

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO  
VEGETAL**

**Maria Thereza Netta Lopes Silva**

**Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos  
alternativos para a redução do sódio**

**Montes Claros 2022**

**Maria Thereza Netta Lopes Silva**

**Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos  
alternativos para a redução do sódio**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

**Orientador:** Luiz Arnaldo  
Fernandes

**Coorientador:** Regynaldo Arruda  
Sampaio

Montes Claros  
Julho de 2022

Silva, Maria Thereza Netta Lopes.

S586p  
2022

Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos alternativos para a redução do sódio[manuscrito]/ Maria Thereza Netta Lopes Silva. Montes Claros, 2022.  
62 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes

Banca examinadora: Fabíola Mendes Braga, Claudineia Ferreira Nunes, Regynaldo Arruda Sampaio, Luiz Arnaldo Fernandes.

Inclui referências: f. 21-24; 58-62.

1. Lodo de esgoto -- Teses. 2. Gesso -- Teses. 3. Moringa oleífera -- Teses.  
4. Solos -- Fertilidade -- Teses. 5. Feijão comum -- Teses. I. Fernandes, Luiz Arnaldo.  
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.35: 631.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 29 dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e dois, às 08:00 horas, sob a Presidência do Professor Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Regynaldo Arruda Sampaio, D. Sc. (Coorientador - UFMG/ICA), Claudinéia Ferreira Nunes, D. Sc. (UFMG/ICA) e Fabíola Mendes Braga, D. Sc. (Instituto Federal Sudeste de MG), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de Defesa de Dissertação de **MARIA THEREZA NETTA LOPES SILVA**, aluna do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Após avaliação da defesa de Dissertação da referida aluna, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa de Dissertação intitulada: **”Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos alternativos para a redução do sódio”**, sendo a aluna considerada **aprovada**. E, para constar, eu, Professor Luiz Arnaldo Fernandes, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 68 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

**Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.**

Montes Claros, 29 de julho de 2022.

Luiz Arnaldo Fernandes

Orientador

Regynaldo Arruda Sampaio

Coorientador

Claudinéia Ferreira Nunes

Membro

Fabíola Mendes Braga

Membro



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Arnaldo Fernandes, Servidor(a)**, em 29/07/2022, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Regynaldo Arruda Sampaio, Professor do Magistério Superior**, em 29/07/2022, às 11:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Fabíola Mendes Braga, Usuária Externa**, em 29/07/2022, às 12:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Claudineia Ferreira Nunes, Coordenador(a) de curso**, em 29/07/2022, às 12:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1641500** e o código CRC **678B5527**.

---

## **AGRADECIMENTOS**

À minha querida e amada mãe, Gislene Lopes, pelo apoio, carinho e paciência comigo.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Arruda Sampaio, por toda orientação, dedicação e ensino transmitidos durante a minha formação no mestrado. Agradeço profundamente as palavras, apoio inicial e por ser tão compreensivo.

Ao Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes, pela orientação, troca de informações, valiosas considerações sobre o trabalho e por toda prestatividade.

Ao técnico Márcio Neves Rodrigues, pela troca de conhecimento e por toda ajuda concedida durante o trabalho.

À Adelane Gonçalves Souza, por toda ajuda na montagem e avaliações do trabalho.

À todos os profissionais do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, pela prestatividade em todos os momentos que precisei.

Aos professores da pós-graduação, pelo conhecimento transmitido.

À UFMG pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo.

À Deus, pois sem ele de nada eu teria feito.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

## PRODUÇÃO DE FEIJOEIRO EM SOLO TRATADO COM CORRETIVOS ALTERNATIVOS PARA A REDUÇÃO DO SÓDIO

### RESUMO

O alto teor de sódio no solo provoca dispersão de argilas, toxidez às plantas e redução da produtividade agrícola, tornando necessário o uso de corretivos para a sua recuperação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) em solo com caráter solódico tratado com corretivos alternativos. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no ICA/UFMG, utilizando-se amostras 0-20 cm de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico solódico. Foram utilizados tubos de PVC de 20 cm de diâmetro preenchidos com 20 cm de altura de solo peneirado a 4 mm. Os tratamentos distribuídos no delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, consistiram da testemunha e da aplicação do extrato de 86,58 g de sementes de Moringa oleífera (ME) por kg de solo e cinco proporções de Ca vindo do lodo de esgoto (LE) e, ou, gesso (G): 100% LE; 80% LE + 20% G; 60% LE + 40% G; 40% LE + 60% G; 20% LE + 80% G e 100% G. A quantidade de água destilada ou com extrato de moringa aplicada foi de três vezes o volume de poros do solo. Após 30 dias, foram feitas as análises físicas e químicas do solo, e semeado o feijão BRS Madrepérola, realizando-se, posteriormente, análises químicas do solo, análise foliar e de produtividade. O EM reduziu a percentagem de sódio trocável (PST), para valores considerados normais, melhorando a flocculação de argilas e a fertilidade do solo e, conseqüentemente, proporcionou maior produção de grãos em relação aos demais tratamentos. Embora menos eficiente, a aplicação da mistura de pelo menos 78% de Ca vindo do gesso mais 22% do Ca vindo do LE também reduziu a PST a valores abaixo de 6%, proporcionando aumento na flocculação de argila e fertilidade do solo. Portanto, a utilização do EM, LE e gesso promoveram a redução dos teores de sódio no solo, tornando-o mais produtivo.

**Palavras-chave:** Biossólido, Gesso, Moringa oleífera Lam.

# BEAN PRODUCTION IN SOIL TREATED WITH ALTERNATIVE CORRECTIVES FOR SODIUM REDUCTION

## ABSTRACT

The high sodium content in the soil causes dispersion of clays, toxicity to plants and reduced agricultural productivity, making it necessary to use correctives for its recovery. The objective of this work was to evaluate the production of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in soil with soil character treated with alternative correctives. The work was carried out in a greenhouse at ICA/UFMG, using 0-20 cm samples of a Haplic Ta Eutrophic Solodic Cambisol. PVC tubes of 20 cm in diameter were used, filled with 20 cm in height of 4 mm sieved soil. The treatments, distributed in a randomized block design with 4 replications, consisted of the control and application of the extract of 86.58 g of *Moringa oleifera* (ME) seeds per kg of soil and five proportions of Ca from sewage sludge (SS) and or gypsum (G): 100% SS; 80% SS + 20% G; 60% SS + 40% G; 40% SS + 60% G; 20% SS + 80% G and 100% G. The amount of distilled water, or with moringa extract applied, was three times the pore volume of the soil. After 30 days, physical and chemical analyzes of the soil were carried out, and the BRS Madrepérola bean was sown, followed by chemical analyzes of the soil, foliar analysis and productivity. The ME reduced the percentage of exchangeable sodium (PES) to values considered normal, improving clay flocculation and soil fertility and, consequently, provided higher grain yield in relation to the more treatments. Although less efficient, the application of the mixture of at least 78% Ca from the gypsum plus 22% of Ca from SS also reduced the PES to values below 6%, providing an increase in clay flocculation and soil fertility. Therefore, the use of MS, SS and gypsum promoted the reduction of sodium content in the soil, making it more productive.

**Keywords:** Biosolid, Gypsum, *Moringa oleifera* Lam.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados meteorológicos durante a realização do experimento, janeiro a junho de 2021.....	30
Tabela 2 - Caracterização química e física do solo utilizado no experimento.....	32
Tabela 3 - Atributos do solo em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções de gesso e lodo de esgoto, após 30 dias de incubação.....	35
Tabela 4 - Atributos do solo em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções de gesso e lodo de esgoto, após o cultivo do feijoeiro comum.....	42
Tabela 5 - Conteúdo de nutrientes e sódio na parte aérea do feijoeiro comum em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções de gesso e lodo de esgoto.....	47
Tabela 6 - Massa seca da parte aérea (PA) e de grãos (PG) do feijoeiro comum em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções e lodo de esgoto e gesso.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C1	Controle - solo sem aplicação de gesso, lodo de esgoto e extrato de moringa
C2	Controle - solo com aplicação de extrato de moringa
CE	Condutividade elétrica
CTC	Capacidade de troca catiônica
EM	Extrato de sementes de moringa
ETE	Estação de tratamento de esgoto
GF	Grau de floculação das argilas
LE	Lodo de esgoto
MO	Matéria Orgânica
PA	Massa seca da parte aérea
Pca	Percengem de Ca do gesso em relação ao Ca total aplicado
PG	Produção de grãos de feijão
PST	Porcentagem de sódio trocável
SB	Saturação de bases
V%	Porcentagem de saturação de bases

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
3.1 Áreas Degradadas .....	15
3.2 Solos com problemas de sódio .....	16
3.3 Gesso agrícola .....	17
3.4 Lodo de Esgoto .....	18
3.5 Moringa oleífera .....	19
3.6 Cultivo do Feijoeiro em Solos com Problemas de Sódio .....	19
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	21
<b>5. ARTIGO. Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos alternativos para a redução do sódio</b> .....	25
5.1 Resumo .....	26
5.2 Introdução .....	28
5.3 Material e métodos.....	29
5.3.1 Local do Experimento e Construção das Parcelas Experimentais .....	29
5.3.2 Análises do solo e da planta .....	33
5.3.3 Delineamento Experimental .....	33
5.4 Resultados .....	33
5.4.1 Atributos do solo após a adição dos tratamentos e incubação.....	33
5.4.2 Atributos do solo após o cultivo de feijoeiro comum.....	41
5.4.3 Conteúdo de nutrientes e sódio na parte aérea do feijoeiro comum .....	46
5.4.4 Produção de massa seca aérea e de grãos do feijoeiro comum.....	49
5.5 Discussão.....	50
5.5.1 Comparação entre o extrato de sementes de moringa e a testemunha, em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum .....	50
5.5.2 Comparação entre o extrato de sementes de moringa e as diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum .....	51
5.5.3 Comparação entre as diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, e a testemunha, em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum .....	53
5.5.4 Comparação entre as diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum .....	55
5.6 Conclusões .....	57
5.7 Referências .....	58
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos são os principais fornecedores de nutrientes para as plantas, sendo que, quando muito utilizados para a produção agrícola, há necessidade de reposição dos nutrientes por compostos, esterco, resíduos orgânicos e fertilizantes, em conjunto com as boas práticas de manejo que objetivam a conservação da capacidade produtiva dos solos. Entretanto, o solo é um recurso natural não renovável, de forma que, com o aumento da produção e exploração inadequada da terra, e com a ação do clima, sem o desenvolvimento de soluções para a recuperação, como o estudo e uso sustentável dos solos, podem ocasionar a sua desertificação e improdutividade, sendo, os problemas de salinidade e de sodicidade dos solos recorrentes em regiões áridas (TAVARES FILHO *et al.*, 2012; VELOSO *et al.*, 2010).

O uso sustentável de recursos naturais é um dos fatores primordiais para minimização dos impactos ambientais, principalmente quando está voltada para a agricultura. Na produção agrícola o manejo do solo se torna importante para propiciar o adequado desenvolvimento da planta. Para a correção do teor de sódio no solo é comum o uso de gesso agrícola, pois, no processo químico é capaz de deslocar este elemento do complexo de troca e lixiviá-lo para camadas mais profundas. Quando combinado com material orgânico, como exemplo podemos citar o lodo de esgoto, os efeitos do gesso são mais positivos, uma vez que beneficia também as propriedades físicas do solo (VASCONCELOS *et al.*, 2016).

No processo de saneamento, o lodo de esgoto ou biossólido surge como um subproduto muito estudado para uso como composto orgânico na agricultura. Rico em matéria orgânica, o lodo pode atuar nas propriedades físicas do solo, auxiliando na sua reestruturação, tendo-se assim uma ótima finalidade, além de contribuir para a minimização dos resíduos orgânicos (GUIMARÃES, 2018; MESQUITA, 2017).

Outra solução sustentável para a recuperação de solos, com ênfase para os solos sódicos, é a utilização das sementes de moringa, trituradas em água, as quais possuem proteínas com poder de floculação (ANDRADE, 2016). Em um solo sódico estas proteínas podem deslocar o sódio do complexo de troca e flocular as argilas e os siltes (PATERNIANI *et al.*, 2009), promovendo a lixiviação deste elemento para as partes mais baixas do solo e para o sistema de drenagem. Havendo o deslocamento eficiente do sódio do complexo de troca catiônica e a sua lixiviação dos solos, será possível aprofundar a compreensão sobre como as proteínas presentes nas sementes de moringa podem atuar na recuperação dos solos sódicos e se podem caracterizar uma solução sustentável e viável.

A busca por soluções tecnológicas sustentáveis e economicamente viáveis se torna cada vez maior no meio científico, de forma que este estudo objetivou propor possíveis soluções para áreas com elevados teores de sódio trocável, para que possam ser incorporadas ao sistema produtivo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a produção do feijoeiro comum (BRS Madre pérola) em solo solódico tratado com extrato de sementes de moringa e por diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, para a redução do teor de sódio.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar os atributos físicos do solo tratado com extrato de sementes de moringa e com diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, para a redução do teor de sódio trocável.

Avaliar os atributos químicos do solo tratado com extrato de sementes de moringa e com diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, para a redução do teor de sódio

trocável.

Avaliar as características nutricionais e produtivas do feijoeiro após o cultivo em solo tratado com extrato de sementes de moringa e com diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, para a redução do teor de sódio trocável.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Áreas Degradadas**

As áreas degradadas originam-se da exploração exacerbada da terra, havendo a eliminação da vegetação e redução das propriedades qualitativas do solo, com perda de sua capacidade de regeneração biótica (KOHLRAUSCH; JUNG, 2015). Segundo o relatório intitulado *Status of the World's Soil Resources* (FAO, 2015) 30% dos solos do mundo estão sob algum grau de degradação e que atividades de produção e extrativismo ocupam a maior porcentagem de áreas degradadas.

Em regiões muito áridas, questões naturais como de clima podem influenciar na degradação do solo, mas são acentuadas com ações antrópicas. Modificações causadas pelo homem são as que mais afetam nas características da área (FERREIRA, 2016). Na produção agrícola, estas ações se dão basicamente dado ao manejo inadequado e falta de práticas de conservação do solo, o que acarreta em erosão, compactação e perda da matéria orgânica (FAO, 2015) e elevada concentração de sais, chegando a improdutividade e desertificação do solo (VELOSO, *et al.*, 2010).

