

Adição de cal virgem em lodo de esgoto doméstico para uso agrícola

Tatieli Zanuzzi¹, Renata Farias Oliveira², Nádia Teresinha Schröder³

¹Egressa do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS,

²Professora-Orientadora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS,

³Professora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e do Programa de Pós-graduação em Promoção da Saúde da Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS

Resumo

O esgoto sanitário exige tratamento e disposição adequados para diminuir o impacto ambiental. Esta pesquisa avaliou diferentes dosagens de cal virgem (CaO) para redução de *Salmonella* spp. e coliformes termotolerantes presentes no lodo oriundo de uma ETE, a fim de utilizá-lo como biossólido em solo agrícola. O experimento consistiu na mistura de CaO e lodo de esgoto nas proporções 15%, 30% e 50% em relação ao seu peso seco. Analisou-se o pH, umidade e a concentração de microrganismos patogênicos do lodo bruto. Após a incorporação do CaO no lodo, avaliou-se semanalmente o pH e nos dias 10^o e 25^o a presença dos patógenos. Houve remoção de coliformes termotolerantes e *Salmonella* spp. em todos os tratamentos, independente das dosagens de CaO aplicadas. A aplicação de CaO na dosagem de 15% foi adequada para a higienização do lodo justificando assim sua propriedade alcalina acentuada durante o período de incubação de 25 dias, atendendo a Resolução CONAMA n° 375/2006 para disposição em solo agrícola.

Palavras-chave: biossólido, patógenos, lodo esgoto sanitário, CaO

Abstract

Sanitary sewage requires adequate treatment and disposal to reduce the environmental impact. This research evaluated different dosages of quicklime (CaO) to reduce *Salmonella* spp. and thermotolerant coliforms present in the sludge from an Effluent Treatment Station, to use it as biosolid in agricultural soil. The experiment consisted of mixing CaO and sewage sludge in proportions of 15%, 30% and 50% in relation to its dry weight. The pH, humidity, and concentration of pathogenic microorganisms in the raw sludge were analyzed. After the incorporation of CaO in the sludge, the pH was evaluated weekly and, on the 10th, and 25th days the presence of pathogens. There was removal of thermotolerant coliforms and *Salmonella* spp. in all treatments, regardless of the applied CaO dosages. The application of CaO at a dosage of 15% was adequate for cleaning the sludge, thus justifying its accentuated alkaline property during the 25-day incubation period, complying with CONAMA Resolution 375/2006 for disposal on agricultural land.

Keywords: biosolid, pathogens, sewage sludge, CaO

Introdução

O excessivo crescimento populacional e consequentemente o aumento das atividades antrópicas, tem causado um consumo significativo dos recursos naturais, entre eles a água, produto essencial para que haja manutenção de seres vivos

e materiais. A quantidade de água necessária para o desenvolvimento das atividades humanas vem aumentando de forma significativa, ao contrário o que ocorre com a quantidade de água potável ou de água que possa ser utilizada para satisfazer essa demanda (LEONETTI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

A falta de saneamento básico acarreta elevados custos sociais em função dos gastos causados por doenças infecciosas e parasitárias, visto que a cada dólar investido em saneamento, há um retorno de nove dólares para a economia de um país (BNDES, 2016). O atendimento de saneamento básico da população brasileira é caracterizado conforme apresentado na Figura 1 (SNIS, 2023).

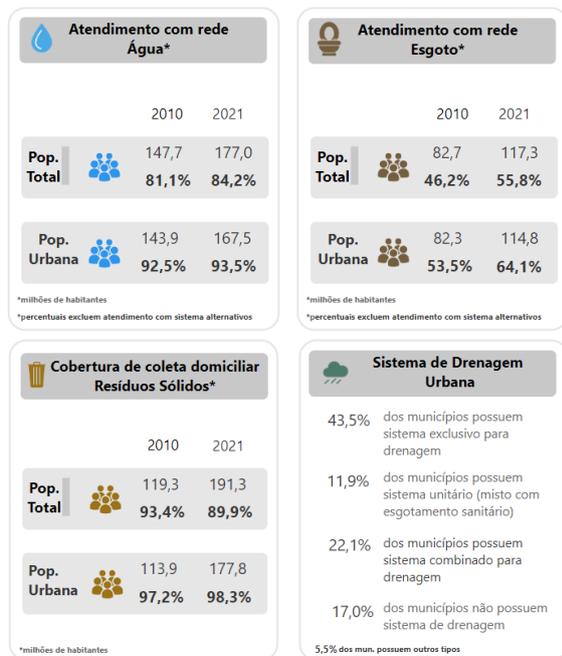


Figura 1. Panorama nacional sobre o saneamento brasileiro em 2021

Para manter a qualidade de vida e a da água, é imprescindível que os recursos hídricos sejam conservados, e uma das alternativas para esta manutenção é realizar o tratamento do esgotamento sanitário antes do seu lançamento no corpo receptor. O tratamento e a coleta de esgoto são considerados atividades precárias nas regiões brasileiras, principalmente na região Norte (14%) (Figura 2) (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015; SNIS, 2023). No Brasil, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário (ANA, 2023).

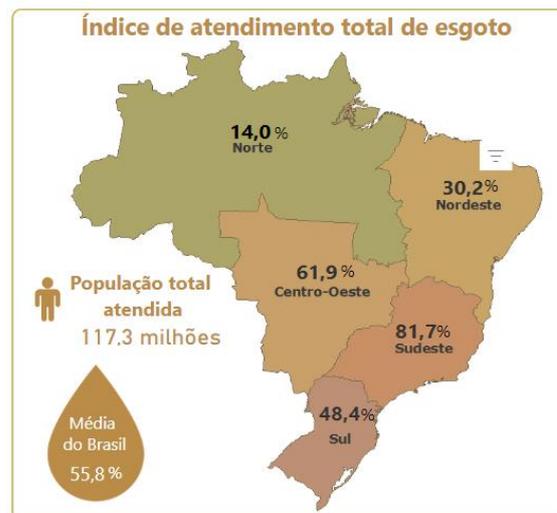


Figura 2. Cenário brasileiro sobre o esgotamento sanitário. Fonte: SNIS (2023)

O esgotamento sanitário que não recebe tratamento pode ser destinado de diversas formas. As Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) são conjuntos de instalações destinadas ao tratamento de efluentes, responsáveis por realizar a separação dos sólidos sedimentáveis via tratamento primário e transformação dos sólidos dissolvidos e coloidais em efluente tratado através de processos biológicos, físicos ou químicos. Esse tipo de tratamento visa devolver o produto tratado ao meio ambiente conforme os padrões estabelecidos pela legislação brasileira (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015; SILVA, et al., 2016).

