
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



BÁRBARA ALBUQUERQUE BRANCO DE MORAES

**LODO BIOLÓGICO ANAERÓBIO CALEADO COMO CONDICIONADOR DE
NEOSSOLO REGOLÍTICO PARA CULTIVO DE FEIJÃO CAUPI**

Recife

2018

BÁRBARA ALBUQUERQUE BRANCO DE MORAES

**LODO BIOLÓGICO ANAERÓBIO CALEADO COMO CONDICIONADOR DE
NEOSSOLO REGOLÍTICO PARA CULTIVO DE FEIJÃO CAUPI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil com ênfase em Tecnologia Ambiental,
pela Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato.

Recife

2018

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

M828l	Moraes, Bárbara Albuquerque Branco de. Lodo biológico anaeróbio caleado como condicionador de Neossolo Regolítico para cultivo de feijão caupi./ Bárbara Albuquerque Branco de Moraes - 2018. 56folhas, Il.; Tab.; Abrev. e Sigla. Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato. . Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2018. Inclui Referências. 1. Engenharia Civil. 2. Reuso agrícola. 3. Lodo de esgoto. 4. Higienização. I. Kato, Mario Takayuki (Orientador). II. Título. UFPE 624 CDD (22. ed.) BCTG/2018-345
-------	--

BÁRBARA ALBUQUERQUE BRANCO DE MORAES

**LODO BIOLÓGICO ANAERÓBIO CALEADO COMO CONDICIONADOR DE
NEOSSOLO REGOLÍTICO PARA CULTIVO DE FEIJÃO CAUPI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil com ênfase em Tecnologia Ambiental,
pela Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 23/08/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mario Takayuki Kato – UFPE
(orientador)

Prof.^a Dr.^a Kenia Kelly Barros da Silva – UFPE
(examinadora externa)

Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite – UFPE
(examinador interno)

AGRADECIMENTOS

Ao universo que me permite o milagre da vida, muito obrigada.

Ao meu orientador, professor Mario Takayuki Kato, pela compreensão e pela confiança no meu trabalho. Aos professores Lourdinha Florêncio, Sávia Gavazza e Wanderli Leite pelos conselhos, dedicação e apoio profissional.

Aos professores Clístenes Nascimento e Egídio Bezerra, pela colaboração científica.

Ao pesquisador do IPA José Tabosa pela doação das sementes.

Aos técnicos do laboratório, Ronaldo Fonseca, Danúbia Freitas e Iago José por todo suporte; a Andrea, Claudiana e Cleide, da secretaria da Pós-Graduação, pelo apoio e paciência; e à Tamilys, pela ajuda burocrática.

Aos meus contemporâneos de LSA, pela convivência e pelo aprendizado. Em especial, gostaria de agradecer aos amigos: Antônio Santos Neto, Carlos Pereira, Denise Marcelino, Jucélia Tavares, Julliana Araújo, Larissa Martins, Mariana Nanes, Nathaly Cordeiro, Osmar Menezes, Oucilane Alves, Poliana Januário, Rhayssa Brito e Sofia Araújo - vocês me ensinaram mais do que possam imaginar. Dividir a bancada e a vida com vocês é um grande presente.

À Marília Alves, pela ajuda no laboratório e na casa de vegetação.

À Kenia Barros e Priscila Nepomuceno, pelo auxílio com as análises.

A Robson Silva e Edécio Souza, pelos ensinamentos e assistência.

A Yuri Leal pela coleta do solo. A Raphael Farias e a Carol Andrade pelo incentivo.

A Matheus Paraíso, pelo carinho e parceria.

A Kamila Alves, Márcio Bastos, Renato Contente e Talles Colatino, pela amizade, pela música e pela cerveja.

À minha grande família, vó Calu, Maria José, tios e tias, primos e primas, pelo encorajamento e acolhimento.

Às minhas irmãs, Mariana, Alice e Cecília, por me ensinarem todo dia a amar. A João Vilnei, Leo Stegmann e Benjamin, por cuidarem desses amores.

Aos meus pais, Juce e Ricardo, pelo amor e apoio incondicional. Em especial a minha mãe, por ter me estimulado a pesquisa desde cedo. Esse documento é fruto do seu trabalho também.

À FACEPE e ao INCT ETes Sustentáveis pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

RESUMO

O uso de lodo tratado na agricultura é uma forma direta de recuperação de nutrientes que evita o uso excessivos de fertilizantes químicos. Entre os tratamentos possíveis do lodo, a calagem é um método de baixo custo. O experimento foi realizado com o plantio de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., cultivar IPA 206) em vasos com seis tratamentos diferentes: quatro concentrações crescentes de lodo calcado (L1, L2, L4, L8 sendo um, dois, quatro e oito vezes a quantidade de nitrogênio recomendada para cultura), um tratamento com adubação química (AQ) e uma testemunha (T) apenas com solo em uma casa de vegetação. Os potes foram mantidos com teor de umidade de 80% da capacidade do pote; cada tratamento teve quatro repetições distribuídas de forma inteiramente casualizada. A altura da planta e o diâmetro do caule foram medidos aos 15, 32, 47 e 64 dias após a emergência para avaliar o desenvolvimento da planta. Macronutrientes foram analisados na folha e nos grãos da planta e fertilidade do solo também foram avaliados. O tratamento do lodo com a cal proporcionou a higienização do lodo calcado correspondente ao exigido pela resolução nº 375/2006 da CONAMA. Os parâmetros físicos do feijoeiro com lodo tratado não diferiram do tratamento com a adubação química. A maior produtividade de feijão ficou com o tratamento L8 (414 kg/ha), que também obteve a maior concentração de nitrogênio foliar (39,5 mg/g). Houve diferença significativa na quantidade de nitrogênio dos grãos entre o AQ e o L2, sendo o último com maior concentração (45,3 mg/g); o fósforo do grão obteve maior concentração no L4 (5,2 mg/g). A adição de lodo de esgoto aumentou o teor de Fe e Cu do solo.

Palavras chave: Reuso agrícola. Lodo de esgoto. Higienização.

ABSTRACT

The use of treated sludge in agriculture is a direct form of nutrient recovery that avoids chemical fertilizers overuse. Among possible sludge treatments, liming is an inexpensive method. The experiment was carried out sowing cowpea seeds (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., IPA 206 cultivar) on pots with six different treatments: four increasing concentrations of alkaline treated sludge (L1, L2, L4, L8, one, two, four and eight times the amount of nitrogen recommended for crop), a treatment with chemical fertilization (AQ) and a control (T) with only soil in a greenhouse. The pots were kept with moisture content of 80% of pot capacity; each treatment had four replications distributed in a completely randomized design. Plant height and stem diameter were measured at 15, 32, 47 and 64 days after emergence to evaluate the development of the plant. Macronutrients were analyzed in the leaf and the plant grains and soil fertility were also evaluated. The treatment of sludge with lime provided the removal of pathogens from the sludge corresponding to requirements by Resolution 375/2006 of CONAMA. The physical parameters of the plant with treated sludge did not differ from the treatment with the chemical fertilization. The highest productivity was observed in L8 (414 kg/ha), which also obtained the highest concentration of leaf nitrogen (39.5 mg/g). There was a significant difference in the amount of grain nitrogen between the AQ and the L2, the latter with the highest concentration (45.3 mg/g); the phosphorus of the grain obtained higher concentration in the L4 (5.2 mg/g). The addition of sewage sludge increased the Fe and Cu content of the soil.

Keywords: Agricultural reuse. Sewage sludge. Pathogen removal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Fluxograma do tratamento de esgoto e o processamento de lodo.....	16
Figura 3.1 –	Potes no dia do plantio (a) e 32 dias após emergência das plântulas (b)	30
Figura 3.2 –	Folha do tratamento T com sinais de ataque de insetos aos 11 DAE (a) e o L2 aos 15 DAE (b).....	30
Figura 4.1 –	Altura do feijoeiro aos 15, 32 47 e 64 dias após emergência.....	36
Figura 4.2 –	Diâmetro do caule aos 15, 32 47 e 64 dias após emergência.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Descrição de lodos gerados no tratamento de esgotos	14
—		
Tabela 2.2	Limites de patogenicidade para uso agrícola de lodos e seus produtos	20
—		
Tabela 2.3	Restrições na concentração de metais pesados vigentes na norma	
—	brasileira	21
Tabela 2.4	Trabalhos anteriores que utilizam lodo no cultivo de feijão	22
—		
Tabela 3.1	Métodos analíticos empregados para cada parâmetro do lodo tratado	
—	usado no experimento	25
Tabela 3.2	Características físico-químicas do solo utilizado no experimento	26
—		
Tabela 3.3	Especificação da quantidade de nutrientes em cada tratamento	28
—		
Tabela 4.1	Características do lodo caleado	33
—		
Tabela 4.2	Resultados de análises para parâmetros biológicos	34
—		
Tabela 4.3	Valores médios de metais analisados no lodo caleado. Valores em peso	
—	baseados em lodo seco a 65°C	35
Tabela 4.4	Características físico-químicas da água de abastecimento utilizada no	
—	experimento	35
Tabela 4.5	Resultados da produção de grãos de feijão	38
—		
Tabela 4.6	Valores da média seguido de erro padrão de N, P e K nas folhas das	
—	plantas de feijão (em peso seco)	39
Tabela 4.7	Valores da média seguido de erro padrão de proteína bruta, proteína	
—	solúvel e carboidrato solúvel nas folhas das plantas de feijão (em peso	
	seco)	40

Tabela 4.8	Valores da média seguido de erro padrão de N, P e K nos grãos de feijão	
—		40
Tabela 4.9	Fertilidade do solo após o plantio para todos os tratamentos	43
—		

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
AP	Altura da planta
AQ	Tratamento com adubação química
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CT	Carbono total
DAE	Dias após a emergência
DC	Diâmetro do caule
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
IN	Instrução Normativa
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
L1	Tratamento com lodo para fornecer a quantidade de N exigido para cultura
L2	Tratamento com lodo para fornecer a 2x quantidade de N exigido para cultura
L4	Tratamento com lodo para fornecer a 4x quantidade de N exigido para cultura
L8	Tratamento com lodo para fornecer a 8x quantidade de N exigido para cultura
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
NF	Número de folhas
SS	Sólidos suspensos
T	Tratamento apenas com solo
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	GERAÇÃO E TRATAMENTO DE LODO	13
2.2	ESTABILIZAÇÃO ALCALINA.....	17
2.3	REUSO AGRÍCOLA	18
2.4	FEIJÃO CAUPI	23
3	METODOLOGIA	24
3.1	TRATAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO	24
3.2	SOLO UTILIZADO.....	26
3.3	FEIJÃO CULTIVADO	27
3.4	TRATAMENTOS	27
3.5	EXPERIMENTO	29
3.6	PARÂMETROS ANALISADOS NA PLANTA E NO SOLO	31
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LODO CALEADO.....	33
4.2	PARÂMETROS AGRÔNOMOS	36
4.3	BIOQUÍMICA VEGERAL.....	38
4.3.1	Folhas	38
4.3.2	Grãos	40
4.4	CARACTERÍSTICAS DO SOLO APÓS A ADIÇÃO DO LODO	41
5	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O tratamento biológico de esgotos domésticos tem como objetivo diminuir a carga orgânica diluída no efluente para minimizar os riscos sanitários, como doenças de veiculação hídrica, e ambientais, como a eutrofização de corpos hídricos. Durante esse processo, há a geração de lodo biológico que é descartado regularmente e enviado a aterros sanitários. O lodo é composto de biomassa microbiana, com alta concentração de nutrientes e matéria orgânica, assim como a presença de organismos patogênicos e possível acúmulo de metais pesados.

