



**DELÂNIO BRASIL DE SIQUEIRA**

**INFLUÊNCIA DO ENXOFRE SOBRE AS PROPRIEDADES  
QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DO  
FEIJÃO-CAUPI APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME  
COMPOSTADO**

**TERESINA – PI**

**2019**

**DELÂNIO BRASIL DE SIQUEIRA**

**INFLUÊNCIA DO ENXOFRE SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS  
DO SOLO E CRESCIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE  
CURTUME COMPOSTADO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Piauí, como  
exigência do Programa de Pós-  
graduação em Agronomia – área de  
concentração Agricultura Tropical para  
obtenção do título de Mestre em  
Ciências.

**Orientador:** Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

**TERESINA – PI**

**2019**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Divisão de Processos Técnicos

S619i

Siqueira, Delânio Brasil de.

Influência do enxofre sobre as propriedades químicas e biológicas do solo e crescimento do feijão-caupi após aplicação de lodo de curtume compostado / Delânio Brasil de Siqueira. – 2019.

31 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2019.

“Orientação: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo”.

1. Feijão-caupi – cultivo. 2. Ciência do solo. I. Título.

CDD 633.33

DELANIO BRASIL DE SIQUEIRA

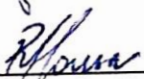
**INFLUÊNCIA DO ENXOFRE SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS E  
BIOLÓGICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI APÓS  
APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO**


Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADO em 30 de abril de 2019.

Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jadson Emanuel Lopes Antunes – PNP/UFPI

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa – CCA/UFPI

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ana Roberta Lima de Miranda – IFMA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo – CAA/UFPI  
(Orientador)

**TERESINA-PI**

**2019**

*Deus alfa e ômega, primeiro e derradeiro, princípio e fim.*

## **OFEREÇO**

*A minha mãe Lindalva Dias Brasil, tios Luiza Dias Brasil e Demerval Dias Brasil pelo estímulo e apoio.*

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida e oportunidades que me foram dadas.

A Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Agricultura Tropical (PPGA-AT), pela oportunidade de realizar este curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior (CAPES) pela ajuda financeira.

Ao Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo, pela orientação, conhecimentos repassados ao longo do curso e dedicação empregados neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Jadson Emanuel Lopes Antunes por contribuir com a realização do experimento e pelos conhecimentos repassados ao longo do curso.

Aos meus amigos que fiz durante o curso, Isaias, José Claudio, Manuela, Mayara, Paulo, Sandra, Silvestre, pelo suporte durante o curso. Aos amigos do dia-a-dia dentro Laboratório de Análise de Solo, João Pedro, Marineide, Claudyanne, Mariane e Regina pela ajuda e paciência.

Aos alunos de iniciação científica Antônio Vitor, João Humberto, Francisco Macedo, Ígda Caroline, Junia Mariza, Ingride e Ingrid Estephanie que colaboram com a realização do experimento.

Aos funcionários Carlos Alberto S. de Oliveira, Walterdes dos S. Arraes, e Wilson V. Gomes e Louise Oliveira do Laboratório de Análise de Solo - LASO que sempre estavam dispostos a ajudar nas análises realizadas no experimento.

A minha mãe Lindalva pelo apoio e amor. Aos familiares que me ajudaram e incentivaram por mim.

A todos, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de variância para o experimento de interação entre os fatores lodo de curtume compostado e enxofre em feijão-caupi cultivado em Teresina - PI.....9

Tabela 2: Análise de falta de ajuste para o modelo de superfície de resposta para o experimento de interação entre os fatores lodo de curtume compostado e enxofre em feijão-caupi cultivado em Teresina - PI.....9

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráficos de superfície de resposta para a variável massa relativa de nódulos (MRN), para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI.....10

Figura 2: Gráficos de superfície de resposta para a variável relação parte aérea: raiz (RPR) para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI.....11

Figura 3: Gráficos de superfície de resposta para a variável Carbono da biomassa do solo (CBM) para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI.....12

Figura 4: Gráficos de superfície de resposta para a variável pH do solo em H<sub>2</sub>O para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI.....13

Figura 5: Gráficos de superfície de resposta para a variável teor de cálcio e magnésio (Mg<sup>2+</sup>+Ca<sup>2+</sup>) para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI.....15



# FLUÊNCIA DO ENXOFRE SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE CURTUME COMPOSTADO

Autor: Delânio Brasil de Siqueira

Orientador: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

## RESUMO

O trabalho teve como objetivo reduzir os efeitos negativos do lodo de curtume compostado no desenvolvimento do feijão-caupi e nas propriedades químicas e biológicas do solo com histórico de nove anos de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado. O experimento foi conduzido em vasos com desenho experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial duplo 2x5, sendo quatro doses de enxofre elemental 0, 10, 20, e 30 kg ha<sup>-1</sup> por cinco doses de lodo de curtume compostado de 0,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup>, com 3 repetições totalizando 60 vasos. As variáveis analisadas foram: número de nódulos, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca dos nódulos, massa relativa dos nódulos (MRN), relação parte aérea: raiz, carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano, pH, a acidez potencial, cálcio, magnésio e a relação cálcio:magnésio trocável, teor de sulfato do solo, teor de sulfato do material vegetal. O enxofre reduz o efeito negativo proporcionado pelo lodo de curtume compostado ao promover o aumento da nodulação, desenvolvimento das plantas de feijão-caupi, elevou os teores de cálcio e magnésio e redução do pH do solo, porém reduziu o carbono da biomassa microbiana. As doses ideais de lodo de curtume compostado e enxofre elemental são 15 Mg ha<sup>-1</sup> e 19 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, fitotoxicidade, mitigação, metais pesados.

INFLUENCE OF SULFUR ON CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF  
SOIL AND COWPEA GROWTH AFTER APPLICATION OF COMPOSTED  
TANNERY SLUDGE

Author: Delânio Brasil de Siqueira

Adviser: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

**ABSTRACT**

The aim of this paper was to reduce the negative effects of composted tannery sludge on the development of cowpea and chemical and biological properties of the soil with a history of nine years of successive applications of composted tannery sludge. The experiment was conducted in vases with experimental design in a randomized block design in a 2x5 double factorial scheme, with four doses of elemental sulfur 0, 10, 20 and 30 kg ha<sup>-1</sup> by five doses of composted tannery sludge of 0.0; 2.5; 5.0; 10.0 and 20.0 Mg ha<sup>-1</sup>, with 3 replicates totaling 60 vases. The variables analyzed were: number of nodules, dry shoot mass, root dry mass, dry mass of nodules, relative mass of nodules, total organic carbon, microbial biomass carbon, microbial quotient, pH, potential acidity, calcium and magnesium and the exchangeable calcium, soil sulphate content, sulfate content of plant material. Sulfur reduced the negative effect of composted juice sludge by promoting nodulation, the development of cowpea plants, calcium and magnesium levels and the reduction of soil pH, but reduced the carbon of the microbial biomass. As the ideal doses of composted compost and elemental sulfur are 15 Mg ha<sup>-1</sup> and 19 kg ha<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*, phytotoxicity, mitigation, heavy metal

**SUMÁRIO**

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1	Lodo de curtume.....	2
2.2	Compostagem.....	3
2.3	Metabolização do enxofre pela microbiota do solo.....	4
2.4	O enxofre, a nodulação e o crescimento de plantas.....	5
2.5	O enxofre, pH do solo, os teores de Ca e Mg trocáveis do solo.....	5
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
5	CONCLUSÕES.....	15
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização possibilitou o crescimento acelerado da população mundial e com isso a qualidade de vida cresceu junto. Entretanto, o desenvolvimento da industrialização custa caro para o solo, pois atividades como a mineração, fertilização de solos, uso de pesticidas, curtimento de couro, fabricação de papel, cabeamento elétrico das cidades e a indústria eletrônica são responsáveis pela poluição por metais pesados em solos (TAIWO et al, 2016; ARIVALAGAN et al., 2014).

