

II-193 - LEITO DE SECAGEM EM TRATAMENTO DO LODO DE ESGOTO ASSOCIADO A POTENCIALIDADE PARA USO AGRÍCOLA

Rayssa Magalhães da Silva ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Engenheira de Segurança do Trabalho. Gerente de Controle/ Qualidade da Agência de Saneamento de Paragominas (SANEPA - PA).

Antônia Michelle Araújo Lopes ⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado do Pará (UEPA).

Aline Souza Sardinha ⁽³⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Geologia pela Universidade Federal do Pará. Professora do curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Pará (UEPA).

Mateus do Carmo Rocha ⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Voluntário PIBIC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Ilhéus, 678, Módulo II – Cidade Nova - Paragominas - PA - CEP: 68.626-060 - Brasil - Tel: (91) 9135-1818 - e-mail: rayssa.magalhaes@hotmail.com

RESUMO

O lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) é um desafio para a operação e o gerenciamento dos resíduos sólidos das mesmas, pois além dos sólidos orgânicos, concentra metais pesados e agentes patogênicos. Deste modo, o tratamento e destinação final desse resíduo é oneroso, representando até 60% dos custos operacionais de uma ETE. Sua disposição final tem sido motivo de diversos estudos, os quais apontam como alternativa sua utilização em áreas agrícolas ou de produção florestal. No presente trabalho estudou-se o desempenho de leito de secagem com cobertura plástica para os processos de desaguamento e higienização, sob exposição à radiação solar, do lodo de descarte de uma ETE localizada no município de Paragominas – PA, constituída de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (RAFA) ou Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), associado ao biofiltro aerado submerso. Foram monitorados dois ciclos, determinados do seguinte modo: o primeiro ciclo no período chuvoso, considerando os meses de abril e maio/2015, e o segundo ciclo no período seco, nos meses de julho e agosto/2015, ambos com duração de 28 dias. Para a coleta do lodo de esgoto, efetuou-se uma investigação na área com relação as seguintes variáveis: 1. Temperatura interna e externa à estufa; 2. Umidade do ar interna e externa à estufa, onde não houveram estatisticamente significativas ao teste t-student a 5% probabilidade. As amostras de lodo foram coletadas semanalmente para caracterizar indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e parâmetros de estabilidade. A caracterização quanto à presença de substâncias inorgânicas e a avaliação do potencial agrônômico, ocorreu no início e no final de cada ciclo de monitoramento. Diante da avaliação e análise dos resultados obtidos, para as condições em que foi realizada esta pesquisa, verificou-se que o lodo da última coleta do primeiro ciclo não atendeu as especificações da Resolução CONAMA 375/2006 com relação ao parâmetro ovos viáveis de helmintos, porém apresentou-se satisfatório com relação a avaliação dos demais parâmetros investigados. Já o lodo monitorado no segundo ciclo enquadrou-se na Classe A da Resolução citada, atendendo a todos os critérios exigidos, destacando-se principalmente pela ausência de indicadores bacteriológicos, deste modo, foi considerado apto para reuso agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Desaguamento, leito de secagem, reuso agrícola.

INTRODUÇÃO

As atividades, produtos e serviços desenvolvidos pelo homem geram resíduos e rejeitos que quando não tratados adequadamente implicam em prejuízos à saúde pública e ao meio ambiente. Nesse contexto, no Brasil, o setor de saneamento vem recebendo maiores investimentos nos últimos anos, e o aumento da prestação desse serviço reflete no volume crescente da produção de resíduos de composição complexa e destinação final problemática (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2010). Entre os resíduos do saneamento básico, os lodos provenientes das Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's)

destacam-se pela grande quantidade gerada e pelos custos elevados para disposição final adequada (SPERLING, 2014).

Dessa forma, o gerenciamento correto dos resíduos sólidos, incluindo os do saneamento, é tão necessário que a Agenda 21, documento produzido durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), dedicou um capítulo completo (capítulo 21) para tratar do manejo ambientalmente saudável desses resíduos (VIEIRA et al, 2018). O documento preconiza que mudanças nos padrões não sustentáveis de produção e consumo são fundamentais para conciliar o desenvolvimento com a proteção do meio ambiente, também defende a adoção da reutilização, reciclagem e destinação final adequada para promoção do manejo sustentável dos resíduos (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1997; ALVES, 2015).

Diante disso, em consonância aos padrões de qualidade, o tratamento de esgotos tem como finalidade uma geração de um efluente totalmente tratado, soma-se a isto, que a eventual atividade produz diversos gases e também lodos ao final do seu processo. Os gases gerados, por sua vez, podem ser aproveitados para uso energético ou lançados na atmosfera, enquanto que o lodo, torna-se um grande desafio para as ETE's, pois o material agrega uma maior parte da matéria orgânica oriunda do esgoto bruto (LIMA, 2010). Outrossim, esse material possui concentrações de metais pesados e patógenos, visto que, em valores acima do permitido, podem oferecerem riscos de contaminação ao meio ambiente, quando despejados de maneira inadequada (RIGO et al., 2014).