Em uma visão sistêmica da gestão de lodo, esse pode ser utilizado em solo agrícola. Além de fornecer uma destinação adequada ao subproduto gerado no tratamento de efluentes, possibilita a recuperação de nitrogênio e fósforo, que evita o uso indiscriminado de fertilizantes químicos, e adiciona matéria orgânica ao solo.

A agricultura é uma atividade de destaque em Pernambuco, que representa 3,9% do Produto Interno Bruto do estado (GUARDA, 2018) e, segundo o último Censo Agropecuário (2006), 223 mil hectares de área são usados como lavoura. Com 65% da área do estado inserido no clima semiárido (IBGE, 2010), práticas inadequadas de manejo do solo e uso excessivo de fertilizantes podem promover a desertificação de áreas já degradadas (MENEZES et al., 2012).

Na região semiárida predominam os solos rasos, com presença de pedregulhos e baixa capacidade de infiltração. A capacidade de retenção de água no solo é pequena, o que aumenta o escoamento superficial e a lixiviação de nutrientes, deixando o solo mais propenso a erosão (SUASSUNA, 2002).

O emprego de compostos orgânicos na agricultura é ancestral e se encontra bem estabelecido, porém o uso de lodo de esgoto ainda conta com a barreira do risco sanitário, pela existência de organismos patogênicos (CAPIZZI-BANAS et al., 2004; CUTOLO et al., 2012; NOGUEIRA et al., 2007; PECCIA; WESTERHOFF, 2015). Diversas opções de tratamentos para lodo são disponibilizadas a depender das características finais desejadas – para a aplicação no solo, a mistura com cal garante a higienização com rapidez e baixo custo de execução.

Por tanto, investigar a viabilidade agrônômica do uso de lodo tratado com cal como condicionante ao solo do semiárido faz-se necessária, com o objetivo de entender as mudanças químicas nesse solo e garantir uma produção que possa se equiparar ao sistema convencional de plantio.

1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação de lodo de esgoto tratado com cal no cultivo do feijão caupi e o seu efeito sobre o crescimento da planta.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e classificar o lodo tratado;
- Avaliar o desempenho das plantas cultivadas com lodo;
- Analisar as alterações químicas no solo provocadas pela adição do lodo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GERAÇÃO E TRATAMENTO DE LODO

O lodo é um subproduto do tratamento biológico de efluentes, comumente utilizado para tratamento de esgotos domésticos. A carga orgânica presente nesse esgoto é transferida: os nutrientes presentes estimulam o crescimento microbiano e a parte da demanda química de oxigênio (DQO) presente na água residuária é convertida em biomassa (VON SPERLING; GONÇALVES, 2007).

A geração de lodo está atrelada a capacidade de tratar esgotos - quanto mais esgoto coletado e tratado, maior o volume de lodo gerado. O descarte desse lodo excedente é feito de acordo com a configuração dos reatores: lodos ativados precisam de um descarte contínuo; em reatores anaeróbios, o descarte é feito ocasionalmente; em lagoas, esse intervalo dura anos. Os subprodutos sólidos produzidos durante o tratamento de esgotos estão listados na Tabela 2.1.

Alguns sistemas de tratamento geram mais lodo do que outros - notadamente o sistema de lodos ativados, que gera uma massa de 60 a 80 gramas de sólidos suspensos por habitantes por dia, enquanto um reator UASB (em inglês, *upflow anaerobic sludge blanket*) produz de 12 a 18 gSS/hab.d (VON SPERLING; GONÇALVES, 2007).

De maneira geral, o lodo é composto de apenas 2 a 7% de sólidos, com concentrações de nutrientes variando entre 18 a 39% de carbono orgânico, 0,5 a 17,6% de nitrogênio, 0,5 a 14,3% de fósforo e 0,02 a 2,64% de potássio. Ainda pode acumular metais pesados e micropoluentes emergentes presentes no esgoto (TUROVSKIY E MATHAI, 2006).

Por gestão do lodo entende-se o tratamento, transporte e disposição final. Enquanto o tratamento de esgotos tem duração de horas, a gestão de lodo demora algumas semanas e deve ser planejada de modo a atender as demandas dos órgãos ambientais. A depender da configuração da estação de tratamento, a gestão do lodo pode ser responsável por 20 a 60% do custo operacional (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2007; POLPRASERT, 2007; TUROVSKIY; MATHAI, 2006).

Tabela 2.1 – Descrição de lodos gerados no tratamento de esgotos

Subproduto sólido	Origem	Características
Sólidos grosseiros	Grade	Sólidos orgânicos e inorgânicos que são maiores do que a malha da grade que antecede a linha de tratamento da estação. A composição da matéria orgânica depende da estrutura do sistema e da estação do ano.
Areia	Desarenador	Material inorgânico mais pesado, que sedimenta em vazões altas. Dependendo das condições de operação, também pode conter gordura e óleos.
Escuma	Desarenador, decantador primário, decantador secundário, lagoa de estabilização, reator anaeróbio	A escuma é formada por graxa, óleos minerais e vegetais, gordura animal, sabões, restos de comida, papéis, materiais plásticos, cabelo e materiais similares.
Lodo primário	Decantador primário, tanque séptico	Material sedimentado que normalmente apresenta uma coloração cinza e pode exalar forte odor. O lodo do tanque séptico fica retido tempo suficiente para que haja sua digestão anaeróbia, apresenta cor preta e odor forte.
Lodo secundário	Não estabilizado: lodos ativados convencionais, filtros biológicos de alta carga	Lodo biológico proveniente da biomassa de microrganismos, que se desenvolve a partir do consumo da matéria orgânica presente nos esgotos. Lodos não estabilizados possuem um aspecto floculento e a sua cor varia entre cinza e marrom; pode haver odor. Lodos estabilizados, aeróbico e anaerobicamente, tem

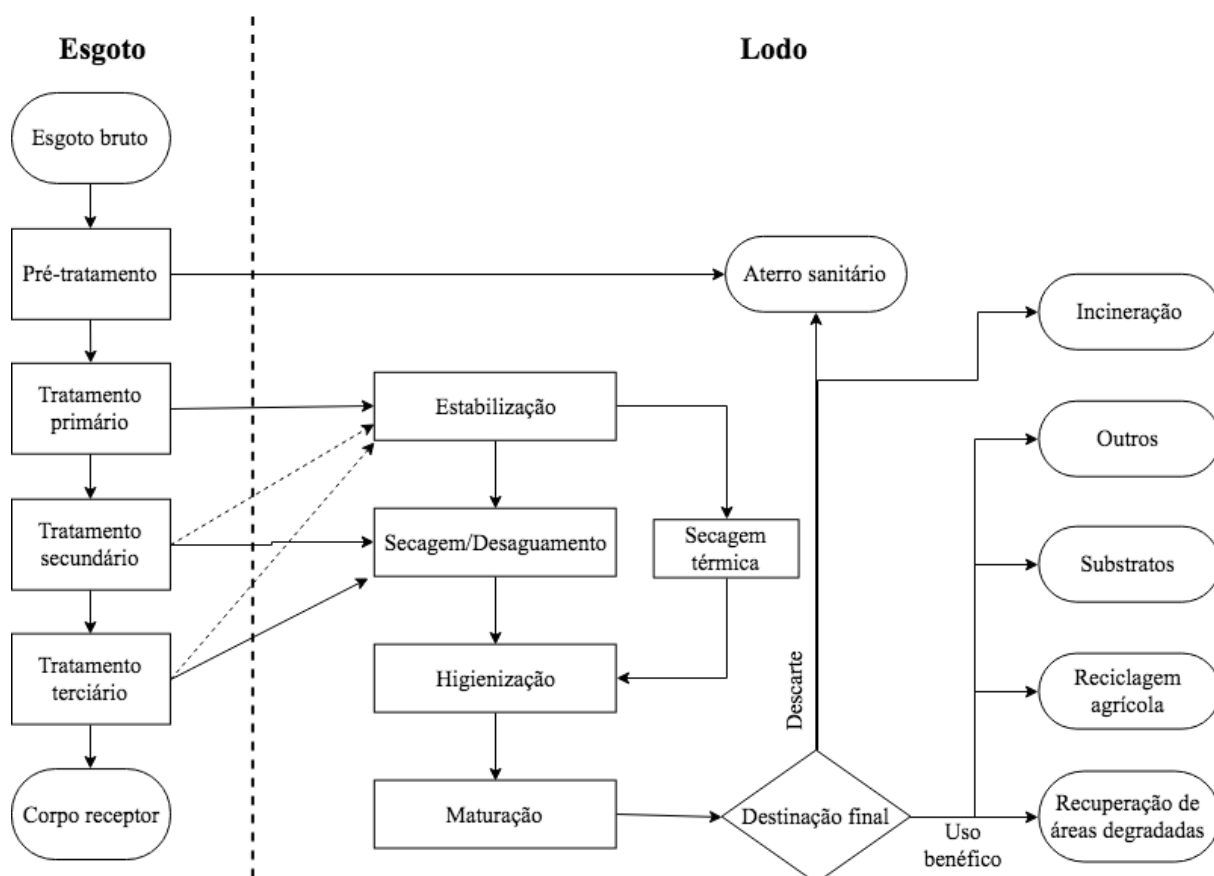
	Estabilizado: lodos ativados de aeração prolongada, filtros biológicos de baixa carga, reator UASB, filtros anaeróbios	coloração que vai do marrom ao preto, com pouco odor; drenam com facilidade nos leitos de secagem.
Lodo químico	Decantador primário com precipitação química, lodos ativados com precipitação química de fósforo	Lodo formado a partir da precipitação com cal ou sais metálicos – geralmente, o ferro e o alumínio conferem uma aparência gelatinosa. Odor pode ocorrer com o uso de cal.

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003); Von Sperling; Gonçalves (2001)

As opções de tratamento de lodo são diversas, a depender do tipo de lodo e do produto desejado. No cenário atual, as opções que privilegiam algum tipo de recuperação, seja energética ou de nutrientes, são priorizadas (CIEŚLIK et al., 2015; JOO; ANTMANN; CHORATH, 2015).

Um esquema simplificado com a trajetória do lodo, da sua geração a sua destinação, é mostrado na Figura 2.1. A escolha do tratamento deve ser adequada ao projeto da ETE, além de atender os padrões biológicos para a destinação final escolhida. As características do lodo mudam de acordo com o tratamento aplicado: se o tratamento visa à higienização, a quantidade de microrganismos patogênicos é minimizada; já a utilização de tratamentos térmicos, poderá ocasionar um adensamento e até mineralização de nutrientes (CIEŚLIK et al., 2015; METCALF & EDDY, 2003).