As fossas sépticas, quando executadas corretamente, são consideradas alternativas adequadas (BRASIL, 2018; VON SPERLING, 2017). São sistemas individuais de tratamento do esgotamento sanitário usualmente adotado para atendimento unifamiliar e composto basicamente por caixa de gordura e fossa séptica.

O lodo ativado ou lodo biológico é outro tipo de tratamento de efluentes sanitários, que pode ser instalado em pequenas áreas. Ele é uma alternativa que visa reduzir as concentrações de matéria orgânica do efluente gerado, porém não é eficiente para a remoção de patógenos ou substâncias tóxicas presentes no mesmo (SANTOS et al., 2018). A quantidade de lodo gerada acompanha o crescimento populacional e os serviços de coleta de esgoto, bem como seu tratamento. A produção e quantidade de lodo gerado são determinadas pelo método escolhido para o tratamento (VON SPERLING, 2017). O lodo primário é caracterizado pela decomposição e degradação do esgoto bruto. O lodo secundário é oriundo da degradação do efluente que já passou pelo processo biológico, e o lodo misto se caracteriza pela combinação do lodo primário e secundário e esta mistura se dá devido à

possibilidade de realizar o tratamento de ambos de forma conjunta (SILVA, 2017).

As características do esgoto podem sofrer variações em sua composição devido ao seu local de origem, no entanto seu tratamento originará um subproduto denominado de lodo de esgoto ou biossólido, constituído por mais de 95% de água e rico em matéria orgânica e nutriente, que depois de estabilizado passa a ser denominado como biossólido, tornando-se um produto desejável no setor agrícola e florestal (BETTIOL; CAMARGO, 2006; GOMES et al., 2013; POMPEU, 2014; VON SPERLING, 2017).

O lodo de esgoto é o resultado natural da degradação biológica da matéria orgânica presente no efluente, e a sua degradação pode conter concentrações significativas de diversos nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de sais inorgânicos, molibdênio, zinco e outros oligoelementos que são considerados traços importantes para a nutrição de plantas e ainda organismos patogênicos (KRZYZANOWSKI JÚNIOR, 2014).

A NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os resíduos sólidos a partir da identificação de processo ou atividade que lhes deu origem, dos seus constituintes e características, e a comparação destes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto a saúde humana e ao meio ambiente é conhecido. O lodo de ETE é classificado como resíduo perigoso (Classe I), por apresentar significativo teor de patogenicidade (ABNT, 2004).

O gerenciamento do lodo é um problema de preocupação mundial. A escolha do gerenciamento e da disposição final do lodo de esgoto envolve aspectos técnicos, ambientais e principalmente econômicos visto que o seu custo é bastante elevado podendo chegar a 60% do custo operacional de uma ETE. Além disso a prática de disposição em aterros sanitários faz com que estes custos se elevem ainda mais devido a distâncias e restrições ambientais (VON SPERLING, 2017). A PNRS (BRASIL, 2010) traz benefícios na utilização de lodo de ETE e busca a sua utilização como fonte de matéria prima para demais processos. Alternativas sustentáveis, para a destinação do lodo (Classe I), têm sido indicadas como matéria prima para produção de agregados para construção civil, fabricação de tijolos, cerâmica e produção de cimentos, recuperação de solos degradados e utilização como biofertilizante na agricultura (BETTIOL; CAMARGO 2006). O tratamento adequado do lodo para fins de utilização na agricultura pode ser considerado uma das destinações mais apropriadas. Entretanto esta aplicação deve ser monitorada a fim de evitar complicações futuras, visto que pode causar

alterações químicas, físicas e biológicas no solo, além da possibilidade de contaminação por agentes patogênicos (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015).

O lodo gerado no tratamento de efluentes também pode ser denominado como biossólido, ou seja, matéria orgânica sólida recuperada no processo de tratamento de efluentes. Esse termo foi criado e divulgado para valorizar e incentivar o seu uso como outros insumos, principalmente na agricultura (URBAN, 2016; TEIXEIRA, 2012). O biossólido oriundo de esgotamento sanitário é um material com baixa contaminação por elementos inorgânicos, porém possui alta contaminação por microrganismos patogênicos, e isso faz com que seja necessário que o mesmo passe por processos de estabilização antes de ser disposto em solo agrícola (TEIXEIRA, 2012). O seu uso no solo é recomendado devido ao seu elevado teor de Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica (MO), responsável por elevar a quantidade de húmus, favorecendo a taxa de infiltração de água, e capacidade de reduzir a acidez, porém, a concentração de Potássio (K) é baixa devido a fácil solubilização do íon, o que indica a necessidade de complementação através de outros insumos para o fornecimento desse nutriente (TEIXEIRA, 2012; SANTOS et. al., 2018). Entre os benefícios já citados, os principais estão relacionados às condições químicas do solo, tais como a incorporação de nutrientes, aumento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e principalmente pelo aporte de N na forma orgânica, em grande quantidade. Assim, para a absorção desse nutriente pelas plantas, ele necessita ser mineralizado em Amônio (NH_4^+) e Nitrato (NO_3^-). Ressaltam-se também os benefícios físicos que a incorporação deste produto traz ao solo, promovendo o aumento da estabilidade dos agregados, melhora da estrutura do solo favorecendo a infiltração e retenção de água, aumento da capacidade de resistência à erosão e melhora da aeração do solo (TEIXEIRA, 2012). Devido à alta concentração de N no lodo de esgoto, a Resolução CONAMA N° 375/2006 determina que a quantidade de lodo a ser aplicada não deve exceder a quantidade de N recomendada em manuais de adubação e calagem para cada cultura. Para se ter esse controle aplica-se a Equação 1 para dosar a aplicação de N e evitar que ocorra a infiltração excessiva dele, uma vez que, quando aplicado em excesso, pode causar a contaminação da água subterrânea. Se for transportada à corpos hídricos pode ocasionar o aumento de N, acarretando então o processo de eutrofização (ALVES FILHO, 2014).

$$\text{Taxa de aplicação} = \frac{N \text{ recomendado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right)}{N \text{ disponível} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \right)} \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

O mapeamento dos locais e culturas em que o lodo poderia ser aplicado foi analisado por Castro; Silva; Scalize (2015). Eles observaram que 71,5% de sua aplicação ocorreu na região Sudeste do Brasil, destacando-se principalmente o estado de São Paulo. Na Tabela 1 é possível identificar as aplicações realizadas no solo com destaque para a cultura do milho, que recebeu em média 19,9% das aplicações.

Tabela 1 - Culturas com aplicação de lodo de esgoto, no Brasil.