Grande parte desses resíduos da industrialização, como o lodo de curtume, ainda não possuem métodos adequados de descarte. Este resíduo é gerado do processamento de couro animal, sendo parte disposto em aterros sanitários ou industriais contendo elevadas concentrações de metais pesados como ferro, cádmio, crômio, cobre, mercúrio, chumbo entre outros (PATEL; PATRA, 2016). Diante disto, torna-se importante buscar formas adequadas de descarte para os resíduos gerados, de forma que tenham menor impacto ao ambiente.

Dentre os métodos para melhor descarte do lodo de curtume está a realização do processo de compostagem dos resíduos gerados em curtumes que pode ser considerada uma alternativa para o incremento da fertilidade do solo em áreas agrícolas por ser fonte de matéria orgânica e nutrientes para as plantas (YUKSEL, 2015). Após aplicações por longo período de lodo de curtume compostado (LCC), Araújo et al., (2015) observaram que o solo se torna alcalinizado devido a acréscimos em condutividade elétrica.

Visando reduzir a alcalinização do solo que recebeu LCC, à adição de enxofre (ENX) pode ser uma solução, tendo em vista ocorrer oxidação à sulfato no solo liberando íons  $H^+$  (STAMFORD et al., 2007).

Diante do volume de resíduos liberados pela indústria de curtume e a busca por soluções para o descarte dos resíduos o trabalho teve como objetivo reduzir os efeitos negativos do lodo de curtume compostado no desenvolvimento do feijão-caupi e nas propriedades químicas e biológicas do solo com histórico de nove anos de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Lodo de curtume

Os curtumes, indústrias de beneficiamento de couro animal, são produtores de semi- sólidos chamado de lodo que são gerados a partir do tratamento dos efluentes descartados durante o beneficiamento do couro que polui o solo e corpos d'água em seu local de descarte se não for tratado. O lodo é um poluente por apresentar altas concentrações de metais pesados além de sais, ácidos e taninos, por exemplo (GANEM, 2007).

Este poluente se diferencia de acordo com as etapas de tratamento do couro, gerando resíduos bem diferentes quanto aos seus componentes, por exemplo, o resíduo obtido a partir da filtração do efluente de depilação e caleiro que são duas etapas pertencentes a ao processo de beneficiamento do couro é chamado de lodo de caleiro e apresenta pH básico sendo rico em nitrogênio por causa da quantidade de pelos obtidos (ANDRIOLI e GUTTERRES, 2014) apresentando ainda potencial para elevação do pH do solo por apresentar valor de pH em torno de 12 (MARTINEZ, 2009).

Há 3 tipos de tecnologias de processamento de peles em couro: curtimento convencional, curtimento buscando o mínimo impacto ambiental como redução de sais minerais e utilização de curtentes químicos; curtimento alternativo, utilizando enzimas na etapa de depilação e caleiro ou curtentes vegetais para minimizar o impacto ambiental. (AQUIM, 2014).

No Brasil, entre os anos de 1999 e 2009, a produção de couro curtido aumentou em quase 2 milhões de unidades no total acumulado (6,2 milhões em 1999 para 8,04 milhões em 2009). Entretanto, observou-se redução da produção entre os anos de 2009 e 2018 em duzentos mil unidades (8,044 milhões em 2009 para 8,244 milhões). E a utilização de curtente com fonte de crômio cresceu de 85,87% para 91,67% de todo o couro curtido entre 1999 e 2018 (IBGE, 2018). Desta forma, mesmo que a produção acumulada de couro curtido tenha sido reduzida, o couro curtido tratado com metais pesados representa quase a totalidade de couro curtido no país.

O que demonstra que pouco se tem feito quanto a implementação de um processo de curtimento de couro mais benéfico ao meio ambiente e a saúde, 90% dos curtumes do país utilizam curtente à base de cromo quando há métodos que utilizam taninos vegetais como a casca de árvores taníferas, por exemplo, o angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan) (LORENZI E MATOS, 2002), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) (AGUILAR-ORTIGOZA, 2003) jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) (PAES et al., 2006) e a acácia (*Acacia mearnsii*) no Rio Grande do Sul (TANAC, 2014). No Nordeste e Norte do país todas as curtumeiras utilizam fontes de cromo durante o beneficiamento de couro. No Sul, Sudoeste e Centro-Oeste taninos e fontes de cádmios vem sendo utilizados como alternativas ao cromo (IBGE,2018).

Também há a economia gerada com a reutilização de resíduos sólidos, pois quanto mais esses resíduos forem reutilizados mais os custos envolvendo o gerenciamento desses resíduos serão reduzidos podendo tornar viável a produção de matéria-prima, energia, combustíveis e produtos químicos (BAUTISTA et al., 2015). Exemplo disso é a utilização de resíduos de couro como forro para almofadas de assentos de carros e móveis, isolamento térmico e acústico de paredes e ambientes em geral (CALLISTER, 2015).

Portanto há métodos que apesar de serem um pouco mais caros que curtimento convencional e ambientalmente menos nocivo, além de economizar mais água, mas que sofre barreira cultural que deve ser vencida através de um grande número de pesquisas de viabilidade desses processos para que possam mudar essa realidade (AQUIM et al., 2014). Devido a toxicidade de cromo e outras substâncias presentes no lodo de curtume, a sua destinação vem sendo um desafio (SHEN et al., 2017).

## **2.2 Compostagem**

A compostagem, é um processo de remediação em que bactérias aeróbicas transformam matéria orgânica em compostos estabilizados. Se dividindo em uma primeira fase quente e uma segunda fase fria. Na fase quente microrganismos termófilos realizam a sanitização do composto que é quando a temperatura do composto atinge entre 45 a 70° C (BHATIA et al., 2013).

Em seguida, quando a compostagem atinge temperaturas mais amenas - fase fria - microrganismos mesófilos são responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos mais recalcitrantes, ou seja, mais difíceis de serem degradados o que torna o processo mais lento, no entanto é nesta fase que a toxicidade residual desaparece (BHATIA et al., 2013). Desta forma, o processo acarreta em uma minimização do efeito poluente que o resíduo dos curtumes, o lodo de curtume, poderia causar ao meio.

A depender da microbiota presente a eficiência da compostagem do lodo de curtume pode ser aumentada já que várias cepas bacterianas com potencial de imobilizar metais pesados e degradar compostos orgânicos complexos foram identificadas a exemplo da *Sporosarcina saromensis* (RAN et al., 2016), *Pseudomonas putida* (KAMRAN et al., 2016), *Pannonibacter phragmitetus* (CHAI et al., 2009), *Microbacterium sp.* (SONI et al., 2014), *Arthrobacter sp.* (ROSALES et al., 2012), *Bacillus sp.* (DHALL et al., 2010), *Intrasporangium sp.* (LIU et al., 2012), *Vogococcus fluvialis* (MISTRY et al., 2010), E *Shewanella sp.* (BELCHIK et al., 2011).