Figura 2.1 – Fluxograma do tratamento de esgoto e o processamento de lodo



Fonte: Adaptado de Andreoli, Pegorini e Fernandes, 2001

As etapas da gestão do lodo incluem estabilização, secagem ou desaguamento, higienização, maturação e, por fim, sua destinação final. A função da estabilização do lodo é para reduzir ou eliminar sua capacidade de degradação e evitar desprendimento de odores. O

resultado pode ser obtido por meio biológico, com a redução dos sólidos voláteis por microrganismos, meio químico, como a oxidação da fração volátil dos sólidos, ou meio térmico, com o aquecimento do lodo para desinfecção e redução de volume (METCALF & EDDY, 2003)

O processo de secagem é realizado para diminuir o teor de água no lodo, com redução de volume, facilita o manuseio e, conseqüentemente, reduz os custos com transporte e destinação final. Pode ser feito de maneira natural ou mecânica, com o uso de leitos de secagem, centrífugas e prensas desaguadoras (GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2007; METCALF & EDDY, 2003).

A fase de higienização tem como objetivo minimizar ou eliminar os agentes patogênicos presentes no lodo. Bactérias, vírus e ovos de helmintos estão presentes no lodo; apesar da estabilização reduzir a patogenicidade do lodo, ovos de parasitas são mais resistentes. A depender das condições sanitárias da comunidade atendida pela estação de tratamento, o lodo poderá precisar ser higienizado antes de sua destinação final, seja por via térmica, via química, via biológica ou por radiação (METCALF & EDDY, 2003; PINTO, 2007).

A destinação do lodo tratado pode ser feita em aterros ou incineradores, porém a recuperação desses nutrientes é indicada. Seja como condicionante do solo, para recuperação de áreas degradadas ou cobertura de aterros sanitários (ANDREOLI et al., 2007; JOO; ANTMANN; CHORATH, 2015; POLPRASERT, 2007; SØRENSEN; DALL; HABIB, 2015).

2.2. ESTABILIZAÇÃO ALCALINA

Essa estabilização química tem como objetivo aumentar o pH do lodo para 12, ocasionando uma inativação de microrganismos, a higienização desse material e a cessão da degradação da matéria orgânica (PINTO, 2001). Para isso, utiliza-se a cal virgem (CaO) ou a cal hidratada (Ca(OH)_2), produtos utilizados regularmente em sistemas de tratamento de efluentes para elevar o pH em reatores quando necessário, para remoção de fósforo (precipitação de estruvita) e condicionar o lodo para desaguamento mecânico como um pré-tratamento (FERNANDES, 2000). Também podem ser utilizadas cinzas volantes, escórias de cimento e carbonato de cálcio com o mesmo objetivo (METCALF & EDDY, 2003).

Pode ser feito em lodos primários, secundários, digeridos ou não, em fase líquida ou sólida; na fase líquida, a cal virgem deve ser extinta antes da mistura para facilitar sua incorporação (PINTO, 2001). A quantidade de cal utilizada é medida em relação ao peso seco

do lodo; as doses mais utilizadas são de 30, 40 e 50%, com boas eficiências (acima de 99%) para redução de *Salmonella*, coliformes termotolerantes e cistos de protozoários (FERNANDES, 2000).

Com o aumento do pH, o ambiente torna-se inóspito para bactérias e vírus; a amônia livre é volatilizada, o que auxilia na desinfecção (PINTO, 2007). Durante a mistura, acontece uma reação exotérmica da cal com a água aumentando a temperatura – com o uso de cal virgem, essa temperatura pode passar dos 50°C, que é importante para inativação de ovos de helmintos (METCALF & EDDY, 2003). É necessário ainda um tempo de maturação entre 60 e 90 dias em local coberto para garantir o decaimento dos patógenos (LARA et al., 1999; PINTO, 2007).

As vantagens desse tipo de tratamento estão principalmente nos baixos custos de operação, pouco consumo de energia, alta eficiência e estabilidade, ideal para pequenas estações de tratamento. Suas desvantagens são a perda de nitrogênio durante a volatilização da amônia e possíveis problemas de saúde causados pela inalação pelos trabalhadores. Além disso, a adição de cal aumenta o volume a ser armazenado e transportado, que deve ser planejado de acordo (PINTO, 2007).

2.3. REUSO AGRÍCOLA

Após o tratamento de esgotos, os contaminantes removidos das águas são convertidos em um resíduo denominado lodo de esgoto ou bio sólido, o que gera uma nova preocupação: sua destinação.

Dentre as diversas opções de tratamento desse resíduo, o reuso agrícola como fertilizante é uma das mais promissoras, permitindo uma destinação sustentável e de baixo custo. A utilização do lodo como biofertilizante contribui com a agricultura por meio da substituição de fertilizantes químicos industriais, eliminando gastos econômicos e energéticos com a fertilização do solo (KUMAR; CHOPRA; KUMAR, 2017; MEENA et al., 2018; QUINTANA; CARMO; MELO, 2011).

Dentre os benefícios da aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas, destacam-se a incorporação dos macros (N e P) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). Os lodos são deficientes em concentração de potássio, sendo necessário adicioná-lo ao solo na forma de adubos minerais. Os nutrientes presentes no lodo suprem a necessidade das culturas, porém nem sempre de modo equilibrado. Assim, é primordial que se conheça a

composição química dos lodos e a dinâmica dos nutrientes após aplicação no solo (BETTIOL & CAMARGO, 2006; RAHEEM et al., 2018).

Quanto à melhoria das condições físicas, o lodo aumenta a retenção de água em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração em solos argilosos (BETTIOL & CAMARGO, 2006). A incorporação de matéria orgânica no solo adiciona substâncias agregantes ao meio, tornando-o mais estável a ação de chuvas; ácidos orgânicos, que são utilizados por microrganismos de vida livre como fonte de carbono; e substâncias intermediárias, que podem ser utilizadas no crescimento das plantas (PRIMAVESI, 1990).

De forma geral, a qualidade e saúde do solo melhoram com a aplicação de matéria orgânica, parte central de uma visão mais sustentável da agricultura. Uma distribuição mais equilibrada de nutrientes colabora com o controle de doenças em culturas, aumentando a supressividade dos solos (BARROS; NASCIMENTO; FLORENCIO, 2012; GUPTA et al., 2017).

De acordo com Bettiol & Camargo (2006), em muitos municípios brasileiros o volume de lodo gerado é pequeno e se localizam em regiões agrícolas, o que facilita a disposição do lodo. Entretanto, em relação à geração de lodo em metrópoles, além do volume produzido, deve-se considerar a falta de espaço para aterro sanitário e a distância de áreas agrícolas. A industrialização também é outro problema, que contribui para o aumento da concentração de metais pesados e compostos orgânicos persistentes.

Entre as limitações do uso de lodo tratado na agricultura está a variação na quantidade de seus nutrientes e, também, de seus contaminantes. Como já mencionado, a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio do lodo é correspondente ao tipo de esgoto tratado; no caso de estações de tratamento de esgotos domésticos, esse número flutua com frequência (METCALF & EDDY, 2003; POLPRASERT, 2007).

No Brasil, o reuso de lodo na agricultura está condicionado a resolução de número 375 de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que padroniza procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. O texto discorre sobre a caracterização do lodo, como indicadores biológicos, potencial agrônômico (concentração de nutrientes) e limites de substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas (BRASIL, 2006).

Tabela 2.2 – Limites de patogenicidade para uso agrícola de lodos e seus produtos

Agentes patogênicos	CONAMA 375/2006		IN MAPA 27/2006
	Classe A	Classe B	Condicionadores de solo
Coliformes termotolerantes (NMP/gde MS)	<10 ³	<10 ⁶	10 ³
Ovos viáveis de helmintos (nº /g ST)	<0,25	<10	1,00
<i>Salmonella sp</i>	Ausente	-	Ausente
Vírus (UFP ou UFF/gST)	<0,25	-	-

Fonte: Brasil (2006 e 2016).

A taxa de aplicação sugerida é baseada na concentração de nitrogênio do lodo, de maneira a considerar o nitrogênio já disponível e a fração que ainda será mineralizada, com o objetivo de evitar lixiviação do excesso de nutrientes (BRASIL, 2006; POLPRASERT, 2007).

Esta resolução é bastante criticada em respeito a indicação de metodologias antigas para análise laboratoriais do lodo, limites de agentes patógenos muito estritos e rigor no prazo entre a aplicação de lodo no solo e a semeadura (BITTENCOURT, 2014; BASTOS et al., 2009; MAGALHÃES, 2012). Bastos et al. (2012) também sugere a adição de métodos alternativos de higienização de lodo como a secagem em estufa, que obteve a concentração aceitável de patógenos para classificação Classe A em 55 dias.

De maneira complementar, a Instrução Normativa número 27 de 2006 do Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA) estabelece padrões para condicionantes do solo e fertilizantes orgânicos no conteúdo de agentes patógenos e metais pesados (Tabela 2.1). Em 2015, essa instrução foi alterada pela Instrução Normativa número 7 de 2016 para o acréscimo de limite para cromo hexavalente e materiais inertes (BRASIL, 2016).

Além disso, ainda existe a necessidade de discutir o estabelecimento de normas e ampliação dos conhecimentos sobre os efeitos ambientais do reuso de lodo de esgoto em longo prazo. O principal problema da utilização agrícola de lodo de esgoto é o desconhecimento dos efeitos nos organismos, na dinâmica de carbono e nitrogênio, nas propriedades físicas e químicas, bem como dos efeitos causados por metais pesados, compostos orgânicos persistentes e os patógenos nos solos (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

Tabela 2.3 – Restrições na concentração de metais pesados vigentes na norma brasileira

Elementos	CONAMA 375/2006	IN MAPA 27/2006	
	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado mg/kg	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado kg/ha	Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo mg/kg
Arsênio	41	30	20
Bário	1300	265	-
Cádmio	39	4	8
Chumbo	300	41	300
Cobalto	-	-	-
Cobre	1500	137	-
Cromo	1000	154	500
Mercúrio	17	1,2	2,50
Molibdênio	50	13	-
Níquel	420	74	175
Prata	-	-	-
Selênio	100	13	80
Zinco	2800	445	-

Fonte: Brasil (2006 e 2016).

O reuso agrícola de lodo tratado ainda é incipiente no Brasil, sendo o destino final mais comum o aterro sanitário (ROSA *et al.*, 2018). Um dos casos mais bem-sucedidos acontece no Paraná, onde o reuso de lodo na agricultura é priorizado: entre 2011 e 2013, mais de 107 toneladas de lodo tratado foram aplicadas a 5.529 hectares de área agrícola (BITTENCOURT, 2014).

Diversos trabalhos já foram realizados com diferentes culturas visando a viabilidade agronômica do uso de lodo de esgoto. Souza (2011) utilizou lodo caleado proveniente de quatro ETEs com diferentes sistemas - um reator UASB, lodo de flotação e dois lodos ativados

- para plantar milho e obteve aumento da matéria seca da parte aérea proporcional ao aumento das doses de lodo no solo.