Culturas	(%)
Milho	19,9
Arroz, feijão, trigo, soja, milho e aveia	9,0
Eucalipto	7,6
Cana de açúcar	4,7
Frutíferas	3,3
Girassol	3,0
FORAGEIRAS	2,3
Couve, alface, tomate, pepino e hortelã	2,0
Gramma Esmeralda e batatais	1,7
Algodão	1,3
Acácia	1,3
Outras	25,9
Total	82,1

Fonte: Castro et al.(2015)

O cultivo do milho exige maiores quantidades de N, necessitando de aproximadamente 20 kg/ha de N na base, podendo este ser suprido via aplicação de lodo de esgoto, visto que ele é um nutriente essencial para a formação dos aminoácidos, proteínas e enzimas essenciais para o desenvolvimento da planta (GUIMARÃES, 2017). A aplicação de biossólido também é viável para o setor florestal. Muitos dos solos utilizados para este fim são de textura arenosa e com grande deficiência nutricional. Neste contexto, o biossólido aumenta a quantidade de matéria orgânica, bem como os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento (FARIA, 2015).

A presença de compostos inorgânicos, como metais tóxicos, é um fator limitante para a sua aplicação, pois as concentrações encontradas são maiores do que as concentrações naturais registradas no processo de formação de solos (NASCIMENTO et al., 2004). A Resolução CONAMA Nº 375/2006 define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, determinando também os limites de metais tóxicos permitidos em sua utilização (Tabela 2).

Tabela 2 - concentração máxima de metais permitida em lodo de esgoto para uso em solo agrícola.

Substâncias Inorgânicas	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Crômio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: CONAMA (2006)

As plantas retiram do solo macro minerais que são considerados indispensáveis para o seu crescimento, no entanto caso estes sejam fornecidos acima da concentração permitida, podem se tornar contaminantes e passar a ter alto potencial de contaminação. Neste contexto, eles exercem efeitos tóxicos para o crescimento das plantas e para os processos bioquímicos que ocorrem de forma natural no solo, trazendo maiores complicações quando inserido na cadeia alimentar tanto animal quanto vegetal. Cabe ressaltar que nem sempre a contaminação por metais pesados acarretará na manifestação de sintomas, desta forma fazem-se necessárias avaliações periódicas no local em que o mesmo foi aplicado (BETTIOL; CAMARGO, 2006; NOGUEIRA et al., 2007).

A Resolução CONAMA Nº 375/2006 define a classificação do lodo de esgoto em Classe A ou Classe B. A aplicação do lodo Classe B só poderá ser realizada quando incorporada no cultivo de café, silvicultura, produção de fibras e óleos e estabelece também que a aplicação só poderá ser feita com o auxílio de equipamentos mecanizados, e respeitando a declividade do terreno. O lodo Classe A possui qualidade superior e pode ser incorporado em qualquer cultura desde que a aplicação do biossólido e o plantio tenha um intervalo de no mínimo 24 meses para pastagens e 48 meses para vegetais comestíveis ou cultivos que necessitem de alagamento. É estritamente proibida a aplicação de lodo de esgoto em Áreas de Preservação Permanente (APP), Unidade de Conservação (UC) e em áreas próximas a poços rasos de residências. Para que ocorra a comercialização e aplicação do biossólido no solo, é necessário que este produto esteja registrado como um substrato de potencial uso agrícola, ou seja, deve ser reconhecido pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (ALVES FILHO, 2014). A Instrução Normativa DAS/MAPA nº 25/2009, atesta que o lodo de

esgoto, após passar pelo tratamento adequado de higienização, pode ser disposto em solo agrícola e ainda classifica o mesmo como fertilizante orgânico Classe D, o que permite a mistura deste biossólido com outros resíduos para a formulação de fertilizantes.

A contaminação por microrganismos no lodo está diretamente relacionada com as características e condições da população geradora deste produto e nele podem ser encontrados cinco grupos distintos: helmintos, fungos, protozoários, bactérias e vírus, sendo todos capazes de transferir doenças à humanos e encontrados em diferentes concentrações (NOGUEIRA et al., 2007). Estes microrganismos são liberados pelas excreções humanas e como estão fora de seu *habit* natural tendem ao decréscimo populacional. Muitos deles, principalmente os helmintos, são adsorvidos pelos flocos de lodo devido ao seu baixo peso específico, o que torna o lodo um produto com elevada população microbiótica (LOZER; GONÇALVES; FABRIS, 2019). Existem diversos processos capazes de reduzir ou eliminar a quantidade de patógenos, a fim de permitir a sua utilização em fins agrícolas e atender os padrões estabelecidos na Legislação brasileira (Tabela 3).

Tabela 3 – Limites máximos de organismos patógenos permitidos pela legislação brasileira.

Indicador	Lodo Classe A	Lodo Classe B
Coliformes	< 10 ³ NMP/g ST	< 10 ⁶ NMP/g ST
Termotolerantes		
Salmonella spp.	Ausência em 10g de ST	Não aplicável
Ovos viáveis de	< 0,25 ovos/g ST	< 10 ovos/g ST
Helmintos		
Vírus entéricos	< 0,25 UFP ou UFF/ GST	Não aplicável

Fonte: CONAMA (2006)

Legenda ST: Sólidos Totais, NMP: Número Mais Provável, UFF: Unidade Formadora de Foco, UFP: Unidade Formadora de Floco de Placa.

As bactérias do grupo coliformes são bacilos gram negativas, capazes de se reproduzir em temperatura entre 10 e 37 °C, pH ideal para multiplicação entre 4,4 e 9,5 e originados no sistema gastrointestinal de animais de sangue quente. São considerados ótimos indicadores de contaminação fecal sendo a sua maioria pertencente ao gênero *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter* (POMPEO, 2015). Os coliformes termotolerantes são classificados como derivados do grupo de coliformes totais, capazes de fermentar a lactose a uma temperatura de 44,5°C e têm como principal representante a *Escherichia coli*, que possui um papel fundamental na manutenção e proteção da fisiologia intestinal (ALVES FILHO, 2014).

A *Salmonella* é uma bactéria pertencente à família *Enterobacteriaceae*, considerada termotolerante, capaz de se desenvolver em temperaturas acima de 44°C, porém sua morte ocorre em aproximadamente 30 minutos, caso seja submetida a temperaturas acima de 55 °C. É uma bactéria muito significativa no lodo de ETE, pois é eliminada em grandes concentrações através de fezes e responsável pelo desencadeamento de diversas doenças gastrointestinais em humanos e animais (BRASIL, 2011, LOZER; GONÇALVES; FABRIS, 2019). A análise da presença da bactéria *Salmonella* em hortaliças foi realizada por Krzyzanowski Júnior (2014), que a detectou em todas as amostras, porém em diferentes concentrações e sorotipos. Esta bactéria, mesmo passando pelos processos adequados para posterior destinação do lodo, pode continuar presente no biossólido, mas a sua concentração não é relevante para o desencadeamento da proliferação de doenças em humanos. A bactéria *Salmonella* mesmo sendo considerada termotolerante, quando encontra características ideais (umidade e pH) para sua multiplicação pode continuar o seu processo de desenvolvimento constante, mesmo atingindo temperaturas próximas a sua letalidade (LOZER; GONÇALVES; FABRIS, 2019).