Como fertilizante, o composto de lodo de curtume tem grande potencial pois aumentou a produtividade de milho verde (GUIMARÃES et al., 2015; SOUSA et al., 2018), feijão-caupi (SOUSA et al., 2018) entre outros. Além de alterar a microbiota do solo (MIRANDA, et al. 2018a) e as propriedades químicas do solo (SOUSA et al. 2017) alterando também a atividade enzimática de microrganismos do solo. (ARAÚJO et al. 2016).

### **2.3 Metabolização do enxofre pela microbiota do solo**

O enxofre precisa ser maximamente oxidado, isto é, a sulfato, para que possa estar disponível às plantas sendo este processo é realizado majoritariamente pela comunidade microbiana presente no solo (SUSUKI, 1999; ZHAO et al. 2015).

Como o pH e o teor de matéria orgânica do solo afeta a microbiota do solo, conseqüentemente esta afetará também a oxidação de enxofre a sulfato como um todo (ZHAO et al. 2015). E há espécies bacterianas que realizam este processo com maior intensidade do que outras como é o caso das bactérias oxidantes de sulfato do gênero *Acidithiobacillus sp.* (STAMFORD et al, 2007) e *Streptomyces sp.* (GUO

et al., 2019). Demonstrando que à abundância microbiana e a composição da comunidade microbiana afetará este processo como um todo (ZHAO et al. 2016).

A oxidação de enxofre é realizada principalmente por bactérias que obtém energia a partir da luz (fotoorganotróficas e fotolitotróficas) e bactérias que obtém energia diretamente das reações de oxidação (quimiorganotróficas e quimiolitotróficas), onde oxigênio (espécies aeróbias) ou nitrato e nitritos (espécies anaeróbicas) servem de aceptores de elétrons livres durante a oxidação de compostos de enxofres como os sulfetos (JANSSEN et al., 1998).

#### **2.4 O enxofre, a nodulação e o crescimento de plantas**

O enxofre é importante para a nodulação tanto por ser constituinte dos fatores responsáveis pela nodulação nas plantas em associação com rizóbio (TAIZ e ZEIGER, 2017), como do complexo ativo cofator-FeMo, uma das duas proteínas que compõem a enzima da nitrogenase (SPATZAL, 2014).

O enxofre apresenta semelhança ao nitrogênio já que ambos apresentam múltiplos estados estáveis de oxidação. Por isso ele é importante para as plantas por apresentar função estrutural e reguladora devido a formação de pontes dissulfeto nas proteínas, mas também por estar presente em sítios catalíticos de várias enzimas como a urease e coenzimas, como a coenzima A. Por este motivo deficiências de enxofre apresentam redução de crescimento em plantas e clorose em folhas novas como foi observado em plântulas de feijão- caupi aos onze dias após germinação por Miranda et al., (2010).

#### **2.5 O enxofre, pH do solo, os teores de Ca e Mg trocáveis do solo**

O enxofre acidifica o solo, o que pode ser um problema para solos naturalmente ácidos como os solos da região nordeste do Brasil (STAMFORD et al 2007), no entanto, para solos naturalmente básicos ou que foram alcalinizados através da adição de compostos básicos a adição de enxofre pode vir a ser uma solução.

O enxofre causa a acidificação do solo porque durante seu processo de oxidação, realizado principalmente por bactérias oxidantes de sulfato, é liberado íons



H<sup>+</sup> no solo que acidificam o mesmo. A síntese de ácido sulfúrico a partir do enxofre elementar libera íons H<sup>+</sup> podendo contribuir para a redução de pH em solos (STAMFORD et al., 2007). Foi observado que a oxidação do enxofre diminui o valor do pH em até três em experimentos com bactérias oxidantes de enxofre. (HAN et al. 2013 e VANDANYAN & VANDANYAN, 2014).

A oxidação de enxofre leva a sulfato que na presença do íon Ca<sup>2+</sup>, formando gesso (CaSO<sub>4</sub>). O gesso é pouco solúvel, mas libera sulfato suficiente para sustentar o crescimento vegetal. Os solos com valor de pH acima de 6 e com altos teores de Ca<sup>2+</sup> apresentam baixa mobilidade do sulfato nesses solos, de modo que o sulfato não é altamente suscetível a lixiviação (TAIZ e ZEIGER, 2017). Em experimento com objetivo de determinar a efetividade da correção de pH do solo a medida que o teor de CaCO<sub>3</sub> aumenta no solo foi observado que aplicação de enxofre teve efeitos limitados na redução do pH do solo à medida que o nível de CaCO<sub>3</sub> aumentou e, portanto, não aumentou a disponibilidade de nutrientes (KALER et al., 2016).

E a absorção de magnésio é reduzida tanto com o aumento dos teores de cálcio quanto com o aumento do pH, ou seja, a absorção de magnésio é reduzida quando o pH do solo atinge faixas maiores que 7,5 e por apresentar relação antagônica com o cálcio pela absorção das plantas por serem (TAIZ e ZEIGER, 2017). Foi observado que teores de Mg apresentaram correlação negativa com teores de Ca devido a competição pela absorção de plantas e perdas por lixiviação (KALER et al., 2016)

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias – CCA da Universidade Federal do Piauí e o solo utilizado no experimento foi proveniente de área experimental implantada em 2009 pertencente ao Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Piauí - UFPI (05° 05' S; 42° 48' O, 75 m) em Teresina-PI, cujo o solo encontra-se com nove anos de aplicações sucessivas de lodo de curtume compostado nas doses de 0; 2,5; 5; 10; 20 Mg ha<sup>-1</sup>. O solo da área é classificado como Neossolo Flúvico com textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2006).

O lodo de curtume utilizado para a produção de composto foi oriundo do Curtume Europa, localizado no município de Teresina, PI. O processo de compostagem foi conduzido por 85 dias, utilizando-se o método de pilhas revolvidas (USDA, 1986), que consiste na montagem de camadas de bagaço de cana de açúcar, lodo de curtume e esterco bovino na proporção 3:1:1 (V:V:V) revolvidas a cada 15 dias (USDA, 1986).

O desenho experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial duplo 2x5, sendo quatro doses de enxofre elementar (ENX) 0, 10, 20, e 30 kg ha<sup>-1</sup> por cinco doses de lodo de curtume compostado (LCC) de 0,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup>, com 3 repetições totalizando 60 vasos. O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 3 dm<sup>3</sup> de solo. O solo das parcelas com as doses 0,0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC, foram coletados na profundidade de 0-20 cm para preenchimento dos vasos de cada tratamento, nos mesmos foi realizada a aplicação de ENX nas doses de 0, 10, 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup> 30 dias antes do semeio das plantas (WATKINSON et al., 1993).