Assim, dependendo da forma de destinação final do lodo, é necessário que o mesmo passe por processos específicos de tratamento. No Brasil, a Resolução nº 375 de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina parâmetros de qualidade para o lodo e produtos derivados destinados ao reuso agrícola. Por exemplo, para ser utilizado como insumo na agricultura o lodo deve ser tratado de modo a reduzir concentrações de patógenos, teores de umidade e matéria orgânica volátil (BRASIL, 2006).

Nesse contexto, a redução do teor de umidade pode ser realizada de forma natural através da técnica de leitos de secagem. De acordo com Santos et al (2016) a secagem do lodo é importante para diminuir o volume de material a ser transportado, reduzindo os custos com transporte e disposição, e facilitar o manuseio do produto, além disso quanto menor o teor de umidade mais difícil será a sobrevivência e o crescimento de organismos patogênicos na massa de lodo.

Diante dessas considerações, fica evidente a necessidade de se estudar processos de tratamento e formas sustentáveis de destinação final para o lodo gerado em ETE's. Nesse cenário, o presente estudo se propôs a avaliar o desempenho do leito de secagem em um tratamento do lodo proveniente de uma ETE, além da efetividade sobre uma possível diminuição dos microrganismos patogênicos dentro da operação de desaguamento e higienização. E também, em consonância com a Resolução CONAMA nº 375:2006, verificou-se os parâmetros do biossólido para possível uso agrônômico.

MATERIAIS E MÉTODOS

FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro Morada do Sol do município de Paragominas-PA, com coordenadas geográficas 2°58'24,72" S e 47°21'05,60" (Figura 1). Além disso, de acordo com o IBGE (2014), a cidade abrange uma área de 19.342,254 km², caracterizada em uma região fisiográfica de Guajará, com população residente em 105.417 habitantes. O clima da região é do tipo mesotérmico e úmida, com temperaturas em média anual em 25° C, com regime pluviométrico entre 2.250mm e 2.500 mm, onde nos períodos de janeiro a junho de maior regularidade em chuvas (PINTO et al., 2009).

Além disso, a umidade relativa do ar em níveis de 85% (SEPOF, 2007). Ressalta-se que o município de Paragominas é caracterizado por possuir um dos melhores índices de saneamento do estado do Pará, com cerca de 80% da população urbana obtendo abastecimento de água tratada, e um avanço gradativo no setor de esgotamento sanitário, que atende cerca de 10% da população urbana (SANEPAR, 2014).

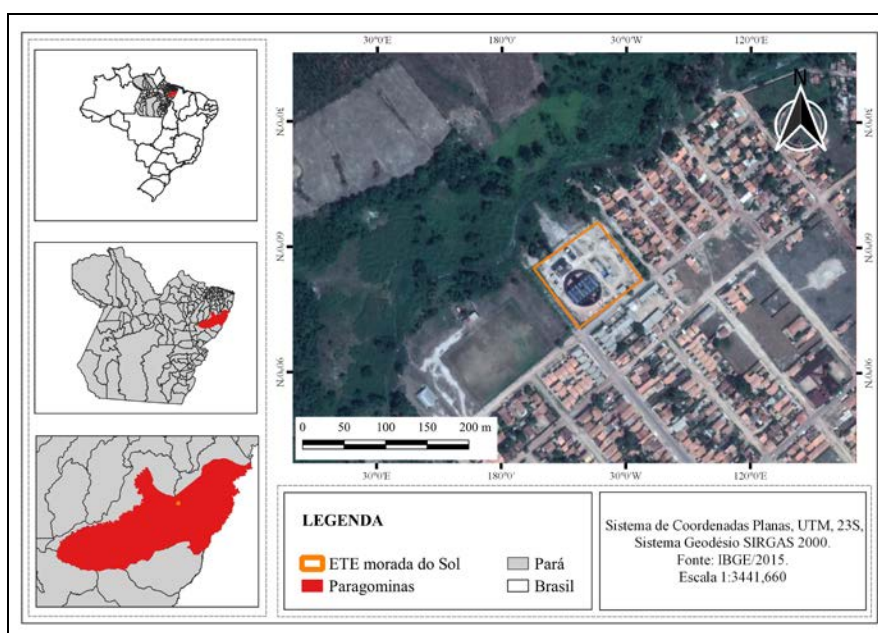


Figura 1: Mapa de Localização da ETE da SANEPAR no Bairro morada do Sol.
Fonte: próprios autores (2019)

OBJETO DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido dentro de um Leito de secagem da Estação de Tratamento de Esgoto da Agência de Saneamento de Paragominas (SANEPAR). A ETE, possui capacidade para um atendimento de 5.000 pessoas, com uma contribuição em torno de 150 L/hab. dia, além disso a mesma possui Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (RAFA) ou *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), associado ao biofiltro aerado submerso (SANEPAR, 2014).