Os helmintos são geralmente encontrados em grande quantidade no lodo de esgoto, principalmente nas regiões com deficiência sanitária. A sua alta concentração ocorre devido a sua velocidade de sedimentação elevada, apresentando resistência aos mais variados processos de higienização de lodo. Alguns gêneros, principalmente *Ascaris*, são utilizados como indicadores de qualidade sanitária (BATISTA, 2015). Os helmintos são os microrganismos que apresentam maiores riscos na proliferação de doenças quando aplicado no solo e maior resistência aos tratamentos. Apenas um ovo viável é capaz de contaminar o seu hospedeiro e sua sobrevivência pode variar de meses a anos, o que exige um processo de desinfecção bastante eficaz (LINS, 2010). Neste contexto, o estudo objetivou avaliar diferentes dosagens de cal virgem para redução de patógenos presentes no lodo resultante do tratamento de esgotamento sanitário visando atender os limites de organismos estabelecidos na Resolução CONAMA N° 375/2006.

Materiais e Método

O fluxograma com as etapas para o desenvolvimento do experimento e atendimento do objetivo estão indicados na Figura 3. O experimento foi instalado no Centro de Pesquisa em

Produtos e Desenvolvimento (CEPPED) da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) Campus Canoas.

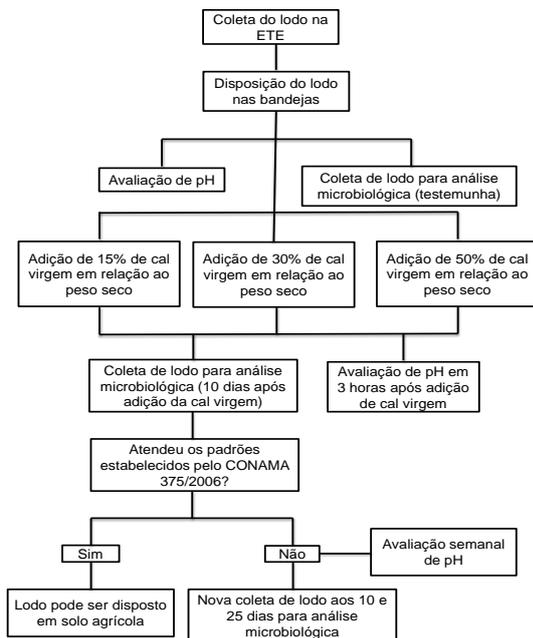


Figura 3. Fluxograma das etapas do experimento.

A caracterização do lodo de esgoto foi realizada a partir do material oriundo de uma das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) domésticos de Porto Alegre, a qual possui sistema de tratamento aeróbio e anaeróbio. Na ETE o desague do lodo é realizado através de centrífugas decanter, onde é possível se obter um volume de 50 m³.d⁻¹ de lodo desaguado. O LE foi coletado diretamente da ETE, após ser retirado do reator UASB e armazenado em sacos de rafia, totalizando aproximadamente 30 kg. Os parâmetros avaliados para a caracterização inicial foram: pH, umidade e coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella spp.*.

A leitura inicial do pH do LE foi realizada em pHmetro Digimed e utilizou-se 10 g de lodo diluídos em 25 mL de água destilada (1:2,5). Esta solução foi agitada com um bastão de vidro e deixada em repouso por aproximadamente uma hora. Em seguida foi agitada novamente e realizada a sua leitura de acordo com Donagem et al. (2011).

As concentrações de CaO foram adicionadas ao LE e realizou-se novamente a leitura do pH. Entretanto foi necessário aguardar o tempo de três horas após adição das concentrações uma vez que, para que ocorra a morte de microrganismos, como ovos viáveis de helmintos, por exemplo, é necessário que, por um período de três horas, o pH se mantenha acima de 12 (ROSSMANN et al., 2013). Após adição de CaO, o pH foi medido semanalmente.

Para determinação do grau de umidade e Matéria Seca (MS) utilizou-se cerca de 100 g de amostra de

LE, as quais foram acondicionadas em cadinhos com peso definido, pesados em balança analítica e colocados em estufa, com uma temperatura constante de 60°C, durante 24 horas. Essa determinação foi realizada em triplicata. Após a permanência de 24 horas na estufa, aplicou-se a Equação 2, de acordo com a metodologia estabelecida pela Companhia de Saneamento do Paraná (LARA, et al.,1999).

$$\text{Grau de umidade} = \frac{(\text{Peso úmido} - \text{Peso seco})}{\text{Peso úmido}} \times 100$$

EQUAÇÃO 2

Os recipientes utilizados para a execução do experimento foram oito bandejas plásticas com capacidade de 7,0 litros cada. Para cada tratamento foram realizadas duas repetições garantindo a continuidade do experimento caso ocorresse a contaminação de alguma amostra. As bandejas foram higienizadas com detergente e álcool 70% e após receberam 3 kg de LE úmido, que foram dispostas, conforme Figura 4.

O experimento foi mantido no interior do laboratório (CEPPED), em condição ambiente. Não houve incidência de radiação solar ou qualquer alteração climática.



Figura 4. Disposição dos recipientes utilizados no experimento.

O delineamento experimental estabelecido para o estudo consistiu-se em um tratamento contendo somente o resíduo orgânico, LE sem adição de CaO (testemunha), e outros três contendo diferentes dosagens de CaO (15, 30 e 50%) do teor de matéria seca do LE, identificado após a determinação do teor de umidade.

O CaO utilizado foi da marca Santamassa e sua aplicação foi manual, a fim de garantir uma mistura homogênea (Figura 5). Essa forma permitiu contato entre as partículas do CaO e o LE. Na Tabela 4 é

possível identificar as dosagens de CaO aplicadas no LE.



Figura 5. Cal virgem (CaO) homogeneizada como lodo de esgoto (LE).

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos aplicados.

Tratamento	Dosagens de CaO	
	%	(g)
Testemunha	-	-
LE 15	15	257,80
LE 30	30	516,14
LE 50	50	860,06

No momento da instalação do experimento, foi realizada a 1ª coleta de amostra do lodo para sua caracterização quanto à presença de patógenos. Coletou-se 10 g para determinação de coliformes termotolerantes, 150 g para determinação de ovos viáveis de helmintos e 25 g para identificação de *Salmonella* spp.

