



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



HUGO OLIVEIRA COSTA

**EXPLORANDO O POTENCIAL AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO: UMA
REVISÃO CRÍTICA**

UBERLÂNDIA - MG
2024

HUGO OLIVEIRA COSTA

**EXPLORANDO O POTENCIAL AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO: UMA
REVISÃO CRÍTICA**

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni

UBERLÂNDIA - MG

2024

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DE MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE HUGO OLIVEIRA COSTA
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA EM 24/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni
ORIENTADOR - FEQUI/UFU

MSc. Diogo Pimentel de Sá da Silva
PPGEQ/UFU

Profa. Dra. Patrícia Angélica Vieira
FEQUI/UFU

A Deus.

A minha noiva e a minha família.

Agradeço ao meu orientador pela paciência e grandes ensinamentos.

“Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela.”

Albert Einstein.

RESUMO

Esta Monografia apresenta uma revisão abrangente sobre o tratamento de esgotos, destacando a gestão dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e sua posterior utilização. Detalham-se as diversas etapas do processo de despoluição do efluente, incluindo gradeamento, desarenação, decantador primário, reator biológico e decantador secundário. Além disso, são abordadas as fases do gerenciamento do lodo de esgoto, as quais englobam adensamento, estabilização, condicionamento, secagem e higienização. Nesse enquadramento, destaca-se a importância da qualidade no tratamento do lodo, especialmente considerando sua aplicação como fertilizante no solo. Foram realizadas análises comparativas de dois estudos da literatura: o primeiro, examina as alterações químicas no solo e o crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto; o segundo avalia a produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. Os estudos analisados comprovam que a aplicação do lodo de esgoto como adubo enriquece o solo com zinco, cobre, manganês, ferro, nitrogênio, matéria orgânica, cálcio, magnésio, além de elevar o pH. Após a implementação do lodo de esgoto como fertilizante verificou-se para o fósforo e o potássio que seus níveis não se alteraram. É importante ressaltar que os metais pesados nos solos e nos lodos de ambos os trabalhos estavam dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos responsáveis. Portanto, o lodo de esgoto mostrou-se adequado para fertilizar a maioria dos solos, os poucos casos em que houve um déficit de minerais com a inserção desse adubo, pode-se fazer uma suplementação com fertilizante mineral como complemento para se atingir a quantidade ideal para o cultivo. Dessa forma, esse subproduto da ETE mostrou-se eficiente, produtivo, ambientalmente correto e de baixo custo, enriquecendo o solo. Assim, a sua utilização no cultivo de alimentos é bastante recomendada.

Palavras-chave: agricultura; fertilização; tratamento de resíduos.

ABSTRACT

This Monograph provides a comprehensive review of sewage treatment, focusing on managing waste from Sewage Treatment Plants (STPs) and its subsequent use. It details various stages of effluent purification, including screening, grit removal, primary settling tank, biological reactor, and secondary settling tank. Additionally, it discusses sewage sludge management phases, covering thickening, stabilization, conditioning, drying, and sanitization. Emphasizing the importance of quality in sludge treatment, particularly as soil fertilizer, the paper conducts comparative analyses of two literature studies: one examining soil chemical changes and corn/bean growth after sewage sludge application, and another evaluating corn plant productivity and mineral composition in sewage sludge-fertilized soil. The studies confirm sewage sludge application enriches soil with zinc, copper, manganese, iron, nitrogen, organic matter, calcium, magnesium, and raises pH. Phosphorus and potassium levels remained unchanged post-sludge fertilizer implementation. Notably, heavy metals in soils and sludges met regulatory limits. Thus, sewage sludge proves suitable for fertilizing most soils, in cases of mineral deficits, mineral fertilizer supplementation can achieve optimal cultivation levels. This STP byproduct demonstrates efficiency, productivity, environmental friendliness, and low cost, enriching soil, hence highly recommended for food cultivation.

Keywords: agriculture; fertilization; residue treatment.

LISTA DE SIGLAS

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

MO – Matéria Orgânica;

CO – Carbono Orgânico;

CTC – Capacidade de Troca de Cátions;

DTPA-TEA – Ácido Dietileno-Triaminopentaacético Trietanolamina.

ST – Sólidos Totais.

NMP – Número Mais Provável.

UFF – Unidade Formadora de Foco.

UFP – Unidade Formadora de Placa.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 ESGOTO.....	3
2.2 TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	3
2.3 TRATAMENTO DE ESGOTO POR LODO ATIVADO CONVENCIONAL.....	5
2.3.1 GRADEAMENTO.....	5
2.3.2 DESARENAÇÃO.....	6
2.3.3 DECANTAÇÃO PRIMARIA.....	7
2.3.4 REATOR BIOLÓGICO.....	8
2.3.5 DECANTAÇÃO SECUNDÁRIA.....	9
2.4 LODO DE ESGOTO E SUAS APLICAÇÕES.....	9
2.5 GERENCIAMENTO DO LODO DE ESGOTO.....	14
2.5.1. ADENSAMENTO.....	14
2.5.2 ESTABILIZAÇÃO.....	15
2.5.3 CONDICIONAMENTO.....	17
2.5.4 SECAGEM.....	18
2.5.5 HIGIENIZAÇÃO.....	20
2.5.5.1 CALAGEM.....	21
2.5.5.2 COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA.....	22
3. ANÁLISE DE DADOS DA LITERATURA.....	25
3.1 PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO DE PLANTAS E SOLOS COM A APLICAÇÃO DE LODO	25

3.2 RESULTADOS ATINGIDOS PELOS PESQUISADORES.....	27
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES	36
4.1 CONCLUSÃO.....	36
4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri.....	4
Figura 2 – Sistema de grades.....	5
Figura 3 – Esquema de uma caixa de areia.....	6
Figura 4 – Esquema de um decantador primário.....	7
Figura 5 – Reator biológico em operação.....	8
Figura 6 – Utilização do lodo de esgoto como fertilizante na agricultura.....	13
Figura 7 – Adensador por gravidade em operação.....	15
Figura 8 – Digestores anaerobicos.....	16
Figura 9 – Centrifuga em operação.....	19
Figura 10 – Esquema de compostagem por leiras estáticas aeradas.....	24
Figura 11 – Teor de ferro encontrado nas plantas de milho	31
Figura 12 – Produtividade.....	34
Figura 13 – Produtividade.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores máximos permitidos no lodo de esgoto.....	11
Tabela 2 – Classes de lodo de esgoto.....	12
Tabela 3 – Propriedades dos lodos utilizados nos experimentos.....	25
Tabela 4 – Propriedades dos solos utilizados nos experimentos.....	26
Tabela 5 – Propriedades dos solos com as doses crescentes do lodo de esgoto.....	28
Tabela 6 – Teor de minerais em função da dose de lodo de esgoto aplicada.....	31
Tabela 7 – Teores médios de fósforo e potássio nas folhas de milho.....	32

1. INTRODUÇÃO

O esgoto consiste em líquidos contaminados com impurezas de residências, fábricas e comércios, transportados por tubulações até a rede coletora pública (NETTO *et al.*, 1973). A composição físico-química desses efluentes é a mais variados e depende do local de origem (JORDÃO e PESSÔA, 1975).

Caso não sejam tratados, esses resíduos podem causar problemas de saúde pública, danos ecológicos além de contágio e disseminação de doenças (GODOY, 2013). As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) têm como objetivo desagregar a parte sólida da parte líquida, visando clarificar o efluente antes de seu retorno aos recursos hídricos, reduzindo os riscos à saúde pública e ao meio ambiente (CORRÊA, FONSECA, CORRÊA, 2007). Durante esse processo, as unidades de tratamento geram o lodo de esgoto, um subproduto que requer gerenciamento adequado (QUINTANA, CARMO, MELO, 2023).

O lodo primário contém partículas que decantam, já o lodo secundário possui microrganismos, os quais se desenvolveram por causa do conteúdo presente no efluente (GODOY, 2013). Com o alto teor de microrganismos e substâncias nutritivas, o lodo de esgoto é utilizado como fertilizante devido a sua capacidade de promover o crescimento de vegetais (QUINTANA, CARMO, MELO, 2023). O lodo de esgoto tem sido bastante usado no mundo como fertilizante por causa de sua alta capacidade de adubar o solo (VIEIRA, 2004).

O lodo de esgoto é submetido a várias etapas para a sua despoluição. Esse subproduto também recebe muitos testes de qualidade. Diante disso, o lodo está desinfectado e apto para ser usado na agricultura como adubo (QUINTANA, CARMO, MELO, 2023). As vantagens de se usar o lodo de esgoto ao invés de um fertilizante mineral é que se pode reduzir despesas e energia (QUINTANA, CARMO, MELO, 2023). Outros benefícios que também podem ser citados são: o acréscimo de micronutrientes e macronutrientes ao solo, a modificação das características físicas das terras e a elevada quantidade de água que fica retida nos solos (LAMBERT, 2013).

Antes de se implementar o lodo de esgoto como fertilizante é preciso verificar os teores de metais pesados e de agentes transmissores de doenças para garantir a segurança do cultivo. Então percebe-se que é necessário fazer uma avaliação do solo, do lodo e da cultura que será cultivada com intuito de que todos os parâmetros fiquem dentro dos limites desejados pelas unidades responsáveis (QUINTANA, CARMO, MELO, 2023).

O objetivo geral desse trabalho é realizar uma revisão crítica sobre o potencial agrícola do lodo de esgoto. Para alcançar esse objetivo, propõem-se os seguintes objetivos específicos: realizar uma revisão abrangente sobre o tratamento de esgotos, com destaque para a gestão dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamentos de Esgotos (ETEs) e sua subsequente aplicação como fertilizante. Além disso, será realizada uma análise comparativa dos estudos conduzidos por Nascimento *et al.* (2004) e por Gomes, Nascimento e Biondi (2007), com o intuito de avaliar a viabilidade técnica-econômica do uso do lodo de esgoto como fertilizante na agricultura.

No Capítulo 2 será apresentado uma revisão sobre o lodo de esgoto: a sua origem, como ele foi gerado, os tratamentos que esse subproduto percorre até estar apto a ser utilizado como fertilizante na agricultura. Nesse Capítulo também é mostrado aplicações e vantagens de se implementar esse material.

O Capítulo 3 aborda uma análise comparativa de dois estudos da literatura. O primeiro, conduzido por Nascimento *et al.* (2004), examina as alterações químicas no solo e o crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto. O segundo estudo, realizado por Gomes, Nascimento e Biondi (2007), investiga a produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto.

No Capítulo 4, Conclusão e Sugestões, são apresentados os ganhos e as deficiências ao se implementar o lodo de esgoto no solo, além de um ponto de vista sobre o assunto. Além disso, são fornecidas algumas sugestões para futuras pesquisas nesta área.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Esgoto

Toda ação humana resulta na fabricação de rejeitos (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Na visão de Nuvolari *et al.* (2011), os esgotos podem ser definidos como: o despejo líquido o qual possui resíduos domésticos, industriais, águas prejudiciais advindas do subsolo e os fluidos das chuvas.

Os esgotos industriais são bastante variados, visto que existem diversos tipos de fábricas. Pode-se dizer que o uso da água na indústria e o seu posterior descarte é considerado um despejo líquido industrial. Os órgãos responsáveis devem fiscalizar a liberação desses resíduos nas redes de esgotos em prol do meio ambiente (ANDREOLI *et al.*, 1999).