Falta de orientação e fiscalização do uso e ocupação da área, além de causar um grande problema ambiental, também causam problemas sociais. A perda de áreas produtivas traz um dano econômico, principalmente para pequenos produtores e comunidades de baixa renda (FERREIRA, 2016).

Deve-se promover um conjunto de fatores para a reabilitação das áreas degradadas, principalmente aquelas que apresentam elevados teores de sódio no solo,

como ações de caráter conservacionista que envolvam indivíduos, instituições privadas e governos. Desta, caso as ações não sejam brevemente realizadas, podem ocorrer danos irreversíveis aos solos, com baixas perspectivas para o bem-estar humano e ambiental (FAO, 2015).

### **3.2 Solos com problemas de sódio**

De acordo com estudo feito pela FAO (2005), no mundo milhões de hectares de áreas encontram-se afetados por problemas de sodicidade no solo. Climas com alta evaporação e baixa pluviosidade propiciam a ocorrência de solos sódicos, normalmente encontrados em regiões semiáridas e áridas, principalmente onde a água de irrigação de boa qualidade é escassa (MAU; PORPORATO, 2016). São fatores que em conjunto com o manejo inadequado do solo e da água, má drenagem e elevação do lençol freático acentuam o teor de sódio.

A sodicidade se dá quando há presença de sódio em excesso na camada do solo, apresentando pH acima de 8,5 e baixa condutividade elétrica. Outros sais, como cálcio e magnésio no solo, se encontram em proporções menores em relação ao sódio (ZHANG, 2018). Zhang (2018) também afirma que solos afetados por sódio são de difícil recuperação, pois, possuem baixa permeabilidade e pobre estrutura.

É normal que nenhuma vegetação seja encontrada em áreas como esta, pois espécies vegetais não suportam tais condições para se desenvolverem, com exceção das espécies vegetais mais tolerantes (GARCÍA; SIEBE, 2019). O sódio afeta as propriedades químicas e físicas do solo, promovendo a dispersão dos colóides, baixa permeabilidade e aeração, e também diminuindo a disponibilidade de nutrientes e provocando toxidez às plantas, afetando o seu crescimento (PEREIRA, 1985).

Há estudos que apontam resultados positivos na recuperação destes solos. Zhang *et al.* (2013) utilizaram irrigação por gotejamento e bancos de areia abaixo dos emissores, o que facilitou a infiltração da água no solo. Mais recentemente, Sahin *et al.*

(2020) utilizaram lodo de esgoto em combinação com gesso e água residuária onde observaram eficiência no processo de lixiviação dos sais.

Os trabalhos que envolvem a recuperação de solos sódicos são estudados a bastante tempo, sendo o gesso o corretivo de sodicidade mais empregado na recuperação desses solos (PEREIRA *et al.*, 1985). Contudo, o gesso contém somente o cálcio como base trocável, podendo ocorrer desbalanço nutricional no solo e indução de deficiência de nutrientes como o magnésio e potássio para as plantas. Assim, torna-se fundamenta estudos que envolvam a recuperação destes solos utilizando corretivos com maior diversidade de nutrientes.

### **3.3 Gesso agrícola**

O gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é um sulfato de cálcio di-hidratado de origem natural, obtido da rocha denominada gipsita. Todavia, pode ser também de origem artificial, como subproduto da produção industrial de fertilizantes fosfatados. O gesso possui coloração branca e atua como corretivo de solos sódicos e condicionador de solos ácidos, além de ser fonte de cálcio e enxofre, favorecendo o aumento da relação de cálcio/magnésio dos solos (PEREIRA, 1985). Nos solos ácidos, ele atua nas camadas mais profundas do solo (20-40 cm) e tem o poder de neutralizar o alumínio tóxico e proporcionar melhores condições físicas do solo, permitindo maior aprofundamento das raízes e maior oportunidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas (VITTI, 2009).

O gesso é o principal corretivo utilizado para a recuperação de solos afetados pelo excesso de sódio, por ser mais prático e rentável para os agricultores em relação a outros corretivos químicos. A quantidade de corretivo é calculada de acordo com a necessidade de gesso (NG), a qual se baseia na quantidade cálcio necessária do corretivo para reduzir a percentagem de sódio trocável do solo até um determinado valor (OLIVEIRA *etal.*, 2002; RUIZ *et al.*, 2004).

Vários estudos apontam novos conhecimentos e técnicas para a produção de

plantas cultivadas em solos com excesso de sódio com o uso de gesso agrícola. Estes trabalhos mostram a eficiência do corretivo e a importância de novos estudos com associação ao gesso agrícola (LEITE *et al.*, 2007; LEITE *et al.*, 2010; TAVARES FILHO *et al.*, 2012; AMARAL *et al.*, 2017).

### **3.4 Lodo de Esgoto**

A população mundial tem aumentado rapidamente e com isso surge a necessidade urgente de ampliação da urbanização e do saneamento ambiental. Durante o processo de saneamento o lodo de esgoto surge como um subproduto e é submetido a tratamentos, antes de sua disposição final, com o intuito de diminuir sua carga de poluentes e patógenos (GUIMARÃES, 2018).

O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes, como o nitrogênio, o fósforo, o zinco, o cobre, o ferro, o manganês e o molibdênio, sendo que o seu uso agrícola fertiliza e melhora as condições físicas dos solos (SOUSA, 2015). Visto que o lodo de esgoto apresenta-se como um importante insumo, ele tem sido muito estudado como uma alternativa viável, principalmente na agricultura, como fonte de carbono e nutrientes (BETTIOL *et al.*, 2006).

Nesse contexto, prevalecem os estudos que envolvem o desenvolvimento agrônomo de plantas como, arroz (LATARE *et al.*, 2014), cana-de-açúcar (FRANCO *et al.*, 2010), girassol (FREITAS, *et al.*, 2012), dentre outras culturas, em diversos estudos utilizando o lodo como fonte de adubo (LOPES, 2020) e recuperação de áreas degradadas (MOREIRA, 2019). Porém, nem sempre os nutrientes se encontram de maneira equilibrada e em formas disponíveis para as plantas. Neste sentido, para obter benefícios agrônômicos, estudos são realizados a fim de conhecer melhor a dinâmica dos nutrientes no solo após a aplicação do lodo de esgoto (BETTIOL *et al.*, 2006).

### **3.5 *Moringa oleífera***

*Moringa oleífera* Lam ou apenas moringa, como é conhecida popularmente, da família da *Moringaceae*, é uma espécie perene e arbórea, de porte de até 12 metros de altura, que possui frutos em vagem onde estão alocadas suas sementes (RODRIGUES, 2016). De origem do norte da Índia se espalhando por toda a Ásia, África, Oriente Médio e América do Sul, é uma árvore bastante comum no Brasil, sendo adaptada a altas temperaturas e precipitação anual de 200 a 300 mm, típicas de regiões áridas e semiáridas (CÂMARA, 2019).

Muito empregada como planta medicinal e ornamental, é bastante utilizada nos setores alimentícios para humanos, em razão da sua riqueza em vitaminas A e C, e para animais em forma de forragem, por conter alto valor proteico (27% de proteína) (RANGEL, 2020). Vários estudos apontam grande potencial do uso do extrato das sementes de moringa para o clareamento e descontaminação de águas superficiais e residuais, podendo-se citar como exemplo os estudos feitos por Paterniani *et al.* (2009) e Paula *et al.* (2016), que mostraram diminuição da turbidez e cor da água, além da remoção de sólidos suspensos.

Além do alto poder de floculação que o extrato da semente apresenta em contato com a água, as sementes, por serem oleaginosas, possuem potencial na extração de óleos, utilizados na produção de biocombustível (ANDRADE, 2016). A moringa é uma espécie vegetal que possui múltiplas utilidades, com grande potencial, sendo muito estudada nos últimos anos.

### **3.6 Cultivo do Feijoeiro em Solos com Problemas de Sódio**

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) pertence à família Fabaceae e é de origem das Américas. Ocupa posição de destaque no cenário agrícola nacional com 4 milhões de hectares e produção de 3,5 milhões de toneladas (CONAB, 2010). É uma cultura tradicional, base no prato dos brasileiros em complemento ao arroz. Proporciona

nutrientes como proteínas, ferro, cálcio, zinco e vitaminas, além de ser de importância econômica e social (MESQUITA, 2007).

Na produção do feijão, um dos desafios é o manejo de adubação, pois é uma planta exigente em nutrientes, mesmo com raiz central pivotante, possui sistema radicular superficial. O alto teor de sódio nos solos muda as propriedades estruturais do solo, o que prejudica a formação das raízes e, conseqüentemente, o desenvolvimento da planta. Além disso, afeta significativamente a produção do feijão, pois, além de causar problemas de toxidez quando se acumulam nos tecidos vegetais, atrapalha na absorção e transporte de outros nutrientes (BARROS *et al.*, 2009).

Alta concentração de sódio é acompanhada pelo decréscimo de cálcio no complexo de troca catiônica (BARROS *et al.*, 2009), indisponibilizando também o magnésio e potássio, causando desequilíbrio nutricional às plantas e também afetando a quantidade e qualidade das sementes do feijão (ZUCARELI, 2011).

Pesquisas para a obtenção de novas tecnologias, como: cultivares adaptadas a diferentes regiões, adubação e calagem, manejo integrado de pragas e doenças, dentre outras, apontam avanço no setor produtivo do feijão (BARBOSA *et al.*, 2010), porém, sem muitos estudos com tecnologias alternativas sobre o gênero *P. vulgaris* em relação ao manejo em solos sódicos. Todavia, estudos de Lima (2008), Nunes, (2008), Barros (2009) e Fontenele(2013) apontam para a utilização de gesso agrícola em solos sódicos para cultivo do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.).

Diagnósticos apontam que há necessidade de avanços tecnológicos que assegurem uma produção agrícola sustentável e competitiva do *P. vulgaris* em áreas afetadas por sódio, condição recorrente nas regiões semiáridas do Brasil, que abrangem o lado econômico e social (BARBOSA *et al.*, 2010).

#### 4. REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. A.; ASCARI, J. P.; DUARTE, W. M.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Revista Agrarian**, v.10, n.35, p. 31-41, 2017.
- ANDRADE, L. C. T.; FRANÇA, F. R. M.; RAMOS, A. L. D.; SILVA, G. F. Avaliação da estabilidade do biodiesel produzido a partir da *Moringa oleifera* lam. **Scientia Plena**, v.12, n. 5, 2016.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo 2006.
- BARBOSA, F. R. et al. **Validação do Sistema de Produção Integrada do Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris* L.) na Região Central Brasileira**. EMBRAPA, Santo Antônio de Goiás, GO Dezembro, 2010
- BARROS, M. F. C.; BEBE, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.9, n. 1, 2009.
- CÂMARA, G. B.; OLIVEIRA, T. K. R.; MACEDO, C. S.; LEITE, D. D. F.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; VASCONCELOS, S. H.; SOARES, T. C.; BARBOSA, M. L.; TRIGUEIRO, L. S. L. Caracterização físico-química, toxicológica e nutricional das folhas da *Moringaoleifera* Lam secas e in natura. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 11, 2019
- CONAB (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento**. Junho 2010. Disponível em: Acesso em: 15 nov. 2020.
- FAO, Food and Agriculture Organization **Status of the World's Soil Resources** FAO/ONU, 2015. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>>. Acesso em: 20/10/2021.
- FAO, 2005. **Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils**. FAO Land and Plant Nutrition Management Service, Rome, 2005. Disponível em: <<http://www.fao.org/land-water/en/>>.
- FERREIRA, E.M.; ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S.; LOBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 15, n.1, p.228-246, 2016.
- FONTENELE, A. J. P. B. **Desenvolvimento do feijoeiro caupi inoculado com rizóbio cultivado em solos salino-sódicos corrigidos com gesso**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2013.
- FRANCO, A.; ABREU JUNIOR, C. H.; PERECIN, D.; OLIVEIRA, F. C.; GRANJA, A. C. R.; BRAGA, V. S. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 553-561, 2010.
- FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R.; MOTA, F. S. B.; AQUINO, B. F. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de

água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1031-1039, 2012.

GARCÍA, C. E.; SIEBE, C. Rehabilitation of a highly saline-sodic soil using a rubble barrier and organic amendments. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p.176-188, 2019.

GUIMARÃES, J. C. S.; CORDEIRO, J.; VITORINO, D. C. F. Utilização do lodo de esgoto na agricultura: uma análise cienciométrica. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 9, p. 01-31, 2018.

KOHLRAUSCH, F.; JUNG, C. F. Áreas ambientais degradadas: causas e recuperação **IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, ISSN 1984-9354, 2015.

LATARE, A. M.; KUMAR, O.; SINGH, S. K.; GUPTA, A. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice–wheat system. **Ecological Engineering**, v. 69, p. 17-24, 2014.

LEITE, E. M.; DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F. GHEYI, H. R.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010.

LEITE, E. M.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, A. A.; SANTOS, R. V. D; ALVES, G.; CAVALCANTE, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, v. 12, n. 2, p. 168-176, 2007.

LIMA, F. S.; BARROS, M. F. C.; FERRAZ, F. B.; SILVA JUNIOR, S.; OLIVEIRA, L. B. Absorção de nutrientes e sódio pelo caupi em solos salino-sódicos corrigidos com gesso. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.95-101, 2008.

LOPES, P. A. P.; PEGORARO, R. F.; KONDO, M. K.; SANTOS, S. R.; FERNANDES, L. A. Grain yield and microbiological quality of cowpea plants grown under residual effect of sewage sludge fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 21 – 30, 2020.

MAU, Y.; PORPORATO, A. Optimal control solutions to sodic soil reclamation. **Advances in Water Resources**, v. 91, p. 37-45, 2016.

MESQUITA, A. G. R.; VON RANDOW, J. R.; OLIVEIRA, R. L.; GONÇALVES, M. V. V. A. Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura. **Perspectivas Online: exatas & engenharias**, v. 17 n. 7, p. 80-87, 2017.