Price et al. (2015) avaliou durante quatro anos o efeito de aplicações de lodo caleado no nitrogênio do solo com cultura de milho e pode observar um aumento de pH e nitrogênio disponível para aumento de produção. Corrêa e da Silva (2016) compararam cinco diferentes tratamentos de lodo (digestão aeróbia, compostagem, caleação, secagem a 250°C e irradiação solar) na cultura de azevém e constatou melhor produção de biomassa para solos com lodos caleados e solarizados do que com lodos digeridos, compostados e secos no período de onze meses. Outros trabalhos relevantes utilizando feijão são listados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Trabalhos anteriores que utilizam lodo no cultivo de feijão

Autor(es)	Cultivo	Tratamento do lodo
Silva, 2017	Feijão caupi e feijão comum	Lodo estabilizado pelo processo de compostagem
Lobo, Grassi Filho e Büll, 2012	Feijão comum	Lodo compostado com bagaço de cana
Valdez-Pérez et al., 2011	Feijão	Lodo de lodos ativados caleado e com vermicomposto
Monteiro, 2008	Feijão	Lodo de UASB caleado
Barboza, 2007	Feijão caupi	Lodo de UASB
Nascimento et al., 2004	Milho e feijão	Lodo de UASB

Fonte: Elaborado pela autora.

2.4. FEIJÃO CAUPI

Também chamado de feijão de corda ou feijão fradinho, a espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. tem grande importância econômica e nutricional para os agricultores familiares. A leguminosa de origem africana foi provavelmente trazida no século XVI por espanhóis e portugueses e se adaptou bem ao clima e solo da região Nordeste do Brasil. Nos últimos 40 anos, programas de pesquisa com o objetivo de melhoramento genético das sementes foram realizados para aumentar o seu potencial produtivo e resistência a pragas (FREIRE FILHO et al., 1999).

O Brasil tem uma das maiores produções mundiais de caupi, cultivada para consumo humano dos grãos e vagens e suas folhas são destinadas ao consumo animal (SILVA; FREIRE FILHO, 1999). Em Pernambuco, suas sementes são distribuídas para aproximadamente 22 mil agricultores envolvidos em programas de apoio à produção fomentados pelo Governo do Estado (PERNAMBUCO, 2015). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (2018), a safra nacional de feijão caupi estimada para abril de 2018 é 1.527.000 toneladas, com produtividade de 524 kg/ha.

O cultivar IPA 206, desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco, tem porte semiereto, com ciclo entre 65 a 75 dias; a cor das suas sementes é marrom clara, subclasse comercial mulato, e o peso de 100 sementes chega a 22,0 gramas (FREIRE FILHO et al., 1999). A produtividade média do cultivo em sequeiro é de 600 kg/ha e do cultivo irrigado chega a 900 kg/ha (CAVALCANTI, 2008).

Os teores esperados de nitrogênio, fósforo e potássio encontrado nas folhas foram descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) estão entre 18-22, 1,2-1,5 e 30-35 g/kg, respectivamente. Melo, Cardoso e Salviano (2005) citam números próximos: entre 18,1 a 21,3 g/kg para nitrogênio, 1,1 a 1,7 g/kg para fósforo e 28,4 a 35,6 g/kg para potássio. Esses números podem variar de acordo com as diferentes fases de crescimento da planta (SAMPAIO; BRASIL, 2009).

O metabolismo vegetal se baseia no equilíbrio entre a absorção de nutriente e a sua assimilação, com alocação de nutrientes para diferentes locais e funções (BAZZAZ, 1997). A concentração de proteínas e carboidratos solúveis indicam possíveis alterações no metabolismo da planta em respostas a fatores abióticos, como falta ou excesso de nutrientes, déficit hídrico, altas temperaturas, compactação do solo, e fatores bióticos, como ocorrência doenças e de pragas. (MUNIER-JOLAIN et al., 2010).

3 METODOLOGIA

3.1 TRATAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO

O lodo utilizado para o experimento foi proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente tipo UASB com capacidade 5 m³ localizado na área experimental da Estação de Tratamento de Esgotos Mangueira, em Recife. Após ser descartado em leito de secagem e deságue por 30 dias, foi medida sua umidade para determinar a massa de cal utilizada - uma razão de 40% de massa seca (kg). A cal hidratada (MegaO lote LP 170317-03, Unimin do Brasil LTDA) foi misturado manualmente com o auxílio de pá e a estabilização ocorreu após 48 h com pH acima de 12, conforme descrito em CONAMA (BRASIL, 2006). Posteriormente, o lodo estabilizado foi armazenado para maturação durante 65 dias. O lodo tratado resultante foi analisado para os parâmetros apresentados na Tabela 3.1.

O carbono total (CT) do lodo tratado foi estimado realizando análise da demanda química de oxigênio da amostra seca pelo método colorimétrico SM 4500C presente no *Standard Methods* (APHA, 2012) e estabelecendo uma relação de CT: DQO = 0,4 como sugerido em Krushevskaya et al. (1992).

Tabela 3.1 – Métodos analíticos empregados para cada parâmetro do lodo tratado usado no experimento

Parâmetro	Método
pH (1:10)	da Silva, 2009
Umidade 60-65°C	Kiehl, 1985
Umidade 100-110°C	Kiehl, 1985
Matéria orgânica	Kiehl, 1985
C orgânico	Kiehl, 1985
DQO	SM 4500C APHA, 2012
N-NH ₄	da Silva, 2009
N-NO ₂	da Silva, 2009
N-NO ₃	da Silva, 2009
N-NTK	da Silva, 2009
P total	Kuo, 1996 e SM 4500C APHA, 2012
K total	da Silva, 2009
Na total	da Silva, 2009
Ca total	da Silva, 2009
As	Silva, França e Dutra, 2017
Cu	Silva, França e Dutra, 2017
Fe	Silva, França e Dutra, 2017
Pb	Silva, França e Dutra, 2017
Al	3050B USEPA, 1996
Mn	3050B USEPA, 1996
Ni	3050B USEPA, 1996
Zn	3050B USEPA, 1996
Coliformes termotolerantes	USEPA, 2003
Ovos viáveis de helmintos	USEPA, 2003
Salmonella	USEPA, 2003

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2. SOLO UTILIZADO

O solo utilizado no experimento é procedente do distrito de Pau Santo, município de Bezerros, no agreste de Pernambuco, com coordenadas 8°21'02"S 35°52'03"O. Classificado como Neossolo Regolítico segundo Barros (2018), sua textura era franco arenosa e as características físico-químicas estão apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Características físico-químicas do solo utilizado no experimento

Características do solo	Unidade	Valor
Areia	%	68,92
Silte		23,1
Argila		8,0
Porosidade total	%	34,92
Densidade total	g/cm ³	1,57
Densidade da partícula		2,41
pH		6,3
Fe	mg/dm ³	25,80
Cu		0,40
Zn		16,80
Mn		86,80
P		60
K	cmol _c /dm ³	0,63
Na		0,06
Al		0,0
Ca		1,30
Mg		0,30
H + Al		1,90
Soma de bases*		2,29
Capacidade de troca catiônica**		4,19
Matéria orgânica	%	3,10
N-NTK	mg/kg	907,0
N-NH ₄		32,0

N-NO ₂ + NO ₃	6,9
-------------------------------------	-----

* Soma de bases é a soma dos íons de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺; ** Capacidade de troca catiônica corresponde à soma de bases mais a acidez potencial, ou seja, a soma de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, H⁺ e Al³⁺ (DA SILVA, 2009). Fonte: Elaborado pela autora.

3.3. FEIJÃO CULTIVADO

A espécie de feijão utilizada foi *Vigna unguiculata* (L.) (Walp), cultivar IPA 206, popularmente conhecido como feijão caupi ou de corda. De porte semi-ereto, o seu ciclo é considerado precoce quando comparado a outros cultivares, com duração de 65 a 75 dias; suas sementes possuem cor marrom clara e apresenta produtividade média de 900 kg/ha em cultivo irrigado (ANDRADE JÚNIOR, 2002; CAVALCANTI, 2008). As sementes foram doadas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco, com sede em Recife.

3.4. TRATAMENTOS

Seis tratamentos em quadruplicata foram utilizados no experimento (Tabela 3.3): uma como testemunha, apenas com solo; um com adubação química convencional; e quatro com doses crescentes de lodo tratado.

A adubação química foi realizada com produtos da Fertine Fertilizantes do Nordeste Ltda. O nitrogênio foi utilizado sob a forma de ureia (45% de N, lote 250103-1) fracionado em 20 kg/ha na cova antes do plantio e 30 kg/ha após vinte dias de plantio, na cobertura; o fósforo como superfosfato simples (16% de P₂O₅, lote 250103-2) na cova antes do plantio; e potássio na forma de cloreto de potássio (60% K₂O, lote 250103-3) na cova antes do plantio.

Tabela 3.2 – Especificação da quantidade de nutrientes em cada tratamento

Tratamento	Descrição	Nutrientes (kg/ha)		
		N	P	K
Testemunha (T)	Apenas solo	-	-	-
Adubação química (AQ)	Ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio	50	20	20
Lodo (L1)	Lodo para fornecer a quantidade de N exigido para cultura	50	8,63	1,43
Lodo (L2)	Lodo para fornecer a 2x quantidade de N exigido para cultura	100	17,26	2,85
Lodo (L4)	Lodo para fornecer a 4x quantidade de N exigido para cultura	200	34,51	5,71
Lodo (L8)	Lodo para fornecer a 8x quantidade de N exigido para cultura	400	69,02	11,42

Fonte: Elaborado pela autora.

O lodo tratado foi aplicado de uma única vez em doses equivalentes a: 5,8; 11,6; 20,5; e 46,4 t/ha. As doses para adubação química e lodo seguiram a recomendação do Instituto Agrônômico de Pernambuco (CAVALCANTI, 2008). As massas de lodo foram arbitradas e calculadas de acordo com a quantidade de nitrogênio disponível no lodo através da seguinte equação (BRASIL, 2006):

$$N_{\text{disponível}} = \left[\frac{FM}{100} \times (N_{\text{NTK}} - N_{\text{NH}_3}) \right] + (N_{\text{NO}_3} + N_{\text{NO}_2}) \quad \text{Eq.1}$$

Em que:

FM é a fração de mineralização do lodo, determinado pelo tipo de tratamento utilizado (FM = 40% para lodo não digerido; FM = 30% para lodo digerido aerobiamente; FM = 20% para lodo digerido anaerobiamente; FM = 10% para lodo de esgoto compostado);

N_{NTK} é nitrogênio total Kjeldahl (mg/kg);

N_{NH_3} é nitrogênio amoniacal (mg/kg);

$N_{\text{NO}_3} + N_{\text{NO}_2}$ é o nitrogênio na forma de nitrato e nitrito (mg/kg).

Para o presente trabalho, foi utilizada a taxa de 40% de mineralização porque o descarte do lodo do reator UASB não foi feito com base na idade lodo. O reator UASB foi inoculado e operado por 130 dias segundo Linhares (2017).

Para determinar a Taxa de aplicação (t/ha), ou seja, a quantidade de lodo utilizada, a relação abaixo foi estabelecida (BRASIL, 2006):

$$\text{Taxa de aplicação} = \frac{N_{\text{recomendado}}}{N_{\text{disponível}}} \quad \text{Eq.2}$$

Em que:

$N_{\text{recomendado}}$ é a quantidade de nitrogênio requerida para a cultura (kg/ha);

$N_{\text{disponível}}$ é o nitrogênio disponível no lodo (kg/t).

3.5. EXPERIMENTO

O solo utilizado foi previamente peneirado com malha com abertura de 2 mm (ABNT 10), disposto em potes (8 kg solo/pote) onde receberam os tratamentos e foram revirados por três dias, até o semeio (Figura 1a). Em cada pote foram postas 5 sementes a cinco centímetros de profundidade; 4 dias após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste, de forma que cada pote permaneceu com uma única planta. A manutenção da umidade foi feita por gravimetria diariamente utilizando uma balança comercial (PRIX 3/16, Toledo do Brasil Indústrias de Balança Ltda.). Durante todo o experimento, os potes foram mantidos com umidade de 80% da capacidade de pote utilizando água de abastecimento humano.