Os esgotos domésticos são oriundos de casas, prédios, instituições, comércios, locais com banheiros, lavanderias, cozinhas entre outros (JORDÃO e PESSÔA, 1975). Esses rejeitos possuem em sua composição em torno de 99,9% de parte líquida e 0,1% de parte sólida. Na fase sólida do despejo líquido encontra-se materiais orgânicos e inorgânicos além de microrganismos (SILVA, 2011).

2.2 Tratamento de esgotos

Os componentes sólidos contidos nos esgotos podem gerar diversos problemas para a população caso não sejam devidamente tratados. Os microrganismos presentes no despejo líquido, quando descartados de maneira errônea em lagos e rios contaminam a água, dessa forma os cidadãos ficam expostos ao risco de adquirirem doenças. Outra dificuldade é a poluição dos recursos hídricos, pois a liberação desses resíduos nos corpos receptores causa inconvenientes ambientais graves (SILVA, 2011).

Na visão de Godoy (2013), de acordo com as características e a capacidade do efluente liberado é possível ter a deterioração do solo, água e ar. Por esses motivos citados é fundamental as etapas de tratamento de esgoto, para que as pessoas e a natureza fiquem seguras. O objetivo da despoluição dos esgotos é separar a parte sólida da parte líquida, dessa

forma o despejo líquido fica com uma quantidade bastante reduzida de impurezas (CORRÊA, FONSECA, CORRÊA, 2007).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são responsáveis pela aplicação de processos físicos, químicos ou biológicos. O intuito desses processos é remover impurezas, assim o líquido que retorna aos recursos hídricos não irá poluir o meio ambiente (TEXEIRA, 2012).

O esgoto quando chega a Estação de Tratamento passa por algumas etapas para se realizar o seu saneamento. No tratamento preliminar ocorre a retirada de sólidos com o auxílio de grades e caixas de areia. Em seguida o despejo líquido passa pelo tratamento primário, nessa parte do processo os decantadores separam o líquido clarificado dos sólidos mais finos. Posteriormente tem-se o tratamento secundário, nessa fase o fluido entra no reator biológico, os microrganismos presentes ali consomem a matéria poluente. O fluido resultante desse processo é transportado para os decantadores para a separação de parte líquida e parte sólida. Após isso, pode-se ter o tratamento terciário, o qual visa remover as impurezas que ainda não foram removidas nos processos anteriores. Nesse procedimento ocorre a higienização que tenta diminuir os microrganismos causadores de doenças (GODOY, 2013).

O tratamento do despejo líquido produzirá alguns avanços como por exemplo: a saúde pública será de qualidade e um menor nível de contaminantes nos recursos hídricos (BETTIOL e CAMARGO, 2006). A Figura 1 exemplifica uma Estação de Tratamento de Esgotos.

Figura 1 - Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri – SP.



Fonte: Tratamento de Água e Efluentes (2022).

2.3 Tratamento de esgoto por lodo ativado convencional

Os esgotos são encaminhados para as ETEs por meio de bombas. Em situações que as empresas de saneamento estão em uma altura maior do que o local que se encontra o despejo líquido utiliza-se esse equipamento, se a unidade operacional estiver em um nível mais baixo esse líquido flui por ação da gravidade, ou seja, não é necessário recorrer a esse aparelho (GODOY, 2013).

2.3.1 Gradeamento

A primeira fase do processo de tratamento do esgoto é o gradeamento, essa técnica é bastante antiga no que se refere a retirada de grandes sólidos (BORGES, 2014). As grades são equipamentos que possuem várias barras com uma distância igual entre elas, à medida que o despejo líquido percorre esse dispositivo, materiais maiores que a abertura das barras ficam contidos e os menores seguem para as próximas etapas do processo (NETTO *et al.*, 1973).

De acordo com Borges (2014), os principais exemplos de sólidos separados são: vestígios de animais, plásticos, madeira, detritos vegetais, metais, papéis e alguns tecidos. Essa operação unitária é muito importante e ela possui alguns objetivos como por exemplo: manter tubulações e instrumentos seguros, evitar a poluição dos recursos hídricos e garantir a qualidade das fases na sequência do tratamento (SPERLING, 2005). Na Figura 2 tem-se uma representação do sistema de grades.

Figura 2 - Sistema de grades.



Fonte: Borges (2014).

2.3.2 Desarenação

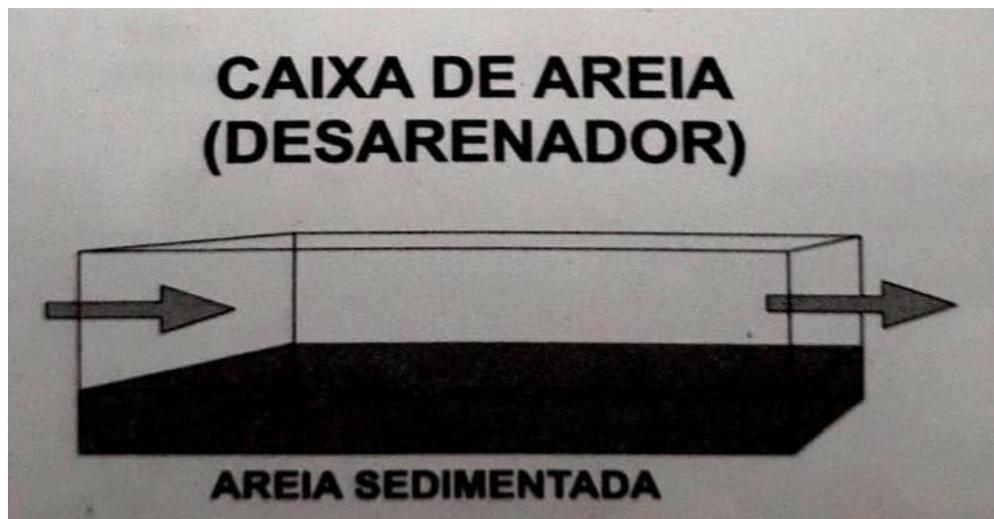
Os fluidos advindos da etapa de gradeamento entram na fase de desarenação. Os equipamentos dessa etapa possuem como objetivo remover areia e outros detritos podem ser chamados tanto de desarenadores como também de caixas de areia (NETTO *et al.*, 1973).

Os grânulos são retirados devido ao fenômeno de sedimentação, ou seja, as partículas com tamanhos elevados e grandes densidades decantam para o fundo dos decantadores pela ação da gravidade. A parte líquida separada é transportada para as próximas fases do processo (SPERLING, 2005).

A velocidade ideal para que o fluido entre nas caixas de areia é de 0,30m/s, dessa maneira tem-se uma excelente operação unitária. Não é indicado velocidades superiores, pois os resíduos grandes serão carregados para a parte seguinte do processo e não serão removidos. Quando se utiliza velocidades inferiores ocorre a precipitação de matéria orgânica o que não é benéfico para o processo (JORDÃO e PESSÔA, 1975).

As impurezas com dimensão semelhante a da areia extraídas nessa etapa são: cascalho, pedrisco, silte, escória, areia, grãos vegetais, entre outros. As ETEs têm como objetivo a retirada desses materiais sedimentáveis para se obter uma qualidade no saneamento. Com esses detritos separados tem-se: equipamentos sem entupimentos, evita-se o desgaste dos instrumentos, diminui-se a quantidade de areia nos reatores e ajuda a locomoção dos fluidos (BORGES, 2014). A Figura 3 ilustra um esquema de desarenadores.

Figura 3 - Esquema de uma caixa de areia.



Fonte: Sperling (2005).

2.3.3 Decantação primária

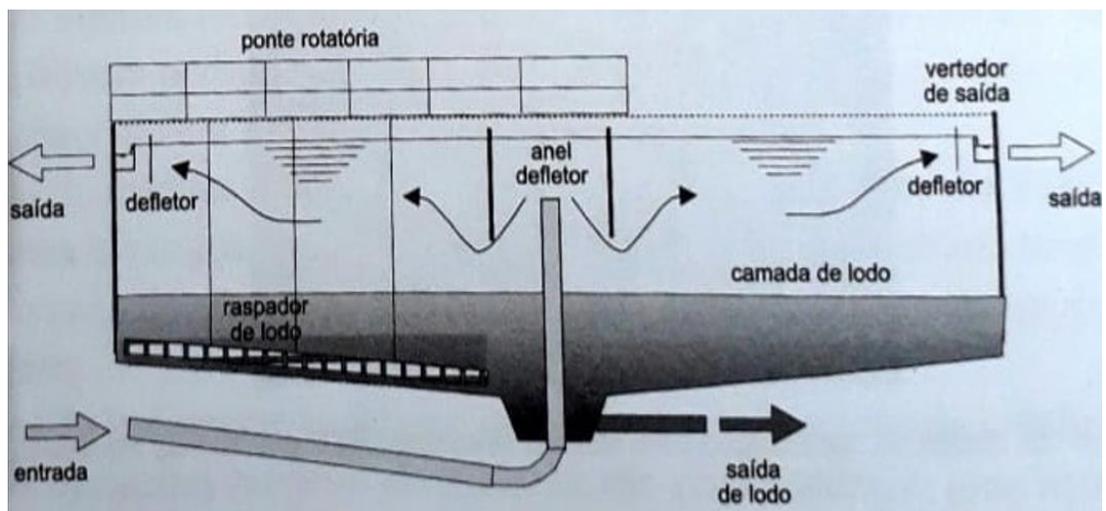
Posteriormente a desarenação, o despejo líquido flui até a operação unitária de decantação primária. O intuito dessa fase é retirar os sólidos finos que não foram retidos nas etapas anteriores (SPERLING, 2005).

Geralmente são usados decantadores circulares ou retangulares. O líquido com impurezas entra no meio do decantador com uma velocidade reduzida, como as partículas possuem uma densidade maior que a do líquido elas se precipitam até a parte inferior do tanque (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014).

Os sólidos que atingem o fundo do tanque são chamados de lodo primário bruto. Nas Estações de Tratamento de Esgotos esse material pode ser removido com raspadores dos sedimentadores e bombas ou por ductos (SPERLING, 2005).

O lodo primário contém algumas características: um aspecto pegajoso, uma tonalidade cinza e é simples fazer sua fermentação (SILVA, 2011). Esse material pode fornecer um cheiro desagradável, se permanecer grandes tempos dentro dos sedimentadores a altas temperaturas (SPERLING *et al.*, 2001). Esse mecanismo descrito acima está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Esquema de um decantador primário.



Fonte: Adaptado de Sperling (2005).

2.3.4 Reator biológico

A parte clarificada oriunda da decantação primária entra no reator biológico. Nesse equipamento introduz-se oxigênio para que os microrganismos sejam capazes de consumir a matéria orgânica presente (FERREIRA e CORAIOLA, 2008).

Com o fornecimento do ar os microrganismos contidos no esgoto degradam o substrato, se desenvolvem e se reproduzem. Nessa etapa da operação os seres microscópicos se alimentam da matéria orgânica, dessa maneira o despejo líquido se torna mais limpo (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014). Pode-se dizer que essa fase do processo ocorre a produção de microrganismos ativos, ou seja, são colocadas circunstâncias favoráveis para que esses seres reduzam as substâncias indesejadas em suspensão (FERREIRA e CORAIOLA, 2008).