MESQUITA, F. R.; CORREA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência agrotec**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MOREIRA, S. F.; SANTOS, S. D. O.; SARDINHA, A. S.; PEREIRA JUNIOR, A. O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n.3, p.1564-1585, 2019.

NUNES, E. M. **Efeito do gesso, fósforo e adubo verde na absorção de nutrientes pelo feijoeiro (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) cultivado em solo salino-sódico**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande. Patos-PB, 2008

PAULA, H. M.; ILHA, M. S. O. Uso de *Moringa oleifera* no tratamento de águas

redisuárias de usinas de concreto: Mapeamento Sistemático. **Revista eletrônica de Engenharia Civil**, v. 11, n. 1, p. 50-60, 2016.

PATERNIANI, J.E.S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, n.6, p.765-771, 2009.

PEREIRA, J. R.; VALDIVIESO, C. R.; CORDEIRO, G. G. **Recuperação De Solos Afetados Por Sodio Através Do Uso De Gesso**. Solos Salinos e Sódicos, pag 131. Apresentado no Seminário sobre uso do fosfogesso na agricultura. Brasília, 11 a 12 de junho de 1985.

RANGEL, M. S. **Moringaoleifera. Um purificador natural de água e complemento alimentar para o Nordeste do Brasil**. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso 10 agosto 2020.

RODRIGUES, A. L.; MUNIZ, T. A.; SAMARAO, S. S.; CYRINO, A. E. Qualidade de mudas de *Moringa oleifera* Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. **Revista Ceres**, v.63, n. 4, p. 545-552, 2016.

SAHIN, U.; KIZILOGLU, F. M.; ABDALLH, A. H. M.; DAN BADAOU, A. N. A.; SABTOW, H. A.; CANBOLAT, M. Y. Use of a stabilized sewage sludge in combination with gypsum to improve saline-sodic soil properties leached by recycled wastewater under freeze-thaw conditions. **Journal of Environmental Management**, v. 274, 111171, 2020.

SOUSA, A. A. T. C.; PIRES, C. S. S.; FIGUEIREDO, C. C.; SUJI, E. R.; SOUZA, L. M. et al. Biochar de lodo de esgoto: efeitos no desenvolvimento agrônômico do rabanete. **Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia** – Belém/PA – v. 10, n. 3, 28.09 a 01.10.2015.

TAVARES FILHO, A. N.; BARROS, M. F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F.F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.247–252, 2012.

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, n.3, p. 640 - 650, 2016.

VELOSO, M. E. C.; ARAÚJO, E. C. E.; SILVA, P. H. S. **Recuperação de áreas degradadas em Gilbués, PI**. EMBRAPA, tiragem: 500 exemplares. Teresina, PI – Outubro de 2010.

VITTI, G. C.; PRIORI J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Revista Visão Agrícola**, n. 9, p. 30-34, 2009.

ZHANG, T.; ZHAN, X.; HE, J.; FENG, H.; KANG, Y. Salt characteristics and soluble cations redistribution in an impermeable calcareous saline-sodic soil reclaimed with an improved drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 197, p. 91-99, 2018.

ZHANG, T.; KANG, Y.; WAN, S. Shallow sand-filled niches beneath drip emitters made reclamation of an impermeable saline-sodic soil possible while cropping with *Lycium barbarum* L. **Agricultural Water Manage**, v. 119, p. 54–64, 2013.

ZUCARELI, C.; PRANDO, A. M.; RAMOS JUNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p. 32-38, 2011.

## **5. ARTIGO. Produção de feijoeiro em solo tratado com corretivos alternativos para a redução do sódio**

Este Artigo foi elaborado conforme as normas da revista Scientia Agricola.

## 5.1 Resumo

O alto teor de sódio no solo provoca dispersão de argilas, toxidez às plantas e redução da produtividade agrícola, tornando necessário o uso de corretivos para a sua recuperação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) em solo com caráter solódico tratado com corretivos alternativos. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no ICA/UFMG, utilizando-se amostras 0-20 cm de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico solódico. Foram utilizados tubos de PVC de 20 cm de diâmetro preenchidos com 20 cm de altura de solo peneirado a 4 mm. Os tratamentos distribuídos no delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, consistiram da testemunha e da aplicação do extrato de 86,58 g de sementes de *Moringa oleifera* (EM) por kg de solo e cinco proporções de Ca vindo do lodo de esgoto (LE) e, ou, gesso (G): 100% LE; 80% LE + 20% G; 60% LE + 40% G; 40% LE + 60% G; 20% LE + 80% G e 100% G. A quantidade de água destilada, ou com extrato de moringa aplicada foi de três vezes o volume de poros do solo. Após 30 dias foram feitas as análises físicas e químicas do solo, e semeado o feijão BRS Madrepérola, realizando-se posteriormente análises químicas do solo, análise foliar e de produtividade. O EM reduziu a percentagem de sódio trocável (PST), para valores considerados normais, melhorando a floculação de argilas e a fertilidade do solo e, conseqüentemente, proporcionou maior produção de grãos em relação aos demais tratamentos. Embora menos eficiente, a aplicação da mistura de pelo menos 78% de Ca vindo do gesso mais 22% do Ca vindo do LE também reduziu a PST a valores abaixo de 6%, proporcionando aumento na floculação de argila e fertilidade do solo. Portanto, a utilização do EM, LE e gesso promoveram a redução dos teores de sódio no solo, tornando-o mais produtivo.

**Palavras-chaves:** Biossólido, Gesso, *Moringa oleifera* Lam.

## ABSTRACT

The high sodium content in the soil causes dispersion of clays, toxicity to plants and reduced agricultural productivity, making it necessary to use correctives for its recovery. The objective of this work was to evaluate the production of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in soil with soil character treated with alternative correctives. The work was carried out in a greenhouse at ICA/UFMG, using 0-20 cm samples of a Haplic Ta Eutrophic Solodic Cambisol. PVC tubes of 20 cm in diameter were used, filled with 20 cm in height of 4 mm sieved soil. The treatments, distributed in a randomized block design with 4 replications, consisted of the control and application of the extract of 86.58 g of *Moringa oleifera* (MS) seeds per kg of soil and five proportions of Ca from sewage sludge (SS) and or gypsum (G): 100% SS; 80% SS + 20% G; 60% SS + 40% G; 40% SS + 60% G; 20% SS + 80% G and 100% G. The amount of distilled water, or with moringa extract applied, was three times the pore volume of the soil. After 30 days, physical and chemical analyzes of the soil were carried out, and the BRS Madrepérola bean was sown, followed by chemical analyzes of the soil, foliar analysis and productivity. The MS reduced the percentage of exchangeable sodium (PES) to values considered normal, improving clay flocculation and soil fertility and, consequently, provided higher grain yield in relation to the other treatments. Although less efficient, the application of the mixture of at least 78% Ca from the gypsum plus 22% of Ca from SS also reduced the PES to values below 6%, providing an increase in clay flocculation and soil fertility. Therefore, the use of MS, SS and gypsum promoted the reduction of sodium content in the soil, making it more productive.

**Keywords:** Biosolid, Gypsum, *Moringa oleifera* Lam.

## 5.2 Introdução

O solo é constituído por microrganismos, matéria orgânica e minerais advindos do material geológico que lhe deu origem, sendo um recurso natural muito importante para o sistema de produção, além de sustentar a biodiversidade de florestas, campos e cerrados. É por meio dele que as plantas se estruturam e absorvem água e nutrientes para o seu pleno crescimento e desenvolvimento (Lepsch, 2010).

No caso dos agroecossistemas, principalmente em regiões áridas e semiáridas, um dos problemas recorrentes é o excesso de sódio trocável (Tavares Filho et al., 2012). Neste caso, condições naturais, como altas temperaturas, baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação, junto com ações antrópicas, como o manejo inadequado das práticas de irrigação e conservação do solo, e uso exacerbado de fertilizantes, contribuem para o processo de sodicidade (Dias et al., 2016).

Na formação de solos solódicos ou sódicos são destacados três principais atributos: percentagem de sódio trocável, condutividade elétrica e pH. O principal deles é a alta concentração de sódio no complexo de troca do solo, determinado pela PST (percentagem de sódio trocável), em que valores iguais ou superiores a 6% até menos de 15% classifica o solo como solódico e valores iguais ou superiores a 15% classifica o solo como sódico. Os outros dois, é levado em conta o valor da condutividade elétrica, que determina se o solo, além de problemas de sódio, tem também problemas de salinidade, devendo ser abaixo de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  para ser considerado normal, e o pH, que deve ser, em geral, de 8,5 ou mais, se o solo tiver teor de sódio elevado e baixa condutividade elétrica (Pereira, 1985).

A alta concentração de sódio no solo, além de causar alterações nas propriedades químicas, altera também a parte física do solo, pois causa dispersão das argilas e degradação da estrutura, tornando-os impermeáveis e improdutivos. Além disso, pode acarretar desequilíbrio nutricional ou causar toxidez para as plantas (Vasconcelos et al.,

2016).

A recuperação de solos sódicos é feita normalmente com aplicação de gesso e instalação de sistema de drenagem, bem como o uso de lâminas de água de boa qualidade, garantindo boa lixiviação no perfil do solo (Dias et al., 2016). Pode-se também fazer a associação do gesso com a matéria orgânica para ajudar na reestruturação e aporte de nutrientes ao solo (Vasconcelos et al., 2016).

O lodo de esgoto, produto resultante do tratamento de águas residuais, após passar por um processo de higienização, pode ser uma alternativa adequada e ambientalmente correta para recuperação de solos sódicos. Quando incorporado ao solo, pode contribuir para a melhoria das propriedades físico-químicas do solo, pois é rico em matéria orgânica e nutrientes (Guimarães et al., 2018; Mesquita, 2017).

Outra possibilidade para solucionar este problema é a utilização de proteínas eletropositivas, presentes em extrato de sementes de moringa, que, de acordo com Paterniani et al. (2009), quando em contato com a água, pode deslocar e lixiviar o sódio e promover a floculação de argilas do solo.

Objetivou-se neste trabalho avaliar a produção do feijoeiro comum (BRS Madrepérula) em solo tratado com extrato de sementes de moringa e diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, para a redução do teor de sódio trocável.

### **5.3 Material e métodos**

#### **5.3.1 Local do Experimento e Construção das Parcelas Experimentais**

O experimento foi realizado nos meses de janeiro a junho de 2021 em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFMG em Montes Claros-MG. O solo utilizado no estudo foi coletado na camada 0 a 20 cm de profundidade de um Cambissolo Háptico com caráter solódico ( $6\% \leq \text{PST} < 15\%$ ), localizado na área experimental da Fazenda Professor Hamilton de Abreu Navarro do ICA, com latitude -16.683349 e longitude -43.838885 e 652 m de altitude.

O clima predominante do município, segundo a classificação de Köpen, é o Aw – tropical de savana, com verão chuvoso e inverno seco. Os dados meteorológicos durante o período do experimento estão na Tabela 1.

**Tabela 1** - Dados meteorológicos durante a realização do experimento, janeiro a junho de 2021.

<b>Mês</b>	<b>Precipitação</b> .....mm.....	<b>Umidade</b> .....%.....	<b>Temp. Máx.</b>	<b>Temp. Méd.</b>	<b>Temp. Mín.</b>
			.....°C.....		
<b>Janeiro</b>	100,9	62,1	32,1	27,3	19,7
<b>Fevereiro</b>	350,1	76,6	29,2	25,1	19,8
<b>Março</b>	56,5	67,2	30,6	25,8	18,2
<b>Abril</b>	72,2	69,8	29,4	24,7	17,8
<b>Mai</b>	0	59,7	29,7	24,3	15,4
<b>Junho</b>	0	57,4	28,7	23,2	14,2

Fonte: INMET, 2022.

Para a montagem do experimento, as parcelas experimentais foram constituídas de colunas de PVC com 20 cm de diâmetro e preenchidas com 20 cm de altura com solo passado em peneira de 4 mm de malha. Os tratamentos consistiram em:

- Solo sem tratamento (controle 1);
- Solução do extrato das sementes de moringa, equivalendo a 86,58 g de sementes por kg de solo seco (controle 2);
- 100% Lodo de esgoto (8,77 g de lodo de esgoto por kg de solo);
- 80% Lodo de esgoto (7,02 g de lodo de esgoto por kg de solo) e 20% Gesso (0,19 g de gesso por kg de solo);
- 60% Lodo de esgoto (5,26 g de lodo de esgoto por kg de solo) e 40% Gesso (0,38 g de gesso por kg de solo);
- 40% Lodo de esgoto (3,51 g de lodo de esgoto por kg de solo) e 60% Gesso (0,57 g de gesso por kg de solo);
- 20% Lodo de esgoto (1,75 g de lodo de esgoto por kg de solo) e 80% Gesso (0,76 g de

gesso por kg de solo);

- 100% Gesso (0,95 g de gesso por kg de solo).

O volume de água destilada ou com extrato de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) aplicado, correspondeu a três vezes o volume de poros do solo. A água foi aplicada de forma contínua e, após a aplicação, os tubos foram cobertos com saco plástico para incubação por 30 dias.

As sementes de moringa utilizadas apresentaram os seguintes teores de nutrientes, em g kg<sup>-1</sup>: N = 0,07; P = 5,42; K = 0,18; Ca = 2,78; Mg = 2,72, sendo que, o teor de Na, foi da ordem de 1,3 mg kg<sup>-1</sup>.

O lodo de esgoto foi obtido na Estação de Tratamento de Esgoto de Montes Claros, operada pela COPASA - MG, depois de passado pelos processos de centrifugação e tratamento térmico a 350°C, por um período de 30 minutos.

O lodo de esgoto apresentou os seguintes teores de nutrientes, em g kg<sup>-1</sup>: N = 14,06; P = 9,70; K = 3,40; Mg = 4,82, sendo que, o teor de Na, foi da ordem de 0,97 g kg<sup>-1</sup>.