A determinação da capacidade de pote foi feita através da saturação de uma massa conhecida de solo em um recipiente com furos no fundo para drenagem, pesando em intervalos de tempo até estabilização do peso. Em seguida, o recipiente foi levado para estufa a 105°C por 48h e novamente pesado para obter a quantidade de água retida no solo.

A água utilizada era proveniente da Estação de Tratamento de Água da UFPE e foi monitorada durante o experimento para pH, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido utilizando sonda multiparâmetros (HQ40d, HACH). Além disso, amônia e cloretos foram monitorados de acordo com as metodologias SM 4500N-NH₃C e SM 4500Cl-D do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

O experimento foi conduzido na casa de vegetação localizada no Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, no campus Recife, durante os dias

18 de setembro a 24 de novembro de 2017. A floração média ($n > 50\%$) ocorreu 40 DAE e o término do experimento ocorreu aos 64 DAE.

O clima em Recife é As' de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al, 2014); a temperatura média registrada nesse período foi de 26,2°C, com máxima de 30,2°C e mínima de 22,9°C, de acordo com o Agritempo (2018). Em 8 DAE foi percebido a presença de insetos nas plantas (Figura 3.2); para o controle, foram utilizadas quatro aplicações de emulsão de óleo de andiroba a 3% e cinco aplicações semanais de calda de nicotina produzidas de acordo com Fazolin et al (2017).

Figura 3.1 – Potes no dia do plantio (a) e 32 dias após emergência das plântulas (b)



Fonte: A autora.

Figura 3.2 – Folha do tratamento T com sinais de ataque de insetos aos 11 DAE (a) e o L2 aos 15 DAE



Fonte: A autora.

3.6. PARÂMETROS ANALISADOS NA PLANTA E NO SOLO

Durante o experimento, as medidas de altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e número de vagens (NV) foram feitas aos 15, 32, 47 e 64 DAE. A altura da planta foi medida com uma trena colocada no nível do solo e mensurada até o ramo mais longo na haste principal; o diâmetro do caule foi medido 5 cm acima do nível do solo com um paquímetro digital (100.176BL, Digimess).

Ao final do experimento, as plantas foram cortadas ao nível de solo para determinação do peso de massa fresca, feito em balança semi-analítica (MARK S 5201, Bel Equipamentos Analíticos Ltda.) no momento do corte, e massa seca da parte aérea, pesado depois de 72 h em estufa com ventilação forçada a 65°C (TE-394/2, Tecnal Equipamentos para Laboratório Ltda.).

As vagens foram debulhadas e o peso dos grãos por planta foi calculado para 100 grãos. A produtividade foi calculada considerando o peso dos grãos por planta presumindo uma densidade de 40.000 plantas por hectare (CAVALCANTI, 2008).

Todas as folhas e grãos de feijão foram moídos em um moinho do tipo Wiley da (Star FT-50, Fortinox). O tecido foliar foi analisado para nitrogênio, fósforo, potássio, proteínas solúveis e carboidratos solúveis. Os grãos foram submetidos as análises de nitrogênio, fósforo, potássio, umidade, resíduo mineral. Estes métodos seguiram Bezerra Neto e Barreto (2011).

As análises de solo foram feitas realizadas no Laboratório de Análise de Solo localizado na Estação Experimental de Cana-de-açúcar, no município de Carpina, vinculado à Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os parâmetros verificados foram pH, ferro, cobre, zinco, manganês, fósforo, potássio, sódio, alumínio, cálcio, magnésio e hidrogênio de acordo com o descrito por da Silva (2009).

3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados de planta e do solo foram testados para sua normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk como sugerido por Torman, Coster e Riboldi (2012). Para os parâmetros que se apresentaram como não paramétricos, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis para avaliar a influência dos tratamentos nos resultados; quando rejeitada a hipótese nula, foi realizado o teste de comparação de medianas.

Da mesma forma, os parâmetros com amostras paramétricas foram analisados pela análise de variância (ANOVA), utilizando o teste de Tukey para determinar a quais grupos diferem entre si.

Todos os testes foram realizados ao nível de 5% de significância usando o software STATISTICA 8, da StatSoft.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LODO CALEADO

Os resultados da caracterização química do lodo estão apresentados na Tabela 4.1. A concentração de nitrogênio total é maior do que a encontrada por Barros (2004) que analisou lodo estabilizado com cal da mesma ETE e menor do que o descrito por Corrêa e Silva (2016) para lodo caleado. A baixa concentração de nitrato e nitrito presente no lodo permite sua aplicação sem preocupação com a lixiviação desses íons para águas subterrâneas.

O potássio, assim como o sódio, tem baixa concentração comparado a outros nutrientes porque são íons com alta solubilidade, sendo perdidos durante o deságue do lodo por lixiviação (BETTIOL; CAMARGO, 2006; TUROVSKIY; MATHAI, 2006). A alta concentração de cálcio ocorre pela adição da cal hidratada ao lodo.

Tabela 4.1 – Características do lodo caleado no momento da aplicação no solo (após a maturação)

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	-	12,3
Umidade 60-65 °C		64,9
Umidade 100-105 °C	%	73,5
Matéria orgânica		6,2
C total	%	49,3
C orgânico	g/kg	149,1
N-NTK *	g/kg	35,5
N-NH ₃ ⁺ *	mg/kg	8,2
N-NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻ *	mg/kg	5,5
P total *	g/kg	2,3
K total *	g/kg	0,4
Na total *	g/kg	0,6
Ca total *	g/kg	9,0

* Valores em peso baseados em lodo seco a 65°C

Fonte: Elaborado pela autora.

O alto pH resultante da adição de cal também faz com que esse lodo seja utilizado em solos ácidos, para aumentar sua fertilidade (MARIN et al., 2010; SIMARD; BEAUCHEMIN; LAVERDIERE, 1999). Solos ácidos possuem mais íons H^+ na solução do solo e menos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ disponíveis. O pH tem efeito indireto sobre a disponibilidade dos elementos do solo: o fósforo em baixo pH forma fosfatos de ferro e alumínio e com pH alto formam fosfatos insolúveis tipo hidróxi; a utilização de nitrogênio e enxofre está ligada a mineralização da matéria orgânica por microrganismos que se desenvolvem melhor com pH entre 6,0-7,0 (MALAVOLTA, 1981; PRIVAVESI, 2000).

Os resultados da avaliação biológica do lodo tratado estão dispostos na Tabela 4.2. O tratamento foi eficiente para classificar o lodo como Classe A segundo o CONAMA (BRASIL, 2006) e do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) (BRASIL, 2016). A eficiência da cal para a higienização do lodo é bem documentada, mesmo utilizando a cal hidratada disponível em armazéns comerciais (ALVES FILHO, 2014; BEAN et al., 2007).

Tabela 4.2 – Resultados de análises para parâmetros biológicos

Parâmetros	Lodo tratado	Limite CONAMA 375	Limite IN MAPA
Coliformes termotolerantes (NMP/g ST)	0	1.000	1.000
Ovos viáveis de <i>Ascaris</i> (ovos/g ST)	0,002	0,25	1,00
Salmonella (NMP/10g ST)	0	Ausência	Ausência

Fonte: Elaborado pela autora.

O lodo tratado também ficou dentro dos limites estabelecidos pela resolução do CONAMA e do MAPA para os metais analisados (Tabela 4.3). Para a mesma ETE, Silva (2001) encontrou valores menores de Cu e Zn e valores maiores para Ni, Pb e Al.

Em lodo de UASB tratado com secagem térmica no trabalho relatado por Albuquerque et al. (2015), os valores de Zn, Fe e Mn foram maiores; a concentração de Cu foi similar a encontrada nesta análise. Os valores de Zn foram maiores do que os encontrados por Alves Filho (2014) um reator UASB; já Cu, Ni e Pb descritos aqui são menores do que o relatado pelo autor.

O zinco é um micronutriente que participa na constituição de enzimas; a contribuição no esgoto é por escoamento e por matéria fecal (SILVA et al, 2007; KIRCHMANN et al, 2017). Altas concentrações de ferro também foram encontradas por Scancar et al (2000).

Tabela 4.3 – Valores médios de metais analisados no lodo caleado. Valores em peso baseados em lodo seco a 65°C

Metal	Valor (mg/kg)	Limite CONAMA 375	MAPA IN 27
Al	21660	-	-
As	<LD	30	20
Cu	137	1500	-
Fe	19204	-	-
Mn	181	-	-
Ni	<LD	74	175
Pb	<LD	41	300
Zn	2038	2800	-

<LD: abaixo do limite de detecção

Fonte: Elaborado pela autora.

A água utilizada durante o experimento apresentou as características físico-químicas apresentadas na Tabela 4.4. O pH (6-8,5), condutividade elétrica (0-3 dS/m), amônia (0-5 mg/L), cloreto (0-30 meq/L) e sulfato (0-20 meq/L) tem concentrações dentro do intervalo utilizado frequentemente em irrigação citado por Oliveira (2010).

Tabela 4.4 – Características físico-químicas da água de abastecimento utilizada no experimento

Variáveis	Unidade	Média	Erro padrão
Temperatura	(°C)	27,8	0,2
pH	-	6,5	0,1
Cond. Elétrica	µS/cm	334,2	29,6
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5,1	0,8
Amônia	mg/L	1,1	0,3
Cloreto	mg/L	46,9	3,3
Sulfato	mg/L	17,8	0,1

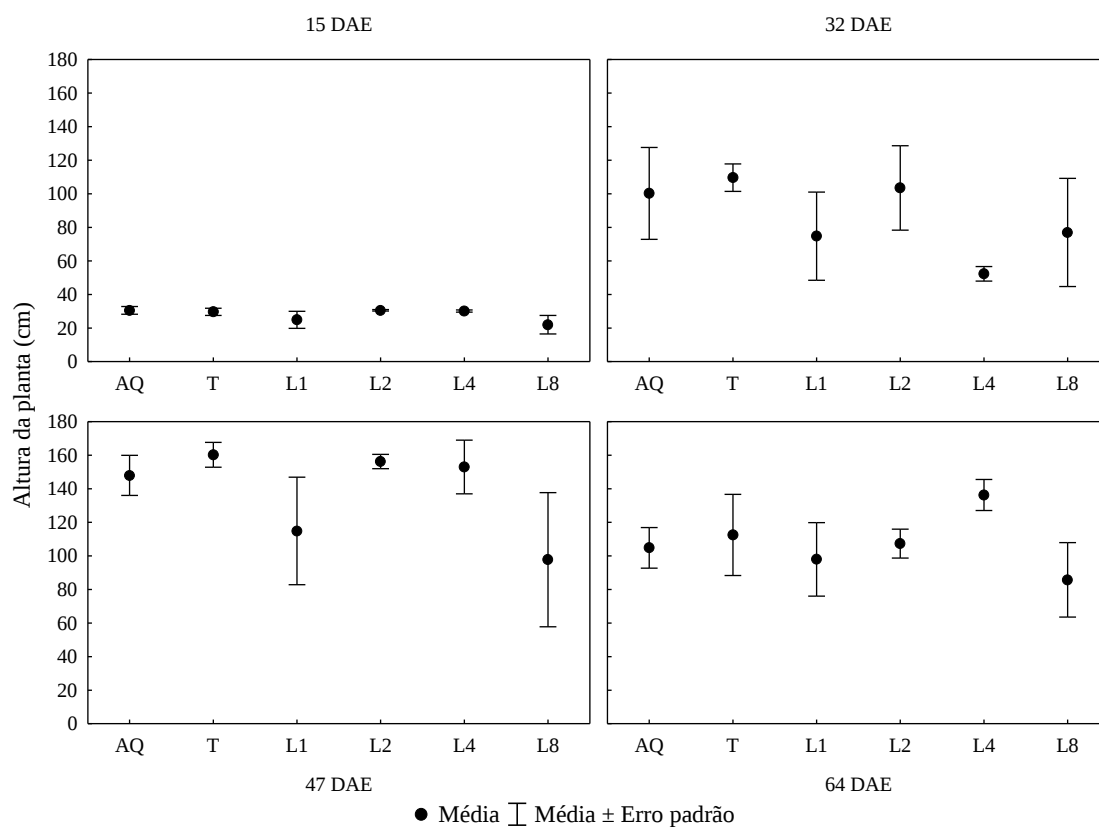
Fonte: Elaborado pela autora.