O leito de secagem, conforme preconiza a NBR 12.209 (ABNT, 1992), é composto por quatro módulos paralelos e independentes, com volume de 42,1 m³ cada, consistido de paredes e fundos impermeabilizados sob um meio filtrante de 20 cm de areia grossa, 30 cm de seixo fino e 30 cm de seixo grosso. Ademais, os módulos possuem inclinação de aproximadamente 2 cm em direção ao coletor principal de escoamento do líquido drenado, constituído por tubo dreno com diâmetro de 100mm. E também os módulos foram cobertos por filme plástico translúcido de 150 micrômetros de espessura em uma altura de 3,10 m.

DELINEAMENTO DA PESQUISA

O método da pesquisa foi o hipotético-dedutivo, em que a parte de uma apresentação do problema, seguido em uma formulação de hipótese, e diante disso, buscou-se encontrar possíveis resultados por meio da observação e experimentação sobre um leito de secagem no tratamento do lodo da ETE (MARCONI; LAKATOS, 2017). Ademais, a abrangência da pesquisa foi quanti-qualitativa, de natureza aplicada e procedimentos descritivo, exploratório e experimental, o qual visam proporcionar maiores familiaridade dos aspectos com o objeto de estudo (GIL, 2018). Outrossim, na coleta de dados sobre o estudo, utilizaram-se de técnicas padronizadas com base na observação sistemática sob dois períodos selecionados, seja eles em chuvoso (29/abril/2015 a 26/Maio/2015) e seco (07/Julho/2015 a 03/08/2015).

PROCEDIMENTOS ESPECIFICOS

Para a realização do estudo, em cada ciclo, foram realizadas um total de cinco coletas de dados do lodo de esgoto no leito de secagem, os quais foram distribuídas conforme a figura 2. Além disso, as amostras foram acondicionadas em frascos de vidro com o auxílio de uma pá coletora e caneca amostradora, onde inicialmente obtiveram a junção de quatro pontos e assim caracterizando em uma amostra composta, de acordo com a NBR 10.007 (ABNT, 2004).

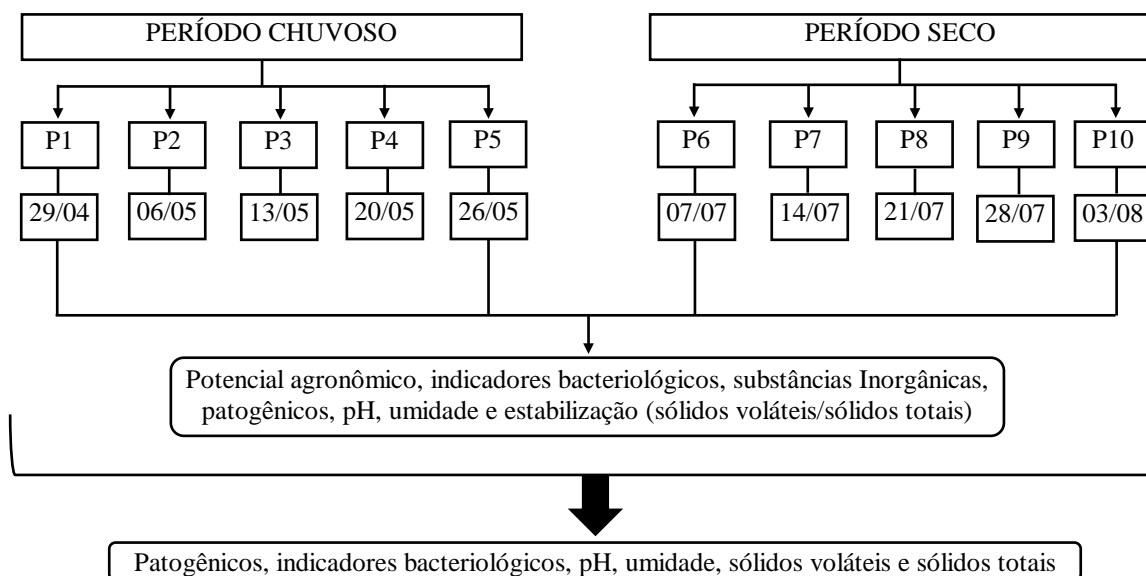


Figura 2: Delineamento experimental das coletas e os parâmetros avaliados.

Fonte: próprios autores (2019)

Em relação aos indicadores bacteriológicos foram avaliados os seguintes aspectos: coliformes termotolerantes, ovos viáveis de Helmintos e Salmonella. Já com relação aos parâmetros agrônômicos para possível uso agrícola, foram realizadas investigações sobre as seguintes composições, sendo carbono orgânico (C.O), fósforo total, nitrogênio *Kjeldahl*, nitrogênio amoniacal (N_{am}), nitrato (N_{trat}), nitrito (N_{it}), nitrogênio total (N_{tot}), pH em água (1:10), potássio total, sódio total, enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade, sólidos voláteis, e sólidos totais. Já em relação as substâncias inorgânicas, as análises foram realizadas para o descobrimento dos teores de As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni, Se, Mo e Zn, no lodo em processo de desaguamento e higienização.

Além disso, no período de realização das coletas, foram monitoradas variáveis meteorológicas no local onde se localizava o leito de secagem, seja eles em ambiente interna e externo do local, como a temperatura por meio de um termômetro, a umidade relativa do ar com auxílio de termohigrômetro.