De acordo com Sperling (2002), é muito importante implementar bactérias heterótrofas aeróbias e facultativas na unidade de tratamento. Quanto maior for o número de microrganismos mais massa será deteriorada, isso significa um produto final com menos impurezas.

Os reatores biológicos possuem difusores de oxigênio, esse gás entra por baixo do tanque com o intuito de não acontecer a decantação dos elementos e manter vivos os microrganismos (FERREIRA e CORAIOLA, 2008). É primordial a quantidade desse ar estar correta dentro dos recipientes, se estiver com menos o efluente será pobre, se estiver com mais dificuldades nas operações unitárias seguintes vão ocorrer (SILVA, 1977). A Figura 5 mostra bem esse instrumento descrito acima.

Figura 5 - Reator biológico em operação.



Fonte: Adaptado de Ferreira e Coraiola (2008).

2.3.5 Decantador secundário

Os esgotos são transportadores para os decantadores secundários os quais tem como função separar as partículas em suspensão do fluido tratado (FERREIRA e CORAIOLA, 2008).

Nesse aparelho ocorre o fenômeno de sedimentação o qual já foi amplamente discutido no presente trabalho. O material decantado é chamado de lodo, o líquido clarificado devidamente tratado pode retornar para os recursos hídricos de acordo com o estabelecido pelos órgãos reguladores (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014).

Uma fração do lodo precipitado volta para o reator biológico, pois essa biomassa possui microrganismos ainda ativos que são capazes de consumir matéria orgânica. Esse lodo é conhecido como lodo ativado dos reatores aeróbios dos lodos ativados (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014).

Com esse reciclo de matéria no reator, permite um maior tempo de contato entre microrganismos e substratos para a degradação dos poluentes, dessa forma o efluente tratado terá uma limpeza maior e uma eficiência mais elevada no tratamento. Quando o lodo ativado atinge seu limite de deterioração de material em suspensão ele se torna o lodo secundário, o qual pode ser encaminhado para um destino final ou ser saneado para ser utilizado na agricultura (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014).

Esses mecanismos citados acima de degradação de matéria orgânica funcionam naturalmente na natureza, a importância da Estação de Tratamento de Esgoto se dá no controle de condições e nos processos que acontecem em um tempo reduzido com relação ao meio ambiente (SPERLING, 2005).

De acordo com Sperling *et al.* (2001), lodo secundário é uma massa de microrganismos aeróbicos que cresceu com a retirada de matéria orgânica do despejo líquido, esse crescimento continuo ocorre devido ao fato do reciclo nos tanques de aeração. As características marcantes dessa substância são: aspecto de flóculos, tonalidade marrom e preta e cheiro não muito forte quando fresco (SILVA, 2011). Lodo secundário tratado pode ser chamado também de biossólidos por conta de seus atributos químicos (SPERLING, 2005).

2.4 Lodo de esgoto e suas aplicações

Os componentes presentes no despejo líquido está de acordo com: os costumes dos cidadãos, os aspectos sociais, a condição financeira, o momento do ano, o tratamento de

esgoto adotado, se é de fábricas ou de residências. Dessa maneira, as propriedades do lodo de esgoto são bastante variáveis (LEITE, 2015).

Se as etapas de tratamento forem eficientes será gerado grande quantidade de lodo, o qual precisa ser saneado e disposto de forma correta. Os municípios que recolhem mais e têm uma técnica de separação qualificada estão com problemas em coordenar e dispor o lodo produzido (CORRÊA, FONSECA, CORRÊA, 2007).

São conhecidos os lodos primários, secundários e o químico. Em um primeiro momento é produzido o lodo primário, o qual contém partículas mais finas. Posteriormente tem-se o lodo secundário que possui microrganismos desenvolvidos. O lodo químico é proveniente de processos de tratamento os quais se utilizam elementos químicos (BINDÁ, 2022).

Tem-se dado bastante importância ao local que será colocado os resíduos advindos das Estações de Tratamento de Esgotos. Os componentes do lodo em sua maioria são compostos por: água, substratos, micróbios, metais pesados e substâncias nutritivas (SILVA, 2011).

De acordo com Michelini (2013), é preciso implementar técnicas recentes nos cultivos de alimentos com o intuito de suprir as elevadas necessidades da população mundial. Uma agricultura forte consegue fornecer comida para uma sociedade que está em constante crescimento.

O trabalho de Nascimento *et al.* (2004) em sua pesquisa, mostrou que existem nutrientes no lodo de esgoto que são capazes de fertilizar o solo. Nesse estudo implementou-se doses crescentes de lodo de esgoto fornecidos pela (COMPESA) sobre as terras a serem cultivadas. Foi feita uma análise de solos e do lodo com o intuito de verificar se a adubação pode ser usada na agricultura. Os cultivos plantados foram de milho e feijão, os quais obtiveram ótimos resultados.

No estudo de Gomes, Nascimento, Biondi (2007), foi avaliado a produtividade, a composição mineral de plantas de milho e a dose de lodo para a máxima eficiência agrônômica. Foram aplicadas seis doses diferentes de lodo de esgoto ao Argissolo Amarelo, o resíduo usado foi produzido pela (COMPESA). Os resultados mostraram que produção de grãos se elevou em função da dose de lodo até uma aplicação de 26 t/ha, a qual observou um maior rendimento.

O lodo de esgoto tem muita matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e um pouco de potássio. Dessa maneira é comum ver o uso desse material na agricultura para adubar as terras. A introdução dos elementos citados no solo proporciona: o aprimoramento

de características da terra, o aumento de produtos cultivados, o reaproveitamento de matéria orgânica e o fornecimento de nutrientes as terras (SILVA, 2011).

O lodo secundário quando devidamente tratado é conhecido como biossólido. Esse material é usado na agricultura como fertilizante contendo: 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, 0,4% de potássio e o restante de outros materiais (MICHELINI, 2013).

Esses elementos citados são muito importantes para as plantas, ou seja, os vegetais pegam os nutrientes na terra para o seu benefício próprio. Dessa maneira não haverá perigo de degradação do meio ambiente com o uso do lodo como fertilizante (MICHELINI, 2013).

O nitrogênio é fundamental na produção de proteínas e aminoácidos. O potássio contribui no desenvolvimento das plantas entre outras funções. O fósforo auxilia na fabricação de energia, aumento das raízes e na qualidade de grãos e frutas que está intimamente ligado a esse elemento químico (MICHELINI, 2013).

A matéria orgânica no solo tem algumas vantagens como por exemplo: elevação do pH, maior fertilidade da área, ajuda na infiltração das raízes na terra e facilita a sobrevivência dos microrganismos no ambiente (MICHELINI, 2013).

Se aplica o lodo de esgoto tratado como fertilizante. Existe desvantagens de colocar os biossólidos no solo, então é preciso atenção antes de emprega-los. Os perigos são com relação a adquirir doenças e absorver metais pesados. Dessa forma, é necessário analisar o ambiente em que se deseja usar os biossólidos, verificar as propriedades do lote, ver qual alimento será produzido e estar sempre de acordo com a lei (MICHELINI, 2013). A Tabela 1 mostra as máximas concentrações de metais permitidas pelos órgãos responsáveis no lodo de esgoto para se implementar esse material na agricultura.

Tabela 1 – Valores máximos permitidos no lodo de esgoto.

Substâncias inorgânicas	Concentração máxima permitida (mg/kg)
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).

Sabe-se que o lodo pode conter alguns microrganismos causadores de enfermidades como: fungos, helmintos, protozoários, vírus e bactérias (CARVALHO, 2015). Esses microrganismos presentes se diversificam de acordo com a região do esgoto gerado e também com o tipo de tratamento realizado (SILVA, 2011). Os lodos devem ser utilizados com um estudo previamente feito caso contrário problemas de saúde pública e ambientais podem ser formados (BINDÁ, 2022). A Tabela 2 mostra as classes do lodo de esgoto e suas respectivas concentrações permitidas pelos órgãos responsáveis de patógenos.

Tabela 2 – Classes de lodo de esgoto.

Tipo de lodo de esgoto	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST Salmonella ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos/g de ST

Fonte: CONAMA (2006).

As pessoas fazem uma avaliação antecipada com relação ao fertilizante advindo do Tratamento de Esgotos. No geral não são dadas opiniões favoráveis aos biossólidos, muito também por como ele é fabricado, ou seja, se transformou a partir do esgoto, assim se torna um pouco mais difícil a disseminação desse produto na agricultura (CARVALHO, 2015).

Esse subproduto apresenta algumas ameaças a população, mas se ele for implementado de maneira correta são muitas vantagens que ele proporciona no cultivo de alimentos como por exemplo: diminuição de gastos, aprimoramento de atributos do solo e reaproveitamento de substâncias e energia (CARVALHO, 2015). De acordo com Silva (2011), a aplicação do fertilizante oriundo das unidades de tratamento do despejo líquido mostra também como benefício: fazem com que os solos consigam absorver melhor água e nutrientes, quase não se observa erosões na terra e ajuda na deposição ambientalmente apropriada do lodo de esgoto.

De acordo com Carvalho (2015), o lodo de esgoto tratado favorece as terras no sentido de ajustar acidez do solo e também eleva a facilidade de mudar dos cátions.

Por todas as vantagens elencadas é possível notar que o lodo de esgoto tratado é uma excelente alternativa financeira e ecológica. Para atingir esses objetivos é sempre bom lembrar que é necessário atender as leis de meio ambiente. Dessa maneira, indica-se fortemente o lodo de esgoto tratado na agricultura (CARVALHO, 2015).

Os subprodutos das Estações de Tratamento de Esgotos podem ser encaminhados para vários destinos como por exemplo: incineração, aterros, na confecção de cimentos, tijolos, concretos, estradas além da agricultura após serem feitos a compostagem ou calagem (SILVA, 2011). A Figura 6 ilustra o lodo de esgoto como fertilizante na agricultura.

O lodo de esgoto apresenta uma fase líquida e uma fase sólida. O componente fluido desse material tem grande serventia na irrigação agrícola, já as partículas são muito usadas como fertilizantes (BINDÁ, 2022). De acordo com Rocha (1998), esses subprodutos das Estações de Tratamento de Esgotos podem ser usados também como matéria prima para a produção de fertilizantes orgânicos.

Na visão de Haandel *et al.* (2003), regar com o despejo líquido é um tipo de fertirrigação, o abastecimento de nutrientes é permanente e aos poucos. Nos momentos em que se usou essa técnica se obteve excelentes resultados e produtividade elevada. É necessário observar o quanto de nutrientes e água é requerido no cultivo para se chegar no sucesso do plantio. Além de ser factível economicamente e tecnicamente a irrigação com lodo de esgoto proporciona uma diminuição de impurezas no meio ambiente, redução de gastos com matéria prima e gera uma biomassa com propriedades nutritivas ou fabris. A Figura 6 ilustra o lodo de esgoto como fertilizante na agricultura.

Figura 6 - Utilização do lodo de esgoto como fertilizante na agricultura



Fonte: Alerta Paraná (2018).