4.2. PARÂMETROS AGRÔNOMOS

Não houve diferença significativa ($\alpha=5\%$) entre os tratamentos na altura da planta e diâmetro do caule nas medições realizadas aos 15, 32, 47 e 64 DAE (Figura 4. e Figura 4.2, respectivamente). O tratamento com a maior altura média ao final do experimento foi L4 ($136,3 \pm 9,2$); o tratamento com maior média para o diâmetro do caule foi L2 ($10,0 \pm 0,4$). A floração média ocorreu no 40 DAE.

Segundo Sampaio e Brasil (2009), o crescimento após a floração é pequeno; a energia da planta volta-se para translocação de nutrientes com o objetivo de produzir as vagens e grãos.

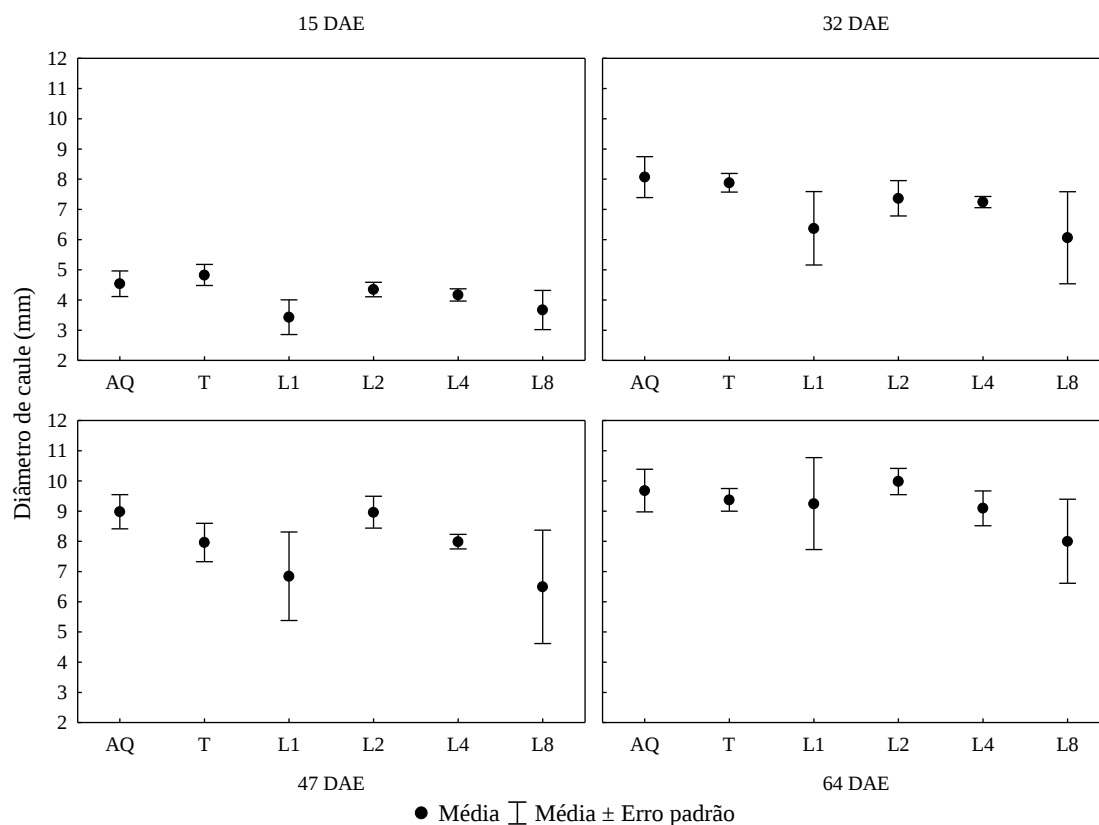
Figura 4.1 – Altura do feijoeiro aos 15, 32, 47 e 64 dias após emergência



AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4.2 – Diâmetro do caule aos 15, 32 47 e 64 dias após emergência



AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

Fonte: Elaborado pela autora.

O número de folhas por planta aos 64 DAE apresentou média maior para o tratamento AQ, com 38 ± 9 folhas, depois por T = 36 ± 4 ; L1 = 37 ± 5 ; L2 = 25 ± 5 ; L4 = 25 ± 8 ; e L8 = 25 ± 3 (médias seguidas de erro padrão). Não houve diferença significativa entre os tratamentos com intervalo de confiança de 95%.

O peso de 100 grãos foi maior para T (24,7 g) e menor para L1 (12,0 g) mas a produtividade foi melhor para o tratamento L8. Os grãos produzidos por T têm maior peso, porém com o L8 produz mais grãos de feijão com mesma quantidade de plantas. A produtividade abaixo da média esperada (entre 600 e 900 kg/ha) para a espécie se justifica por ser um experimento realizado com potes em casa de vegetação em vez das condições de campo.

Em cultivo com lodo compostado em casa de vegetação, Silva (2017) obteve matéria seca de 12,41 g para a variedade IPA 207. Em cultivo de milho com lodo caleado, Fia, Matos e Aguirre (2006) obtiveram maior produção de matéria seca com a dose que suplementou o dobro da necessidade de nitrogênio para cultura. Miranda et al. (2004) avaliou diferentes

genótipos de caupi com cultivo consorciado com milho em campo utilizando fertilização química e obteve 19g de peso de 100 grãos do IPA 206. Segundo Andrade Júnior (2002), os grãos com mais apelo para mercado são os que possuem peso de 100 grãos em torno de 18g de forma reinforme e arredondado.

Tabela 4.5 – Resultados da produção de grãos de feijão

Tratamentos	Matéria seca (g/planta)	Número de grãos por planta (u)	Peso de 100 grãos (g)	Produtividade (kg/ha)
AQ	31,5 ± 4,2	55 ± 12	17,6 ± 1,4	385,0 ± 79,2
T	26,2 ± 4,6	37 ± 7	24,7 ± 5,0	329,0 ± 21,7
L1	21,7 ± 6,2	37 ± 11	12,0 ± 4,9	210,7 ± 103,3
L2	28,4 ± 2,6	51 ± 3	18,2 ± 2,1	365,0 ± 22,8
L4	25,3 ± 1,7	42 ± 7	15,3 ± 3,1	284,0 ± 40,1
L8	19,0 ± 7,9	56 ± 6	18,7 ± 0,1	414,0 ± 38,0

AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

Fonte: Elaborado pela autora.

O número de grãos por planta, peso de 100 grãos e produtividade mostram uma resposta ao aumento da quantidade de lodo nos tratamentos. Para esses parâmetros, os tratamentos obedeceram a ordem L8>L2>L4>L1.

4.3. BIOQUÍMICA VEGERAL

4.3.1 Folhas

Os teores de nitrogênio, fósforo e potássio presente nas folhas da planta não apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 4.6). A maior média para nitrogênio ficou com o tratamento L8 (39,48 mg/g) e a menor com L1 (34,51 mg/g).

É importante frisar que o solo escolhido para o presente trabalho não foi autoclavado e, ao final do experimento, foi observado a presença de nódulos que se assemelham com os de rizóbio nas raízes de todos os tratamentos. Segundo Xavier et al. (2006), o feijão caupi tem

facilidade em ser nodulada por diferentes estirpes de bactérias diazotróficas vida livre. Em experimento com soja, Lobo et al. (2012) aplicou doses crescentes de lodo compostado em sementes com e sem inoculação de *bradyrizobium*. Os teores de nitrogênio foliar não apresentaram diferença entre as plantas inoculadas com aquelas sem aplicação de lodo e sem inoculação.

O fósforo teve a maior média com AQ (3,32 mg/g), seguido com pouca diferença por T (3,29 mg/g). A menor média foi apresentada pelo tratamento L8 (2,29 mg/g). A maior concentração de potássio ficou com L2 (13,92 mg/g) e a menor foi encontrada no tratamento L4 (8,97 mg/g).

Tabela 4.6 – Valores da média seguido de erro padrão de N, P e K nas folhas das plantas de feijão (em peso seco)

Tratamentos	Nitrogênio (mg/g)	Fósforo (mg/g)	Potássio (mg/g)
AQ	37,00 ± 1,09	3,32 ± 0,17	12,22 ± 0,54
T	37,77 ± 0,61	3,29 ± 0,20	11,52 ± 2,22
L1	34,51 ± 2,72	2,36 ± 0,35	9,99 ± 1,89
L2	36,47 ± 1,78	2,35 ± 0,17	13,92 ± 3,72
L4	35,30 ± 4,24	2,60 ± 0,11	8,97 ± 2,56
L8	39,48 ± 4,73	2,29 ± 0,35	12,25 ± 1,77

AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores de nitrogênio e fósforo estão acima do considerado adequado para cultura, mas os valores de potássio são considerados insuficientes mesmo no tratamento com fertilização química de potássio (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MELO; CARDOSO; SALVIANO, 2005). Segundo Faquin (2005), pode ocorrer acúmulo de carboidratos solúveis e compostos nitrogenados solúveis em plantas deficientes em potássio, o que não foi observado neste experimento (Tabela 4.7).

Os teores de proteína bruta, proteína solúvel e carboidrato solúvel presente nas folhas da planta não apresentaram diferenças entre os tratamentos ($\alpha=5\%$). As médias foram semelhantes, o que aponta que nenhum tratamento representou um estresse nutricional para planta (LOBATO et al., 2008; ROSA et al., 2009; ZHU, 2016).