Para o plantio, foram semeadas cinco sementes por vaso de feijão-caupi BRS Tumucumaque, o desbaste foi realizado aos setes dias, deixando cinco plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida aproximadamente a 80% de capacidade de campo pelo método de pesagem dos vasos (SALASSIER et al., 2006). Aos 45 dias após a emergência, as plantas foram coletadas no início da emissão dos primeiros botões florais, onde a planta prioriza o desenvolvimento das vagens e sementes (HUNGRIA et al., 1994). No momento da coleta, a parte aérea foi coletada assim como as 100 g de solo de cada tratamento para realização das análises químicas e biológicas e de crescimento.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí. O número de nódulos (NN) foi obtido através de contagem antes de serem levados para secagem em estufa a 60° C. Os nódulos, o material vegetal da parte aérea e raiz foram pesados e embalados em sacão de papel do tipo Kraft para secagem em estufa a 60° C até atingir massa constante para obtenção de massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca dos nódulos (MSPA, MSR, MSN, respectivamente). Após a secagem foi obtido a massa relativa dos nódulos: massa seca de nódulos dividido pelo número

de nódulos (MRN) e a relação parte aérea/raiz: massa seca da raiz dividido pela massa seca da parte aérea (RPR) (HUNGRIA et al., 1994).

No solo coletado, foram realizadas análises de o carbono orgânico total (COT) obtido pela oxidação do carbono por via úmida (WALKLEY-BLACK), conforme Tedesco et al. (1995) e o carbono da biomassa microbiana (CBM) estimado pelo método da irradiação e extração (FERREIRA et al., 1999). Em seguida foi obtido o quociente microbiano (qMIC) através da razão do COT pelo CBM. O pH do solo foi determinado em H<sub>2</sub>O, a acidez potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>) foi mensurada após extração com acetato de cálcio (EMBRAPA, 1999). O cálcio, magnésio e a relação cálcio:magnésio (Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) trocável foram determinados conforme Silva (2009). O teor de sulfato do solo (S-SO<sub>4</sub><sup>2+</sup><sub>SOLO</sub>) foi extraído com fosfato de cálcio em ácido acético 2,0mol L<sup>-1</sup> e determinado por espectrofotometria utilizando turbidez formada pela precipitação de sulfato pelo cloreto de bário (EMBRAPA, 1999). O teor de sulfato do material vegetal (S-SO<sub>4</sub><sup>2+</sup><sub>PLANTA</sub>) foi obtido através da digestão completa com ácido nítrico e ácido perclórico (TABATABAI & BREMEM, 1970) e determinado por turbidimetria.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de falta de ajuste para o modelo de superfície de resposta. As doses ideais de ENX e LCC foram obtidas pela derivação dos modelos de superfície de resposta calculado pelo software Table Curve 3D 4.0 (SYSTAT). A análise de variância, o teste de ajuste e modelo de superfície de resposta foi calculado pelo software JMP® 14.3.0 (JMP, 2019), as figuras foram feitas no software Table Curve 3D® 4.0 (SYSTAT).

Para atender os pressupostos da análise de variância as variáveis NN, MSPA, MSR, RPR, CBM, pH passaram transformação raiz quadrada (y+1).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os coeficientes e os valores de P da análise de variância para as variáveis de nodulação: número de nódulos, massa de nódulos por planta, massa relativa de nódulos (NN, MSN e MRN, respectivamente), crescimento da planta de feijão caupi: massa seca da parte aérea da planta, massa seca da raiz e relação parte aérea: raiz (MSPA, MSR RPR, respectivamente), as variáveis carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana do solo e



0,2<sup>ns</sup>    0,0001\*    0,0001\*    0,0001\*    0,03\*    0,0001\*    0,4<sup>ns</sup>    0,7<sup>ns</sup>

\*= Significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>= Não significativo; LCC= Lodo de curtume compostado; ENX= Enxofre elemental

Para a massa relativa de nódulos (MRN) foi observado efeito negativo do fator LCC até a dose de Mg ha<sup>-1</sup> junto as doses de ENX apresentando a menor MRN (0,55g, 0,74g, 0,93g de MRN nas doses de 10,20,30 kg ha<sup>-1</sup> de ENX, respectivamente) caracterizando o declive do vale da superfície- resposta na figura 1, e essa interação se torna positiva a partir da dose estimada de 13,1 Mg ha<sup>-1</sup> onde há um aumento de MRN com o aumento das doses de ENX e LCC, caracterizando o aclave do vale da superfície- resposta. No entanto, foram nas doses de 0 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC e 30 kg ha<sup>-1</sup> que foi observado o valor máximo de MRN (1,22g) (Figura 1).

Isto pode ser explicado pela atuação de enxofre como nutriente essencial para FBN sendo componente estrutural da nitrogenase – enzima responsável por romper as ligações das moléculas de nitrogênio gasoso (SPATZAL, 2014) que isoladamente teve efeito benéfico a MRN, porém com o aumento das doses de LCC, o ENX não foi suficiente para reduzir os efeitos negativos do LCC apresentado em solo com histórico de adição de doses de lodo de curtume compostado recorrentes (0; 2,5; 5; 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>), isto é, há uma redução da massa seca de nódulos das plantas com o aumento da concentração de LCC (ARAÚJO et al., 2014). E a adição de ENX se torna uma alternativa para aumento da nodulação desde que as doses de LCC não sejam inferiores a 13,1 Mg ha<sup>-1</sup> pois o acréscimo na nodulação causado pelo ENX já foi observado em cultivo de soja submetido a incremento de enxofre e fósforo em solo argiloso alcalino (ALI, 2018).

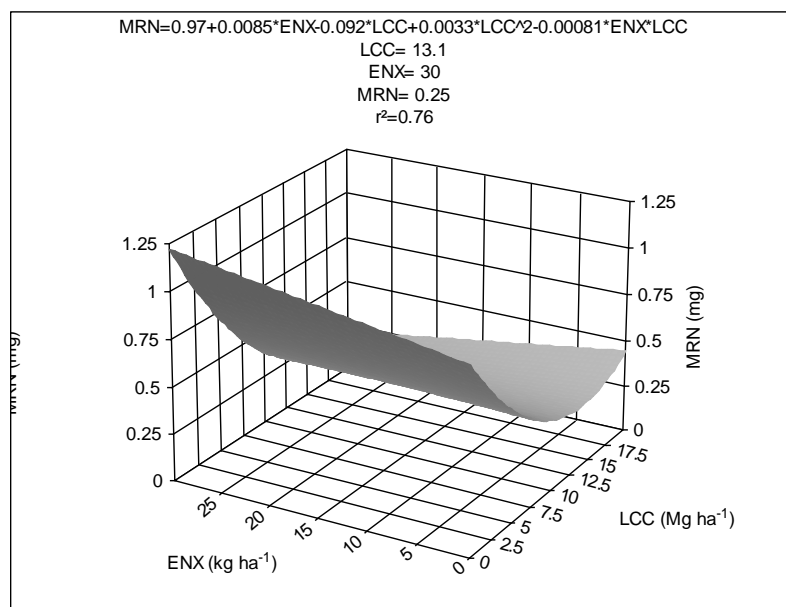


Figura 1: Gráficos de superfície de resposta para a variável massa relativa de nódulos (MRN), para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI

Observa-se na figura 2 o efeito negativo dos fatores ENX e LCC sobre a relação parte aérea: raiz, ou seja, o maior valor obtido através de análise de regressão para esta relação se apresenta quando não há adição de ENX com LCC gerando o valor de 8,44 de RPR. A partir da dose 16,3 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC a relação parte aérea: raiz reduziu em valor junto as doses 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de ENX (1,37, 8,87 de RPR, respectivamente).