As amostras de LE, em temperatura ambiente, foram encaminhadas ao laboratório de Bacteriologia e Micologia do Hospital Veterinário (HV) da Universidade Luterana do Brasil para análise de coliformes termotolerantes e as demais ao laboratório NSF Bioensaios no município de Viamão/RS, para análise de determinação de ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* spp.. Estas foram armazenadas em caixa de isopor, objetivando manter uma temperatura de 10 °C. Uma nova coleta da amostra, após o 10º e 25º dias da adição de CaO ao LE foi realizada para avaliar o comportamento dos patógenos identificados na 1ª etapa. As análises de coliformes termotolerantes e *Salmonella* spp. foram realizadas no Laboratório de Bacteriologia e Micologia do HV da Ulbra.

A técnica utilizada para detecção de ovos viáveis de helmintos foi a EPA 625 R-92/013, onde o material (LE) foi sedimentado, centrifugado com contínuas soluções de NaCl (0,85%), flutuado com solução de sulfato de Zinco, filtrado em membrana de 47 mm e 1,3 µm e incubado a 28 °C durante 28 dias. Após os 28 dias de incubação, realizou-se a contagem dos ovos com a utilização de uma câmara de Sedgwick-

Rafter, com auxílio de microscópio. O número de ovos viáveis foi calculado baseado na seguinte equação 3.

$$N = \frac{(Nc \times Vc)}{(Vi \times Vf)} \quad \text{EQUAÇÃO 3}$$

Onde:

N = n° de ovos (ovos/litro);

Nc = n° médio de ovos contados na câmara de Sedgwick-Rafter;

Vc = volume da câmara;

Vi = volume original da amostra (L);

Vf = volume do conteúdo final da placa de Petri (mL).

Para detecção de *Salmonella* spp. o LE foi diluído em 225 mL de solução salina peptonada tamponada e pré-enriquecido na incubação da amostra a 16°C por aproximadamente 20 horas, de acordo com os procedimentos determinados na Instrução Normativa SDA n° 62/03. O enriquecimento da amostra foi realizado utilizando-se meios de culturas líquidos seletivos como caldo Rappaport Vassiliadis e caldo selenito-cistina. O isolamento e a seleção foram realizados com dois meios sólidos: ágar verde brilhante vermelho de fenol lactose sacarose e ágar Rambach ou XLD.

A determinação de coliformes termotolerantes foi realizada via técnica de diluições sucessivas e decrescentes do material em placas de Petri com meio de cultura adequado ao crescimento deste microrganismo. Após repetitivas diluições, obteve-se pelo menos uma placa onde o resultado da semeadura foi negativo. A partir disso foi possível realizar a combinação dos resultados semeados e estimar a densidade das bactérias.

Resultados e Discussão

A caracterização inicial do lodo de esgoto se deu com a determinação da umidade, leitura do pH e identificação de patógenos coliformes termotolerantes, *Salmonella* spp. E ovos viáveis de helmintos) no dia em que o experimento foi instalado. O pH foi monitorado semanalmente, antes e após adição de CaO. De acordo com Hoffmann (2001), o pH é um fator fundamental para o crescimento microbiológico, que quando adverso às condições favoráveis de sobrevivência afeta a respiração dos microrganismos, bem como o transporte de nutrientes para as células. Nos resultados obtidos, o lodo de esgoto bruto apresentou pH inicial neutro (7).

O lodo de esgoto ao ser coletado apresentava umidade de 42,8%. No estudo realizado por Mahadal (2017), com mesmo material, o valor

registrado de umidade foi de 81%, porém a sua coleta foi realizada diretamente na saída do processo de centrifugação, diferentemente deste trabalho, onde a coleta se deu no container de descarte final para o aterro sanitário, após permanecer no pátio da ETE pelo período da manhã. Na Tabela 5 é possível visualizar as concentrações de patógenos contidos no lodo de esgoto no início do experimento. De acordo com a Resolução CONAMA N° 375/2006, a identificação destes parâmetros é fundamental para viabilizar a disposição do lodo em solo agrícola, bem como realizar a sua classificação.

Tabela 5 – Análise inicial (testemunha) de microrganismos patogênicos.

Amostra	Coliformes termotolerantes (NMP/g)	<i>Salmonella spp.</i>	Ovos viáveis de helmintos
1ª Coleta	4,6x10 ⁵	Presente	<1 ovos/g

Legenda: NMP: número mais provável.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 375/2006 o lodo de esgoto bruto em estudo foi classificado como Classe B. A análise inicial da remoção de patógenos para disposição em solo agrícola com utilização do lodo proveniente da ETE de Muriaé (MG) identificou o material analisado como Classe B. A classificação desse lodo restringe seu uso para cultura do café, silvicultura, culturas para produção de fibras (algodão) e óleos (girassol), e sua aplicação realizada somente por implementos mecanizados e em sulcos (ROSSMANN et. al., 2013).

A caracterização do LE ocorreu durante os 25 dias após a adição das diferentes dosagens de CaO. Os valores de pH analisados após a adição de CaO ao lodo de esgoto estão identificados na Tabela 6. Todos os tratamentos, independente da dosagem de CaO aplicada, mantiveram os valores de pH acima de 12 por três horas após a aplicação, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA N° 375/2006.

Tabela 6 - Valores de pH em água de lodo de esgoto durante o experimento.

	horas		dias		
	03	03	10	17	25
Testemunha	6,7	5,7	4,8	5,4	5,4
15% CaO	12,1	11,9	12,0	11,2	9,4
30% CaO	12,1	11,9	12,1	12,1	11,9
50% CaO	12,1	11,9	12,1	12,1	12,1

Após análises realizadas semanalmente foi possível verificar que o tratamento “testemunha” apresentou decréscimos em seus valores (de 6,7 para 5,4), porém seu menor valor de leitura (4,8) se deu no 10º dia após adição de CaO. Este fato pode ter ocorrido devido à mineralização dos compostos

orgânicos presentes no lodo, volatilização da amônia, oxidação de sulfitos e degradação da matéria orgânica por microrganismos (BOEIRA; LIGO; DYNIA, 2002). A redução do valor de pH pode se dar também pela perda de água, decomposição da matéria orgânica e conseqüentemente a formação de ácidos orgânicos e liberação de cátions (K, Ca, Mg) (BARROS, 2004).

O tratamento com adição de 15% de CaO foi o que apresentou maior variação de pH ao longo do período do experimento, reduzindo de 12,1 o seu valor inicial para 9,4 no 25º dia após aplicação de CaO. A redução nos valores de pH pode estar associada a decomposição da matéria orgânica presente no material e os demais fatores acidificantes indicados acima. Outro fator que possivelmente contribuiu para esta redução foi a quantidade de CaO homogeneizada ao tratamento. Quanto menor a concentração de CaO, menor será o seu poder neutralizante, ou seja, a quantidade de hidroxilas (OH⁻) presentes no meio (DIAS, 2012; HECK et al., 2013).

