. de; ARNAUD, T. M. S.; SARMENTO, B. F. Biofertilizer produced by interactive microbial processes affects melon yield and nutrients availability in a Brazilian semiarid soil. **Australian Journal of Crop Science**, n. 8, v. 7, p.1124-1131, 2014.

<https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/INFORMIT.566843435251568>

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. DO N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **visão agrícola**. n.9. 2009. disponível em: [esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade04](http://esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade04).

REIS, I. M. S. Resposta do feijão-caupi à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*, adubação nitrogenada e nitrogênio do solo. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 298 – 308, 2018. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5167>

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2º ed. Fortaleza: INCTSal, cap. 2, p. 9-15. 2016.

ROCHA, H. G. da S.; CASTRO, H. de S.; FREITAS, J. R. B. Resposta de feijão-caupi à inoculação com estirpe de rizóbio. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**. v.4, n.2, 2019. <http://dx.doi.org/10.21575/25254790rmmma2019vol4n21103>

RODRIGUES, A. C.; ANTUNES, J. E. L.; MEDEIROS, V. V. de; BARROS, B. G. de F.; FIGUEIREDO, M. do V. B. Resposta da co-inoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas e *Bradyrhizobium* sp. em caupi. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 28, p. 196-202, 2012.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M. de; VENEGAS, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação.

**Pesquisa agropecuária brasileira**. v.39, n.11, p.1119-1126, 2004.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100010>

RUMJANEK, N. G. **Feijão-caupi tem uma nova estirpe de rizóbio, BR3267 recomendada como inoculante**. Seropédica-RJ: EMBRAPA Agrobiologia, 2006. 16p. (EMBRAPA Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento

- SÁ, F. V. D. S.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B. D.; PAIVA, E. P. D.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. D. S. Initial development of cowpea plants under salt stress and phosphate fertilization. **Revista Ambiente e Água**, v.12, n.3, p.405-415, 2017.  
<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2070>
- SEVERO, P. J. da S.; ROCHA, J. L. A.; SALTOS; L. C. dos; SILVA, I. A da; SILVA, A. F da. Períodos de incubação de enxofre elementar em atributos químicos de um solo salinizado. **Brazilian Journal of Development**. v. 5, n. 9, p. 15815-15827, 2019.  
<https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-151>
- SILVA, A. C.; VASCONCELOS, P. L. R. de.; MELO, L. D. F. de A.; SILVA, V. S. G. da.; MELO JÚNIOR, J. L. de A.; SANTANA, M. de B. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no Nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.16, p. 1-5, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v16i2.4380>
- SILVA, A. F. da; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 179-192, 2014. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p179>
- SILVA, C. J. C. da; SANTOS, R. L. dos; SILVA, J. L. F. da; PEREIRA, M. J.; ATAIDE, L. dos S. C.; SANTOS, M. B. da C. Uso do gesso agrícola na disponibilidade de nutrientes e desenvolvimento de sorgo(*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v.7, n.1, p. 44-51, 2021.  
<http://200.17.137.114/index.php/geama/article/view/3461/482484066>
- SILVA, E. M. da; SANTOS, M. M. dos; LOPES, M. B. S.; FIDELIS, R. R.; ROCHA, W. S.; CHAGAS JÚNIOR, A. F. Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v.9, n.2, p.67-77, 2019.  
<https://doi.org/10.21206/rbas.v9i2.6415>
- SILVA, E. M. da; SANTOS, M. M.; LOPES, M. B. S.; FIDELIS, R. R.; ROCHA, W. S.; ROCHA, W. S.; CHAGAS JÚNIOR; A. F. Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.9, n.2, p.67-77, 2019. <https://doi.org/10.21206/rbas.v9i2.6415>
- SILVA, M. de F. da; SANTOS, C. E. de R. e S.; SOUSA, C. A. de; ARAÚJO, R. de S. L.; STAMFORD, N. P.; FIGUEIREDO, M. do V. B. Nodulação e eficiência da fixação do N<sub>2</sub> em feijão-caupi por efeito da taxa do inóculo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36 n. 5, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500005>
- SOUSA, W. N. de; BRITO, N.F.; BARROS, I. B.; SOUSA, J. T. R. de; SIA, E. de F.; SOUZA, A.; MORASSUTI, C.; DEUS, W. Poluição do ambiente por metais pesados e utilizados de vegetais como Bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n.3, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.18571/acbm.189>
- SOUZA, F.G. de.; FARIAS, S. A. R.; FERREIRA FILHO, J. G.de A.; BRITO, K. Q. D. Comportamento dos teores de sais em perfil de solo com vegetação nativa e cultura irrigadas. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 11, n. 2, p. 60-65, 2016.  
<https://doi.org/10.18378/rvads.v11i2.4049>