ANÁLISE DE DADOS

Diante das análises sobre o potencial agrônômico, indicadores bacteriológicos, substâncias Inorgânicas, patogênicos, pH, umidade, relação de estabilização, foram realizadas pelo laboratório de Multianálises e os dados consistiram na comparação com a Resolução nº CONAMA 375/2006. De mais a mais, os dados referentes ao ambiente interno e externo no objeto de estudo, juntamente com os valores de temperatura, umidade, pH e relação de sólidos voláteis/sólidos totais, foram analisados por meio de uma estatística descritiva, e teste de t-student a 5% de probabilidade em relação aos valores sobre os dois períodos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DO LEITO DE SECAGEM

De acordo com os dados verificados em cada coleta, como é descrito na figura 2, verificou-se ao final do experimento, tanto ao ambiente externo e interno, que a temperatura e a umidade no 2º Período obtiveram valores de dispersões maiores e comparação ao 1º Período. Além do mais, não houveram diferenças estatisticamente significativas em cada parâmetro avaliado interno e externamente sobre os dois períodos do estudo ao teste t-student a 5% de probabilidade.

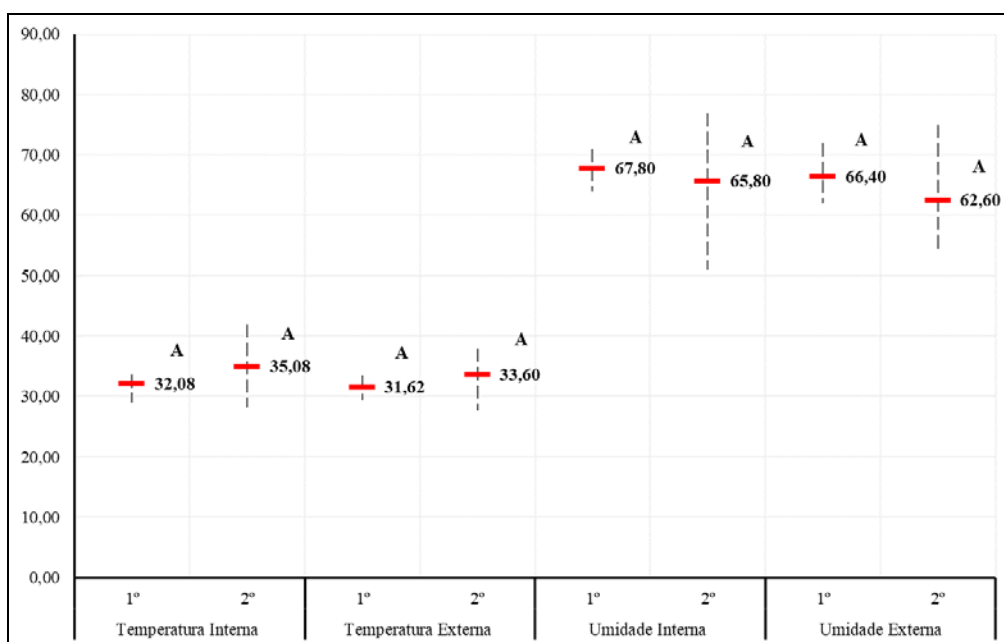


Figura 3: Delineamento experimental das coletas e os parâmetros avaliados.

*Letras maiúsculas na horizontal comparam médias entre os métodos. Letras iguais não diferem entre si segundo o teste t-student a 5%.

Fonte: próprios autores (2019)

Segundo os estudos de Borges et al (2009) e Silveira (2012), relatam que o processo de secagem do lodo nos leitos é fortemente influenciado pela temperatura ambiente e pela umidade relativa do ar, onde a evaporação é um fator imprescindível pela secagem do lodo. Diante disso, valores tanto no primeiro quanto no segundo período foram semelhantes ao trabalho de Oliveira S. e Oliveira, L. (2016), e que os dois períodos foram favoráveis para uma secagem adequada após o desaguamento do lodo.

Além disso, de acordo com Jesus et al (2019), ressalta que no 1º período, classificado como período chuvoso, sob a região abrangente, a precipitação mensal pode chegar a 362,45 mm. Nesse contexto, esse fato colabora para a explicação de uma ausência de diferenças estatisticamente significativas ao ambiente estudado, tendo em vista sobre a verificação dos dados pluviométricos no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2015), que ao mês de abril a região do município de Paragominas –PA, choveu entre 200 mm a 250 mm e um decaimento em 100 mm ao mês de maio.

TEMPERATURA, UMIDADE, pH e SV/ST DO LODO

No que diz respeito ao lodo proveniente da estação de Tratamento de esgoto, a figura 4 detalha sobre a quantificação dos dados analisados sobre as coletas no período chuvoso e seco.