O lodo de esgoto aplicado apresentou teor de Ca de 25,2 g kg<sup>-1</sup>, enquanto o gesso (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) apresentou grau de pureza de 99,4%, sendo que para os cálculos da Necessidade de Ca do solo para substituição do Na trocável, utilizou-se a equação abaixo (Cavalcante et al., 2016):

$$NCa = Na \times 10 \times PEqCa \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

NCa = Necessidade de cálcio, mg kg<sup>-1</sup> solo

Na = Teor de sódio trocável, cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>;

PEqCa = Peso equivalente do cálcio = 40/2 = 20.

As quantidades de gesso e, ou, lodo de esgoto, foram baseadas na quantidade de cálcio necessária para reduzir a Percentagem de Sódio Trocável (PST) a 0%. Por

outro lado, a solução de extrato de moringa aplicada correspondeu a 86,58 g de sementes por kg de solo, sendo esta quantidade baseada em testes preliminares para se obter a máxima floculação de argilas. As sementes foram adquiridas de plantas de moringa, cultivadas no ICA-UFMG.

Após 30 dias da aplicação dos corretivos para a redução do sódio trocável, realizou-se o cultivo de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* CV. BRS Madrepérola), por período de três meses.

### 5.3.2 Análises do solo e da planta

O solo utilizado na pesquisa foi caracterizado quanto aos teores de matéria orgânica, N, P, K, Ca, Mg, Na, Al e H+Al, bem como pH-H<sub>2</sub>O, CTC, condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo, textura, densidade do solo e grau de floculação (Embrapa, 2011) (Tabela 2).

**Tabela 2** - Caracterização química e física do solo utilizado no experimento

pH-H <sub>2</sub> O	N	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CTC	V	PST	MO	CE
	g dm <sup>-3</sup>	-----	mg dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	% -----	dag kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>
7,17	1,38	53,24	183,65	254,00	5,33	1,92	8,82	100	12,47	3,02	2,67
Areia Grossa	Areia Fina	Silte			Argila		GF	Ds			
-----		-----			-----		-----	-----	-----		
24,45	11,07	32,48			32,01		33,00	1,21			

CTC (Capacidade de troca catiônica a pH 7); V (Porcentagem de saturação de bases); PST (Porcentagem de sódio trocável); MO (Matéria orgânica do solo); CE (Condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo); GF (Grau de floculação do solo); DS (Densidade do solo); Análises conforme metodologias da Embrapa (2011): pH em água (acidez ativa); Cálcio e Magnésio trocáveis - Método KCl 1 mol/L e titulação com EDTA; Potássio e Sódio disponíveis - Método Mehlich-1 e fotometria de chama; Nitrogênio total - Método kjeldahl destilação a vapor; Fósforo disponível - Método Resina.

Após os 30 dias de incubação, ou seja, sem revolvimento do solo, o material de solo foi retirado da coluna e homogeneizado para a retirada de amostras para a realização das mesmas análises mencionadas na caracterização do solo e, depois, devolvido para a coluna para o semeio de 5 sementes de feijoeiro por unidade experimental. Após a germinação, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vaso.

Com os valores obtidos pela análise de solo da caracterização, realizou-se

adubação de cobertura para o cultivo do feijão de acordo com a recomendação feita por Novais *et al.* (1991). Foram feitas três adubações de cobertura, adicionando-se 0,67 g de ureia e 0,57 g de cloreto de potássio, com 20, 35 e 50 dias após semeadura.

No início da floração do feijoeiro foram coletadas folhas do terço mediano para análise foliar dos teores de macronutrientes e Na. As folhas foram acondicionadas em embalagens de papel e secas em estufa a 60°C por 48 horas e digeridas em ácido sulfúrico, sendo aquecidas em bloco digestor. Após a digestão foi feita a determinação de P por colorimetria; K e Na em fotometria de chama; Nitrogênio total pelo método kjeldahl e destilação a vapor; Ca e Mg com digestão nitroperclórica e titulação complexométrica (Malavolta *et al.*, 1997). Amostas de solo foram coletadas no início da floração para análises pH-H<sub>2</sub>O, e teores de, N, P, K, Ca, Mg e Na, Al, H+Al e matéria orgânica no solo (Embrapa, 2011).

O cultivo do feijoeiro durou 90 dias, sendo que, ao final da colheita, foram feitas as análises de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e de massa seca da parte aérea das plantas em resposta aos tratamentos.

### **5.3.3 Delineamento Experimental**

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições, com um total de 32 unidades experimentais.

Os dados foram analisados no software R, testando-se os tratamentos qualitativos pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade e, os quantitativos, ajustando-se equações de regressão, com significância dos coeficientes até 10% de probabilidade, pelo teste t.

## **5.4 Resultados**

### **5.4.1 Atributos do solo após a adição dos tratamentos e incubação**

O pH do solo da testemunha apresentou semelhança apenas com os tratamento com misturas de lodo de esgoto (LE) e gesso (Tabela 3). Todavia, esta variável foi maior quando comparada ao tratamento com extrato de sementes de *M. oleifera* (EM) e menor

do que as aplicações somente de lodo de esgoto ou de gesso. No caso do EM, o valor de pH foi menor quando comparado a todos os tratamentos e ficou dentro da faixa ideal de 5,5 a 6,5 recomendado para o cultivo de plantas.

Considerando apenas os tratamentos com LE e, ou, gesso, o menor valor de pH atingido foi de 6,61 com a aplicação de aproximadamente 33% de Ca na forma de gesso e 67% como LE. Esse menor valor é desejável uma vez que a presença de sódio no solo tende a elevar a alcalinidade do solo.

Levando-se em conta o teor de pH do solo original de 7,17 (Tabela 2), ficou evidente que houve redução dessa variável para todos os tratamentos, incluindo a testemunha, o que pode ser atribuído ao deslocamento do Na trocável (Ruiz et al., 2004).

**Tabela 3** – Atributos do solo em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções de gesso e lodo de esgoto, após 30 dias de incubação.

Variável	Controle		PCa (% m/m)					
	C1	C2	0	20	40	60	80	100
pH-H <sub>2</sub> O	6,67 A	6,19 B	7,08	6,54 A	6,74 A	6,86 A	6,87 A	7,08
	Y = 7,04 - 0,0296***X + 0,0006***X <sup>2</sup> - 0,000003***X <sup>3</sup> R <sup>2</sup> = 0,78 Xmin = 32,67% Ymin = 6,61							
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	2,65 A	4,87 B	3,11 A	2,91 A	3,11 A	3,06 A	2,91 A	2,83 A
	Y = Ym = 2,99							
Prem (mg L <sup>-1</sup> )	35,21 A	49,67 B	33,84 A	34,60 A	34,85 A	34,53 A	35,10 A	33,70 A
	Y = 33,84 + 0,0431*X - 0,0004*X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,70 Xmax = 53,88% Ymax = 35,00 mg L <sup>-1</sup>							
P (mg dm <sup>-3</sup> )	48,92 A	195,96 B	55,75 A	54,63 A	48,36 A	78,51 A	60,35 A	45,30 A
	Y = Ym = 57,15							
N (g dm <sup>-3</sup> )	1,33 A	5,13 B	1,42 A	1,56 A	1,63 A	1,56 A	1,44 A	1,58 A
	Y = 1,41 + 0,0158*X - 0,0004*X <sup>2</sup> + 0,000002*X <sup>3</sup> R <sup>2</sup> = 0,84 Xmax = 24,11% Ymax = 1,59 g dm <sup>-3</sup>							
K (mg dm <sup>-3</sup> )	367,31 A	915,61 B	251,53 A	343,36 A	375,30 A	363,32 A	369,33 A	311,42 A
	Y = 259,94 + 4,2399***X - 0,0376***X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,95 Xmax = 56,38% Ymax = 379,47 mg dm <sup>-3</sup>							
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,48 A	2,13 AB	3,49	3,32	3,79	3,98	3,66	4,08
	Y = 3,42 + 0,006***X R <sup>2</sup> = 0,59 Xmax = 100,00% Ymax = 4,02 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,54 A	2,69 AB	2,67 AB	2,60 AB	2,11 AB	2,13 AB	2,25 AB	2,05 AB
	Y = 2,60 - 0,0059***X R <sup>2</sup> = 0,67 Xmax = 0% Ymax = 2,60 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	171,25 A	36,00 B	88,25	121,00	125,5 A	82,00 B	82,00 B	60,50 B
	Y = 97,37 + 0,8638°X - 0,0129*X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,72 Xmin = 100% Ymin = 54,75 mg dm <sup>-3</sup>							
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,72 A	21,09 B	7,26 A	7,99 A	9,01 A	8,92 A	8,38 A	7,44 A
	Y = 7,15 + 0,0683***X - 0,0007***X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,96 Xmax = 48,79% Ymax = 8,82							
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,70 A	7,31 B	7,19 B	7,32 B	7,40 B	7,40 B	7,19 B	7,20 B
	Y = 7,20 + 0,0075°X - 0,0001°X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,74 Xmax = 37,50% Ymax = 7,34 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
V (%)	100,00 A	35,26 B	99,53 A	92,02 A	82,55	82,98	86,03	96,85 A
	Y = 100,64 - 0,6769***X + 0,0063***X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,96 Xmax = 0% Ymax = 100%							
PST (%)	11,11 A	0,74 B	5,33	6,62	6,02	4,04	4,27	3,53
	Y = 5,43 + 0,1016°X - 0,0030*X <sup>2</sup> + 0,00002°X <sup>3</sup> R <sup>2</sup> = 0,88 Xmin = 78,40% Ymin = 4,59%							
CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,07 A	13,98 B	1,11 A	1,20 A	1,18 A	1,09 A	1,01 A	1,04 A
	Y = Ym = 1,11							
GF (%)	36,83 A	79,30 B	32,81 A	37,90 A	77,16 B	83,00 B	69,85 B	72,66 B
	Y = 27,57 + 1,417***X - 0,0099***X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,82 Xmax = 71,57% Ymax = 78,27%							

PCa = Percentagem de Ca do gesso em relação ao Ca total aplicado (Gesso + Lodo de esgoto); C1 = Solo sem aplicação de gesso e, ou, lodo de esgoto; C2 = Solo com aplicação de extrato de sementes de moringa; MO = Matéria orgânica; Prem = P remanescente; CTC = Capacidade de troca catiônica total; SB = Soma de bases; V = Percentagem de saturação de bases; PST = Percentagem de sódio trocável; GF = Grau de floculação. Para cada variável, a ausência de letras indica diferença entre os tratamentos com gesso e, ou, lodo de esgoto, e os controles C1 e C2 à 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, sendo que médias seguidas da letra A não diferem de C1 e médias seguidas da letra B não diferem de C2. Xmax/mín = Percentagem máxima/mínima de Ca do gesso; Ymax/mín = Valor máximo/mínimo da variável; Ym = Valor médio referente ao PCa. °, \*, \*\*, \*\*\* = Significativos a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A elevação do pH do solo com a aplicação de LE e gesso, quando comparado a testemunha, pode ser explicado pelo incremento das bases trocáveis, enquanto a redução do pH do EM em relação a todos os tratamentos pode ser atribuído a presença de ácidos orgânicos na solução aplicada (Frighetto et al., 2007), bem como pelo maior deslocamento do Na trocável, possivelmente em razão da presença de proteínas

catiônicas diméricas (Ndabigengesere et al., 1995).

O teor de matéria orgânica não variou entre a testemunha e os tratamentos com LE e, ou, gesso, contudo, o tratamento com EM foi superior a todos os tratamentos (Tabela 3). Por outro lado, levando em conta somente as aplicações de LE e, ou gesso, não houve variação entre estes tratamentos, sendo o valor médio da ordem de  $3 \text{ dag kg}^{-1}$  e semelhante ao teor de matéria orgânica do solo original (Tabela 2).

O LE consiste em uma mistura de matéria orgânica e partículas minerais, de forma que, quando compostado sem a adição de material carbonáceo, tem a sua matéria orgânica bastante reduzida. Além disso, em condições de temperatura e umidade adequadas, a matéria orgânica do LE é facilmente mineralizável. Deste modo, com teor de matéria orgânica inicial de cerca de  $29 \text{ dag kg}^{-1}$ , mesmo a maior dose de LE aplicada nesta pesquisa ( $9,02 \text{ g kg}^{-1}$ ), não foi suficiente para incrementar a matéria orgânica do solo. No entanto, no caso do EM, pode-se atribuir o aumento do teor de matéria orgânica do solo a maior quantidade de biomassa adicionada ( $86,6 \text{ g kg}^{-1}$ ), bem como a alguma limitação do processo de decomposição em razão da maior pressão osmótica da solução do solo.

O Prem e os teores de P, N e K, assim como, a CTC do solo, apresentaram o mesmo comportamento observado para a matéria orgânica do solo, ou seja, foram mais elevados no tratamento EM, o que evidencia uma boa relação entre essas variáveis (Tabela 3). Pelo exposto, a elevada presença de substâncias orgânicas no EM promoveu maior exposição de cargas negativas e, por conseguinte, menor adsorção dos elementos aniônicos, ao mesmo tempo que foi uma importante fonte dos nutrientes mencionados.

Considerando-se apenas os tratamentos com LE e, ou gesso, o Prem tendeu a aumentar com o incremento de gesso, atingindo o valor máximo de  $35 \text{ mg L}^{-1}$  com a aplicação da proporção de Ca de 54% vindo do gesso e 46% do LE. Neste caso, o aumento de ânion sulfato causado pela aplicação de gesso provocou aumento da

competição com o ânion fosfato, reduzindo a adsorção deste último e aumentando a sua disponibilidade no solo.

O teor P do solo não foi influenciado pelas diferentes proporções de LE e gesso, contudo, o teor de N atingiu o valor máximo de 1,59 g dm<sup>-3</sup> com a aplicação de aproximadamente 24% de Ca vindo do gesso e 76% do LE (Tabela 3). Tal fato justifica-se pela riqueza do LE neste nutriente, sendo que o teor máximo alcançado foi superior ao valor inicial do solo (Tabela 2).