Não apresentando RPR maior que a testemunha até a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC a alternativa seria não adicionar doses superiores a 16,3 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC junto a doses de ENX que não sejam superiores a 20 kg ha<sup>-1</sup>. Este resultado pode ser explicado pelo acréscimo de ENX no solo, pois sua oxidação libera ácido sulfúrico no solo como foi observado por Awad et al.(2011) e Sharma et al. (2014) somando-se ao efeito negativo do LCC (ARAÚJO et al, 2015). Resultados contrários relacionados ao desenvolvimento de plantas sob efeito de enxofre foram observados em experimento de cultivo de alho em que a massa seca do alho aumentou gradativamente com o aumento de doses de enxofre de 0 a 45 kg ha<sup>-1</sup> (ZAMAN et al., 2011). O valor de massa seca de alho (4,2g) foi registrado em experimento adubado com 45 kg S ha<sup>-1</sup>, onde o menor valor (1,73g) foi observado na testemunha.

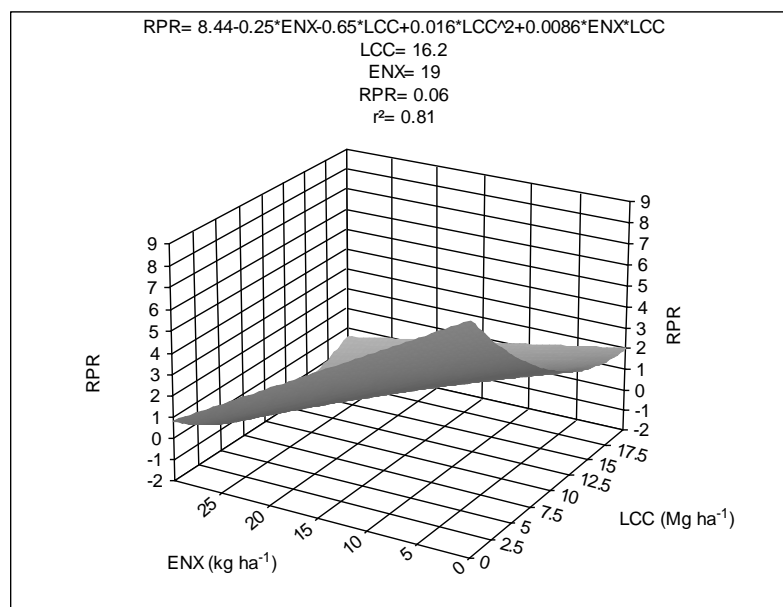


Figura 2: Gráficos de superfície de resposta para a variável relação parte aérea: raiz (RPR) para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI

A variável CBM apresentou maior valor no tratamento testemunha, isto é, sem as doses de ENX e LCC (49,86 mgC<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> de CBM). As doses de LCC apresentaram efeito negativo, isoladamente, sobre a CBM até a dose 14,3 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC que reduziu de 49,86 (0,0 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC) até o valor de 9,7 mgC<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> de CBM (14,3 Mg ha<sup>-1</sup>). Esta redução é sucedida de acréscimo de CBM até a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC, caracterizado pelo vale da superfície de resposta da figura 3, que pode ser explicado pelo acréscimo de matéria orgânica no solo proveniente das doses de LCC. O ENX, no entanto, apresentou efeito negativo em todas as doses testadas sobre a CBM.

O ENX e LCC apresentaram interação negativa para a variável, representado pelo declive da superfície- resposta na figura 3, a redução de CBM com o aumento das doses de LCC e ENX pode ter ocorrido devido ao efeito tóxico de ambos os fatores sobre a CBM, a oxidação de ENX libera ácido sulfúrico no solo como foi observado por Awad et al.(2011) e Sharma et al. (2014). Enquanto o LCC libera íons tóxicos no solo (SOUSA et al., 2017). Em avaliações sobre os efeitos do LCC após 2, 5 e 7 anos de aplicações sucessivas, foi observado que há redução na biomassa microbiana do solo com aumento de aplicações de LCC devido à elevação na concentração de íons metálicos ao solo (GONÇALVES et al., 2014b; ARAÚJO et al., 2015; SOUSA et al., 2017).

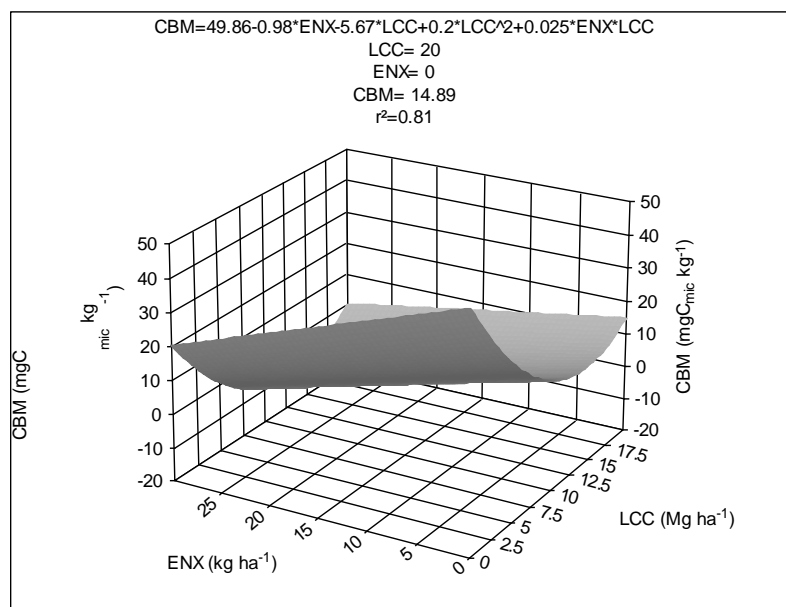


Figura 3: Gráficos de superfície de resposta para a variável Carbono da biomassa do solo (CBM) para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI

Na figura 4 observa-se interação negativa entre o LCC e ENX, ou seja, a medida que as doses de ENX e LCC aumentam o valor de pH é elevado. No entanto o LCC isoladamente eleva o pH em valor muito superior a interação o que é representado pelo aclive da superfície de resposta na figura 4, o valor que inicialmente parte de 8,22 de pH no tratamento de 0 kg ha<sup>-1</sup> de ENX com 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC reduz para o valor de 6,49 de pH na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de ENX com 20 Mg ha<sup>-1</sup> de ENX.

O uso de LCC, proporcionou aumento de pH em solos ácidos sendo benéfico para produtividade de diversas culturas, tais como rabanete (NABAVINIA et al., 2015), feijão-caupi (GONÇALVES et al., 2014a; SOUSA et al., 2017) e milho (SOUSA et al., 2017). No entanto, com aplicações recorrentes de LCC o pH desse solo encontra-se alcalino (MIRANDA et al. 2018b) e o enxofre torna-se uma alternativa para redução da alcalinização causada pelas adições recorrentes de LCC neste solo. Kaya et al. (2009) observou queda no valor de pH para as culturas e feijão e com incremento de enxofre elemental no solo milho (8,12 para 8,12 e 7,55, respectivamente) resultando em incremento de N, P e K no solo e planta. Declínio de pH também causou incremento de nutrientes gerando incremento no desenvolvimento de milho em valor de pH 6,29 após aplicação de 0,5 g S kg<sup>-1</sup> (KARIMIZARCHI AND AMINUDDIN, 2014).