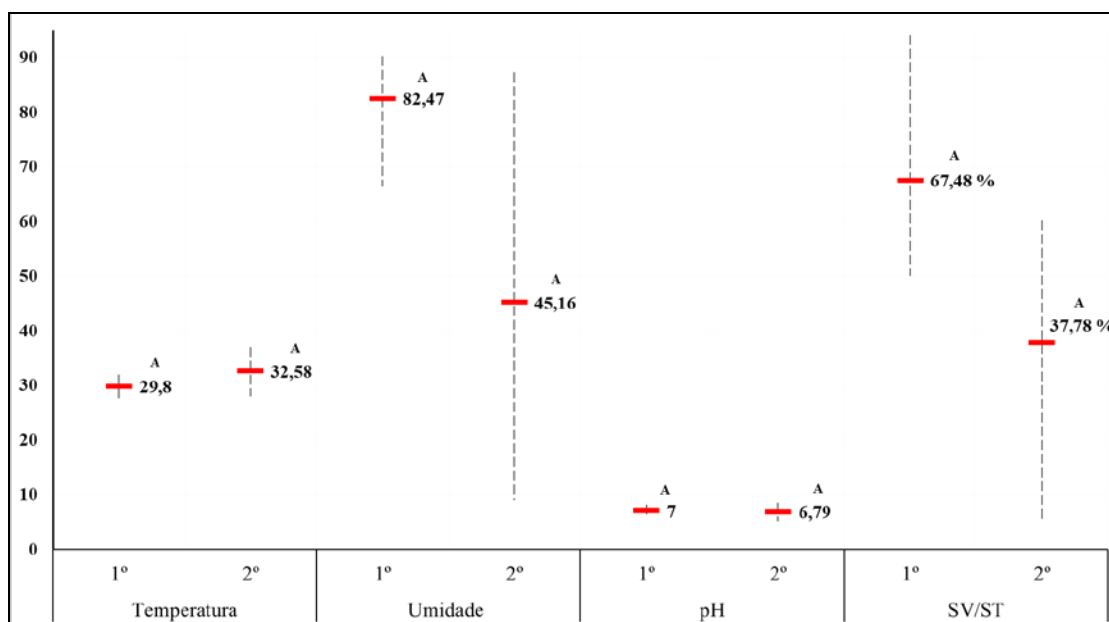


Figura 4: Delineamento experimental das coletas e os parâmetros avaliados.

*Letras maiúsculas na horizontal comparam médias entre os métodos. Letras iguais não diferem entre si segundo o teste t-student a 5%.

Fonte: próprios autores (2019)

De acordo com Santos et al (2016), verificou-se a comparação dos resultados com 60 dias de experimento, onde a temperatura em média de 24,866, foram inferiores aos valores médios sobre o primeiro período de 29,8 e no segundo de 32,58. Além do mais, o valor de umidade do 1º período também foi superior à média de 78,05, em que foi superior a umidade do segundo com 45,16 no experimento.

Ressalta-se que o processo da secagem natural do lodo em leitos de secagem é dominado pelos fenômenos da percolação e evaporação. Sendo que na primeira semana após a descarga do lodo o fenômeno predominante é a percolação que proporciona o desague da água livre presente no lodo (LOZER, 2012), como é mostrado no gráfico, onde a umidade foi o parâmetro em que mais se dispersou em valores. Com os valores iniciais e finais para o primeiro período entre 86,6% e 65,5%, e para o segundo em 87,3% o inicial e 8,98% ao final do procedimento.

Com relação ao pH, uma pequena variação entre a classificação do parâmetro foi verificada, com o início em caráter alcalino, com valores respectivos nos dois períodos em 8,2 e 8,52, diminuindo ao decorrer do experimento. Ao término, os valores estiveram em 5,8 e 5,89, classificando-se assim de características ácidas, semelhantes ao ponto B do leito estudado por Santos et al (2016), onde os valores de pH observados podem estar associados a atividade microbiana que atua na massa de lodo realizando a decomposição da matéria orgânica, nesse processo são liberadas substâncias que tornam o meio mais ácido.

Já com relação aos sólidos Voláteis/Sólidos Totais (SV/ST), de acordo com o valor de estabilidade máximo permitido pela Resolução CONAMA 375/2006, sendo em 70% para lodo destinado ao reuso agrícola, os valores estiveram inferiores ao limite permitido pela legislação. Sendo os valores iniciais para cada período sucessivamente em 44,4% e 60,15%, e ao final com 50% e 48,15%. Resultados semelhantes foram conseguidos por Lima (2010) sendo que esta obteve valores de até 36,9% na relação SV/ST para o lodo sem adição de cal, apenas submetido ao tratamento em leitos de secagem do tipo estufa agrícola em forma de leiras.

Além do mais, os parâmetros citados acima em análise sobre os períodos, não obtiveram diferenças estatisticamente significativas. Onde por meio das médias, consistiram em valores iguais entre eles.

PATOGÊNOS E INDICADORES BACTERIOLÓGICOS

Com relação ao índice de patógenos e indicadores bacteriológicos, a tabela 1, detalha a quanti-qualificação sobre a *Salmonella sp.*, além dos ovos viáveis de helmintos e os coliformes termotolerantes.

Tabela 1: Valores sobre os parâmetros avaliados nas amostras coletadas no experimento.