2.5 Gerenciamento do lodo de esgoto

Como foi dito anteriormente o lodo de esgoto pode ter utilidade na agricultura, mas para isso ser possível é fundamental que esse subproduto das instituições de saneamento seja gerenciado. Esse material passará por algumas etapas de tratamento para se tornar apta de ser usada nos solos (SPERLING *et al.*, 2001).

2.5.1 Adensamento

A primeira fase que o lodo é submetido para ser tratado é o adensamento. Essa operação unitária tem como intuito diminuir a parte líquida e concentrar a parte sólida (SPERLING, 2005). Os equipamentos mais comuns nesses processos são os sedimentadores, flotadores, centrífugas, tambores rotativos e adensadores de esteira (SILVA, 2011).

O adensamento por gravidade ocorre pelo efeito gravitacional, os decantadores recebem o lodo na região central dos sedimentadores. O componente sólido decanta até o fundo do recipiente enquanto que o fluido é separado nos vertedouros. A fração de partículas é transportada para os próximos procedimentos de retirada de impurezas do lodo e a fração líquida volta para os estágios iniciais de tratamento de esgotos (SPERLING *et al.*, 2001).

Na separação por flotação, injeta-se ar em uma solução que está a altas pressões. Assim, o gás está dissolvido, no momento em que se retira um pouco de pressão, as bolhas sobem e levam junto os sólidos do lodo para o topo do flotador. Esses resíduos no alto do tanque são retirados, dessa maneira é extraída parte sólida da fluida (SPERLING, 2005).

De acordo com Andreoli *et al.* (1999), esse mecanismo consegue aumentar a quantidade de sólidos de 1% a 2,5%, se analisar o volume ocorre uma compactação de 50%. Com essa redução de capacidade os custos tanto de executar como também de instalar são mais em conta (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014). Na visão de Andreoli *et al.* (1999), essa operação unitária reduz-se as despesas com relação a locomoção dessa substância e o seu destino final.

A Figura 7 mostra um adensador por gravidade em funcionamento, essa imagem ilustra bem o processo e seus componentes.

Figura 7 - Adensador por gravidade em operação.



Fonte: Godoy (2013).

2.5.2 Estabilização

O lodo advindo dos adensadores entra na etapa chamada estabilização, a qual tem como função diminuir o mal cheiro tanto nas fases de tratamento como também na acomodação final desse subproduto. Outra meta que precisa ser alcançada é reduzir os microrganismos transmissores de doenças. Para se atingir esses objetivos citados é necessário a redução de matéria orgânica (SPERLING, 2005).

Na estabilização biológica emprega-se microrganismos, os quais conseguem degradar a matéria orgânica. A estabilização biológica possui dois tipos, a digestão anaeróbia e aeróbia. No País, o que mais se utiliza é a digestão anaeróbica por ser bastante eficiente, ou seja, é muito importante esse processo (SPERLING, 2005).

De acordo com Costa *et al.* (2001), o odor é gerado por gases durante o tratamento do lodo. Essa exalação mal cheirosa é um empecilho, pois é desagradável para as pessoas que estão próximas a esse local de tratamento.

O foco deste trabalho será na digestão anaeróbica, pois ela que é utilizada no tratamento convencional após aplicação por lodos ativados. Essa operação ocorre sem a presença de oxigênio e contém alta eficiência (SPERLING, 2005).

O lodo primário e o secundário são combinados nos digestores anaeróbios, sem a presença de oxigênio, assim tem-se a estabilização biológica. Nota-se a formação de metano e dióxido de carbono. A entrada de lodo pode ser por batelada ou permanente. O período em que o lodo está dentro do equipamento é o tempo de detenção (SPERLING, 2005).

Então, basicamente esse procedimento de estabilização fundamenta-se na degradação de matéria orgânica graças aos microrganismos sem o gás oxigênio. Geralmente, os digestores são dispostos em serie, no primeiro aparelho ocorre aquecimento, mistura e digestão, já no segundo instrumento tem como função decantar o lodo para as etapas futuras (COSTA *et al.*, 2001).

Nessa fase do processo, diminui-se bastante coliformes fecais, cistos de protozoários já os helmintos persistem. A digestão anaeróbia é muito boa para reduzir o mal cheiro, mas com relação aos transmissores de doenças é preciso mais etapas de despoluição para esse subproduto ser usado na agricultura (COSTA *et al.*, 2001).

Durante a operação dessa etapa é formado um gás que se reaproveita energeticamente, o qual é usualmente conhecido como biogás. A sua composição contém: metano, gás carbônico, em menores quantidades nitrogênio, oxigênio, sulfeto de hidrogênio e hidrocarbonetos (SPERLING *et al.*, 2001).

De acordo com Andreoli *et al.* (1999), é possível quantificar o quanto foi eficiente a digestão, através de um indicador de diminuição dos sólidos voláteis. Outras utilidades da estabilização menos comentadas são a compactação do volume e também facilitar na queda de umidade devido aos atributos impostos ao lodo (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014).

O lodo gerado em uma ETE para ser gerenciado gasta em torno de 60% das despesas totais da unidade de tratamento. Então se faz necessário que os tempos de detenção hidráulica sejam baixos e os tempos de retenção de sólidos sejam elevados com intuito dos microrganismos se desenvolverem (COSTA *et al.*, 2001).

Na Figura 8 tem-se um conjunto de digestores anaeróbios em funcionamento. É de suma importância que o lodo tenha uma elevada estabilização, pois isso é fundamental no momento em que esse subproduto será utilizado na agricultura (COSTA *et al.*, 2001).

Figura 8 - Digestores anaeróbios.



Fonte: Portal Resíduos Sólidos (2014).

2.5.3 Condicionamento

Posteriormente tem-se o condicionamento que é uma etapa facultativa. Acrescenta-se substâncias químicas para capacitar o lodo para a etapa seguinte de secagem além de reter mais os sólidos na próxima operação unitária (SPERLING, 2005). Na visão de Silva (2011), utiliza-se também mecanismos físicos para aprimorar os atributos de separação das fases solido-líquido.

Segundo Costa *et al.* (2001), os mais comuns coagulantes aplicados nas ETEs são: cal, polímeros orgânicos e sais metálicos. O procedimento físico mais usado é quando se aquece o lodo. Processos químicos ajudam na união de partículas e na produção de flocos (SPERLING, 2005).

A finalidade dessa fase é elevar a dimensão dos sólidos no lodo, para isso ocorre a junção de partículas mais finas com sólidos grandes. Esse fenômeno de coagulação acontece devido à redução das forças eletrostáticas de repulsão entre os sólidos, o aperto do envoltório elétrico no entorno das partículas faz com que se unam. Depois tem-se a floculação, a qual possibilita ligar coloides e partículas menores com movimentação pequenas dos agitadores. A dosagem de elementos químicos colocados é função dos atributos do lodo que será secado e também dos processos mecânicos que estão na fase do condicionamento (SPERLING *et al.*, 2001).

De acordo com Sperling *et al.* (2001), quanto mais elevada a área dos sólidos, maior será o teor de água, mais necessidade por substâncias químicas condicionantes, maior a dificuldade em se secar.

Os materiais poliméricos são elementos orgânicos sintéticos com grande peso molecular. A sua atuação geralmente é como coagulante ou para ajudar na floculação (SPERLING, 2005). A quantidade de polímero aplicada tem dependência no valor de partículas na torta e na separação de sólidos da parte fluida (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014). Ao se fazer uma comparação entre polímeros orgânicos e os inorgânicos os primeiros possuem algumas vantagens como por exemplo: aumento no lodo é menor, diminuição de dificuldades em execução e manipulação dos orgânicos é mais segura e limpa (COSTA *et al.*, 2001). A dosagem de elementos químicos colocados é função dos atributos do lodo que será secado e também dos processos mecânicos que estão na fase do condicionamento (SPERLING *et al.*, 2001).

De acordo com Sperling *et al.* (2001), quanto mais elevada a área dos sólidos, maior será o teor de água, mais necessidade por substâncias químicas condicionantes, maior a dificuldade em se secar.

Os materiais poliméricos são elementos orgânicos sintéticos com grande peso molecular. A sua atuação geralmente é como coagulante ou para ajudar na floculação (SPERLING, 2005). A quantidade de polímero aplicada tem dependência no valor de partículas na torta e na separação de sólidos da parte fluida (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014). Ao se fazer uma comparação entre polímeros orgânicos e os inorgânicos os primeiros possuem algumas vantagens como por exemplo: aumento no lodo é menor, diminuição de dificuldades em execução e manipulação dos orgânicos é mais segura e limpa (COSTA *et al.*, 2001).

Segundo Sperling *et al.* (2001), implementar elementos químicos na fase de condicionamento aumenta a eficiência da etapa seguinte a secagem. Sem as substâncias químicas é improvável que se alcance valores maiores que 4% ou 6% de sólidos totais como os condicionadores fazem (COSTA *et al.*, 2001).

É muito importante escolher de forma correta o condicionamento a ser aplicado, pois isso implicará o quão bom é o processo. Deve-se considerar no momento da escolha: gastos de execução, manutenção, reciclo de líquido nas outras partes do processo, além de observar as características do efluente e os desprendimentos que vão para o meio ambiente (COSTA *et al.*, 2001).

2.5.4 Secagem

O lodo advindo do condicionamento entra na operação unitária de secagem. O intuito desse mecanismo é diminuir o volume para se retirar umidade. São conhecidas metodologias tanto naturais como também mecanizadas. Quando se realiza um excelente desaguamento as despesas são reduzidas em relação ao transporte e o destino final do lodo (SPERLING, 2005).

As técnicas naturais precisam de um clima adequado, ou seja, locais com mais calor são mais suscetíveis a esse procedimento. É importante que se tenha feito uma boa estabilização para facilitar na diminuição de água e não ter cheiro ruim (ANDREOLI *et al.*, 1999).

O modo mecanizado pode-se citar as centrífugas e as prensas desaguadoras como tecnologias mais usuais nas ETEs. As centrífugas têm como objetivo apartar os líquidos dos sólidos através da força centrífuga. Inicialmente as partículas decantam com uma velocidade

muito maior do que se fosse pelo efeito gravitacional. Posteriormente ocorre um agrupamento, o lodo reduz quantidade de água graças a ação da centrífuga que opera por um grande período de tempo. As partículas podem ser extraídas para continuar o gerenciamento do lodo (SPERLING *et al.*, 2001).

As prensas desaguadoras possuem três fases de processos que são: peneiramento, setores de baixa e alta pressão. No início o lodo é colocado em uma tela mais alta, o líquido passa por essa tela e os sólidos ficam retidos. Posteriormente o subproduto é transferido para o local de baixa pressão, no qual o líquido presente é retirado e os sólidos são apertados por telas acima e abaixo. No último estágio o de elevada pressão possui alguns roletes, o lodo é espremido continuamente pelas telas com intuito de extrair a água. Assim, os sólidos são raspados e as telas são clarificadas (COSTA *et al.*, 2001).

As prensas desaguadoras têm alguns inconvenientes como por exemplo: pode produzir mal cheiro, gera barulho na operação, desprendimento de aerossol e muitos rolamentos, os quais precisam de uma atenção especial. Os benefícios desses aparelhos são as despesas reduzidas tanto de energia elétrica como também na compra do instrumento (COSTA *et al.*, 2001).