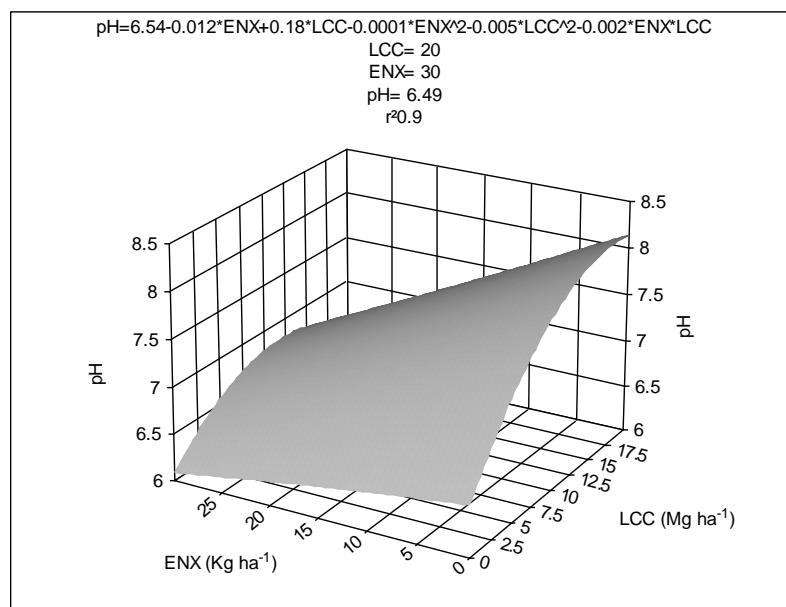


Figura 4: Gráficos de superfície de resposta para a variável pH do solo em H<sub>2</sub>O para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI

Observa-se na figura 5 a superfície de resposta incremento para a variável teor de cálcio e magnésio trocável junto ao incremento das doses de ENX e LCC. O maior valor foi obtido para as doses de 19,63 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC e 30 kg ha<sup>-1</sup> de ENX.

As doses de 2,5; 5; 10; 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LCC adicionadas anualmente podem vir a ser prejudiciais as plantas de feijão-caupi por alcalinizar o solo (ARAÚJO et al., 2015) afetando a absorção de magnésio e cálcio pelas plantas na faixa de pH entre 6,5±0,1 e 7,5±0,5 (MIRANDA et al., 2018b). O enxofre promoveu a redução do pH ao ser adicionado ao solo com doses de LCC o que afetou a relação entre o cálcio e o magnésio, pois para o magnésio ser absorvido pelas plantas é necessário um valor de pH entre o neutro e o ácido aumentando sua disponibilidade no solo (Figura 5).

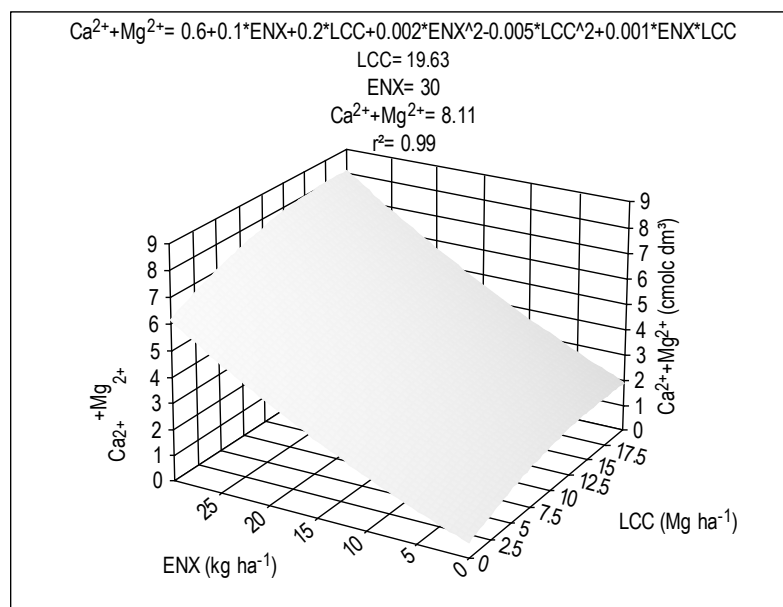


Figura 5: Gráficos de superfície de resposta para a variável teor de cálcio e magnésio ( $Mg^{2+}+Ca^{2+}$ ) para interação entre enxofre e lodo de curtume compostado em feijão caupi cultivado em Teresina-PI

## 5 CONCLUSÕES

O enxofre reduz o efeito negativo proporcionado pelo lodo de curtume compostado ao promover o aumento da nodulação, desenvolvimento das plantas de feijão-caupi, elevou os teores de cálcio e magnésio e redução do pH do solo, porém reduziu o carbono da biomassa microbiana. As doses ideais de lodo de curtume compostado e enxofre elemental são  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $19 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR-ORTIGOZA C. J.; SOSA V.; AGUILAR-ORTIGOZA M. Toxic phenols in various Anacardiaceae species. **Economic Botany**, v. 57, n. 3, p. 354 – 364, 2003.

ALI, M. M. E. S.; Efficiency of Elemental Sulfur and Phosphorus Fertilizer in Enhancing Soybean (*Glycine max* L.) Growth and Yield in a Clayey Soil. **Egyptian Journal Soil Science**, V. 58, N. 2, p. 233 – 244, 2018.

AQUIM, P. M.; SOARES, M. G.; MACOPES, F.; TRIERWEILER, J. O. Avaliação técnica, ambiental e econômica de quatro possibilidades de processos de ribeira e curtimento. **Tecnologia e Tendências**. V. 9, N. 1, 2014.

ANDREOLI, E.; GUTTERRES, M. Processos alternativos ao tratamento dos resíduos sólidos gerados pela indústria coureiro- calçadista. **COBEQ**. Florianópolis – SC. 2014.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, p. 1600 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; LIMA, L. M.; SANTOS, V. M. Repeated application of composted tannery sludge affects differently soil microbial biomass, enzymes activity, and ammonia-oxidizing organisms. **Environment Science Pollution Research**. 23: 19193-19200. 2016.

ARAÚJO A. S. F.; MIRANDA A. R. R.; OLIVEIRA M. L. J.; SANTOS V. M.; NUNES L. A. P. L.; MELO W. J. Soil microbial properties after 5 years of consecutive amendment with composted tannery sludge. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p. 4153 – 4160, 2015.

ARAÚJO, A. S. F.; BORGES, C. D.; TSAI, S. M.; CEZARS, S.; EISENHAUER, N. Soil bacterial diversity in degraded and restored lands of Northeast Brazil. **Antonie van Leeuwenhoek**. V. 106, l. 5 p. 891-899. 2014

ARIVALAGAN, P., SINGARAJ, D., HARIDASS, V., KALIANNAN, T. Removal of cadmium from aqueous solution by batch studies using *Bacillus cereus*. **Ecological Engineering**. V. 71, p. 728-735. 2014.

AWAD, N.M., ABD EL-KADER, A.A., ATTIA, M. AND ALVA, A.K. Effects of nitrogen fertilization and soil inoculation of sulfur-oxidizing or nitrogenfixing bacteria on onion plant growth and yield. **International Journal of Agronomy**. 2011

BAUTISTA, M.E.; PÉREZ, L.; GARCÍA, M.T.; CUADROS, S.; MARSAL, A. Valorization of tannery wastes: Lipoamino acid surfactant mixtures from the protein fraction of process wastewater. **Chemical Engineering Journal**, V. 262, p. 399-408, 2015.