AMOTRAS	DATA DAS COLETAS	<i>Salmonella sp.</i> (1)	Ovos viáveis de helmintos (ovo/g de ST)	Coliformes termotolerantes (NMP/g) ⁽²⁾
P1	29/04/2015	A	Ausência	93,0
P2	06/05/2015	A	Ausência	7,0
P3	13/05/2015	A	Ausência	17,0
P4	20/05/2015	A	Ausência	34
P5	26/05/2015	P	Presença	240
P6	07/07/2015	A	Ausência	3,6
P7	14/07/2015	A	Ausência	80
P8	21/07/2015	P	Ausência	3,6
P9	28/07/2015	A	Ausência	3,6
P10	03/08/2015	A	Ausência	80

Nota: (1) Dados expressos em termos de presença (P) e ausência (A) em 10 g de amostra; (2) Número Mais Provável por grama.

Fonte: próprios autores (2019)

Ressalta-se que de acordo o art. 11 da Resolução CONAMA 375/2006, a aplicação do lodo de esgoto para uso agrícola, deve respeitar os valores máximos permitidos, referidos a legislação vigente, sendo estes: ausência de *Salmonella sp* em 10 g de ST, ovos viáveis de helmintos abaixo de 0,25 ovo/g de ST, e valores inferiores de 10³ NMP/g de ST para Coliformes Termotolerantes.

Diante disso, não foram constatados nas amostras valores superiores para os coliformes termotolerantes. Associadamente aos trabalhos de Carrington (2001), Kone et al (2007) e Lima (2010), a redução acelerada dos teores de umidade da massa de lodo é um fator positivo para a inativação dos microrganismos, porém, por si só não se configura como fator suficiente para a redução dos patógenos do lodo. Além do mais, notou-se que o valor de 240 NMP/g obtido na última coleta do primeiro ciclo de monitoramento pode estar associado ao decréscimo do pH do lodo, fato responsável por criar condições favoráveis ao aumento da concentração de coliformes termotolerantes (ROCHA, 2009).

Já com relação aos ovos viáveis de helmintos, de forma geral, 90% das amostras obtiveram ausência do indicador analisado, pode verificar que no 2º Período onde o valor de umidade ao final chegou a 8,98% pode ter inviabilizado muitos ovos viáveis por dessecação (SANTOS et al. 2016). Entretanto, na P5 acusou um indicativo de larvas de *Strongyloides stercoralis* em 15000 por amostra. Semelhante a isso, foram observados no estudo de Lozer (2012) onde a quantidade de ovos viáveis para helmintos do gênero *Strongyloides* foi majoritária, representando 83% dos resultados de todas as amostras analisadas.

De acordo com Veloso et al. (2008), a strongiloidíase é uma infecção parasitária intestinal produzida pelo nematódeo *Strongyloides stercoralis*, que embora predomine em crianças, pode ocorrer em qualquer idade. Além do mais, como fatores epidemiológicos pode-se citar a contaminação do solo com fezes, com variação de temperatura ambiente entre 25 a 35 °C, solo arenoso, úmido, rico em matéria orgânica e com ausência de luz direta (LOZER, 2012).

Ainda nesse contexto sobre a amostra P5, verificou-se ao final do 1º Período, a presença de *Salmonella sp*, em 25 g de amostra. Em consonância a isso, Lozer (2012) e Santos et al (2016), constataram a presença em várias

amostras, tanto em leitos cobertos e descobertos, tal fato foi justificado pela temperatura máxima da massa de lodo que não alcançou a faixa de 55 °C, por no mínimo 30 minutos; além da ocorrência de recrescimento devido as condições ambientais favoráveis durante o experimento, com temperaturas médias em torno de 32,0°C nos leitos de secagem; recontaminação por agentes externos tais como pássaros e outros animais.

Dessa forma, o aparecimento de *Salmonella sp.* na última coleta do primeiro ciclo e na terceira do segundo (Tabela 18) pode estar associado a um dos fatores citados acima, uma vez que a área onde encontra-se o leito de secagem em estudo possui presença de aves e outros animais, e a temperatura média do lodo registrada não atingiu a temperatura ótima recomendada para a inviabilização dessas bactérias (SANTOS et al., 2016).

SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS E AGRONÔMICAS

A Tabela 2 apresenta os resultados com relação a caracterização química do lodo. Os resultados apresentados mostram que a concentração das substâncias inorgânicas no lodo para os dois períodos do experimento, estiveram inferiores ao valor de concentração máxima permitida pela Resolução CONAMA 375/2006. Em consonância a isto, valores semelhantes foram encontrados por Pedrosa, Vieira e Sousa (2011), onde as concentrações do lodo também são inferiores aos valores máximos permitidos pela Legislação.

Tabela 2: Substâncias Inorgânicas das amostras e comparação com a Resolução CONAMA 375/2006.

Amostras	As	Ba	Cd	Pb	Co	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
	-----mg/kg-----										
P1	nd	2,950	nd	1,1	14,5	1,49	nd	0,267	0,8	nd	47
P5	1,18	51,2	0,4634	20,3	217	21,6	0,284	4,390	13	1,14	689
P6	0,616	75,2	0,6716	26,9	399	19,4	0,28	7,81	17,7	1,72	1114
P10	1,190	57,8	0,4747	19,5	204	18,5	0,195	5,15	18,3	0,937	650
CONAMA 375/2006	41	1300	39	300	1500	1000	17	50	420	100	2800

Nota: nd: não detectado.