Uma comparação entre secagem mecânica e secagem natural é que no método mecanizado a retirada de umidade é mais rápida e precisa de uma menor área para ocorrer a operação unitária. Um defeito do procedimento mecânico é a necessidade de operadores qualificados para efetuar e cuidar dos equipamentos (GODOY, 2013). Com o aprimoramento da sociedade, os instrumentos também melhoram. Acredita-se que essa fase do processo tem uma boa eficiência, ou seja, atinge-se em torno de 25 a 35% de partículas no lodo (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014). A Figura 9 exemplifica uma centrífuga em operação.

Figura 9 - Centrífuga em operação.



Fonte: Godoy (2013).

2.5.5 Higienização

Após a secagem, o lodo de esgoto caminha para a higienização, a qual é o último procedimento de tratamento, após isso o subproduto das ETEs será avaliado com relação aos metais pesados e aos microrganismos causadores de doenças para verificar se está qualificado para ser usado como fertilizante na agricultura. O intuito desse método é diminuir os microrganismos causadores de doenças para que as pessoas não adquiram enfermidades além de reduzir os danos a natureza. As operações anteriores não são capazes de abaixar os patógenos, ou seja, é fundamental a higienização para usar os biossólidos nos cultivos de alimentos (SPERLING, 2005).

Os helmintos estão presentes no lodo de esgoto, eles são muito resistentes a diversas circunstâncias físicas, químicas e podem permanecer nas terras por longos períodos de tempo. Se o meio ambiente estiver favorável eles podem infectar por vários anos. Como esses microrganismos são os mais duradouros, faz-se o tratamento e depois se analisa os índices desses micróbios, se eles estiverem em quantidades adequadas assume-se que os outros microrganismos também estejam. Esse subproduto com os parâmetros todos dentro das normas ainda sim é necessário analisar os atributos dos solos e o que se vai plantar para posteriormente aplicar o fertilizante gerado (COSTA *et al.*, 2001).

A contaminação de pessoas com esses transmissores de doenças pode ocorrer de duas formas, por contato direto ou indireto. Quando certa quantidade de microrganismos são absorvidos pode-se ter um processo infeccioso. Os valores para se contrair uma doença são subjetivos, pois cada organismo tem uma capacidade de defesa (SPERLING *et al.*, 2001).

De acordo com Sperling *et al.* (2001), as técnicas empregadas para se reduzir esses microrganismos são: térmicas, químicas, biológicas. Alguns elementos são bastante importantes na desinfecção são eles: radiação solar, temperatura e pH. Esses fatores elencados possuem faixas que quando são excedidas exterminam os microrganismos. A veemência e o tempo que esses itens são colocados sobre o lodo de esgoto caracterizam a eficiência do processo (COSTA *et al.*, 2001).

A higienização se propõe a diminuir significativamente os seres que causam malefícios a saúde humana, dessa maneira é possível se utilizar o lodo de esgoto na agricultura. O ideal é que esses mecanismos sejam seguros, com baixas despesas e de manuseio descomplicado (COSTA *et al.*, 2001).

A implementação do lodo em ambientes que as pessoas frequentam ou até mesmo no cultivo de alimentos existem critérios mais elevados do que quando se despeja o subproduto das ETEs em aterros ou em outras formas de disposição (SPERLING, 2005). Vale se ressaltar que o principal componente do lodo de esgoto para agricultura é o nitrogênio, assim é importante não perder esse elemento durante o saneamento para se ter uma boa produtividade agrícola (ANDREOLI *et al.*, 1999).

2.5.5.1 Calagem

A calagem é um tipo de higienização de lodos de esgotos, esse método é muito interessante pois diminui bastante a concentração de microrganismos causadores de doenças (COSTA *et al.*, 2001). De maneira básica, pode-se dizer que essa técnica consiste em acrescentar cal com intuito de elevar o pH e remover os microrganismos (SPERLING, 2005). Geralmente coloca-se de cal entre 30 a 50% do peso do lodo seco, nessa operação temperatura e pH são primordiais (ANDREOLI *et al.*, 1999).

As metas desse procedimento são: diminuir o mal cheiro, abaixar o nível de microrganismos, elevar o pH, entre outros aspectos (COSTA *et al.*, 2001). Com o nível de pH alto, o meio se torna inóspito, ou seja, a maioria dos microrganismos não resistem a essa variação e são eliminados (ANDREOLI *et al.*, 1999).

O valor ideal de pH para o lodo de esgoto é 12, após 2 horas de contato entre lodo e cal. Indica-se também efetuar esse método quando a umidade do lodo esteja entre 60 a 70% (ANDREOLI *et al.*, 1999). A cal virgem é a melhor substância utilizada para se purificar os lodos na fase sólida, porque esse material tem facilidade de reagir com o líquido presente e desprender energia. A cal hidratada tem sua serventia, porem a elevação da temperatura não é tão grande, assim é necessário uma atenção maior no processo. A quantidade de cal aplicada é em função do nível de partículas e das características do lodo (SPERLING *et al.*, 2001).

São conhecidas três maneiras de se mesclar o lodo com a cal: homogeneizar de forma manual, recorrer a uma betoneira e usar um misturador-moedor (ANDREOLI *et al.*, 1999). Após a combinação entre o lodo e a cal, esse material resultante precisa ser colocado em montes cobertos com plástico, com a finalidade de aprisionar o calor, preservando de um possível contato com águas das chuvas, prender amônia e não deixar o mal cheiro ser exalado.

É necessário o uso do plástico até que aconteça a diminuição e a estabilização da temperatura. A maturação do lodo para que ocorra a higienização é geralmente de 60 dias, após esse tempo ele se torna apto de ser usado na agricultura (ANDREOLI *et al.*, 1999).

Segundo Sperling *et al.* (2001), as vantagens dessa metodologia são: acessível de ser operada por trabalhadores e econômica. Na visão de Costa *et al.* (2001), essa técnica é bastante eficiente e produz bons resultados, com a elevação de temperatura e pH sabe-se o qual bom é a calagem. As desvantagens são: excesso de odores que prejudicam pessoas próximas ao processo, a implementação da cal aumenta a quantidade de partículas e isso é um problema na hora de movimentar e dispor os biossólidos (SPERLING *et al.*, 2001). Segundo Costa *et al.* (2001), um impeditivo seria para terras com alto valor de pH, pois tanto solo como biossólidos estão altamente básicos.

2.5.5.2 Compostagem termofílica

A compostagem é uma técnica que faz uso do ar para degradar a matéria orgânica. A circunstâncias dessa operação são monitoradas, incluindo temperatura, oxigênio, nutrientes e umidade são acompanhados de perto. Nesse procedimento acontece a elevação da temperatura, dessa maneira os microrganismos são eliminados em grande parte. Ao final de toda essa tecnologia produz um material de grande utilidade na agricultura (SPERLING *et al.*, 2001).

Algumas substâncias se fazem necessário para aumentar os espaços vazios, aprisionar líquidos e balancear a relação carbono nitrogênio. Os elementos que são geralmente usados são: palhas de arroz, folhas, resíduos verdes entre outros (SPERLING *et al.*, 2001)

Esse método é feito em 3 fases, um momento inicial ocorre um rápido crescimento de microrganismos mesófilos com a elevação da temperatura, posteriormente com o incremento de temperatura reduz-se os mesófilos e aumentam os microrganismos termófilos, os quais tem facilidade de se reproduzir e subir a temperatura para reduzir significativamente os transmissores de doenças, em seguida tem-se o último período da compostagem, nessa fase acontece uma diminuição de matéria orgânica, temperatura, microrganismos termófilos, assim os seres mesófilos retornam com menor ação (SPERLING *et al.*, 2001).

Com o intuito de uma boa compostagem é preciso dar atenção a alguns fatores. A umidade é uma propriedade a ser analisada, pois altos indices de líquidos acima de 65% faz com que o fluido preencha os poros o que dificulta o ar fundamental para os microrganismos.

Baixos teores de água diminuem eficiência dos microrganismos o que é um problema para o processo (SOUZA, 2002).

Outro tópico que deve ser levado em consideração é a aeração, uma vez que o oxigênio é primordial para o desenvolvimento de microrganismos aeróbicos os quais são responsáveis pela deterioração de matéria orgânica. A aeração auxilia no acréscimo de velocidade de oxidação de substratos, reduz o mal cheiro e monitora a temperatura. A aeração de maneira excessiva pode prejudicar o processo, ou seja, os microrganismos não são eliminados (LEITE, 2015).

Deve-se avaliar também a relação (C:N). O carbono é nutriente para a operação enquanto que o nitrogênio auxilia na multiplicação microbiana através da produção de proteínas. O ideal para esse método é o balanceamento entre essas duas substâncias químicas ser de 10 a 20. Valores acima os microrganismos não terão o nitrogênio em boas quantidades, valores inferiores elimina-se muito nitrogênio o que afeta a qualidade do produto final (SPERLING *et al.*, 2001).

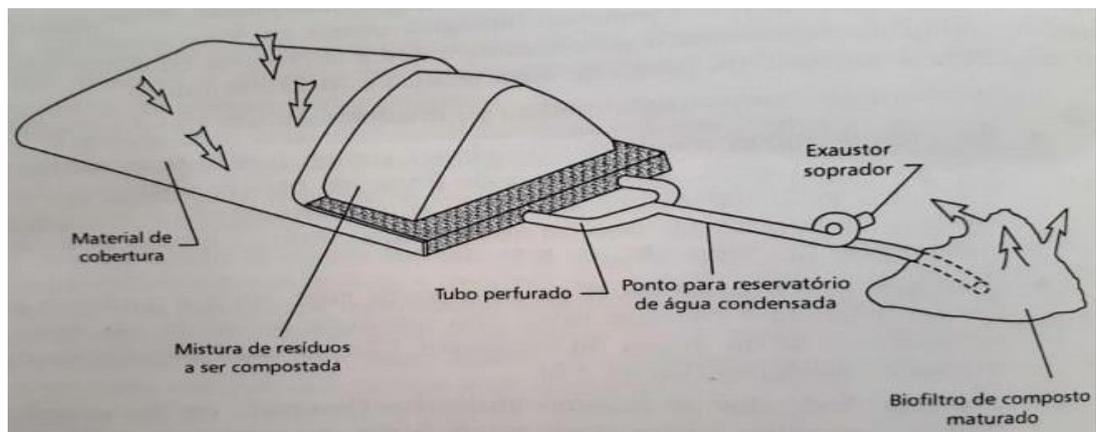
Os valores de pH são fundamentais, se opera entre 6 a 9, fora dessa medida pode gerar problemas na técnica de compostagem. Em um primeiro momento esses valores são de 5,5 a 6, já na segunda fase eleva-se as medidas. Com relação a dimensão da partícula, quanto menor for esse sólido maior será sua área superficial disponível para os microrganismos realizarem a degradação em um tempo inferior (LEITE, 2015).

Outro ponto que precisa ser verificado é a temperatura, a qual é necessário se acompanhar de perto para se ter uma eficiência na compostagem. Na primeira fase se indica um valor de temperatura entre 25 a 45 °C, na produção de calor devido as reações, recomenda-se de 45 a 65 °C, pois valores acima fazem com que os microrganismos sejam eliminados e se isso acontecer a operação fica mais devagar, na terceira fase a temperatura diminui (BINDÁ, 2022).