No 10º dia após adição de CaO ao lodo de esgoto, realizou-se a 2ª coleta do material para análises laboratoriais. Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 7.

Tabela 7 - Análises do 10º dia após adição de CaO ao lodo.

Amostra	Tratamentos	Coliformes termotolerantes (NMP/g)	<i>Salmonella spp.</i>
2ª Coleta	Testemunha	1,5x10 ⁴	Ausente
	CaO 15%	Ausente	Ausente
	CaO 30%	Ausente	Ausente
	CaO 50%	Ausente	Ausente

Legenda: NMP: número mais provável; UFC: Unidade formadora de colônia.

Com estes resultados, foi possível verificar a ausência de todos os grupos microbiológicos analisados. Constatou-se que o tratamento “testemunha” apresentou redução da carga microbiológica, porém esta redução pode ter ocorrido devido à acidificação do lodo de esgoto, uma vez que no 10º dia de experimento o tratamento apresentou o pH 4,8. Os coliformes termotolerantes não se mostraram presentes em nenhum dos tratamentos com adição de CaO, porém foi possível verificar que houve redução em sua quantidade no tratamento “testemunha”. Na 2ª Coleta registrou-se a sua menor concentração. Este decréscimo ocorreu devido a exposição das bactérias às condições ambientais (POMPEU, 2014). Nos tratamentos com dosagens de 30 e 50% de CaO também se observou a ausência total dos microrganismos, porém a diferença entre ambos, foi o valor de pH encontrado no 25º dia após a

aplicação (11,9 e 12,1 respectivamente). Isso se deve a concentração de CaO adicionada que, quando em contato com a água presente no lodo, acarreta uma reação exotérmica, promovendo a elevação da temperatura e pH pela liberação de íons de hidroxila (OH⁻), o que ocasiona a morte de microrganismos (PRIMAVERSI, 2004).

A adição de CaO ao lodo de esgoto dificulta ou cessa o processo de desenvolvimento microbiológico devido ao aumento imediato do pH, tornando o meio básico, neste caso próximo à 12,0. Para que haja desenvolvimento bacteriano o ideal é que o pH esteja entre 5,5 e 6,5 (CHAGAS, 2000).

Em relação a presença de *Salmonella spp.*, foi possível registrá-la no momento inicial do experimento (lodo de esgoto bruto). A legislação brasileira determina que as concentrações de *Salmonella spp.* devem estar ausentes em 10g/MS. A presença de *Salmonella spp.* na quantidade de 61 NMP/g ST, foi registrada por Mahadal (2017) inviabilizando o seu uso. A análise realizada no 10º dia após a adição de CaO indicou ausência de *Salmonella spp.* em todos os tratamentos. De acordo com o Manual Técnico de Diagnóstico de *Salmonella* desenvolvido pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), a ausência do microrganismo deve-se às alterações de pH no lodo de esgoto registradas nos tratamentos, uma vez que a *Salmonella* é uma bactéria que possui sua proliferação facilitada quando o pH está na faixa entre 7,0 e 7,5.

No 10º dia após a incorporação de 15% de CaO no lodo de esgoto foi possível observar a redução na quantidade de patógenos a valores aceitáveis para a classificação de lodo na Classe A, segunda a Resolução CONAMA Nº 375/2006. Este tratamento apresentou queda do valor de pH no 25º dia após adição de CaO, possivelmente devido à absorção de dióxido de carbono atmosférico pela mistura, conseqüentemente, reduzindo a alcalinidade do tratamento. Lodos mais secos demandam menor quantidade de CaO para alcalinização e manutenção do pH, enquanto lodos mais úmidos necessitam de uma dosagem maior devido a elevada presença de água no meio (ANDREOLI et al., 2021).

No 25º dia após adição de CaO, foi possível observar um aumento na concentração de coliformes termotolerantes (Tabela 8). Mesmo que não tenha sido possível definir os fatores que influenciaram este crescimento, cabe destacar que o pH se encontrava em 5,4, o que seria ideal para a sua multiplicação.

Tabela 8 - Análises do 25º dia após adição de CaO ao lodo.

Amostra	Coliformes		
	Tratamentos	termotolerantes	<i>Salmonella</i> (NMP/g)
3ª Coleta	Testemunha	2,4x10 ⁵	Ausente
	CaO 15%	Ausente	Ausente
	CaO 30%	Ausente	Ausente
	CaO 50%	Ausente	Ausente

Legenda: NMP: número mais provável; UFC: Unidade formadora de colônia.

Com base nos resultados obtidos, o biossólido em estudo foi classificado como Classe A, o qual pode ser aplicado em qualquer cultura vegetal, exceto pastagens, olerícolas, tubérculos e raízes e ainda culturas inundadas (CONAMA, 2006). Neste contexto, a sua aplicação poderia ser recomendada com o tratamento de 15% de CaO devido à menor quantidade de CaO adicionada para remoção dos patógenos, no entanto salienta-se a necessidade de manter um monitoramento constante para verificar o seu comportamento quanto a possibilidade de proliferação de novos patógenos.

Quanto a característica química do lodo de esgoto, os tratamentos possuem diferentes valores de pH, os quais podem sofrer variações ao longo do tempo, como já observado nos 25 dias de estudo. A aplicação do lodo de esgoto pode alterar o valor de pH do solo causando a sua acidificação, principalmente pela alta quantidade de matéria orgânica ou componentes de reações ácidas presente no biossólido. Desta forma, o tratamento com dosagem de 15% de CaO poderia apresentar este efeito no solo em curto prazo quando comparado aos demais tratamentos em função da dose de CaO aplicada. Ainda neste contexto, o valor de pH do solo que irá receber este biossólido deve ser mantido acima de 5,5 para evitar a absorção de elementos-traços (As, Cd, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni e Zn) pelas plantas (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Mesmo com essas características, a aplicação deve ser realizada após a aprovação do projeto agrônomo elaborado por um Engenheiro Agrônomo e de acordo com a necessidade da área, uma vez que o lodo de esgoto apresenta comportamento de liberação mais rápido de nutrientes e de mineralização dos compostos orgânicos, logo após a sua aplicação (GARCIA, 2016). Algumas espécies vegetais são favoráveis ao recebimento de lodo de esgoto, como o milho, algumas gramíneas, espécies e áreas para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas e quando ele estiver classificado como Classe A, para as culturas frutíferas (QUINTANA; CARMO; MELO, 2011).

realizou estudos com a aplicação de lodo de esgoto na cultura do feijão e girassol foi analisada por Lobo

et al (2012a; 2012b), que observou um aumento significativo no número de vagens, matéria seca e rendimento de grãos na cultura do feijão. Já na cultura do girassol verificou que, quando o lodo de esgoto é aplicado, é capaz de aumentar o rendimento dos grãos, bem como a produção de óleos e matéria seca. Além do controle microbiológico do lodo de esgoto, deve-se ficar atento a dosagem a ser aplicada, pois ele, além de conter nutrientes essenciais às plantas quando aplicado de forma contínua ou em quantidades excessivas, pode promover o acúmulo de elementos-traços como Cu, Ni, Pb e Zn, ocasionando problemas ambientais e toxidez nas plantas (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004, ZUBA JUNIOR et al., 2011).