BELCHIK, S. M., KENNEDY, D. W., DOHNALKOVA, A. C., WANG, Y., SEVINC, P. C., WU, H., LIN, Y., LU, H. P., FREDRICKSON, J. K., SHI, L. Extracellular reduction of hexavalent chromium by cytochromes MtrC and OmcA of *Shewanella oneidensis* MR-1. **Applied and Environmental Microbiology** V. 77, p. 4035 e 4041. 2011.

BHATIA, A.; MADAN, S.; SAHOO, J.; ALI, M.; PATHANIA, R.; KAZMI, A. A. Diversity of bacterial isolates during full scale rotary drum composting. **Waste Manage.**, N. 33, p. 595–1601, 2013.

CALLISTER, J.W.D. **Ciência e engenharia de materiais**. Uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CHAI, L., HUANG, S., YANG, Z., PENG, B., HUANG, Y., CHEN, Y. Cr (VI) remediation by indigenous bacteria in soils contaminated by chromium-containing slag. **Journal of Hazardous Mater**. V. 167, p. 516-522. 2009

CATTANEO C.; NICOLELLA C.; ROVATTI M. Denitrification performance of *Pseudomonas putida* in fluidized-bed biofilm reactor and in a stirred tank reactor. **Engineering in Life Sciences**, V. 3. p. 579–595. 2003.

CNTL/SENAI-RS - Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS. **Guia brasileiro de produção mais limpa (PmaisL) no processamento de couro vacum do Centro Nacional de Tecnologias Limpas**. 2003.

DHAL, B., THATOI, H., DAS, N., PANDEY, B. D. Reduction of hexavalent chromium by *Bacillus* sp. isolated from chromite mine soils and characterization of reduced product. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**. V. 85, p. 1471 e 1479. 2010.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 1999. p. 370.

EMBRAPA– Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: Embrapa, 2006.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia técnico do setor de curtumes**. Belo Horizonte: Feam, 58 p. 2018.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, V. 23, p. 991- 996, 1999.

FERREIRA, W. A. (in memoriam); PACHECO, W. F. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 2 eds. São Paulo: CETESB, 2015.

FERREIRA, P. F. SÉRVULO E. F. C. COSTA A. C. A. FERREIRA D. M. GODO M. L. D. P. OLIVEIRA, F. J. S. Bioleaching of metals from a spent diesel hydrodesulfurization catalyst employing *Acidithiobacillus thiooxidans* FG-01. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. São Paulo, V. 34, N. 1, p. 119-129, 2017.

GANEM, R. S. **Curtumes: Aspectos Ambientais**. Câmara dos Deputados-Consultoria Legislativa: Brasília- DF, jun. 2007.

GONÇALVES I. C. R.; ARAÚJO A. S. F.; NUNES L. A. P. L.; BEZERRA A. A. C.; MELO W. J. Heavy metals and yield of cowpea cultivated under composted tannery sludge amendment. **Acta Scientiarum Agronomy**, V. 36, N. 4, p. 443 – 448, 2014a.

GONÇALVES I. C. R.; ARAÚJO A. S. F.; NUNES L. A. P. L.; MELO W. J. Soil microbial biomass after two years of the consecutive application of composted tannery sludge. **Acta Scientiarum Agronomy**, V. 36, N. 1, p. 35 – 41, 2014b.

GUO, D; REN. C; ALI, A; DU, J; ZHANG, Z; LI R; ZHANG, Z. *Streptomyces pactum* and sulfur mediated the antioxidant enzymes in plant and phytoextraction of

potentially toxic elements from a smelter-contaminated soils. **Environment Pollution**; V. 251, p. 37-44. 2019.

GUIMARAES W. P.; ARAÚJO, A. S. F.; OLIVEIRA, M. L. J.; ARAÚJO, F. F.; MELO, W. J. Residual effect of composted tannery sludge on chromium content and yield of green corn. **Científica**, Jaboticabal, V.43, N.1, p.37–42, 2015.

HAN Y, MA X, ZHAO W, CHANG Y, ZHANG X, WANG X, WANG J, & HUANG Z. Sulfur-oxidizing bacteria dominate the microbial diversity shift during the pyrite and low-grade pyrolusite bioleaching process. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, V.116, p. 465-471. 2013.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos de microbiologia agrícola**. EMBRAPA. Serviço de Produção e Informação. Brasília, DF. 1994.

KALER, A. S., MCCRAY, J. M., WRIGHT, A. L., & ERICKSON, J. E. Nutrient Availability Response to Sulfur Amendment in Histosols having Variable Calcium Carbonates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, V. 47 N.19, p. 2178–2188. 2016

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral do Couro – Tabela 1090 – Número de informantes e Quantidade de couro inteiro curtido de bovino, no mês e no trimestre, por método de curtimento**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2018

JANSSEN, A. J. H.; MEIJER, S.; BONTSEMA J.; LETTINGA G. Application of the redox potential for controlling a sulfide oxidizing bioreactor. **Biotechnology Bioengineering**, V. 60, p. 147–55.1998.

KAMRAN, M. A., EQANI, S. A. M. A. S., KATSOYIANNIS, A., XU, R.- K., BIBI, S., BENIZRI, E., CHAUDHARY, H. J. Phytoextraction of chromium (Cr) and influence of *Pseudomonas putida* on *Eruca sativa* growth. **Journal of Geochemistry Exploration**. 2016.

KAYA, M., KÜÇÜKYUMUK, Z. AND ERDAL, I. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and growth of bean and corn plants grown on a calcareous soil. **African Journal of Biotechnology**. V. 8, p. 4481-4489. 2009.

KARIMIZARCHI, M. AND AMINUDDIN, H. Elemental sulphur application effects on nutrient availability and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. **Malaysian Journal of Soil Science**, 18, 75-86. 2014.

LIU, H., WANG, H., WANG, G. Intrasporangium chromatireducens sp. nov., a chromate-reducing actinobacterium isolated from manganese mining soil, and emended description of the genus Intrasporangium. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**. V. 62, p. 403 e 408. 2012.

LORENZI H.; MATOS F. J. A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas. **Nova Odessa**: Instituto Plantarum, 2002.

MARTINEZ, A. M. **Avaliação ambiental e agronômica do uso de lodo de curtume no solo**. Tese (Tese em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

MASOOD, A., IQBAL, N., KHAN, N. A. Role of ethylene in alleviation of cadmium-induced photosynthetic capacity inhibition by Sulphur in mustard. **Plant, Cell & Environment**. V. 35, p. 524- 533. 2012.

MEUNIER, I. M. J; FERREIRA, R. L. C. Uso de espécies produtoras de taninos para curtimento de peles no nordeste do brasil. **Biodiversidade** - V.14, N.1, p. 98. 2015.

MIRANDA, A. R. L., ANTUNES, J. E. L., de ARAÚJO F. F.; MELO, V. M. M., BEZERRA W. M. ARAÚJO A. S. F. Less abundant bacterial groups are more affected than the most abundant groups in composted tannery sludge-treated soil. **Science Report**, V. 8 N. 1: 11755. Doi: 1038/s41598-018-30292-1, Aug, 2018a.

MIRANDA, A. R. L.; MENDES, L. W.; ROCHA, S. M. B.; VAN DEN BRINK, P. J.; BEZERRA W. M.; MELO, V. M. M.; ANTUNES, J. E. L.; ARAÚJO, A. S. F. Responses of soil bacterial community after seventh yearly applications of composted tannery sludge. **Geoderma** N. 308, p. 0-8 2018b.