STAMFORD, N. P. Rochas fosfatadas e potássicas com micro-organismos e matéria orgânica. In: III Congresso Brasileiro de Rochagem, 2016, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016

STAMFORD, N. P.; FELIX, F.; OLIVEIRA, W.; SILVA, E.; SANTOS, C.; ARNAUD, T.; FREITAS, A. D. Interactive effectiveness of microbial fertilizer enriched in N on lettuce growth and on characteristics of an Ultisol of the rainforest region. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 242-246, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.028>

STAMFORD, N. P.; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA JUNIOR, S. S.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. E. R. S.; LIRA JUNIOR, M. A. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **Scientia Horticulturae**, v.192, n.1, p.287-292, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.008>

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JUNIOR, M. A.; SANTOS, C. E. R. S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugar cane yield and their effects in soil chemical attributes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 2061-2066, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9710-xx>

STAMFORD, N. P.; MEDEIROS, R.; MESQUITA, J. C. P. Avaliação de estirpes de *Bradyrhizobium* para caupi em regime de temperatura elevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 45-54, 1995

STAMFORD, N. P.; SANTOS, P. R.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; DIAS, S. H. L.; LIRA JUNIOR, M. A. Agronomic effectiveness of biofertilizers with phosphate rock, sulfur and *Acidithiobacillus* in a Brazilian tableland acidic soil grown with yam bean. **Bioresource Technology**. v. 98, p.1311-1318, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.037>

STAMFORD, N. P.; SILVA JUNIOR, S. da; SANTOS, C. E. de R. e S.; FREITAS, A. D. S. de; LIRA JUNIOR, M. de A.; BARROS, M. de F. C. Cowpea nodulation, biomass yield and nutrient uptake, as affected by biofertilizers and rhizobia, in a sodic soil amended with *Acidithiobacillus*. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 35 n.4, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.16994>

STAMFORD, N. P.; FREITAS, A. D. S. de ; FERRAZ, D. S. ; SANTOS, C. E. de R. e S. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. **The Journal of Agricultural Science**, v. 139, p. 275-281, 2002. <https://doi.org/10.1017/S0021859602002599>

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; SANTOS, C. E. R. S.; DIAS, S. H. L. Rock Biofertilizers with *Acidithiobacillus* on Sugarcane Yield and Nutrient Uptake in a Brazilian Soil. **Geomicrobiology Journal**. v. 23, p. 261-265, 2006. <https://doi.org/10.1080/01490450600760658>

TANG, J.; XU, X.; LI, Z.; HAN, W. Carbon sequestration of paddy fields in Western Jilin of China during 1989–2004. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. v. 17, p. 103-109, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11027-011-9311-0>

TAVARES FILHO, A. N. **Níveis da necessidade de gesso sobre as características físico-químicas e na correção de solos salino-sódicos do perímetro irrigado de Ibimirim-PE.** Dissertação (Mestre em “Engenharia Agrícola “). 2010. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife PE, 2010.

TAZEH, E. S.; PAZIRA, E.; NEYSHABOURI, M. H.; ABBASI, F.; ABYANEH, H. Z. Effects of two organic amendments on EC, SAR and soluble ions concentration in a saline-sodic soil. **International Journal of Biosciences**, v. 3, n. 9, p. 55-68, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.9.55-68>

TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; CASEY, P.; MUSTER, T.; GILLA, H.; ADHIKARI, B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of Science and Food Agricultural**, v. 95, p. 1131-1142, 2014.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. Soil fertility and fertilizers. 5. ed. New York: Macmillan, 1993.

VASCONCELOS, R. R. A.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; CORDEIRO NETO, A. T.; BARROS, M. F. C. Qualidade da água drenada e desenvolvimento do feijão caupi em solos salino-sódicos após uso de gesso associado à lâmina de lixiviação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, p. 640 - 650, 2016.  
<https://doi.org/10.7127/rbai.v10n300390>

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas.** Brasília DF: Embrapa, 2017, p.165.

VINCENT, J. M. **Manual for the practical study of root nodule bactéria.** Oxford: Blackwell, p. 164, 1970.

VITTI, G. C.; HOLANDA, J. S.; CERQUEIRA LUZ, P. H.; HERNANDEZ, F. B. T.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertirrigação: condições e manejo. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 21. Petrolina: EMBRAPACPATSA/SBCS, 1995. p.195-271.