O cultivo de milho submetido a diferentes doses de lodo de esgoto, onde a maior dose foi combinada com o enriquecimento de elementos-traços registrou uma diminuição na produção da matéria seca, possivelmente por fitotoxides. Além disso, foi observado que a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveu o aumento da concentração de elementos traços (micronutrientes e elementos não essenciais às plantas) (GARCIA 2016).

Considerações Finais

A utilização do lodo de esgoto em solo agrícola, a partir do atendimento das exigências estabelecidas na Resolução CONAMA nº 375/2006 foi possível. As três dosagens, 15, 30 e 50% de CaO incorporadas ao lodo de esgoto permitiram a elevação do pH à valores acima de 12,0 por no mínimo três horas após aplicação, favorecendo a remoção dos patógenos avaliados. Já no tratamento testemunha, a não adição de CaO aliado aos fatores acidificantes de pH, reduziram o pH do lodo de esgoto diminuindo a concentração de *Salmonella* no resíduo. As dosagens de 15, 30 e 50% de CaO incorporadas no lodo de esgoto sanitário se mostraram eficientes para redução da concentração de coliformes termotolerantes abaixo de 10³ NMP/g ST e ausência em 10g/ST de *Salmonella*, atendendo os limites de organismos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 375/2006. Dessa forma, a menor dosagem de cal virgem, 15% de CaO, no período de 10 dias de avaliação mostrou-se eficiente para a remoção dos patógenos. Assim sendo, a aplicação de 15% de CaO incorporada ao lodo de esgoto torna-se uma alternativa eficiente para a remoção dos patógenos atendendo as exigências da Resolução CONAMA nº 375/2006, classificando-o como Classe A, permitindo a sua utilização em todas as espécies vegetais, exceto pastagens, olerícolas, tubérculos e

raízes e ainda culturas inundadas. Quanto a característica química do LE, os tratamentos possuem diferentes valores de pH, os quais podem sofrer variações ao longo do tempo, como já observado ao longo dos 25 dias de estudo. A aplicação do LE pode alterar o valor de pH do solo causando a sua acidificação, principalmente pela alta quantidade de MO ou componentes de reações ácidas presente neste biossólido. Desta forma, o tratamento com dosagem de 15% de CaO poderia apresentar este efeito no solo em curto prazo quando comparado aos demais tratamentos em função da dose de CaO aplicada.

Referências

- ALVES FILHO, A. **Desinfecção de lodo de esgoto anaeróbio para fins agrícolas**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12207>. Acesso em out. 2022.
- ANDREOLI, C. V. *et al.* Higienização e uso de lodo de esgoto no solo Nota Técnica 4 – Higienização de lodo via estabilização alcalina. **Cadernos Técnicos Eng Sanit Ambient**. v.2. n.1, p: 45-58, 2021. Disponível https://abes-dn.org.br/pdf/cadernos/RESA_NT_v2n1_compressed.pdf. Acesso em: maio 2023.
- ANGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgoto. Despoluição das Bacias Hidrográficas**. 2023. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: maio 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 77 p. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: abr. 2023.
- 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 em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5680/1/arquivo6338_1.pdf. Acesso em: mar. 2023
- BATISTA, Lucilene Ferreira. **Lodos gerados nas**

estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. 2015. 214 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em:
https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18139/1/2015_LucileneFerreiraBatista.pdf. Acesso em: mar. 2023

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349p. il. Disponível em:
<http://www.cnpma.embrapa.br/download/LivroLodoEsgoto.pdf>. Acesso em: ago. 2022.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: set. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância De Saúde. **Manual técnico de diagnóstico laboratorial de *Salmonella* spp.** 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/doencas-diarreicas-agudas/manual-tecnico-de-diagnostico-laboratorial-das-salmonella-spp.pdf/view>. Acesso em: out. 2022

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 218 p.:il. Disponível em: https://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2018/03/Diagnostico_AE2016.pdf. Acesso em: set. 2022

BOEIRA, Rita Carla; LIGO, Marcos Antônio Vieira; DYNIA, José Flávio. **Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 37, n. 11, p.1639-1647, nov. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260768658_Nitrogen_mineralization_in_a_tropical_soil_a_mended_with_sewage_sludges. Acesso em: dez. 2022

CASTRO, A. L. F. G. de; SILVA, O. R. da; SCALIZE, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto : uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal.** v. 1, n. 2, p. 66–73,

2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/332584691_Cenario_da_disposicao_do_lodo_de_esgoto_uma_revisao_das_publicacoes_ocorridas_no_Brasil_de_2004_a_2014. Acesso em out. 2022

CHAGAS, Wellington Ferreira. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no Estado do Rio de Janeiro.** 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em:
https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/4885/ve_Welington_Ferreira_ENSP_2000?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: dez. 2022

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.** Uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Disponível em:
https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legislacao_biosolido/res_conama37506-1.pdf. Acesso em: nov. 2022.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R. **caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola,** Departamento de Hidráulica e Saneamento, São Carlos, 2012.

DIAS, Edgard Henrique Oliveira. **Tratamento de lodo de esgoto por secagem em estufa: higienização e produção de biossólidos para uso agrícola.** 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em:
<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3779/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: nov. 2022

DONAGEMA, Guilherme Kangussú; CAMPOS, David Vilas Boas de; CALDERANO, Sebastião Barreiros; TEIXEIRA, Wenceslau Gerales; VIANA, Joao Herbert Moreira (Orgs). **Manual de métodos de análise de solos** — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf>. Acesso em: mar. 2023

FARIA, Marianne Fidalgo de. **Avaliação Da Persistência De Microrganismos Patogênicos Em Solo Cultivado Com Eucalipto E Fertilizado Com**

Lodo De Esgoto Sanitário. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136002/000858846.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em nov. 2013.

GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 28, p. 569-577, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/49943974_Atributos_quimicos_e_producao_de_milho_e_m_um_latossolo_vermelho_eutrófico_tratado_com_lodo_de_esgoto. Acesso em: set. 2022.