Em relação ao teor de K, houve aumento da disponibilidade deste elemento com o incremento do gesso até a dose máxima (Tabela 3). O N na forma de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), abundante no lodo de esgoto, pode ter substituído o K no complexo de troca do solo e perdido por lixiviação em razão de sua boa mobilidade vertical no solo (Villa et al., 2004; Ernani et al., 2007). Neste caso, o gesso agrícola também poderia, a princípio, deslocar o potássio para a solução do solo e favorecer a lixiviação desse nutriente. No entanto, em solos com levada CTC, como do presente estudo, mesmo em doses elevadas de gesso agrícola, 32 t ha<sup>-1</sup>, não se verificou lixiviação de potássio (Ernani, 1986). Um outro aspecto a ser considerado é que, em solos com argilas do tipo 2:1, o íon amônio pode ficar adsorvido às cargas elétricas negativas das margens mais externas das entre camadas das argilas, impedindo a liberação do K adsorvido neste sítio (Tisdale et al., 1993; Villa et al., 2004).

Os teores de Ca no solo foram mais baixos nos tratamentos testemunha e EM do que nos tratamentos com a aplicação de lodo de esgoto e, ou, gesso (Tabela 3). Tal fato, decorre das elevadas concentrações de Ca no gesso e no LE, principalmente porque, em relação a este último, a ETE situa-se em região cárstica, com águas servidas ricas em carbonatos de cálcio.

No caso das diferentes proporções de Ca do LE e gesso, houve aumento linear do Ca disponível, atingindo valor máximo de cerca de 4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> com a aplicação de

100% de gesso (Tabela 3). Tal fato revela uma mais rápida solubilização desse elemento a partir do gesso do que pela mineralização do LE. De todo modo, este teor foi inferior ao inicial observado no solo (Tabela 2), evidenciando perdas desse elemento por lixiviação.

Para o Mg, não houve diferenças entre os tratamentos, o que evidencia que nem o EM e nem o LE contribuíram para o incremento desse elemento no solo (Tabela 3). A exemplo do que ocorre com o K, o LE normalmente apresenta teor baixo de Mg, uma vez que, em razão de sua maior solubilidade, tende a permanecer na água residuária devolvida aos mananciais.

No caso apenas das aplicações das diferentes proporções de LE e gesso, verificou-se redução linear do Mg do solo com o incremento de gesso (Tabela 3). Tal fato pode ser explicado pela contribuição do LE como fonte deste nutriente e pelo aumento do teor de Ca do solo com a aplicação de gesso, promovendo maiores perdas por lixiviação do Mg. De todo modo, o teor máximo deste elemento de  $2,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  foi superior ao teor verificado no solo original (Tabela 2).

Para as aplicações das diferentes proporções de LE e gesso, a CTC total do solo atingiu o valor máximo de  $8,82 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a adição de cerca de 49% de Ca do gesso e 51% do Ca do LE (Tabela 3), sendo o mesmo valor encontrado para o solo original (Tabela 2).

A Soma de Bases (SB) foi mais baixa na testemunha, consequência de um menor teor de Ca neste tratamento, conforme já discutido (Tabela 3). No caso do EM, embora tenha apresentado um teor muito elevado de K trocável, os teores de Ca e Na foram mais baixos, o que fez com que em termos quantitativos não se diferenciasse dos demais tratamentos. Todavia, pode-se considerar que em termos qualitativos a SB do EM foi melhor, uma vez que houve intensa redução do teor de Na e aumento do teor de K.

No caso das diferentes proporções de Ca do LE e gesso, o maior valor de soma

de bases atingido foi de  $7,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com a adição de cerca de 38% de Ca do gesso e 62% do Ca do LE (Tabela 3), sendo esse valor inferior ao encontrado no solo original (Tabela 2).

Quanto a Percentagem de Saturação de Bases (V%), por ter uma menor CTC e ter conservado bastante sódio trocável, a testemunha apresentou valor de 100%, todavia igualando-se aos tratamentos contendo mais LE ou somente gesso (Tabela 3). No caso do EM, embora a SB tenha sido maior do que a testemunha e igual a dos tratamentos com LE e, ou gesso, a V% foi muito baixa, sendo tal fato consequência da elevada CTC total do solo desse tratamento.

Para as diferentes proporções de Ca do LE e gesso, a maior V% atingida de 100%, ocorreu com a aplicação da dose de 100% de LE (Tabela 3), sendo este valor igual ao solo original (Tabela 2), porém, com mais qualidade, ou seja, com menor teor de sódio.

O teor de Na trocável no solo foi mais elevado na testemunha e mais baixo no tratamento com EM (Tabela 3). Tal fato fica bastante evidente quando se observa a Percentagem de Sódio Trocável (PST), onde se verifica que o maior valor observado foi justamente na testemunha e o menor valor no tratamento EM, o que significa maior eficácia deste último na redução da sodicidade do solo para níveis mais seguros, ou seja, abaixo de 6%.

Quanto as diferentes proporções de LE e gesso, o teor de Na trocável atingiu o seu menor valor, de aproximadamente  $55 \text{ mg dm}^{-3}$ , com a aplicação de 100% de gesso, enquanto a PST mínima de 4,59% foi atingida com a aplicação de aproximadamente 78% de Ca vindo do gesso e 22% de Ca do LE (Tabela 3). Ambos os valores mínimos foram muito inferiores aos do solo original (Tabela 2). Neste caso, a liberação mais rápida do Ca a partir do gesso facilitou o deslocamento e a remoção do Na do solo, e por conseguinte, a redução da PST, indicando maior eficácia desse corretivo na recuperação de solos solódicos e sódicos a curto prazo.

Por outro lado, o valor máximo de PST de 6,43%, obtido com a aplicação de aproximadamente 22% de Ca do gesso e 78 de Ca do LE (Tabela 3), faz com que o solo permaneça ainda como de caráter solódico, o que é indesejável, uma vez que oferece risco de dispersão do solo.

A condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo (CE) não variou entre a testemunha e os tratamentos contendo LE e, ou, gesso (Tabela 3). Contudo, o tratamento EM apresentou valor muito elevado em relação a todos os demais tratamentos, sendo muito superior ao limite de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  que separa os solos normais de solos salinos. Pelo exposto, a salinidade deste tratamento pode ser proveniente do maior aporte de K adicionado ao solo pelas sementes e, também, de substâncias orgânicas que sofreram ionização, indicando a necessidade de redução da dose desse tratamento. Exceto pelo EM, todos os demais tratamentos apresentaram valores de CE inferiores a do solo original (Tabela 2).

O grau de flocculação das argilas (GF), o qual é indicador da qualidade física do solo foi menor na testemunha e nos tratamentos com menor aplicação de gesso (Tabela 3). Por outro lado, os maiores valores de flocculação ocorreram com a aplicação do EM e com maior quantidade de gesso. No caso do EM, pode-se atribuir esse resultado a maior redução da PST e ao aumento da salinidade da solução, enquanto o gesso foi somente em razão da redução da PST. De modo geral, os tratamentos apresentaram GF superior ao solo original, o que pode ser atribuído a redução da PST do solo.

Em relação somente as diferentes proporções de LE e gesso, verificou-se que o valor máximo de GF, de cerca de 78%, ocorreu com a aplicação de aproximadamente 72% de Ca do gesso e e 38% do LE (Tabela 3). Esta proporção de gesso e LE é próxima daquela observada para se obter a PST mínima, o que indica ser esta a principal variável relacionada com o processo de dispersão do solo.

#### **5.4.2 Atributos do solo após o cultivo de feijoeiro comum**

Após três meses de cultivo do solo com feijoeiro comum, a testemunha apresentou valor de pH igual aos dos demais tratamentos, enquanto o EM apresentou valor de pH menor do que todos os tratamentos contendo a mistura de LE e gesso (Tabela 4). Por outro lado, os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso não diferiram entre si, apresentando valor médio de 6,38, sendo inferior ao valor mínimo obtido antes do cultivo (Tabela 3).

Pode-se atribuir o menor valor de pH no tratamento EM principalmente a presença de maior quantidade de ácidos orgânicos (Frighetto et al., 2007), conforme já constatado no solo ao final do período de incubação. Para os demais tratamentos, a redução do pH pode ser explicada pela lixiviação de Na e consequente redução da PST.

O teor de matéria orgânica do solo após o cultivo não variou entre a testemunha e o EM, e entre estes e os demais tratamentos (Tabela 4). Além disso, não houve variação entre os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, cujo teor médio foi de 2,80 dag kg<sup>-1</sup>, inferior ao valor médio obtido antes do cultivo (Tabela 3). Tal fato, justifica-se pelas condições de umidade e temperatura favoráveis ao processo de decomposição da matéria orgânica do solo.

**Tabela 4** – Atributos do solo em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções de gesso e lodo de esgoto, após o cultivo do feijoeiro comum.

Variável	Controle		PCa (% m/m)					
	C1	C2	0	20	40	60	80	100
pH-H <sub>2</sub> O	6,00A	5,23 AB	6,20 AB	6,33 A	6,28 A	6,43 A	6,53 A	6,53 A
	Y = Ym = 6,38							
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	2,66 A	2,64 AB	2,60 AB	2,87 AB	2,90 AB	2,93 AB	2,66 AB	2,86 AB
	Y = Ym = 2,80							
Prem (mg L <sup>-1</sup> )	33,17 A	39,25 AB	28,60 AB	32,27 AB	32,75 AB	32,95 AB	32,80 AB	32,48 AB
	Y = Ym = 31,97 mg L <sup>-1</sup>							
P (mg dm <sup>-3</sup> )	37,25 A	79,02 B	31,49 A	32,79 A	30,80 A	26,48 A	24,25 A	22,02 A
	Y = 33,49 - 0,1105**X R <sup>2</sup> = 0,91 Xmax = 0% Ymax = 33,49 mg dm <sup>-3</sup>							
N (g dm <sup>-3</sup> )	1,65 A	2,34 B	1,89 A	1,81 A	1,73 A	1,48 A	1,64 A	1,52 A
	Y = 1,86 - 0,0037*X R <sup>2</sup> = 0,76 Xmax = 0% Ymax = 1,86 g dm <sup>-3</sup>							
K (mg dm <sup>-3</sup> )	215,87 A	334,95 B	220,10 A	190,73 A	270,43 B	281,38 B	224,80 A	278,25 B
	Y = 207,63 + 1,1617 <sup>o</sup> X - 0,0058 <sup>o</sup> X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,65 Xmax = 100% Ymax = 265,80 mg dm <sup>-3</sup>							
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,65 A	5,38 B	7,01 A	7,22 A	7,00 A	6,87 A	7,40 A	6,98 A
	Y = Ym = 7,08 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,50 A	2,48 B	2,29 B	1,68 A	1,81 A	1,56 A	1,23 A	1,38 A
	Y = 2,10 - 0,0088*X R <sup>2</sup> = 0,79 Xmax = 0% Ymax = 2,10 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	57,63 A	43,85 B	47,80 AB	48,77 AB	43,23 B	43,89 B	57,19 A	49,41 AB
	Y = 49,32 - 0,4321 <sup>o</sup> X + 0,0107 <sup>o</sup> X <sup>2</sup> - 0,00006 <sup>o</sup> X <sup>3</sup> R <sup>2</sup> = 0,57 Xmin = 25,78% Ymin = 44,26 mg dm <sup>-3</sup>							
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,17 A	11,58 AB	11,36 AB	10,86 AB	10,84 AB	10,49 AB	10,50 AB	10,40 AB
	Y = Ym = 10,74 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,95 A	8,91 AB	10,07 AB	9,61 AB	9,69 AB	9,34 AB	9,45 AB	9,28 AB
	Y = Ym = 9,57 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							
V (%)	88,03 A	76,99 AB	88,65 AB	88,47 AB	89,35 AB	89,11 AB	90,00 AB	89,30 AB
	Y = Ym = 89,17 %							
PST (%)	2,46 A	1,65 B	1,83 AB	1,95 AB	1,73 B	1,82 AB	2,37 A	2,07 AB
	Y = 1,90 - 0,0141 <sup>o</sup> X + 0,0004 <sup>o</sup> X <sup>2</sup> - 0,000002 <sup>o</sup> X <sup>3</sup> R <sup>2</sup> = 0,59 Xmin = 20,90% Ymin = 1,76%							
CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,97 A	3,11 B	2,42	2,39	2,15 A	2,27 A	3,75	3,18 B
	Y = 2,37 - 0,0072*X + 0,0002*X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,71 Xmin = 18% Ymin = 2,31 dS m <sup>-1</sup>							

PCa = Percentagem de Ca do gesso em relação ao Ca total aplicado (Gesso + Lodo de esgoto); C1 = Solo sem aplicação de gesso e, ou, lodo de esgoto; C2 = Solo com aplicação de extrato de sementes de moringa; MO = Matéria orgânica; Prem = P remanescente; CTC = Capacidade de troca catiônica total; SB = Soma de bases; V = Percentagem de saturação de bases; PST = Percentagem de sódio trocável; GF = Grau de flocculação. Para cada variável, a ausência de letras indica diferença entre os tratamentos com gesso e, ou, lodo de esgoto, e os controles C1 e C2 à 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, sendo que médias seguidas da letra A não diferem de C1 e medias seguidas da letra B não diferem de C2. Xmax/mín = Percentagem máxima/mínima de Ca do gesso; Ymax/mín = Valor máximo/mínimo da variável; Ym = Valor médio referente ao PCa. <sup>o</sup>, \*, \*\* = Significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O Prem do solo após o cultivo comportou-se de forma similar ao da matéria orgânica do solo, ou seja, sem diferenças da testemunha e do EM entre si, e entre estes e os demais tratamentos (Tabela 4). Neste caso também, não houve variação entre os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, cujo teor médio foi de 32 mg L<sup>-1</sup>, inferior ao valor médio obtido antes do cultivo (Tabela 3). Tal fato justifica-se pela falta de variação do teor de matéria orgânica do solo, o qual exerce papel importante na redução da adsorção de P aos óxidos-hidróxidos do solo, uma vez que concorre com

este último pelos sítios de adsorção.

O teor de P disponível do solo após o cultivo foi menor na testemunha quando comparado ao tratamento EM, porém, não variou em relação aos tratamentos com LE e gesso (Tabela 4). Por outro lado, o EM foi superior a todos os tratamentos contendo LE e, ou gesso. Neste caso, a proteína catiônica dimérica presente no EM (Galão et al., 2006) pode ter se ligado ao P, impedindo a sua fixação pelos óxidos-hidróxidos do solo.