Tabela 4.7 - Valores da média seguido de erro padrão de proteína bruta, proteína solúvel e carboidrato solúvel nas folhas das plantas de feijão (em peso seco)

Tratamentos	Proteína bruta (%)	Proteína solúvel (µg/g)	Carboidrato solúvel (µg/g)
AQ	23,13 ± 0,68	3,85 ± 0,02	11,1 ± 0,4
T	23,61 ± 0,38	3,87 ± 0,01	10,7 ± 0,1
L1	21,57 ± 1,70	3,88 ± 0	11,2 ± 0,6
L2	22,79 ± 1,11	3,93 ± 0,03	11,1 ± 0,2
L4	22,06 ± 2,65	3,87 ± 0,05	10,5 ± 0,2
L8	24,68 ± 2,96	3,93 ± 0,02	11,3 ± 0,4

AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.2 Grãos

Os valores de nitrogênio presente nos grãos de feijão (Tabela 4.8) apresentaram diferença significativa entre AQ e L2, com L2 (45,28 mg/g) apresentando a maior média entre os tratamentos. Já o fósforo nos grãos diferiu entre os tratamentos L1 e L4, sendo L4 a maior média (5,16 mg/g).

Tabela 4.8 – Valores da média seguido de erro padrão de N, P e K nos grãos de feijão

Tratamentos	Nitrogênio (mg/g)	Fósforo (mg/g)	Potássio (mg/g)
AQ	39,15 ± 1,54 a	4,56 ± 0,14 ab	10,78 ± 0,24 *
T	42,33 ± 0,79 ab	4,44 ± 0,05 ab	10,81 ± 0,28 *
L1	39,78 ± 1,48 ab	4,33 ± 0,14 a	10,62 ± 0,26 *
L2	45,28 ± 1,57 b	4,42 ± 0,28 ab	10,40 ± 0,41 *
L4	44,96 ± 0,79 ab	5,16 ± 0,15 b	10,83 ± 0,49 *
L8	43,24 ± 0,70 ab	4,65 ± 0,05 ab	10,75 ± 0,04 *

AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

* Não há diferença significativa a 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em cultivo em campo utilizando a variedade BR Tracuateua com adubação química, Parry, Kato e Carvalho (2008) encontraram menores concentrações de nitrogênio e fósforo nos grãos (36,9-41,8 mg/g de N e 2,6-3,4 mg/g de P). Para Frota, Soares e Arêas (2008), o teor de fósforo e o potássio encontrado em grãos do cultivar BRS-Milênio foram, respectivamente, 5,1 e 14,3 mg/g.

4.4. CARACTERÍSTICAS DO SOLO APÓS A ADIÇÃO DO LODO

Não houve diferença significativa em nenhum parâmetro analisado no solo a 5% de significância (Tabela 4.9).

A maior média de nitrogênio no solo veio do tratamento L8 (1061,7 mg/kg), que também teve a maior quantidade de nitrogênio mineral, que é disponível para planta (N-NH_4^+ , $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^- = 97,72 \text{ mg/kg}$). Comparado ao solo antes do plantio, o N-NTK diminuiu para os tratamentos L1, L2 e L4 mesmo com a adição de lodo ao solo. Os valores de N-NH_4^+ foram menores do que antes do plantio em todos os tratamentos; a maior média ficou com o tratamento L4 (27,82 mg/kg). Já o $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ aumentou pós plantio para os tratamentos com adição de lodo. O tratamento com adubação química teve os menores teores de N-NH_4^+ , $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ no solo pós plantio; a mesma quantidade de nitrogênio disponível foi aplicada no tratamento L1, que apresentou sete vezes mais N-NH_4^+ e quinze vezes mais $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$.

Isso pode ocorrer porque o cálculo de nitrogênio disponível no lodo foi feito considerando uma taxa fixa de mineralização do nitrogênio orgânico, sugerida pela resolução CONAMA. Segundo Dynia, de Souza e Boeira (2006) e Souza (2014), essa taxa pode ser sub ou superestimada de acordo com influências ambientais no processo de mineralização – temperatura, umidade e pH. A fração orgânica do lodo é considerada parcialmente disponível e continua mineralizando ao final do cultivo.

A baixa concentração de nitrogênio mineral no tratamento AQ também pode indicar que houve uma maior assimilação da planta. O excesso de $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ no solo nos tratamentos com lodo podem indicar uma rejeição da planta à essa forma de nitrogênio. A assimilação de N-NH_4^+ exige menos gasto de energia

A mineralização do nitrogênio do lodo após a adição de lodo de esgoto é ainda bastante debatida. Diferenças na estrutura física do solo, bem como a grande diversidade de microrganismos que se adaptam a situações extremas não oferecem um consenso (CARDOSO FILHO; MINHONI, 2003; COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2003).

Garau, Dalmau e Felipó (1991) em experimento com lodo de esgoto compostado e cinzas volantes para observar a nitrificação no solo constatou uma diminuição na nitrificação com o aumento do pH. Corrêa, White e Weatherley (2006) testaram a mineralização de cinco tipos diferentes de lodos de esgotos em um solo arenoso e outro argiloso em escala de bancada. A mineralização do lodo caleado no solo argiloso foi a menor entre os tratamentos; já no solo arenoso, nitrificou menos que o lodo solarizado e mais do que o lodo seco a 250°C.

As concentrações de fósforo encontradas foram altas; entre os tratamentos com lodo, o L2 obteve a maior concentração e também teve o maior pH. Quando o pH é maior do que 7,0, acontece a formação de fosfatos insolúveis imobilizando o fósforo no solo (MALAVOLTA, 1981).

O pH de todos os tratamentos foram elevados, entre a faixa de 7,1-7,8, considerados com alcalinidade fraca (MALAVOLTA, 1981). A matéria orgânica do solo foi maior no tratamento com a adubação química; o desenvolvimento da massa radicular pode ter acrescentado matéria orgânica ao solo.

A aplicação crescente de lodo pode ser observada nos teores de Fe e Cu, que aumentaram junto com as doses. O lodo caleado apresentou de Fe e a preocupação com o acúmulo de metais no solo após a aplicação de lodo é descrito por De Melo (2003) e Silva et al. (2007). Houve pouca variação entre os tratamentos para a soma de bases e a capacidade de troca catiônica.

Como já citado, houve a observação de possíveis nódulos de rizóbio nas raízes de todos os tratamentos. A presença de nódulos de rizóbio alteram a forma como a planta assimila o nitrogênio, a estrutura e a solução do solo. A presença de bactérias diazotróficas estimulam o crescimento radicular e exigem mais macro e micronutrientes como fósforo e cobre (PERSELLO-CARTIEAUX; NUSSAUME; ROBAGLIA, 2003; VITOUSEK et al., 2002).

Tabela 4.9 – Fertilidade do solo após o plantio para todos os tratamentos

Trat	pH	P	K	Na	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	MO	Fe	Cu	Zn	Mn	N-NTK	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻
	-	mg/dm ³	-----cmolc/dm ³ -----						%	-----mg/dm ³ -----				-----mg/kg-----			
AQ	7,18	75	0,24	0,27	2,75	1,55	1,5	4,81	6,31	1,49	35,23	0,9	21,18	45,3	938,9	1,21	4,46
T	7,2	45,33	0,23	0,33	3,03	1,83	1,4	5,41	6,81	1,41	46,75	0,9	20,28	55,75	808,3	15,69	5,7
L1	7,25	44,67	0,22	0,3	2,7	1,43	1,48	4,64	6,12	1,2	46,88	0,85	14,58	48,63	680	9,27	70,14
L2	7,8	65	0,16	0,35	3,4	1,38	0,93	5,29	6,22	1,32	66,1	1,05	19,03	67,8	771,9	11,17	28,53
L4	7,75	55	0,21	0,32	3,53	1,35	0,88	5,4	6,28	1,18	76,63	1,23	21,55	57	667,7	27,82	62,53
L8	7,38	63	0,2	0,34	3,95	1,48	0,9	5,96	6,86	1,28	79,43	1,15	19,95	52,35	1061,7	19,26	78,46

AQ = adubação química; T = testemunha; L1 = lodo para 1xN; L2 = lodo para 2xN; L4 = lodo para 4xN; L8 = lodo para 8xN.

SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica.

Fonte: Elaborado pela autora.

5 CONCLUSÕES

O tratamento com a cal hidratada, mesmo quando feito de maneira manual e em pequena escala como o reportado neste trabalho, é eficiente para classificar o lodo tratado como Classe A segundo a resolução nº 375/2006. Além disso, o lodo caleado apresentou teores aceitáveis de metais pesados, que demonstra a possibilidade de uso agrícola sem problemas ambientais a curto e médio prazo.

O crescimento do feijoeiro com lodo tratado não diferiu do tratamento com a adubação química. A maior produtividade foi obtida pelo tratamento L8 (414,0 kg/ha). Os teores de nitrogênio e fósforo nos grãos foram maiores para os tratamentos L2 (45,3 mg/g) e L4 (5,2 mg/g), respectivamente. Os teores de carboidratos e proteínas solúveis indicam que as plantas com lodo não sofreram com alteração no metabolismo.

O solo pós plantio dos tratamentos com lodo apresentaram maior fração mineral de nitrogênio que o tratamento com adubação química. Com a adição do lodo caleado no solo, o pH do solo ficou levemente alcalino. Houve aumento na concentração de Fe e Cu proporcional ao aumento de lodo no solo.

REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**: Pesquisa de dados meteorológicos para o estado de PE. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=PE>>. Acesso em: 4 mai. 2018.
- ALBUQUERQUE, H. C. et al. Residual effect of sewage sludge fertilization on sunflower yield and nutrition. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2015. v. 18, n. 10, p. 1005–1011.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES FILHO, A. **Desinfecção de lodo de esgoto anaeróbio para fins agrícolas**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. **Cultivo do Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. 1 ed, 2 imp. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108 f. (Embrapa Meio-Norte: Sistemas de Produção 2).
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição de lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 6 v.)
- ANDREOLI, C. V. et al. Land application of sewage sludge. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Biological Wastewater Treatment Series: Volume 6 - Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007. 258 p.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22nd. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 2012.
- BARBOZA, R. S. L. **Influência do lodo de esgoto na nodulação e no desenvolvimento do caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp)**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade

Católica de Pernambuco, Recife, 2007.

BARROS, A. H. C. (Org.). **Solos do Nordeste**. Embrapa Solos, UEP Recife. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pe>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

BARROS, K. K. **Avaliação do desempenho de sistemas de tratamento aeróbio e anaeróbio e das características do lodo de esgoto doméstico**. 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

BARROS, K. K.; NASCIMENTO, C. W. A.; FLORENCIO, L. Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays L.*) irrigated with domestic effluent. **Water Science and Technology**, v. 66, n. 3, p. 681–688, 2012.

BASTOS, R. K. X. et al. Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. **Revista AIDIS**, v. 2, n. 1, p. 143–159, 2009. Disponível em: <<http://ojs.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13111>>.

BAZZAZ, F. A. Allocation of resources in plants: state of the science and critical questions. In: BAZZAZ, F. A.; GRACE, J. (Ed.) **Plant resource allocation**. San Diego: Academic Press, 1997. p. 1-30.

BEAN, C. L. et al. Class B alkaline stabilization to achieve pathogen inactivation. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 4, n. 1, p. 53–60, 2007.

BEECKMAN, F.; MOTTE, H.; BEECKMAN, T. Nitrification in agricultural soils: impact, actors and mitigation. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 50, p. 166–173, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.01.014>>.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: _____ (Ed. Tec.). **Lodo de esgotos: impactos ambientais na agricultura**. 1 ed. 1 imp. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Editora Universitária da UFRPE, 2011. 261 p.

BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do**

Paraná : aplicabilidade da Resolução Conama 375 / 06. 2014. 220 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n.375, de 29 de agosto de 2006.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 ago. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa n. 7 de 12 de abril de 2016.** Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2016. 02 de maio. Nº 82, seção n. 1, p. 9.