GARCIA, Gabriel Furtado. **Atributos químicos e elementos-traço em plantas e solos com aplicações de resíduos urbanos.** 2016. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ufrgs, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/170647>. Acesso em: abr. 2023.

GOMES, Daniele Rodrigues; CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler; DELARMELINA, William Macedo; GONÇALVES, Elzimar de Oliveira; TRAZZI, Paulo André. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v. 18, n. 1, p.123-131, mar. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/jj/cerne/a/tc4TSZCfyxtTvBZSDKQDsKt/?lang=pt>. Acesso em: ago. 2022.

GUIMARÃES, Matheus Finotti. **Desempenho do milho comum em função de doses e épocas de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura.** 2017. 24 f. TCC (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21079>. Acesso em: ago. 2022.

HECK, Karina et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p.54-59, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/jj/rbeaa/a/nVf6wF5rmXSFZKcWypM3hp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: mar. 2023.

HOFFMANN, Fernando Leite. Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em

alimentos. **Brasil Alimentos**, v. 9, p.23-30, ago. 2001. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5598779/mod_folder/content/0/Qu%C3%ADmica%20da%20cozinha/HOFFMANN%2C%202001%20-%20Fatores%20limitantes%20%C3%A0%20prolifera%C3%A7%C3%A3o%20de%20microorganismos%20em%20alimentos.pdf. Acesso em: ago. 2022.

KRZYŻANOWSKI JÚNIOR, Flávio. **Avaliação de risco de infecção por *Salmonella* spp. associado ao uso agrícola de lodo de esgoto.** 2014. 177 f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.6.2014.tde-06012015-093649>. Acesso em: maio 2023.

LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; ILHENFELD, R. G. K. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Curitiba, 1999. 98 p. Disponível em:

http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf. Acesso em: set. 2022

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sônia Valle Walter Borges de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 48, n. 331, p.331-348, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/jj/rap/a/KCKSKLRdQVCm5CwJLY5s9DS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: mar. 2023.

LINS, Gustavo Aveiro. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs).** 2010. 286 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli491.pdf>. Acesso em: ago. 2022.

LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H.; BÜLL, L.T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 118-124, 2012a. Disponível em: <https://www.scielo.br/jj/rceres/a/DSgNsNpcRs6pgk4Vds4vZCc/?lang=pt>. Acesso em: set. 2022

LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H.; COELHO, H.A. Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do girassol. **Científica**, v. 40, n. 1, p. 59-68, 2012b. Disponível em: <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cien>

- tifica/article/view/244/pdf. Acesso em: ago. 2022.
- LOZER, Juliana Guasti; GONÇALVES, Ricardo Franci; FABRIS, Vinícius Mattos. **Desaguamento e higienização de lodo de esgoto utilizando estufa agrícola sobre leitos de secagem**. In: SILVA, Helenton Carlos da (Organizador). Engenharia Ambiental e Sanitária: Interfaces do Conhecimento 2, Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019, p.244-253. Disponível em file:///D:/Downloads/REVISTA%20DE%20INICIA%C3%87%C3%83O%20CIENT%3%8DFICA%20ULBRA/desaguamento-e-higienizacao-de-lodo-de-estufa-utilizando-estufa-agricola-sobre-leitos-de-secagem.pdf. Acesso em: maio 2023.
- MAHADAL, Saidelamine Abibe. **Higienização e Incremento de nutrientes em lodo anaeróbio com adição de cinzas de biomassa vegetal para uso agrícola**. 2017. 329 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/172463>. Acesso em: set. 2022.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.28, n. 2, p: 385-392, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/XqR9Fh3CTLcBcp6QQqNymbD/?lang=pt>. Acesso em: out. 2022.
- 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. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/c4s9SnC5p7LTxkFXN3zr9sF/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: set. 2022.
- POMPEO, Raquel Pinheiro. **Influência Da Estocagem Prolongada De Lodos De Esgoto, Em Diferentes Condições Operacionais, Na Redução De Patógenos, Visando A Reciclagem Agrícola**. 2015. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52852>. Acesso em: set. 2022.
- PRIMAVERSI, Ana Cândida. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 28p. (Documentos, 37). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61985/1/Doc37ACP2004.pdf>. Acesso mar. 2023.
- 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. 1-10, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/268032831.pdf>. Acesso em: ago. 2022.
- ROSSMANN, Maíke; VIEIRA, Danielle Biajoli; AVELAR, Fabiana Ferreira; MATOS, Antônio Teixeira de. Redução da viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto doméstico caleadado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 1, p.43-49, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314833087_Reducao_da_Viabilidade_de_Ovos_de_Helmintos_em_Lodo_de_Esgoto_Domestico_Caleado. Acesso em: set. 2022
- SANTOS, Hugo de Melo et al. **Caracterização de lodo e efluente de ETE e água de rio a partir de avaliação química e ecotoxicológica**. Instituto de Química, Universidade Federal de de Goiás, Goiânia, p: 1 - 5, 2018. Disponível em <http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-hugo-melo.pdf>. Acesso em: set. 2022.
- SILVA Joice Moura da; JUSVICK, Fernanda Andressa Cardoso; VIER, Lucas Carvalho; HUPPES, Fábio Augusto Henkes; HAMMES, Raissa Francieli. O lodo das ETEs no Estado do Rio Grande do Sul: alternativas de destinação e reuso ambientalmente corretos e economicamente viáveis. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL., 10, 2016, Porto Alegre, RS. [Anais]Porto Alegre: ABES-RS, 2016. P:1-13. Disponível em: http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160908111315000000634.pdf
- SILVA, Marcelo Vinícius da. **Uso de biossólido de lodo de esgoto em plantios de espécies da Mata Atlântica**. 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2419>. Acesso em: nov. 2022.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEMANETO (SNIS). Ministério da Integração e do

Desenvolvimento Regional. **Painel 2021**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel>. Acesso em: set. 2022

TEIXEIRA, Camilo. **Higienização De Lodo De Estação De Tratamento De Esgoto Por Compostagem Termofílica Para Uso Agrícola**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/96348>. Acesso em: nov. 2022

URBAN, Rodrigo Custodio. **Metodologia para gerenciamento de lodo de ETA e ETE**. 2016. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_e7012a9a0e1e84674f9d4bf0f81b061a. Acesso em: dez. 2022

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: tratamento e disposição final do lodo**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017. 470 p. Disponível em: https://www.academia.edu/39149408/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_qualidade_das_%C3%A1guas_e_ao_tratamento_de_esgotos. Acesso em: maio 2023.

ZUBA JUNIOR, G. R.; SAMPAIO, R. A.; SANTOS, G. B.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. S.; FERNANDES, L. A. Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v.15, n 10, p: 1082–1088, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Zm9v7P7d3knTJBJBttWRdgh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: nov. 2022.