Para as relações LE e gesso, constatou-se redução do teor de P disponível com o incremento da proporção de gesso (Tabela 4), sendo o valor máximo de  $33,5 \text{ mg dm}^{-3}$  obtido com a aplicação de 100% de LE. Neste caso, o LE pode ter atuado para evitar maior fixação de P ao solo e também para suprir esse elemento a médio prazo. De todo o modo, este valor é menor do que aquele obtido após a incubação do solo, o que indica perdas de P disponível do solo, seja por absorção pelas plantas ou fixação pelos óxidos-hidróxidos.

O comportamento do N no solo após o cultivo foi muito similar ao do P disponível, ou seja, foi menor na testemunha, em comparação ao tratamento EM, porém, não teve diferença para os tratamentos com LE e gesso (Tabela 4). Contudo, o EM foi superior a todos os tratamentos contendo LE e, ou gesso. Tal fato pode ser atribuído a riqueza do EM em proteína catiônica dimérica, bem como em outras substâncias contendo N (Galão et al., 2006; Passos et al., 2012), o que o configura como uma fonte importante desse elemento.

No caso das relações LE e gesso, também se constatou redução do teor de N com o incremento da proporção de gesso (Tabela 4), sendo o valor máximo de  $1,86 \text{ g dm}^{-3}$  obtido com a aplicação de 100% de LE. Neste caso, o LE contribuiu para suprir esse elemento no solo, até mesmo em médio prazo, superando o valor máximo obtido após o período de incubação do solo.

O teor de K trocável do solo após o cultivo foi menor na testemunha em

comparação ao EM e aos tratamentos com proporções, em geral, mais elevadas de gesso (Tabela 4). Todavia, O EM superou os tratamentos com maiores proporções de LE. Além disso, considerando-se as diferentes proporções de LE e gesso, o maior teor de K trocável, de  $266 \text{ mg dm}^{-3}$ , ocorreu com a aplicação de 100% de gesso, sendo este valor inferior ao valor obtido após a incubação do solo.

Conforme já discutido anteriormente, o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), abundante no lodo de esgoto e mesmo no EM, pode ter substituído o K no complexo de troca do solo, facilitando a sua perda por lixiviação (Villa et al., 2004; Ernani et al., 2007), ou mesmo, pode sido adsorvido às cargas elétricas negativas das margens mais externas das entrecamadas das argilas do tipo 2:1, impedindo a liberação do K adsorvido neste sítio (Tisdale et al., 1993; Villa et al., 2004).

O teor de Ca trocável do solo da testemunha após o cultivo foi mais elevado do que o do tratamento EM, porém, foi igual aos tratamentos com aplicação de LE e, ou gesso (Tabela 4). O EM, por outro lado, apresentou teor de Ca trocável menor do que todos os demais tratamentos. No caso das diferentes proporções de LE e gesso, não houve variações entre tratamentos, sendo o valor médio de  $7,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  superior ao valor máximo obtido logo após o período de incubação do solo (Tabela 3). Tal fato evidencia aumento da disponibilidade desse nutriente em razão da decomposição do LE e solubilização do gesso.

Em relação ao teor de Mg trocável, verificou-se que a testemunha foi inferior apenas aos tratamentos EM e 100% de LE, não diferindo dos demais tratamentos com LE e, ou gesso, enquanto o EM foi igual apenas ao tratamento com aplicação total de LE (Tabela 4). Por outro lado, o teor de Mg trocável diminuiu linearmente com o aumento da proporção de gesso, sendo o valor máximo de  $2,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  atingido com a aplicação de 100% de LE.

Pelo exposto, ficou evidente a importância do EM e da aplicação total do LE para

manter relação mais equilibrada do Mg com outros cátions trocáveis do solo. Ainda assim, o teor médio final foi inferior ao valor máximo atingido logo após a incubação do solo, refletindo absorção pelas plantas e perdas por lixiviação.

O teor de Na trocável do solo após o cultivo foi mais elevado na testemunha do que no tratamento EM, tendo superado também os tratamentos com proporções intermediárias de LE e gesso (Tabela 4). Por outro lado, o EM apresentou teor deste elemento, em geral, igual aos das diferentes proporções de LE e gesso. Para as diferentes relações LE e gesso, o menor teor de Na, de  $44,26 \text{ mg dm}^{-3}$ , ocorreu com a aplicação de aproximadamente 26% de Ca proveniente do gesso e 74% do LE, sendo esse teor inferior ao valor mínimo obtido após o período de incubação. Tal fato evidencia que a médio prazo o LE de esgoto continuou a promover o deslocamento de Na do complexo de troca, possivelmente porque liberou por mais tempo íons catiônicos, tornando mais eficaz a retirada de Na do sistema.

Em relação a CTC, SB e V% do solo após o cultivo, não houve diferenças entre a testemunha e o EM, e nem entre estes tratamentos e as diferentes proporções de LE e gesso (Tabela 4). Além disso, não foram constatadas diferenças entre as diferentes proporções de LE e gesso. Os valores médios obtidos para essas variáveis foram, respectivamente,  $10,74 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ,  $9,57 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e 89,17%, sendo os dois primeiros superiores e o terceiro inferior aos valores máximos obtidos após a incubação do solo (Tabela 3). Neste caso, a redução da V% decorre do aumento da CTC total do solo, seja pelo processo de mineralização e humificação da matéria orgânica do LE e, ou incremento de bases trocáveis do solo pelo gesso e adubação.

A PST do solo após o cultivo foi mais alta na testemunha do que no EM, porém, sem apresentar diferenças consistentes em relação aos tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso (Tabela 4). Por outro lado, houve diferenças entre as diferentes proporções de LE e gesso, sendo o valor mínimo de 1,76% obtido com a

aplicação de aproximadamente 21% de Ca do gesso e 79% de Ca do LE. Esse valor de PST é bastante inferior ao mínimo obtido após a incubação do solo (Tabela 3). Tal fato reforça a ideia de que o LE exerce papel importante no deslocamento de Na trocável do solo e redução desse elemento de forma mais eficaz a médio prazo.

De qualquer forma, mesmo o valor máximo de PST de 2,53% obtido com a aplicação de 100% de gesso (Tabela 4), pode ser considerado muito baixo e tolerável no solo. Todavia, surpreende o fato da dose máxima de gesso ter sido calculada para redução de 100% do Na trocável do solo, acrescentada ainda da dose prática (25%), e mesmo assim permanecer teor residual desse elemento no solo.

A CE do extrato de saturação do solo após o cultivo foi mais baixa na testemunha quando comparada ao EM e aos tratamentos com maiores proporções de LE ou de gesso (Tabela 4). No caso do EM, apenas o tratamento com 100% de gesso apresentou valor semelhante dessa variável. Quanto as diferentes proporções de LE e gesso, o valor mínimo de 2,31 dS m<sup>-1</sup> ocorreu com a aplicação de 18% de Ca proveniente do gesso e 82% de Ca do LE, sendo este valor superior ao valor médio obtido após a incubação do solo (Tabela 3). Tal fato revela o incremento de sais do solo em razão da mineralização do LE, solubilização do gesso e aplicação de adubos minerais.

De todo modo, o valor máximo atingido de 3,65% com a aplicação de 100% de gesso, não alcança o valor limite de 4 dS m<sup>-1</sup>, o qual eleva o solo a condição de salino e que reconhecidamente afeta o crescimento das plantas cultivadas.

#### **5.4.3 Conteúdo de nutrientes e sódio na parte aérea do feijoeiro comum**

O conteúdo de N na parte aérea do feijoeiro comum não diferiu entre a testemunha e o EM, porém, ambos foram inferiores ao observado no tratamento com aplicação de 100% de LE (Tabela 5). Portanto, as aplicações de gesso, em praticamente qualquer proporção, promoveram conteúdo de N na parte aérea da planta semelhante a testemunha e ao EM. No caso das diferentes proporções de LE e gesso, o conteúdo

máximo de N obtido, de aproximadamente 311,9 g/planta, ocorreu com a aplicação de 100% de LE, o que o destaca como importante fonte deste nutriente para as plantas (Mota et al., 2021).

**Tabela 5** – Conteúdo de nutrientes e sódio na parte aérea do feijoeiro comum em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções de gesso e lodo de esgoto.

Variável (g/planta)	Controle		PCa (% m/m)					
	C1	C2	0	20	40	60	80	100
N	231,07A	233,69AB	311,91	263,67AB	182,10	217,61AB	221,72AB	238,18AB
	Y = 311,64 - 3,6297**X + 0,0297**X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,89 Xmax = 0% Ymax = 311,64 g/planta							
P	10,29A	11,23AB	17,64	14,20	12,74B	12,52B	12,15AB	11,62AB
	Y = 16,09 - 0,0521**X R <sup>2</sup> = 0,80 Xmax = 0% Ymax = 16,09 g/planta							
K	4,03A	4,91B	5,74B	4,95B	4,83AB	3,59A	3,76A	4,23AB
	Y = 5,40 - 0,0177**X R <sup>2</sup> = 0,79 Xmax = 0% Ymax = 5,40 g/planta							
Ca	87,80A	109,21B	309,68	131,03	90,68AB	82,77A	83,71A	83,38A
	Y = 284,64 - 6,5484**X + 0,0472**X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,92 Xmax = 0% Ymax = 284,64 g/planta							
Mg	32,38A	25,74B	47,86	33,61A	34,20A	31,78AB	53,71	40,94
	Y = 44,21 - 0,3808*X + 0,0041 <sup>o</sup> X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,72 Xmax = 100,00% Ymax = 47,13 g/planta							
Na	51,19A	25,71B	43,28A	51,67A	36,41	42,92A	32,08	24,93B
	Y = 48,83 - 0,20578*X R <sup>2</sup> = 0,78 Xmin = 100,00% Ymax = 27,75 g/planta							

PCa = Percentagem de Ca do gesso em relação ao Ca total aplicado (Gesso + Lodo de esgoto); C1 = Solo sem aplicação de gesso e, ou, lodo de esgoto; C2 = Solo com aplicação de extrato de sementes de moringa. Para cada variável, a ausência de letras indica diferença entre os tratamentos com gesso e, ou, lodo de esgoto, e os controles C1 e C2 à 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, sendo que médias seguidas da letra A não diferem de C1 e medias seguidas da letra B não diferem de C2. Xmax/mín = Percentagem máxima/mínima de Ca do gesso; Ymax/mín = Valor máximo/mínimo da variável; Ym = Valor médio referente ao PCa. <sup>o</sup>, \*, \*\* = Significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O conteúdo de P na parte aérea do feijoeiro comum não diferiu entre a testemunha e o EM, porém, ambos foram inferiores aos tratamentos com maiores proporções de LE (Tabela 5). No caso das diferentes proporções de LE e gesso, constatou-se conteúdo máximo de P, de aproximadamente 16% g/planta, com a aplicação de 100% de LE. Da mesma forma que o N, o LE também pode ser considerado uma fonte importante deste nutriente para as plantas (Chiba et al., 2008).

O conteúdo de K na parte aérea do feijoeiro comum foi menor na testemunha quando comparado ao EM e aos tratamentos com maiores proporções de LE (Tabela 5). Por outro lado, o EM apresentou, de modo geral, maior conteúdo de K do que os tratamentos com maiores proporções de gesso. Considerando as diferentes proporções

de LE e gesso, o conteúdo máximo de K na parte aérea da planta ocorreu com a aplicação de 100% de LE. Neste caso, embora o LE não seja uma fonte importante de K, mesmo assim, contribui mais do que o gesso, que não contém esse elemento na sua composição.

O conteúdo de Ca na parte aérea do feijoeiro comum foi menor na testemunha em relação ao EM e aos tratamentos com maiores proporções de LE, sendo que, para o EM, o conteúdo foi menor quando comparado aos tratamentos com maiores proporções de LE (Tabela 5). No caso das diferentes proporções de LE e gesso, o maior conteúdo de Ca, de aproximadamente 284,6 g/planta, ocorreu com a aplicação de 100% de LE, o que revela que este resíduo liberou mais lentamente este nutriente, mantendo-o em nível mais alto no solo mesmo após o cultivo.

O conteúdo de Mg na parte aérea do feijoeiro comum na testemunha foi maior do que no EM, porém foi menor do que nos tratamentos com 100% de LE e proporções mais elevadas de gesso (Tabela 5). O EM, por outro lado, foi inferior a praticamente todos os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso. No caso das proporções de LE e gesso, o valor máximo, de aproximadamente 47 g/planta, foi obtido com a aplicação de 100% de gesso, muito embora esse conteúdo tenha sido muito próximo daquele obtido com a aplicação de 100% de LE, que foi de cerca de 44 g/planta. Tal fato revela que o LE e o gesso promoveram aumento da disponibilidade de Mg e maior absorção deste elemento pelas plantas.

O conteúdo de Na na parte aérea do feijoeiro comum foi mais elevado na testemunha do que no EM e também em relação a praticamente todos os tratamentos com maiores proporções de gesso (Tabela 5). Por outro lado, o EM apresentou conteúdo de Na menor ou igual a todos os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso. No caso das diferentes proporções de LE e gesso, o menor conteúdo obtido, de aproximadamente 28 g/planta, ocorreu com a aplicação de 100% de gesso. Tal fato

evidencia que, do ponto de vista da redução da absorção deste elemento pela planta, a qual pode evitar competição com os nutrientes e desbalanço nutricional (Santos et al., 2009), a aplicação do gesso foi muito mais eficaz.

#### 5.4.4 Produção de massa seca aérea e de grãos do feijoeiro comum

A produção de massa seca da parte aérea (PA) do feijoeiro comum foi menor na testemunha do que nos tratamentos EM e aplicação de 100% de LE, enquanto o EM foi inferior aos tratamentos com proporções de LE de 80 a 100% (Tabela 6). No caso das diferentes proporções de LE e gesso, a PA decresceu linearmente com o incremento da proporção de gesso, sendo o valor máximo de 7,24 g/planta atingido com a adição de 100% de LE. Tal fato justifica-se pela maior riqueza do LE em N, o qual tem papel estrutural fundamental no vegetal, promovendo o aumento de sua biomassa (Tisdale et al., 1993).