Existem alguns métodos de compostagem, neste trabalho será discutido um pouco melhor a técnica de leiras estáticas aeradas (*Static pile*). O lodo e os resíduos verdes por exemplo são colocados em cima de uma rede tubular perfurada local que o ar é injetado. Esse gás deve ser retido e tratado para evitar mal cheiro. Na etapa termófila é ideal que seja feita por pelo menos 3 dias, com uma temperatura de no mínimo 55 °C. O mecanismo termina com 30 a 60 dias e com a aeração de aproximadamente 14 a 21 dias (SPERLING *et al.*, 2001).

O produto final pode ser chamado de fertilizante, nele estão contidos: uma biomassa de microrganismos estáveis, minérios, matéria orgânica humificada, água, substâncias proteicas, entre outros. Uma característica que deve ser citada é que ele possui um odor mais agradável que inicialmente (BINDÁ, 2022). A compostagem pode elevar a eficiência do cultivo de alimentos (PIANA, MILLER, JUNIOR, 2011). A Figura 10 ilustra o processo descrito acima.

Figura 10 - Esquema de compostagem por leiras estáticas aeradas.



Fonte: Andreoli *et al.* (2001).

3. ANÁLISE DE DADOS DA LITERATURA

3.1 Produtividade e composição de plantas e solos com a aplicação de lodo.

No trabalho de Nascimento *et al.* (2004), o lodo de esgoto usado no experimento foi gerado na COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), essa substância foi seca, destorroada, passou por digestão sulfúrica e nitroperclórica e foi feita uma combustão mufla com o intuito de se quantificar os teores dos componentes no lodo. Pegaram-se dois solos o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa, os quais foram secos, passados em peneiras e sua acidez corrigida. As amostras de 0-20 cm foram detalhadas quimicamente e fisicamente. Em Gomes, Nascimento, Biondi (2007), empregou procedimentos semelhantes aos mencionados anteriormente. O lodo foi preparado através de etapas que incluíram homogeneização, medição de volume, pesagem, secagem em estufa, determinação da umidade, desagregação, trituração e análise das propriedades por meio de digestões. O solo utilizado foi o Argissolo Amarelo, o qual foi caracterizado tanto quimicamente quanto fisicamente. A Tabela 3 mostra os valores obtidos.

Tabela 3 – Propriedades dos lodos utilizados nos experimentos.

Característica	Trabalho de Nascimento <i>et al.</i> (2004)	Trabalho de Gomes, Nascimento, Biondi (2007)	Diferença percentual (%)
pH	5,10	5,70	10,53
C.O. (g/kg)	285,90	285,90	0
M.O. (g/kg)	493,00	492,90	0,02
Relação C/N	12,70	11,60	8,66
N-total (g/kg)	22,50	24,60	8,54
P(g/kg)	45,00	4,70	89,56
k(g/kg)	2,10	2,03	3,33
Na (g/kg)	0,30	1,00	70,00
Ca (g/kg)	9,40	22,26	57,77
Mg (g/kg)	1,20	2,24	46,43
Fe (mg/kg)	16909,00	15820,00	6,44
Cu (mg/kg)	155,00	59,50	61,61
Zn (mg/kg)	548,00	937,10	41,52
Mn (mg/kg)	207,00	215,10	3,77
Pb (mg/kg)	120,00	350,10	65,72
Cd (mg/kg)	-	3,1	-
Conteúdo de água (g/kg)	-	560,00	-
Densidade (g/cm ³)	-	0,50	-

Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.* (2004) e Gomes, Nascimento, Biondi (2007).

As características que se obtiveram as maiores diferenças percentuais nas amostras do lodo foram os elementos: P=65%, Na=70%, Ca= 57,77%, Cu=61,61% e Pb=65,72%. As menores diferenças percentuais nos componentes do lodo são: matéria orgânica=0,02%, C=0%, K=3,33% e Mn=3,77%. A Tabela 4 descreve as características dos solos utilizados em ambos os experimentos.

Tabela 4 - Propriedades dos solos utilizados nos experimentos.

Característica	Espodossolo	Argissolo	Argissolo Amarelo	Diferença percentual entre as medias dos trabalhos analisados (%)
pH	5,20	5,00	6,00	15,00
P (mg/dm ³)	1,28	1,45	26,52	94,85
K (cmolc/dm ³)	0,09	0,06	0,59	87,29
Na (cmolc/dm ³)	-	-	0,09	-
Ca (cmolc/dm ³)	1,00	0,40	1,72	59,30
Mg (cmolc/dm ³)	0,40	0,60	3,00	83,33
Al (cmolc/dm ³)	0,45	0,75	0	0
H + Al (cmolc/dm ³)	2,36	2,31	2,01	13,92
C.O. (g/kg)	4,60	6,00	11,82	55,16
Fe (mg/dm ³)	-	-	76,90	-
Cu (mg/dm ³)	-	-	-	-
Zn (mg/dm ³)	-	-	1,00	-
Mn (mg/dm ³)	-	-	4,40	-
Pb (mg/dm ³)	-	-	-	-
Cd (mg/dm ³)	-	-	-	-
Areia (g/kg)	600,00	490,00	761,20	28,40
Selite (g/kg)	140,00	130,00	170,60	20,87
Argila (g/kg)	120,00	240,00	68,20	62,11

Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.* (2004) e Gomes, Nascimento, Biondi (2007).

As características que se obtiveram as maiores diferenças percentuais entre as medias dos trabalhos analisados nas amostras dos solos foram os elementos: P=94,85%, K=87,29% e Mg= 83,33%. As menores diferenças percentuais entre as medias dos trabalhos analisados com relação ao solo são: Al=0%, pH =15% e H+ Al=13,92%.

3.2 Resultados atingidos pelos pesquisadores

Na pesquisa de Nascimento *et al.* (2004), o lodo de esgoto foi implementado no solo nas doses de 0; 10; 20; 30; 40 e 60 T/ha. O período de incubação foi de 90 dias, após esse tempo foram feitas análises do solo para determinar os parâmetros do solo. Nesse experimento também foi realizado um estudo com fertilizante mineral para se comparar com a aplicação do lodo. Os teores de Zn, Cu, Mn, Fe e Pb foram extraídos do solo com a solução de DTPA-TEA, com o intuito de verificar quanto esses minerais estão disponíveis para serem usados por plantas. As amostras com o lodo passaram para vasos de 2,5 dm³ e foram cultivados milho e feijão durante 40 dias. Após esse período se analisou os componentes das plantas. O ensaio foi realizado em um delineamento de blocos casualizados com 3 repetições, as informações obtidas submetidas a análise de variância e regressão com o auxílio de um software.

No trabalho de Gomes, Nascimento, Biondi (2007), realizou se um tratamento testemunha e 5 doses de lodo, 6 tratamentos com 4 repetições em delineamento experimental blocos ao acaso. As doses foram 0; 7,7; 15,4; 29,7; 45,1; 60,5 t/ha, esses valores foram calculados com base nas características do resíduo. As doses informadas fornecem 0, 1, 2, 4, 6 e 8 vezes a quantidade de nitrogênio necessário para a cultura, admitindo que 50% do N do lodo estaria disponível. O lodo foi colocado no solo, após 7 dias semeou-se o milho. Foram analisados as espigas, grãos e folhas para se avaliar teor e produtividade. Ajustaram-se equações em função da dose de lodo aplicado. A Tabela 3 mostra as propriedades dos solos utilizados no experimento de Nascimento *et al.* (2004), após a aplicação do lodo de esgoto como fertilizante.

Tabela 5 - Propriedades dos solos com as doses crescentes do lodo de esgoto.

Dose	pH	N	MO	P	K	Ca	Mg	Na	CTC	Zn	Cu	Mn	Fe	Pb
t/ha		g/kg	g/kg	mg/dm ³	---	---	molc/dm ³	---	---	---	---	mg/dm ³	---	---
Espodosolo														
0	7,2	8,9	12,7	1,28	0,09	3,93	0,7	0,02	6,96	0,44	1,01	0,09	7,94	1,67
10	7,1	9,6	12,6	1,43	0,07	4,55	0,62	0,04	7,86	1,29	1,08	0,2	8,8	1,49
20	6,8	8,8	14,5	1,92	0,05	5,03	0,62	0,01	8,63	2,05	1,15	0,28	10,5	1,36
30	6,7	11,9	15,9	2,15	0,08	5,43	1	0,04	9,67	2,99	1,46	0,45	10,6	1,76
40	6,5	12,8	17,7	2,19	0,09	5,48	0,98	0,06	9,95	3,9	1,65	0,65	14,4	1,94
60	6,2	14,9	19,4	2,91	0,07	6,97	1,22	0,04	11,8	6,9	2,21	0,97	18,7	1,81
Argissolo														
0	7,3	7,3	11,3	1,6	0,06	3	0,8	0,1	6,36	0,59	0,37	0,44	4,29	1,05
10	7,1	7,4	10,1	1,77	0,05	3,47	0,95	0,09	7,26	1,14	0,48	0,62	6,03	1,81
20	6,9	7,9	12,9	2,33	0,07	3,58	1,02	0,1	7,55	2,28	0,53	0,68	5,97	1,36
30	6,9	8,2	14,8	2,59	0,09	3,85	1,28	0,11	8,35	3,39	0,76	1,02	6,11	1,11
40	6,3	12,7	16,2	2,65	0,11	4,22	1,42	0,13	8,88	4,22	0,97	1,06	7,55	1,58
60	5,9	13,6	18,3	3,46	0,12	5,03	1,72	0,14	10	5,42	1,17	1,68	10,5	2,08

Fonte: Nascimento *et al.* (2004).

O maior valor de pH encontrado foi 7,3 no Argissolo para a dose 0 t/ha, já o menor foi de 6,2 no Espodossolo para a dose 60 t/ha. Se comparar os valores de pH sem o lodo no solo com o lodo no solo tem-se um acréscimo na medida dessa característica, devido a correção de pH que foi feita para diminuir a acidez do solo. Como foi discutido no Capítulo 2, é importante um pH mais básico para fertilizar o solo e assim se obter produtos agronômicos melhores. O maior valor de N encontrado foi de 14,9 g/kg na dose de 60 t/ha no Espodossolo e o menor foi de 7,3 g/kg na dose de 0 t/ha no Argissolo, nas amostras de solo não se encontraram esse elemento químico, o que evidencia a importância de se fertilizar com o lodo de esgoto, pois o nitrogênio tem papel fundamental na produção de proteínas e aminoácidos.

No que diz respeito a matéria orgânica sem o lodo de esgoto como bio-sólido o Espodossolo apresentou um valor de 7,9 g/kg, já o Argissolo um valor de 10,3 g/kg. Com o acréscimo desse subproduto o maior valor encontrado foi 19,4 g/kg na dose de 60 t/ha no Espodossolo, já o menor valor foi de 10,1 g/kg na dose de 10 t/ha no Argilosso. De maneira geral a matéria orgânica aumentou no solo, pois o lodo de esgoto é rico nesse componente. Com o acréscimo de matéria orgânica fertiliza o solo, auxilia a sobrevivência de microrganismos além de aumentar a infiltração de raízes.