Fonte: próprios autores (2019)

A concentração desses elementos varia enormemente em função da sua origem e do processo de pré-tratamento que o lodo foi submetido (SANTOS et al, 2011). Assim, as baixas concentrações encontradas podem estar associadas a origem doméstica do lodo monitorado e ao pré-tratamento realizado nos reatores UASB. Desse modo, podemos afirmar que o uso agrícola do lodo, quando esse apresenta concentrações de substâncias inorgânicas compatíveis com as determinadas na Resolução, uma vez que, segundo Ribeirinho et al (2012) o lodo aplicado ao solo possibilita o aumento da disponibilidade destes elementos, que permitirá a ciclagem de nutrientes pelas plantas, a melhoria na fertilidade do solo e o aumento na produtividade das culturas.

Vários trabalhos têm caracterizado diferentes respostas de lodo de esgoto quando avaliado o potencial agronômico de lodo proveniente de diferentes estações de tratamento de esgoto, em diferentes períodos e regiões, apresentando benefícios para as plantas e o solo. A Tabela 3 apresenta os resultados dos teores médios dos parâmetros de interesse agronômico que foram monitorados no início e no final de cada Período. No entanto, destaca-se que a Resolução CONAMA 375/2006 não determina valores específicos para os parâmetros de relevância agronômica.

Tabela 3: Resultados dos parâmetros de interesse agronômico do lodo de ETE.

Amostras	C.O	P	N _{tot}	N _{am}	N _{trat}	Ni	K	Na	S	Ca	Mg	C/N
	-----g/kg-----											
P1	24	0,155	9,7	nd	0,0014	0,0083	0,037	0,054	0,3810	Nd	0,0810	25,1
P5	42	2,82	9,41	nd	0,0263	0,0006	0,6	0,052	5,45	9,0900	4,87	4,5
P6	24	4,34	10,8	nd	0,0151	0,0031	1,04	0,7	8,9	12,23	2,9010	2,2
P10	32	3,52	17,7	nd	0,0036	0,0122	0,7	0,4	7,9	13,07	2,0540	1,8

Fonte: próprios autores (2019).

Entretanto, é possível observar na Tabela 22 que no ciclo realizado no período chuvoso, houve maior variação entre os valores iniciais e finais dos parâmetros avaliados, já no ciclo realizado no período seco as concentrações finais, de modo geral, são semelhantes as iniciais.

O teor de carbono orgânico apresentou acréscimo ao final dos dois ciclos de monitoramento; quando comparado com estudo realizado por Bettiol et al (2006) percebeu-se que os valores encontrados por estes autores para o lodo proveniente de duas ETE's localizadas no estado de São Paulo, foram superiores aos valores encontrados neste trabalho, no entanto ao avaliar a relação Carbono/Nitrogênio (C/N) (Tabela 3) percebeu-se que a matéria orgânica apresenta um estado de degradação avançada da lignina, o que favorece o uso do lodo no solo para diferentes culturas desde que conciliado com o uso de fertilizantes orgânicos que visem equilibrar a concentração das substâncias orgânicas presentes no lodo (SILVA, I.; MENDONÇA, 2007).

Em relação ao nitrogênio total, observou-se variações consideráveis ao longo do monitoramento e apresentou valores inferiores aos encontrados por Bettiol e Camargo (2006), porém esse resultado não interferiu negativamente na relação C/N, no entanto, ressalta-se a necessidade da conciliação do uso de um fertilizante orgânico que estabilize os níveis da relação C/N conforme a Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em que classifica o fertilizante oriunda do lodo de esgoto em classe D.

Os valores dos parâmetros médios do lodo para o final dos ciclos, quando o lodo apresentou menor teor de umidade (Tabela 3), se comparados aos de autores como Bettiol et al (2006) apresenta similaridade com relação aos seguintes parâmetros: potássio, sódio, enxofre, cálcio e magnésio. Segundo Bittencourt et al (2009) o uso de lodo de ETE na agricultura é uma das principais alternativas de destino final para esse resíduo a nível mundial.

Diante disso, essa aplicação possibilita melhorar as condições físico-químicas e biológicas dos solos por meio da adição de matéria orgânica e nutrientes existentes no lodo, aumentar a resistência do solo à erosão, diminuir os efeitos negativos dos períodos de estiagem durante a safra, pois o solo adquire maior capacidade de retenção de umidade, fornece nutrientes para as plantas, aumentar a produtividade agrícola, reduzir os custos de produção dos agricultores, pois diminui-se o uso de adubos químicos, contribuir para o desenvolvimento da agricultura familiar e reduzir os impactos ambientais decorrentes da inadequada disposição final de lodo de esgoto.