**Tabela 6** – Massa seca da parte aérea (PA) e de grãos (PG) do feijoeiro comum em resposta à aplicação de extrato de semente de moringa e de diferentes proporções e lodo de esgoto e gesso.

Variável	Controle		PCa (% m/m)					
	C1	C2	0	20	40	60	80	100
PA (g/planta)	5,70A	6,15AB	7,50	6,98A	6,30AB	5,80AB	5,55AB	5,95AB
	Y = 7,24-0,0179**X		R <sup>2</sup> = 0,80	Xmax = 0%	Ymax = 7,24 g/planta			
PG (g/planta)	1,38A	3,05B	0,81	0,85	0,74	1,31A	2,43	2,23
	Y = 0,51 +0,0177**X		R <sup>2</sup> = 0,80	Xmax = 100,00%	Ymax = 2,28 g/planta			

PCa = Percentagem de Ca do gesso em relação ao Ca total aplicado (Gesso + Lodo de esgoto); C1 = Solo sem aplicação de gesso e, ou, lodo de esgoto; C2 = Solo com aplicação de extrato de sementes de moringa. Para cada variável, a ausência de letras indica diferença entre os tratamentos com gesso e, ou, lodo de esgoto, e os controles C1 e C2 à 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, sendo que médias seguidas da letra A não diferem de C1 e medias seguidas da letra B não diferem de C2. Xmax = Percentagem máxima/mínima de Ca do gesso; Ymax/mín = Valor máximo/mínimo da variável; Ym = Valor médio referente ao PCa. \*\* = Significativo 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t..

A produção de grãos (PG) do feijoeiro comum foi mais baixa na testemunha em comparação ao tratamento EM, sendo, porém, maior do que os tratamentos com proporções crescentes de LE (60 a 100%) e menor do que os tratamentos com proporções de gesso de 80 a 100% (Tabela 6). O EM, por outro lado, apresentou PG

superior a todos os tratamentos. Para as diferentes proporções de LE e gesso, houve um aumento linear da PG com o incremento da proporção de gesso, sendo o valor máximo de 2,28 g/planta obtido com a aplicação de 100% de gesso. Para este caso, o aumento mais rápido da disponibilidade Ca e redução do Na trocável (Tabela 3), proporcionaram maiores benefícios a planta, aumentando a sua produtividade. Além do fato de que o gesso é uma importante fonte de S, cujos baixo teor no solo é considerado como uma das causas limitadoras da produção de grãos dessa cultura (Crusciol et al., 2006).

## **5.5 Discussão**

### **5.5.1 Comparação entre o extrato de sementes de moringa e a testemunha, em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum.**

A aplicação do EM promoveu no solo, após trinta dias de incubação, a redução do pH e o aumento do Prem e dos teores de matéria orgânica, N total, P disponível, K trocável, bem como da CTC total e SB e do grau de flocculação das argilas, em relação a testemunha. Além disso, causou intensa redução do teor de Na trocável e da PST, embora tenha elevado a CE do solo a um nível muito acima do valor limite para os solos salinos ( $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Ribeiro et al., 2016). A maior presença de Na trocável no solo aumenta a sua alcalinidade, uma vez que pode se encontrar na forma de NaOH e  $\text{Na}_2\text{CO}_2$ . Por outro lado, pode ser facilmente substituído pelo Ca no complexo de troca do solo e lixiviado, causando a redução do pH (Richards, 1954; Ruiz et al., 2004).

No tratamento EM, após o cultivo do feijoeiro, os teores no solo de N total, P disponível, K e Mg trocáveis, bem como a CTC total e a CE, foram mais elevados em relação a testemunha, enquanto os teores de Ca e Na trocáveis e a PST foram menores, sendo que, para ambos os tratamentos, tanto a PST quanto a CE, ficaram na faixa dos solos classificados como sem problemas de sodicidade ( $\text{PST} < 6\%$  e  $\text{CE} < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Ribeiro et al., 2016).

Os teores de nutrientes e demais indicadores de fertilidade do solo foram, em geral, classificados como bons para a testemunha e muito bons para o EM, tanto após a incubação de trinta dias quanto depois do cultivo, conforme valores de referências de Alvarez V. et al. (1999).

No âmbito da nutrição e da produção da planta, o EM elevou, em relação a testemunha, os conteúdos de K e Ca na parte aérea da planta, porém, apresentou menor conteúdo de Mg, o que pode ter limitado a produção da planta, muito embora, a intensa redução do conteúdo de Na tenha, certamente, favorecido a PG, que foi a mais elevada de todos os tratamentos aplicados.

Diante do exposto, ficou evidente que o EM foi o tratamento que trouxe melhores benefícios para o processo de redução do sódio no solo, uma vez que transformou o solo solódico ( $6\% \leq \text{PST} < 15\%$ ) em um solo sem problemas de sodicidade e melhorou a fertilidade do solo quanto aos nutrientes consumidos em maior quantidade pelas plantas, mantendo esse comportamento mesmo após o cultivo, não obstante tenha sido feita fertilização mineral de plantio e em cobertura com os macronutrientes primários. Além disso, o EM foi o tratamento que promoveu o maior aumento da PG do feijoeiro, com incremento de 2,2 vezes em relação a testemunha, sendo inclusive superior a todos os outros tratamentos utilizados na pesquisa.

#### **5.5.2 Comparação entre o extrato de sementes de moringa e as diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum.**

A aplicação do EM promoveu no solo, após trinta dias de incubação e após o cultivo do feijoeiro, a redução do pH em relação a todos os tratamentos com LE e, ou gesso. Neste caso, logo após a incubação, o pH ficou dentro da faixa de 5,5 a 6,5 considerada ideal para o cultivo de plantas, enquanto, após o cultivo, o valor ficou um pouco abaixo desta faixa. Por outro lado, os valores de pH das diferentes proporções de

LE e gesso continuaram acima da faixa ideal após a incubação e, dentro da faixa, para os tratamentos com maiores proporções de LE após o cultivo do feijoeiro. Tal fato justifica-se pelas perdas de Na trocável do solo, ocorridas pela absorção pelas plantas e por lixiviação. Conforme já mencionado, o deslocamento e a lixiviação de Na do solo reduz a alcalinidade, uma vez que reduz as formas de NaOH e Na<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>, responsáveis pelo pH mais elevado em solos sódicos (Richards, 1954; Ruiz et al., 2004).

A aplicação do EM promoveu no solo, após trinta dias de incubação, o aumento dos teores de matéria orgânica, N total, P disponível e K trocável, bem como do Prem, CTC total e CE, em comparação aos tratamentos com LE e gesso, tendo também GF superior aos tratamentos com maiores proporções de LE. Além disso, após o cultivo do feijoeiro, o EM manteve teores mais elevados de N total, P disponível, K e Mg trocáveis, e CE, em relação a praticamente todos os tratamentos com LE e gesso, e, assim como os demais tratamentos, apresentou CE abaixo do limite crítico para solos salinos ( $CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Ribeiro et al., 2016). Tal fato é relevante, uma vez que logo após o período de incubação de trinta dias, o EM apresentou valor de CE em nível considerado muito prejudicial para plantas (Ribeiro et al., 2016).

O tratamento EM, após a incubação por trinta dias, apresentou teores mais baixos no solo de Ca e Na trocáveis, e da PST, em relação aos tratamentos com LE e gesso, sendo que, para o Ca, tal fato se repetiu após o cultivo do feijoeiro. O valor de PST para o EM ficou muito abaixo do limite de 6%, a partir do qual o solo apresenta problemas com Na, ou seja, solos com caráter solódico (Ribeiro et al., 2016), enquanto os tratamentos com LE e, ou gesso, apresentaram valores um pouco mais próximos do limite crítico de sodicidade do solo. Tal fato, evidencia que o EM foi muito mais eficaz do que os tratamentos com LE e, ou gesso quanto a correção dos problemas de sodicidade do solo, muito embora tenha elevado em muito a CE no período inicial.

De modo geral, os teores de nutrientes e demais indicadores de fertilidade do solo

foram considerados muito bons para os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, e, conforme já mencionado, para o EM, tanto após a incubação de trinta dias quanto depois do cultivo, conforme valores de referências de Alvarez V. et al. (1999).

Em relação a nutrição e produção do feijoeiro, observou-se que o EM apresentou conteúdos mais baixos de macronutrientes e de Na do que o tratamento com aplicação total de LE. Neste caso, se por um lado o LE proporcionou melhor fertilidade do solo para o crescimento e desenvolvimento do feijoeiro, por outro, foi menos eficaz na redução do sódio trocável do solo, permitindo maior absorção deste elemento pelas plantas e maiores problemas de desbalanço nutricional, o que certamente provocou a redução da PG da planta para cerca de 27% daquela ocorrida no tratamento EM.

Considerando a maior PG observada dentre os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, que foi de 2,28 g/planta com a aplicação total de gesso, o tratamento EM produziu cerca de 1,34 vezes esse valor, o que reforça a ideia de maior eficácia do EM na recuperação de solos com problemas de sódio para posterior cultivo de feijoeiro.

### **5.5.3 Comparação entre as diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso, e a testemunha, em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum.**

A aplicação total do LE ou do gesso promoveu, após trinta dias de incubação, maior valor de pH do solo comparado a testemunha, o que pode ser atribuído a SB mais elevada nestes tratamentos. Todavia, após o cultivo do feijoeiro, os valores de pH foram iguais para todos os tratamentos. A princípio, os valores de pH dos tratamentos com LE e gesso, e testemunha, apresentaram valores de pH acima da faixa ideal para as plantas (5,5 a 6,5), porém, após o cultivo, praticamente todos os valores ficaram dentro da faixa recomendada para o cultivo das plantas.

Os teores de matéria orgânica, N total, P disponível, K e Mg trocáveis, bem como do Prem, CTC total e CE, após o período de incubação de trinta dias, não variaram entre

os tratamentos com LE e, ou gesso, e a testemunha. Este fato se repetiu após o cultivo do feijoeiro, exceto para o K, que foi maior com a aplicação de maiores proporções de gesso. De todo o modo, os níveis de fertilidade foram altos para todos os tratamentos (Alvarez V. et al., 1999) e a CE manteve-se dentro da faixa para os solos considerados normais ( $CE \leq 4 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Os teores de Ca e a SB dos tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, após trinta dias de incubação, foram mais elevados do que a testemunha, mas não diferiram após o cultivo do feijoeiro. A V%, por outro lado, foi semelhante entre a testemunha e os tratamentos com aplicação total de LE ou gesso, e com todos os tratamentos, após o cultivo. De todo o modo, a V% de todos os tratamentos manteve-se sempre muito alta, muito embora, na testemunha, isso se deva principalmente a presença de maior quantidade de Na trocável, o que diminui a qualidade dessa variável para este tratamento.

O teor de Na trocável e a PST, após a incubação do solo por trinta dias, foram, em geral, maiores na testemunha do que em todos os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, sendo que, após o cultivo, praticamente não houve diferenças entre estes tratamentos. Um aspecto relevante é que, após a incubação, a PST da testemunha manteve-se ainda muito elevada, superando em muito o limite a partir do qual o solo apresenta problemas de sódio ( $PST \geq 6\%$ ), não obstante, após o cultivo, tenha atingido valor de PST de um solo normal.

O GF das argilas do solo, após a incubação por trinta dias, foi mais baixa na testemunha em comparação aos tratamentos contendo proporção de pelo menos 40% do Ca vindo do gesso. Neste prazo mais curto, o gesso foi mais eficaz do que o LE em reduzir a PST e promover a flocculação das argilas, o que melhora as condições físicas do solo (Ruiz et al., 2006).

Em relação a nutrição e produção do feijoeiro, observou-se que a testemunha

apresentou conteúdos mais baixos de macronutrientes do que o tratamento com aplicação total de LE e, exceto para o Mg, foi bastante semelhante aos tratamentos com maiores proporções de gesso. Deste modo, por ser uma fonte importante de nutrientes, principalmente de N, o LE proporcionou maior crescimento vegetativo da planta, refletindo em maior PA, porém, com menor PG.

Considerando a maior PG observada dentre os tratamentos com diferentes proporções de LE e gesso, que foi de 2,28 g/planta com a aplicação total de gesso, esse tratamento correspondeu a cerca de 1,65 vezes a PG da testemunha, indicando ser também um tratamento com ótimo resultado para a recuperação de solos com problemas de sódio e cultivo de feijoeiro.

#### **5.5.4 Comparação entre as diferentes proporções de lodo de esgoto e gesso em relação aos atributos do solo e produção do feijoeiro comum.**

A aplicação de maior proporção de Ca a partir do LE, após trinta dias de incubação, promoveu maior redução do pH do solo, porém, permanecendo ainda um pouco acima da faixa ideal de 5,5 a 6,5. Por outro lado, para o pH após o cultivo, não houve diferenças entre as proporções de LE e gesso, ficando o valor médio dentro da faixa considerada ideal para o crescimento das plantas.

Quanto aos teores de matéria orgânica e P disponível, bem como a CE, não houve efeito das diferentes proporções de LE e gesso após a incubação, sendo a matéria orgânica e P considerados como de nível médio e muito bom, respectivamente, e a CE como de um solo normal quanto a salinidade. Após o cultivo, o teor de matéria orgânica também não foi influenciado pelas diferentes proporções de LE e gesso e manteve-se como de nível médio. Todavia, o teor de P disponível aumentou com o incremento de LE, atingindo valor máximo com a adição total de LE, permanecendo como de nível alto. Além disso, a CE foi menos elevada com as aplicações de maiores proporções de LE, muito embora não tenha havido nenhuma extrapolação do limite de salinidade para as

demais proporções de LE e gesso.