MIRANDA, R.S., SUDÉRIO, F.B., SOUSA, A.F., GOMES FILHO, E. Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutriente. **Revista Ciência Agronômica** V. 41 N. 3: p. 326-333. 2010.

MISTRY, K., DESAI, C., PATEL, K., Chromate reduction by *Vogococcus sp.* isolated from Cr (VI) contaminated industrial effluent. **Electronic Journal of Biology**. V. 6, p. 6 e 12. 2010.

NABAVINIA F.; EMAMI H.; ASTARAE A.; LAKZIAN A. Effect of tannery wastes and biochar on soil chemical and physicochemical properties and growth traits of radish. **International Agrophysics**, v. 39, p. 333 – 339, 2015.

NASCIMENTO, D. N. O.; PALMIERI, M. C.; CARMO, A. L. V.; NOGUEIRA, E. P.; LUCHETA, A. R.; FERREIRA, R. V. P. FERREIRA FILHO, H. R.; ALVES J. O. Biolixiviação de minérios de cobre em reatores com *Acidithiobacillus ferrooxidans*. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo: V. 15, N.2, 2018

PATEL, A; PANDEY V; Patra, D.D. Metal absorption properties of *Mentha spicata* grown under tannery sludge amended soil-its effect on antioxidant system and oil quality. **Chemosphere**, v. 147 p. 67 e 73. 2016

PAES J. B.; DINIZ, C. E. F; Marinho I. V; LIMA, C R de. Avaliação do potencial tanífero de seis espécies florestais de ocorrência no semi-árido brasileiro. **Cerne**, Lavras, V. 12, N. 3, p. 232 – 238, 2006.

RAN, Z., BI, W., CAI, Q.T., LI, X.X., MIN, L., DONG, H., GUO, D.B., JUAN, W., CHUN, F. Bioremediation of hexavalent chromium pollution by *Sporosarcina*

saromensis M52 isolated from offshore sediments in Xiamen, China. **Biomedical Environmental Science**. 29, 127e136. 2016.

ROSALES, E., PAZOS, M., SANROMAN, M., TAVARES, T. Application of zeolite *Arthrobacter viscosus* system for the removal of heavy metal and dye: chromium and Azure B. **Desalination** V. 284, p. 150 e 156. 2012.

SAAD, R.; KOBALISSI, A.; ROBIN, C.; ECHEVARRIA, G.; BENIZRI E. Nitrogen Fixation and growth of *Lens culinaris* as affected by nickel availability: A prerequisite for optimization of agromining. **Environmental and Experimental Botany**. V. 131, p. 1-9. 2016.

SALASSIER, B.; SOARES, A.A. & MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625p

**JMP**®, Version 14.3.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2019.

SHARMA, A., SHARMA, S.; GILL, P.P.S. Influence of nitrogen and sulphur application on nutrient uptake, protein content and yield parameters of soybean. **Indian Journal Plant Science**. V. 3, p. 31-34. 2014

SHEN, D.; HUANG, M.; FENG, H.; LI, N.; ZHOU, Y.; LONG, Y. Effect of waste addition points on the chromium leachability of cement produced by co-processing of tannery sludge. **Waste Management**. V. 61, p. 345 - 353, 2017.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**: Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SYSTAT (Systat Software, San Jose, CA)

SPATZAL, T.; PEREZ, K. A.; EINSLE, O.; HOWARD, J. B.; REES D. C. Ligand binding to the FeMo-cofactor: Structures of CO-bound and reactivated nitrogenase. **Science**. V. 345, N. 6204, p. 1620-1623. 2014.

SONI, S.K., SINGH, R., AWASTHI, A., KALRA, A. A Cr (VI)-reducing Microbacterium sp. strain SUCR140 enhances growth and yield of *Zea mays* in Cr (VI) amended soil through reduced chromium toxicity and improves colonization of arbuscular mycorrhizal fungi. **Environmental Science Pollution Research**. V. 21, p. 1971 e 1979. 2014

SOUZA, R. S.; NUNES, L. A. P. L.; LIMA, A. B.; MELO, W. J.; ANTUNES, J. E. L.; ARAÚJO, A. S. F. Chromium accumulation in maize and cowpea after successive applications of composted tannery sludge. **Acta Scientiarum. Agronomy**, V. 40, e35361, 2018.

SOUZA R. S. DE; SANTOS V. M.; MELO W. J. DE; NUNES L. A. P. L.; VAN DEN BRINK P. J.; ARAÚJO A. S. F. Time-dependent effect of composted tannery sludge on the chemical and microbial properties of soil. *ecotoxicology*. **Ecotoxicology**, V. 26, N. 10, p. 1366 – 1377, 2017.

STAMFORD, N. P.; RIBEIRO, M. R.; CUNHA, K. P. V.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. E. R. S.; DIAS, S. H. L. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, V. 23 N. 10 p. 1422-1439. 2007.

SUZUKI, I. Oxidation of inorganic sulfur compounds: Chemical and enzymatic reactions. **Canadian Journal of Microbiology**. Ottawa, V. 45. p. 97-105, 1999.

TABATABAI, M.A; BREMNER, J.M. An alkaline oxidation method for determination of total sulphur in soils. **Soil Science Society American Proceeding**. Madison, v. 34, p. 62-65, 1970.

TAIWO, A. M., GBADEBO, A. M., OEDEPO, J. A. OJEKUNLE, Z. O., ALO, O. M. OENIRAN, A. A. ONALAJA, O. J., OGUNJIMI, D., TAIWO, O. T. Bioremediation of industrially contaminated soil using compost and plant technology. **Journal of hazardous Materials**, V. 304, p. 166-172, 2016.

TAIZ L., ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 6rd ed. ArtMed. Porto Alegre. 2017.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BONHEN, H. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TANAC (2019) **Couro** Disponível em <http://www.tanac.com.br/pt-br/produtos/couro>. Acesso em 6 jun. 2019.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Test method for evaluating solid waste**. Washington, 152 p., 1986.

U.S.D.A. **Test method for evaluating solid wastes**. 3. ed. Washigton, DC: Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1986.

VANDANYAN NS, & VANDANYAN AK. New sulphur oxidizing bacteria isolated from bioleaching pulp of zinc and copper concentrates. **Universal Journal of Microbiology Research**, V. 2, N. 27-31. 2014.

WATIKSON, J. H; BLAIR, G. J. Modelling the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research** Volume 35, Issue 1–2, pp 115–126. 1993.

YUKSEL O. Influence of municipal solid waste compost application on heavy metal content in soil. **Environmental Monitoring and Assessment**, V. 187, p. 313 – 320, 2015.

ZAMAN, M.S., HASHEM, M.A., JAHIRUDDIN, M. AND RAHIM, M.A. () Effect of sulfur fertilization on the growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.). **Bangladesh Journal Agricultural Research**. V. 36, p. 647-656, 2011

ZHAO, C; DEGRYSE, F; GUPTA, V; MCLAUGHLIN, M. J. Low Effective Surface Area Explains Slow Oxidation of Co-Granulated Elemental Sulfur. **Soil Science Society of America Journal** V. 80. p. 911-918. 2016.



ZHAO, C; DEGRYSE, F; GUPTAV, V. V. S. R; MCLAUGHLIN, M. J. Elemental sulfur oxidation in Australian cropping soils. **Soil Science Society of America Journal** V. 79. p. 89– 96. 2015.