A análise feita nos solos mostra que o Espodossolo sem lodo possui um teor de fósforo de 1,28 mg/dm³ e na dose 0 t/ha possui o mesmo valor, ou seja, não se alterou. O Argissolo sem o lodo apresentou um teor de fósforo de 1,45 mg/dm³ e quando se adicionou o lodo na dose de 60 t/ha o teor foi de 3,46 mg/dm³ uma elevação considerável. O fósforo contribui para fabricação de energia da planta, aumentar raízes e a qualidade de frutas e grãos, se esse elemento for deficitário no solo indica-se fazer uma suplementação com fertilizante mineral devido a sua importância.

Para o potássio foi encontrado no solo sem o lodo de esgoto 0,09 molc/dm³ no Espodossolo e 0,06 molc/dm³ no Argissolo. Com a adição do lodo encontra-se como maior valor 0,12 molc/dm³ para a dose de 60 t/ha no Argissolo, as menores foram 0,05 molc/dm³ no Argissolo 10 t/ha e Espodossolo 20 t/ha. Para as doses de 40 e 60 t/ha no argilosso houve aumento significativo, nas outras doses o aumento foi bastante baixo. Nessa situação aconselha-se fazer uma suplementação com fertilizante mineral, pois mesmo com os aumentos as quantidades de potássio são inferiores as requeridas. Sem essa substância o desenvolvimento de plantas fica comprometido.

Para o cálcio as amostras do solo sem o lodo foram medidas 1 molc/dm³ no Espodosolo e 0,4 molc/dm³ no Argilossolo. Mediram-se o teor de cálcio no solo com o fertilizante e se obteve 6,97 molc/dm³ no Espodosolo na dose de 60 t/ha e 3 molc/dm³ para o argilossolo na dose 0 t/ha. Houve um aumento desse mineral isso pode ser explicado por conter cálcio no lodo e também a correção de pH que foi feita no solo para o experimento.

No que tange ao magnésio amostra do solo sem lodo mediu-se 0,4 molc/dm³ para o Espodosolo e 0,6 molc/dm³ para o Argilossolo. Esse mesmo mineral com adição de lodo obteve-se no solo um maior valor de 1,72 molc/dm³ no Argilossolo para a dose de 60 t/ha e um menor valor de 0,62 molc/dm³ no Espodosolo na dose de 20 t/ha. Esse aumento ocorre porque no lodo há a presença de magnésio logo implementando esse produto no solo o índice desse mineral aumentou.

Para o sódio não se encontrou esse mineral no solo, só se conseguiu medir com a adição de lodo de esgoto. O maior valor de sódio encontrado foi de 0,14 molc/dm³ na dose de 60 t/ha no Argilossolo, o menor foi de 0,01 molc/dm³ na dose de 20 t/ha no Espodosolo. Como não foi encontrado sódio no solo acredita-se que o aparecimento desse mineral foi devido a fertilização com lodo de esgoto.

A capacidade de troca de cátions foi observada sem a presença do lodo e mediu-se 3,85 molc/dm³ para o Espodosolo e 3,37 molc/dm³ para o Argilossolo. Com a adição de lodo encontrou-se como maior valor 11,8 molc/dm³ na dose de 60 t/ha para o Espodosolo e um menor valor de 6,36 molc/dm³ na dose 0 t/ha para o Argilossolo. Evidencia-se o aumento da capacidade de troca de cátions após a implementação do lodo o que é muito importante na fertilidade do solo.

Os minerais zinco, cobre, manganês e ferro não foram encontrados no solo antes da adição do lodo de esgoto. Conseguiu-se medir esses elementos após a adição do lodo de esgoto, ou seja, eles só foram encontrados nas terras porque se implementou o fertilizante no solo. O estudo de Nascimento *et al.* (2004), mostra que nenhum desses metais estava fora dos parâmetros permitidos pelos órgãos responsáveis durante o experimento.

No trabalho de Gomes, Nascimento, Biondi (2007), avaliou-se o teor de vários minerais nas folhas de milho em função das doses de lodo de esgoto aplicadas. A Tabela 6 mostra os resultados dessa análise.

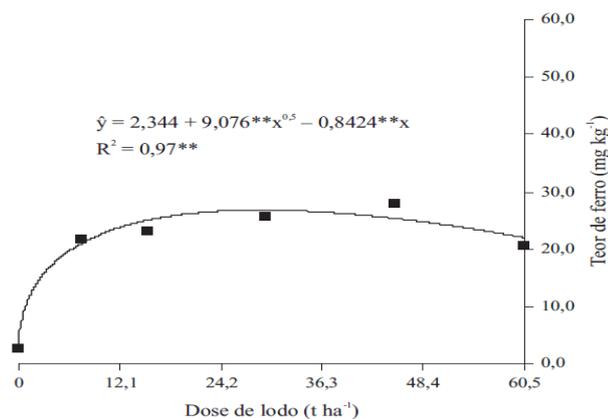
Tabela 6 – Teor de minerais em função da dose de lodo de esgoto aplicada.

	Maior	Dose (t/ha)	Menor	Dose (t/ha)	Acréscimo de 0 a 7,7 (t/ha) em (%)	Decréscimo de 0 a 7,7 (t/ha) em (%)
Nitrogênio	15,3 g/kg	15,4	11 g/kg	0	21,43	-
Cálcio	8,9 g/kg	60,5	1,9 g/kg	0	17,39	-
Magnésio	2,3 g/kg	45,1	1,3 g/kg	0	38,3	-
Zinco	56 mg/kg	60,5	34 mg/kg	7,7	-	5,56
Cobre	18 mg/kg	60,5	7,3 mg/kg	29,7	-	-
Manganês	42 mg/kg	15,4	25 mg/kg	0	21,87	-

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Gomes, Nascimento, Biondi (2007).

Ao se analisar a Tabela 6, é notório que houve um aumento com relação ao nitrogênio, o que mostra a importância de se fertilizar o solo. Quando se compara o cálcio antes da aplicação do lodo de esgoto e depois da aplicação do lodo de esgoto é possível notar que esse mineral aumentou no solo, fertilizando o solo com a aplicação do lodo de esgoto como adubo. De maneira geral o zinco aumentou no solo com a implementação do lodo de esgoto como fertilizante. Magnésio, cobre e manganês aumentaram pouco seus teores devido as baixas quantidades desses minerais no lodo de esgoto. A Figura 11 mostra o teor de ferro nas folhas em função da dose de lodo de esgoto aplicada.

Figura 11 - Teor de ferro encontrado nas plantas de milho.



Fonte: Gomes, Nascimento, Biondi (2007).

A Figura 11, apresenta que o maior valor de ferro medido foi de 27 mg/kg para uma dose de 45,1 t/ha, já o menor foi de 2,5 mg/kg para uma dose de 0 t/ha. Quando se compara a dose 0 t/ha com a dose de 7,7 t/ha houve um incremento de 88,64% no teor de ferro nas folhas. No trabalho de Gomes, Nascimento, Biondi (2007), observa-se uma pequena quantidade de ferro no solo da amostra e uma grande quantidade de ferro no lodo de esgoto. Um solo pobre em ferro e um lodo rico em ferro espera-se que as necessidades com relação a esse mineral sejam supridas. Apesar do teor de ferro ter aumentado em função da elevação da dose de lodo de esgoto, esse aumento não foi suficiente para que a necessidade do cultivo seja atendida. O valor de ferro fornecido poderia ser suficiente para a demanda, como não foi observado isso pode-se assumir que ocorreu erros experimentais ou até mesmo dificuldades das plantas em absorver esse mineral. A Tabela 4 ilustra os teores médios de fósforo e potássio nas folhas de milho em função da dose de lodo de esgoto implementada.

Tabela 7 - Teores médios de fósforo e potássio nas folhas de milho.

Dose de lodo (t/ha)	Fósforo (g/kg)	Potássio (g/kg)
0	0,54	17,8
7,7	0,53	17,16
15,4	0,45	14,87
29,7	0,51	16,51
45,1	0,53	15,27
60,5	0,5	18,59
Media	0,51	16,73

Fonte: Adaptado de Gomes, Nascimento, Biondi (2007).

Ao se fazer a análise da Tabela 7, verifica-se que o fósforo não aumentou em função das doses de lodo de esgoto, permaneceu praticamente constante. Como esse mineral está abaixo da demanda requerida, pode-se pensar em uma suplementação com fertilizante mineral.

Como é possível notar na Tabela 7, esse experimento com relação ao potássio a aplicação do de lodo de esgoto não foi de suma importância. Os valores de potássio antes e depois do lodo permaneceram praticamente constantes. Deve-se fazer uma análise do solo para verificar se esse mineral já está em uma quantidade adequada ou se é preciso uma suplementação com fertilizante mineral. Para esse solo os valores de potássio estavam praticamente dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos responsáveis.

3.3 Considerações finais

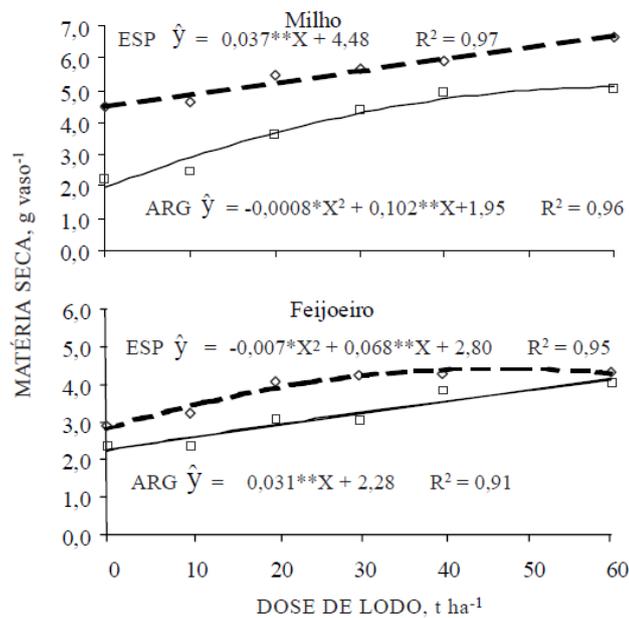
De acordo com os resultados obtidos e analisados vale ressaltar que os nutrientes em excesso nas culturas geram uma toxicidade para as plantas e ao invés de ajudar podem prejudicar. O valor ideal de cada mineral depende do que se deseja plantar em termos de cultivar.

O estudo realizado por Nascimento *et al.* (2004), mostra a quantidade de metais importantes que foram adicionados pelo lodo de esgoto ao solo e a quantidade que efetivamente fica disponível para ser usado por plantas. Esse experimento foi feito com o auxílio do extrator DTPA. O elemento cobre foi o que se obteve maior recuperação, ou seja, de tudo que se foi adicionado consegue se recuperar em média 46%, assim essa porcentagem do material fica disponível no solo para ser utilizada por vegetais. O elemento que se obteve menor recuperação foi o ferro, em torno de 4% em média. Observou-se isso anteriormente quando o teor de ferro estava abaixo do necessário no cultivo.