Após o período de incubação de trinta dias, os valores de Prem, K e Ca trocáveis, e o GF atingiram valores mais elevados com as aplicações de maiores proporções de gesso, enquanto, após o cultivo, tal fato se verificou apenas para o K trocável. Pelo exposto, o incremento de sulfato no solo com a adição de gesso pode ter aumentado a competição com o fosfato pelas cargas positivas do solo, reduzindo a sua adsorção. Por outro lado, a presença de menor teor de N-NH<sub>4</sub> nas maiores proporções de gesso, pode ter significado liberação mais lenta de K da forma não trocável, evitando maiores perdas por lixiviação e acúmulo ao final do período de incubação. O teor de Ca trocável mais elevado com a maior proporção de gesso justifica-se pela sua liberação mais rápida neste corretivo do que no LE, tanto que, após o cultivo, não houve diferenças entre as diferentes proporções de LE e gesso. Tal fato é responsável ainda pelo aumento do GF, uma vez que a elevação do teor de Ca trocável do solo induz a uma rápida floculação das argilas (Ruiz et al., 2006). De todo o modo, os teores desses nutrientes ficaram em níveis de fertilidade considerados bons ou muito bons para o cultivo das plantas.

No caso dos teores de N total, Mg trocável, bem como da CTC total, SB e V%, após o período de incubação de trinta dias, os maiores valores ocorreram com a adição de maiores proporções de LE, enquanto, após o cultivo, tal fato se repetiu apenas para os nutrientes mencionados. Os incrementos dos teores destes nutrientes no solo com o aumento da proporção de LE justifica-se por esse resíduo conter quantidades razoáveis desses elementos, principalmente N (Nascimento et al., 2004). De todo modo, o teor de Mg trocável pode ser considerado como de nível muito bom, mesmo na proporção de LE e, ou gesso, com menor concentração desse elemento. Para os valores máximos dos demais indicadores de fertilidade, podem ser considerados todos como de nível no mínimo bom (Alvarez V. et al., 1999).

Para o teor de Na e PST do solo, após a incubação de trinta dias, houve redução

dos seus valores com a aplicação de maiores proporções de Ca vindo do gesso, o que indica que, a curto prazo, esse corretivo foi muito mais eficaz em reduzir os problemas de sódio do solo do que o LE. Tal fato é revelado inclusive pelo aumento do GF, conforme exposto anteriormente, e também pelo menor conteúdo de Na da parte aérea da planta, assim como pela maior PG observada com a aplicação total de gesso, de cerca de 4,47 vezes a da aplicação total de LE, muito embora os conteúdos de N, P, K e Ca, e até mesmo a biomassa da parte aérea, tenham diminuído com a adição deste corretivo. Por outro lado, após o cultivo do feijoeiro, os valores de Na e de PST foram mais baixos com o aumento da proporção de LE, revelando maior eficácia desse resíduo a médio prazo.

A curto prazo os valores de PST dos tratamentos com maiores proporções de LE ficaram um pouco acima ou próximo do limite de classificação do solo como de caráter solódico ( $6\% \leq \text{PST} < 15\%$ ), enquanto que, com as aplicações com maiores proporções de gesso, os valores foram todos abaixo do valor limite. Contudo, após o cultivo do feijoeiro, mesmo o maior valor de PST atingido, ficou muito abaixo do limite de 6% para solos solódicos.

## **5.6 Conclusões**

- A aplicação do extrato de sementes de moringa promove, a curto prazo, a maior redução da percentagem de sódio trocável do solo, tornando o solo normal do ponto de vista da sodicidade. Além disso, promove no solo melhores condições de fertilidade, principalmente de pH, teores de matéria orgânica e macronutrientes primários, além de elevar o grau de flocculação das argilas.
- A aplicação do extrato de sementes de moringa proporciona maior produção de grãos com incremento de 2,2 vezes em relação a testemunha e de 1,4 vezes em relação ao melhor tratamento dentre as proporções de LE e gesso.
- A aplicação de maior proporção de Ca vindo do gesso, promove a curto prazo, maior elevação do teor de Ca trocável do solo, refletindo em menor teor de Na trocável e de

percentagem de sódio trocável e maior grau de floculação das argilas. Além disso, a maior proporção de gesso mostra eficácia para a produção de grãos do feijoeiro, produzindo 1,7 vezes mais do que a testemunha.

- A aplicação total de do lodo de esgoto, promove a médio prazo, melhor fertilidade do solo em relação ao Mg trocável, e menores valores de Na trocável, percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação do solo.

## 5.7 Referências

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. p. 25-32. *In*: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H., org. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. CFSEMG, Viçosa, MG, BR.

CAVALCANTE, L.F.; SANTOS, R.V. dos; HERNANDEZ, F.F.F.; GHEVY, H.R.; DIAS, T.J.; NUNES, J.C.; LIMA, G.S. 2016. Recuperação de solos afetados por sais. p. 461-477. *In*: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. INCTSal, Fortaleza, CE, BR.

CHAGANTI, V.N.; CROHN, D.M.; SIMUNEK, J. 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management* 158: 255–65.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVEIRA, F.C. 2008. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II - fertilidade do solo e nutrição da planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 653-662.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; SILVA, L.M.; LEMOS, L.B. 2006. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. *Bragantia* 65: 459-465.

DIAS, A.S.; NOBRE, R.G.; LIMA, G.S.; GHEYI, H.R.; ALVES PINHEIRO, F.W. 2016. Crescimento e produção de algodoeiro de fibra colorida cultivado em solo salino-sódico e adubação orgânica. *Irriga edição especial*: 260-273.

DING, Z.; KHEIR, A.M.S.; ALI, O.A.M.; HAFEZ, E.M.; ELSHMEY, E.A.; ZHOU, Z.; WANG, B.; LIN, X.; GE, Y.; FAHMY, A.E.; SELEIMAN, M.F. 2021. A vermicompost and deep tillage system to improve saline-sodic soil quality and wheat productivity. *Journal of Environmental Management* 277: 1-9.

ELSALAM, H.E.A.; EL-SHARNOUBY, M.E.; MOHAMED, A.E.; RAAFAT, B.M.; EL-GAMAL, E.H. 2021. Effect of sewage sludge compost usage on corn and faba bean growth, carbon and nitrogen forms in plants and soil. *Agronomy* 11: 3-20.

EMMANUEL, S.A.; EMMANUEL, B.S.; ZAKU, S.G.; THOMAS, S.A. 2011. Biodiversity and agricultural productivity enhancement in Nigeria: application of processed *Moringa oleifera* seeds for improved organic farming. *Agriculture And Biology Journal of North*

America 2: 867-871.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 2011. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. EMBRAPA, Rio de Janeiro, RJ, BR.

ERNANI, P.R. 1986. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. Revista Brasileira de Ciência do Solo 10: 241-245.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. 2007. Potássio. P. 551-594. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. SBCS/UFV, Viçosa, MG, BR.

FARHANGI-ABRIZ, S.; TORABIAN, S. 2018. Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition. Environmental Science and Pollution Research 25: 11556-11564.

FRIGHETTO, R.T.S.; FRIGHETTO, N.; SCHNEIDER, R.P.; FERNANDES, L.P.C. 2007. O potencial da espécie *Moringa oleifera* (Moringaceae). I. A Planta como fonte de coagulante natural no saneamento de águas e como suplemento alimentar. Revista Fitos 3: 78-88.

GALLÃO, M.I.; DAMASCENO, L.F.; BRITO, E.S. 2006. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. Revista Ciência Agronômica 37: 106-109.

GUIMARÃES, J.C.S.; CORDEIRO, J.; VITORINO, D.C.F. 2018. Utilização do lodo de esgoto na agricultura: uma análise cienciométrica. Research, Society and Development 7: 1-31.

HANAY, A.F.; BUYUKSONMEZ, F.; CANBOLAT, M.Y. 2004. Reclamation of saline- sodic soils with gypsum and MSW compost. Compost Science and Utilization 12: 175–179.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. BDMEP, Banco de dados históricos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> [Acessado em 03 de março 2022].

LEOGRANDE, R.; VITTI, C. 2019. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. Arid land research and management 33: 1-21.

LEPSCH, I.F. 2010. Formação e conservação dos solos. 2ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, BR.

LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L.T. 2012. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. Revista Ceres 59: 118-124.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, SP, BR.

MESQUITA, A.G.R.; RANDOW, J.R.V.; OLIVEIRA, R.L.; GONÇALVES, M.V.V.A. 2017. Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura. Revista Perspectivas Online: exatas e engenharia 17: 80–87.

MOTA, M.F.C.; PEGORARO, R.F.; MAIA, V.M.; SAMPAIO, R.A.; KONDO, M.K.; SANTOS, S.R. 2021. Can sewage sludge increase soil fertility and replace inorganic fertilizers for pineapple production. *Research, Society and Development* 10: 1-14.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. 2004. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 385-392.

NDABIGENGESERE, A.; K. NARASIAH, S.; TALBOT, B.G. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research* 29: 703-710.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D. & LOURENÇO, S., eds. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. P. 189-254.

ORS, S.; SAHIN, U.; KHADRA, R. 2015. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Research and Management* 29: 41–54.

PASSOS, R.M.; SANTOS, D.M.C.; SANTOS, B.S.; SOUZA, D.C.L.; SANTOS, J.A.B.; SILVA, G.F. 2012. Qualidade pós-colheita da moringa (*Moringa oleifera* Lam) utilizada na forma in natura e seca. *Revista GEINTEC* 3: 113-120.

PATERNIANI, J.E.S.; MANTOVANI, M.C.; SANT'ANNA, M.R. 2009. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13: 765–771.

PEREIRA, J.R.; VALDIVIESO, C.R.; CORDEIRO, G.G. 1985. Recuperação de solos afetados por sodio através do uso de gesso. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/132830/recuperacao-de-solos-afetados-por-sodio-atraves-do-uso-de-gesso> [Acessado em 03 de março de 2022].

RADY, M.M.; MOHAMED, G.F.; ABDALLA, A.M.; AHMED, Y.M. 2015. Integrated application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract alleviates the salt-induced adverse effects in common bean plants. *International Journal of Agricultural Technology* 11: 1595–1614.

RADY, M.M.; TALAAT, N.B.; ABDELHAMID, M.T.; SHAWKY, B.T.; DESOKY, E.S. 2019. M. Maize (*Zea mays* L.) grains extract mitigates the deleterious effects of salt stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and physiology. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 94: 777-789.

RANJBAR, F.; JALALI, M. 2011. Effects of plant residues and calcite amendments on soil sodicity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 874-883.

RIBEIRO, M.R.; RIBEIRO FILHO, M.R.; JACOMINE, P.K.T. 2016. Origem e classificação dos solos afetados por sais. p. 9-15. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. INCTSal, Fortaleza, CE, BR.

RICHARDS, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, Washington, EUA.

RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M.; FERREIRA, P.A. 2006. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6: 1-12.

RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M.; ALVAREZ V., V.H. 2004. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 1119-1126.

SANTOS, P.R.; RUIZ, H.A.; NEVES, J.C.L.; ALMEIDA, E.F.; FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. 2009. Germinação, vigor e crescimento de cultivares de feijoeiro em soluções salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13: 882-889.

SCHULTZ, E.; CHATTERJEE, A.; DESUTTER, T.; FRANZEN, D. 2017. Sodic soil reclamation potential of gypsum and biochar additions: influence on physico-chemical properties and soil respiration. *Communications in Soil Science Plant Analysis* 48: 1792–1803.

SHEORAN, P.; KUMAR, A.; SHARMA, R.; BARMAN, A.; PARJAPAT, K.; SINGH, R.K.; KUMAR, S.; SHARMA, P.C.; ISMAIL, A.M.; SINGH, R.K. 2021. Managing sodic soils for better productivity and farmers' income by integrating use of salt tolerant rice varieties and matching agronomic practices. *Field Crops Research* 27: 1-15.

TAVARES FILHO, A.N.; BARROS, M.F. C.; ROLIM, M.M.; SILVA, E.F.F. 2012. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16: 247–252.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. 2017. Manual de métodos de análise de solo. 3 ed. EMBRAPA, Brasília, DF, BR.

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

TRIVEDI, P.; SINGH, K.; PANKAJ, U.; VERMA, S.K.; VERMA, R.K.; PATRA, D.D. 2017. Effect of organic amendments and microbial application on sodic soil properties and growth of an aromatic crop. *Ecological engineering* 102: 127-136.

VASCONCELOS, R.R.A.; GRACIANO, A.S.A.; FONTENELE, A.J.P.B.; NETO, A.T.C.; BARROS, M.F.C. 2016. 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* 10: 640-650.

VILLA, M.R., FERNANDES, L.A., FAQUIN, V. 2004. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 649-658.

VILLABLANCA, E. 2017. Why Organic Fertilizers are Safer to Use than Inorganic Fertilizers. Disponível em: [http://www.associatedcontent.com/article/333446/why\\_organic\\_fertilizers\\_are\\_safer\\_to\\_](http://www.associatedcontent.com/article/333446/why_organic_fertilizers_are_safer_to_)

pg2.html?cat=32 [Acessado em 03 de março de 2022].

ZAMAN, G.; MURTAZA, B.; IMRAN, M.; SHAHID, M.; SHAH, G.M.; AMJAD, M.; NAEEM, M.A.; MUBEEN, M.; MURTAZA, G. 2020. Utilization of bio-municipal solid waste improves saline-sodic soils and crop productivity in rice-wheat. *Compost Science & Utilization* 28: 16-27.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para a utilização de corretivos de solo alternativos os mesmos precisam apresentar eficiência quanto a correção, ser viável e sustentável. O lodo de esgoto ou biossólido surge como uma alternativa promissora na agricultura, apresentando índices de matéria orgânica e nutrientes capazes de melhorar a estrutura dos solos. Quando combinado com o gesso, apresenta uma solução viável e sustentável para diminuir o teor de sódio do solo, passível de mais estudos para aperfeiçoamento.

É inegável que o extrato de sementes de moringa apresenta ótima capacidade de deslocar e lixiviar o sódio trocável do solo, bem como promover a flocculação de argilas, aumentar a disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica. Por apresentar alto potencial sustentável, são necessários estudos quanto a questão da quantidade de sementes utilizada via solo e, principalmente, estudos quanto à proteína presente nas sementes, capaz de causar essa flocculação, para que possamos melhorar a sua aplicabilidade na agricultura.