CAPIZZI-BANAS, S. et al. Liming as an advanced treatment for sludge sanitisation: Helminth eggs elimination - Ascaris eggs as model. **Water Research**, v. 38, n. 14–15, p. 3251–3258, 2004.

CARDOSO FILHO, J. A.; MINHONI, M. T. DE A. Interações microbianas e controle de fitopatógenos na rizosfera. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. 312 p.

CAVALCANTI, F. J. DE A. (Coord.). **Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008.

CENSO AGROPECUÁRIO. Rio de Janeiro: IBGE, p.1-777, 2006.

CIEŚLIK, B. M. et al. Review of sewage sludge management : standards , regulations and analytical methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 1–15, 1 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614012116>>. Acesso em: 4 maio 2018.

COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. 312 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos:** Abril, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

CORRÊA, R. S.; DA SILVA, D. J. Effectiveness of five biosolids as nitrogen sources to

produce single and cumulative ryegrass harvests in two Australian soils. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1–14, 2016.

CORREA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. **Water Resources**, v. 33, n. 4, p. 453–462, 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1134/S0097807806040117>>.

CUTOLO, S. A. et al. Parasitological risk assessment from wastewater reuse for disposal in soil in developing countries. **Water Science and Technology**, v. 65, n. 8, p. 1357–1367, 2012.

DA SILVA, F. C. (Ed. Tec.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed revisada. Brasília: Embrapa, 2009.

DE MELO, W. J. Uso de resíduos na agricultura e qualidade ambiental. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. 312 p.

DYNIA, J. F.; DE SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 855–862, 2006.

FAQUIN, V. Solos e meio ambiente nutrição mineral de plantas. **Universidade Federal de Lavras-UFLA**, v. III, FAEPE, 2005. 186 p.

FAZOLIN, M. et al. Controle alternativo de pragas para o cultivo e armazenamento de feijões. In: MATTAR, E. P. L.; OLIVEIRA, E. **Feijões do Vale do Juruá**. 2013. cap 11. 24 p.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 45-68.

FIA, R.; MATOS, A. T. DE; AGUIRRE, C. I. Produtividade e concentração de nutrientes e metais pesados em milho adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caçado. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 1, p. 39–50, 2006.

FREIRE FILHO, F. R. et al. Melhoramento genético de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) na região do Nordeste. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**, p. 294–324, 1999.

FROTA, K. DE M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L . Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 470–476, 2008.

GARAU, M. A.; DALMAU, J. L.; FELIPÓ, M. T. Nitrogen mineralization in soil amended with sewage sludge and fly ash. **Biology and Fertility of Soils**, v. 12, n. 3, p. 199–201, 1991.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Sludge thickening and dewatering. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Biological Wastewater Treatment Series: Volume 6 - Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007. 258 p.

GUARDA, A. PIB de Pernambuco cresce 2% em 2017 e supera resultado nacional: Agropecuária e serviços puxaram o desempenho da economia em recuperação. **JOnline**. 14 mar. 2018. Disponível em: <http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2018/03/14/pib-de-pernambuco-cresce-2_porcento-em-2017-e-supera-resultado-nacional-33123.php>. Acesso em: 6 abr. 2018.

GUPTA, N. et al. Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. In: MEENA, V. S. et al. (Eds.). **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture**. Singapura: Springer Nature Singapore, 2017. p. 217–262. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-5589-8>>.

IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JOO, S. H.; ANTMANN, E.; CHORATH, P. Sustainable approaches for minimizing biosolids production and maximizing reuse options in sludge management: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 158, p. 133–145, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.014>>.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica CERES, 1985. 492 p.

KRUSHEVSKA, A. et al. Comparison of Sample Decomposition Procedures for the Determination of Zinc in Milk by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry *. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 7, p. 851–858, 1992.

KUMAR, V.; CHOPRA, A. K.; KUMAR, A. A Review on Sewage Sludge (Biosolids) a

Resource for Sustainable Agriculture. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 2, n. 4, p. 340–347, 2017. Disponível em: <<http://www.aesacademy.org/journal/volume2/issue4/AAES-02-04-017.pdf>>.

KUO, S. Phosphorus. In: **Methods of Soil Analysis**. Part 3. Chemical Method, n. 5, p. 869–919, 1996.

LARA, A. I. et al. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura uso e manejo do lodo**. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná, PROSAB, 1999. 97 p.

LINHARES, B. D. **Filtros granulares (areia e carvão ativado) para pós-tratamento de efluente anaeróbio**. 2017. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

LOBATO, A. K. S. et al. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. under water stress during vegetative phase . **Asian Journal of Plant Science**, v. 7, n. 1, p 44-49, 2008.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 118–124, 2012.

LOBO, T. F. et al. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1333–1342, 2012.

MAGALHÃES, T. D. B. **Uso agrícola de biossólidos: análise crítica da resolução CONAMA 375/2006 na perspectiva da metodologia de avaliação quantitativa de risco microbiológico**. 2012. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3ª ed. Piracicaba: CERES, 1981.

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

MARIN, L. M. K. DE S. et al. Determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino em solos da região metropolitana de Curitiba.

Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 15, n. 2, p. 113–118, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

MEENA, R. S.; LAL, R. Legumes and Sustainable Use of Soil. In: MEENA, R. S. et al. (Org.). **Legumes for Soil Health and Sustainable Management**. Singapura: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. p. 1-31.

MELO, F. DE B.; CARDOSO, M. J.; SALVIANO, A. A. C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. DE A.; RIBEIRO, V. Q. (Org.). **Feijão-caupi: Avanços Tecnológicos**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 242 p.

MENEZES, R. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3 suppl, p. 643–653, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842012000400004&lng=en&tlng=en>.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: Treatment and reuse**. 4 ed. Boston: Metcalf & Eddy, 2003.

MIRANDA, P. et al. Avaliação de cultivares de *Vigna unguiculata* (L .) Walp, Tipos ereto e semi ereto em diferentes. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 1, p. 127–132, 2004.

MONTEIRO, T. L. V. Efeito da aplicação de lodo e de efluente de reator UASB no cultivo de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MUNIER-JOLAIN, N. et al. **Physiology of the Pea Crop**. Enfield: Science Publishers, 2010.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 28, n. 2, p. 385–392, 2004.

NOGUEIRA, T. A. R. et al. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 331–338, 2007.

OLIVEIRA, O. A. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro_qualidade_agua.pdf>

PARRY, M. M.; KATO, M. S. A.; CARBALHO, J. G. Macronutrientes em caupi cultivado sob duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 236–242, 2008.

PECCIA, J.; WESTERHOFF, P. We Should Expect More out of Our Sewage Sludge. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 14, p. 8271–8276, 2015.

PERNAMBUCO, I. A. **Plano de Trabalho – PAT 2016/2019 IPA**. Recife, 2015. Disponível em: <<http://www.ipa.br/novo/pdf/patipa20162019vi.pdf>>.

PERSELLO-CARTIEAUX, F.; NUSSAUME, L.; ROBAGLIA, C. Tales from the underground: Molecular plant-rhizobacteria interactions. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, n. 2, p. 189–199, 2003.

PINTO, M. T. Pathogen removal from sludge. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Biological Wastewater Treatment Series: Volume 6 - Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007. 22 p.

POLPRASERT, C. **Organic Waste Recycling**. Third ed. London: IWA Publishing, 2007.

PRICE, G. W. et al. Long-term influences on nitrogen dynamics and pH in an acidic sandy soil after single and multi-year applications of alkaline treated biosolids. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 208, p. 1–11, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.010>>.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9 ed. 3 reimp. São Paulo: Nobel, 1990.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W. J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, v. 8, n. 1, p. 183–191, 2011. Disponível em: <<http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/527/607>>.

RAHEEM, A. et al. Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse

of sewage sludge: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 337, n. December 2017, p. 616–641, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.149>>.

ROSA, A. P. et al. Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. **Renewable Energy**, v. 124, p. 21–26, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.025>>.

ROSA, M. et al. Soluble sugars—Metabolism, sensing and abiotic stress: A complex network in the life of plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 4, n. 5, p. 388–393, 2009.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi, 2. 2009, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 15 p.

SCANCAR, Janez et al. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. **The Science of the Total Environment**, v. 250, p. 9–19, 2000.

SILVA, A. M. R. B. DA. **Caracterização e avaliação do potencial de uso de lodos de estações de tratamento de esgoto doméstico da região metropolitana do Recife**. 2001. 266 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

SILVA, G. K. A. DA; FRANÇA, E. J. DE; DUTRA, E. D. EDXRF applied to the chemical characterization of domestic and industrial sludges. In: International Nuclear Atlantic Conference. 2017, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABEN, 2009. 7 p.

SILVA, R. J. **Uso de esgoto doméstico tratado e lodo no cultivo de duas espécies de feijão: biofortificação dos grãos e redução na incidência de pragas**. 2017. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, S. M. C. P. et al. Main contaminants in sludge. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Biological Wastewater Treatment Series: Volume 6 - Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007. 16 p.

SILVA, S. M. S. E; FREIRE FILHO, F. R. **Proteínas de feijão caupi**. Teresina, 1999.

SIMARD, R. R.; BEAUCHEMIN, S.; LAVERDIERE, M. R. Limed sewage sludge effects on nutrient status and metal fractions in acidic soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, n. 1, p. 173–182, 1999.

SØRENSEN, B. L.; DALL, O. L.; HABIB, K. Environmental and resource implications of phosphorus recovery from waste activated sludge. **Waste Management**. v. 45, p. 391–399, 2015.

SOUZA, F. M. P. **Utilização agrícola de diferentes lodos gerados em estações de tratamento de esgoto**. 2011. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SOUZA, N. A. P. **Efeito residual e mineralização do nitrogênio de lodo de esgoto no solo**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico, Campinas, 2014.

SUASSUNA, J. **Semi-árido: proposta de convivência com a seca**. 2002. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=659&Itemid=376>. Acesso em: 6 abr. 2018.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, v. 32, n. 2, p. 227–234, 2012.

TUROVSKIY, I. S.; MATHAI, P. K. **Wastewater Sludge Processing**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.

USEPA. **Environmental Regulations and Technology Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge Control of Pathogens and Vector Attraction**. Cincinnati: USEPA, 2003. v. 47. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20795666>>.

USEPA. **Method 3050B - Acid digestion of sediments, sludges, and soils**. 1996, v. 2, n. 12, dez. 1996.

VALDEZ-PÉREZ, M. A. et al. Cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sludge, vermicompost or inorganic amended soil. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 4, p. 380–387, 2011.

VITOUSEK, P. et al. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. In: BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W. (Ed.) **The nitrogen cycle at regional to global scales: Report of the International SCOPE Nitrogen Project**. Berlim: Springer Science + Business Media, 2002.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. Introduction to sludge management. In:

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Biological Wastewater Treatment Series: Volume 6 - Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007. 3 p.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodos de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 6 v.).

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Sludge characteristics and production. n: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Biological Wastewater Treatment Series: Volume 6 - Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007. 28 p.

XAVIER, G. R. et al. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi em diferentes nacionalidades. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 25–33, 2006.

ZHU, J.-K. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, v. 167, n. 2, p. 313–324, 2016.