O trabalho de Nascimento *et al.* (2004), tem uma pesquisa sobre o teor de metais nas plantas de milho e feijão cultivados em dois solos com doses crescentes de lodo de esgoto. De modo geral o zinco foi o elemento que mais se absorveu em função do aumento da dose, ou seja, a cada dose o elemento subia bastante percentualmente nas plantas, verificou-se isso para os dois solos e também para o feijão e milho. A explicação plausível para tal acontecimento é o teor desse mineral no lodo é grande e essa substância tem alta capacidade de recuperação para se tornar biodisponível nas terras para as plantas. Os outros metais estudados cobre, manganês, ferro e chumbo tiveram níveis percentuais menores de absorção com o aumento da dose de lodo de esgoto quando comparados ao zinco. A literatura mostra que geralmente as plantas absorvem poucos os metais. A depender do solo utilizado e da cultura a ser plantada os índices de absorção de metais são maiores ou menores. Para ambos os experimentos analisados os metais pesados estavam dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos responsáveis, portanto o lodo de esgoto pode ser usado como fertilizante para essas culturas e esses solos.

A Figura 12 ilustra a produtividade em função da dose de lodo de esgoto aplicado para ambos os solos e ambas as culturas, no trabalho de Nascimento *et al.* (2004).

Figura 12 - Produtividade.

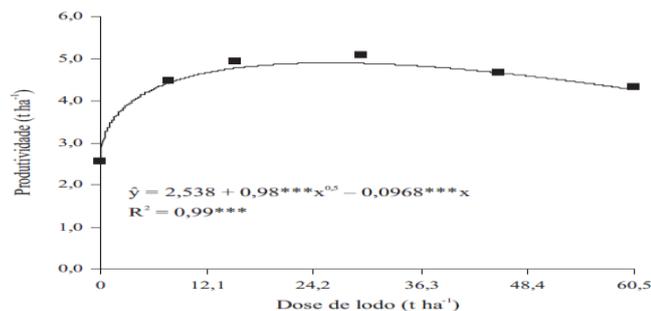


Fonte: Nascimento *et al.* (2004).

Na Figura 12, as menores produtividades foram observadas para a dose 0 t/ha. A maior produtividade do milho no Espodossolo foi de 6,4 g/vaso na dose de 60 t/ha. A maior produtividade do milho no Argissolo foi de 4,8 g/vaso na dose de 60t/ha. A maior produtividade do feijão no Espodossolo foi de 4,2 g/vaso na dose de 40 t/ha. A maior produtividade de feijão no Argissolo foi de 3,9 g/vaso na dose de 60 t/ha. A curva do Espodossolo está mais elevada no eixo y do que a curva do Argissolo, isso evidencia que o Espodossolo foi mais eficiente nesse experimento.

A Figura 13 mostra a produtividade em função da dose de lodo de esgoto implementado para o estudo de (GOMES, NASCIMENTO, BIONDI, 2007).

Figura 13 - Produtividade.



Fonte: Gomes, Nascimento, Biondi (2007).

Na Figura 13, a dose que proporciona a maior produtividade é 26 t/ha, a qual fornece uma produtividade de 6,1 t/ha. A menor produtividade encontrada foi de 2,6 t/ha para uma dose de 0 t/ha. Da dose 0 t/ha até a dose 7,7 t/ha houve um aumento de produtividade de 40,91%, o que deixa claro a eficiência do lodo de esgoto como fertilizante na agricultura.

O trabalho de Nascimento *et al.* (2004), traz um comparativo entre fertilizantes minerais e a fertilização com o lodo de esgoto. Acredita-se que pode se fazer a fertilização com lodo de esgoto, para algumas culturas e solos será necessário fazer a suplementação com fertilizante mineral como complemento para suprir o déficit de algum componente para se ter melhores resultados.

A composição do lodo, a fertilidade do solo e aspectos genéticos são fundamentais na produtividade. Assim se faz necessário elaborar um estudo sobre: o lodo a ser utilizado, o solo onde se deseja plantar e cultura a ser implementada. Dessa maneira, é possível obter êxito ao aplicar essa técnica de adubação. Os trabalhos discutidos nessa presente pesquisa apresentaram ótimos resultados, portanto é possível aplicar o lodo de esgoto como adubo.

De maneira geral, a fertilização com lodo de esgoto tem resultados muito parecidos com a adubação mineral. Em algumas situações será necessário realizar a suplementação com fertilizante mineral para se garantir êxito na produção. Na maioria dos casos, o lodo de esgoto é suficiente para adubar o solo. Uma vantagem do lodo de esgoto com relação ao fertilizante mineral é que o subproduto das Estações de Tratamento é mais barato, pois o seu custo depende basicamente do valor do transporte. Nos dias de hoje se recomenda bastante esse método de adubação tanto para ajudar o meio ambiente como também para se economizar na produção de itens agrícolas.

4. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

4.1. Conclusão

Verificou-se pelos resultados apresentados no estudo de caso que o lodo de esgoto tem grande capacidade de fertilizar o solo. Após a adição dessa substância nas terras houve um incremento nos valores de pH, dessa maneira a agricultura se torna mais viável.

Em ambos os estudos analisados os minerais zinco, cobre, manganês e ferro aumentaram no solo com a adição do lodo de esgoto, não foi verificado um acréscimo elevado. Esses elementos químicos estavam todos dentro dos parâmetros estabelecidos por órgãos responsáveis. Caso alguma cultura ou solo precise mais desses componentes indica-se fazer uma suplementação com fertilizante mineral.

Nas duas pesquisas avaliadas os índices de matéria orgânica, cálcio, magnésio e sódio aumentaram com a implementação do lodo de esgoto. O lodo de esgoto enriqueceu o solo com o nitrogênio, em algumas situações as quais não foram suficientes para suprir as demandas requeridas, ou seja, se indica uma suplementação com fertilizante mineral.

Os índices de potássio e o fósforo permaneceram praticamente constantes com a adição de lodo de esgoto como fertilizante. Esses minerais são bastante importantes no cultivo, então seria interessante adicionar uma suplementação com fertilizante mineral para atingir uma melhor produtividade.

Na maioria dos casos, o lodo de esgoto é suficiente para fertilizar os solos e se obter excelentes resultados. Em alguns casos específicos é necessário recorrer a suplementação com fertilizante mineral para atingir melhores rendimentos. Os metais pesados os quais são uma grande preocupação nesse tipo de tratamento do solo, não houve problema algum todos os parâmetros estabelecidos pelos órgãos responsáveis foram atendidos nos experimentos.

Vale ressaltar que antes de colocar essa técnica em prática é preciso fazer um estudo prévio do solo que será utilizado, do lodo aplicado e também da cultura que será plantada para que se obtenha melhores resultados. A produtividade de ambos trabalhos que foram estudados foram positivas. O lodo de esgoto é uma excelente alternativa para a adubação, pois fertiliza o solo e ainda tem baixos custos.

4.2 Sugestões para trabalhos futuros

Seria relevante conduzir uma pesquisa para identificar os cultivos que respondem de forma mais favorável à aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. Esse estudo contribuiria para o acervo científico ao fornecer informações sobre quais vegetais são mais propensos a se beneficiar desse tipo de adubação.

Além disso, seria pertinente investigar o impacto e as potenciais aplicações do lodo de esgoto na indústria química. Destacar as vantagens que esse subproduto poderia oferecer às fábricas de todo o Brasil seria de grande importância, não apenas do ponto de vista econômico, mas também em termos de gestão sustentável de recursos e resíduos industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MICROBIOLOGIA APLICADA AO MEIO AMBIENTE: ANTECEDENTES HISTÓRICOS E PERSPECTIVAS, 2005, SÃO PAULO/SP. [ANAIS...] SÃO PAULO/SP: USP, 2005. p.1-19.
- BINDÁ, S. **Caracterização do lodo bruto da ETE-Maratoan de Cratéus-CE e tratamento a partir da compostagem para fertilização de solos**. 2022. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, Cratéus, 2022.
- BORGES, N. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de Estações de Tratamento de Esgoto**. 2014. 234 f. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de engenharia São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- CARVALHO, C. **Matéria orgânica, agregação e proteção física em solos tratados com lodo de esgoto**. 2015. 129 f. Tese (Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais), Instituto Agrônomo Pós Graduação, Campinas, 2015.
- CORRÊA, R.; FONSECA, Y.; CORRÊA, A. Produção de bio sólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p. 420-426, 2007.
- Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- FÁTIMA SANTANA DA COSTA, Adelaide. *Et al.* **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- FERREIRA, F.; CORAIOLA, M. Eficiência do ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto. **Revista acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v.6, n.2, p. 259-279, 2008.
- GODOY, L. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica on-line Tecnologia, Gestão e Humanismo**, v.2, n.1, p. 79-90, 2013.
- GOMES, S.; NASCIMENTO, C.; BIONDI, C. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado em lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p. 459-465, 2007.
- LAMBERT, R. **Eficiência do uso da água residuária e do lodo de esgoto compostado nas propriedades químicas e físicas de solo cultivados com laranjeiras**. 2013. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Campos de Botucatu, Botucatu, 2013.
- LEITE, T. **Compostagem termofílica de lodo de esgoto: higienização e produção de bio sólido para uso agrícola**. 2015. 186f. Dissertação (de Mestrado), Programa de Pós Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- MARTINIANO DE AZEVEDO NETTO, José. *Et al.* **Sistemas de esgotos sanitários**. São

Paulo: [s.n.], 1973.

MICHELINI, L. **Impactos da utilização de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Efluentes como fertilizante**. 2013. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.

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

NUVOLARI, Ariovaldo. *Et al.* **Esgoto sanitário coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2011.

PACHECO JORDÃO, Eduardo; ARRUDA PESSÔA, Constantino. **Tratamento de esgotos domésticos**. São Paulo: CETESB, 1975.

PELETEIRO, C.; ALMEIDA, M. **Dimensionamento, análise e comparação da viabilidade econômica de uma Estação de Tratamento de Esgotos utilizando os processos de lodo ativado convencional e aeração prolongada**. 2014. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso.

PIANA, M.; MILLER, P.; JUNIOR, G. Higienização de lodo de esgoto por compostagem termofílica. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.24, n.1, p. 44-47, 2011.

QUINTANA, N.; CARMO, M.; MELO, W. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Revista Nucleus**, v.8, n.1, p. 183-192, 2011.

ROCHA, M. **Utilização de lodo de esgoto na agricultura: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 1998. 155f. Dissertação (de Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SILVA, J. **Caracterização do potencial energético e estudo físico-químico do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto do DMAE- Uberlândia-MG**. 2011. 81f. Dissertação (de Mestrado), Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

SILVA, M. O. S. A. **Análises físico-químicas para controle de Estações de Tratamento de Esgotos**. São Paulo: CETESB, 1977.

SOUZA, F. **Avaliação da eficiência da compostagem mesofílica e termofílica**. 2002. 147f. Dissertação (de Mestrado), Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados**. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2002.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2005.

TEIXEIRA, C. **Higienização de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto por compostagem termofílica para o uso agrícola**. 2012. 143f. Dissertação (de Mestrado), Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. 139 f.

- VAN HAANDEL, Adrianus. *Et al.* **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro; São Paulo: ABES: Rima, 2003.
- VIEIRA, R. Lodo de esgoto na agricultura: estudo de caso. Jaguariúna: Embrapa meio ambiente, 2004. Jaguariúna-SP, 28/07/2004, 22p.
- VITÓRIO ANDREOLI, Cleverson. *Et al.* **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Curitiba: ABES, 1999.
- VON SPERLING, Marcos. *Et al.* **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte; Curitiba: DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG: SANEPAR, 2001.