CONCLUSÕES

A utilização do leito de secagem para a estação de tratamento de esgoto em morada do Sol apresentou resultados satisfatórios para o desaguamento e sucessivamente higienização do lodo proveniente das águas residuárias do bairro. Além disso, o segundo período foi efetivo para a aplicação do lodo de esgoto na agricultura, tendo em vista que ao final do estudo, os valores de substâncias inorgânicas obtiveram em concentrações inferiores, além de ausência de patógenos e indicadores bacteriológicos permitidos na Resolução CONAMA 375/2006, sendo assim enquadrando-se o lodo em Classe A, podendo ser destinado a qualquer cultura.

Para o reúso agrícola do lodo, verificou-se que o lodo deve passar por correção sobre o seu potencial hidrogeniônico, considerando as características do solo e o que determina a Resolução CONAMA 375/2006 e a Instrução Normativa nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA DE SANEAMENTO DE PARAGOMINAS - SANEPAR. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Paragominas*, 2014.
2. ALVES, D. E. J. *Os 70 anos da ONU e a agenda global para o segundo quinquênio (2015-2030) do século XXI. Revista Brasileira de estudos de população*, v. 32, n. 3, p. 587-598, 2015.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992. Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. NBR 12209/1992.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004. Amostragem de resíduos sólidos – NBR 10.007/2004.
5. BETTIOL, W. et al. *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto: descrição do estudo*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2006.
6. BETTIOL, W.; CAMARGO, A. O. A disposição de lodo de esgoto em sólidos agrícolas. *Embrapa Meio Ambiente*, p. 25-35, 2006.
7. BITTENCOURT, S. et al. *Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba*. REVISTA AIDIS, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2009.
8. BORGES, M. S. E. *Tratamento térmico de lodo anaeróbico com utilização do biogás gerado em reatores UASB: avaliação da autossustentabilidade do sistema e do efeito sobre a higienização e a desidratação do lodo*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, n.3, p. 337-346, 2009.
9. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. *Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências*. Diário Oficial da União: Poder Executivo, Brasília, 2006.
10. BRASIL. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. *Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura*. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de jul. 2009. Seção 1, p. 20.
11. CARRINGTON, E. G. *Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction*. Luxembourg: European Communities, 2001.
12. CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos*. Part EN: Agenda 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1997. cap. 21. p. 341-356. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2015.
13. GIL, C. A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2018.
14. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014. 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_dou.sh>. Acesso em: 09 jul. 2015.
15. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Estações e dados: estações automáticas-gráficos. Disponível em:<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em 21 out. 2015.
16. JESUS, S. et al. *Quantificação da precipitação pluvial utilizando de material reciclado em pontos distintos na área urbana do município de Paragominas, Braz.* J. Anim. Environ. Res., Curitiba, v. 2, n. 1, p. 501-509, 2019.
17. KONE, D. et al. *Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates*. Water Research, v. 41, p. 4397-4402, 2007.
18. LAKATOS, M. E.; MARCONI, A. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2017.
19. LEONETI, B. A.; PRADO, L. E.; OLIVEIRA, B.W.V.S. *Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI*. Revista de Administração Pública, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.
20. LIMA, P. R. M. *Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto*. 2009. 284 f. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
21. LOZER, G. J. *Desaguamento e higienização de lodo de esgoto utilizando estufa agrícola sobre leitos de secagem*. 2012. Dissertação de mestrado-Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.
22. OLIVEIRA, S. A.; OLIVEIRA, L. A. *Desaguamento de lodo de efluente saneante domissanitário em Leito de Drenagem*. Revista DAE, v. 65, n. 208, p. 68 – 82, 2017.
23. PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, F. J. *Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil*. Revista AIDIS, v. 4, nº2, p. 35-47, 2011.
24. PINTO, A. et al. *Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas*. Relatório Técnico. Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. 2009.
25. RIBEIRINHO, S. et al. *Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto*. pesq. agropec. trop., goiânia, v. 42, n. 2, p. 166-173, 2012.

26. RIGO, M. et al. *Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil*. *Gaia Scientia*, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.
27. ROCHA, L. C. L. A. Higienização de lodo anaeróbio por meio alcalino: Estudo de caso da ETE Lages – Aparecida de Goiânia – GO. 2009. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Goiás, 2009.
28. SANTOS, M. et al. *Determinação do potencial agrícola do lodo de esgoto por meio de análises físico-químicas e microbiológicas*. *Synergismus scyentifica*, Pato Branco, v. 06, n. 1, 2011.
29. SANTOS, S. et al. *Efeito da secagem em leito nas características físico-químicas e microbiológicas de lodo de reator anaeróbio de fluxo ascendente usado no tratamento de esgoto sanitário*. *Eng Sanit Ambient*, 2016.
30. SECRETARIA EXECUTIVA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E FINANÇAS – SEPOF. *Portal da Amazônia* 02/02/2007. Paragominas, município do Pará. Disponível em: <<http://www.portalamazonia.com.br/secao/amazoniadeaz/interna.php?id=637>>. Acesso em: 22 out. 2015.
31. SILVA, R. I.; MENDONÇA, S. E. *Matéria orgânica no solo*. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, p. 275 -374, 2007.
32. SILVEIRA, C. Desaguamento de lodo de Estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil. 2012. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Londrina, 2012.
33. SPERLING, V. M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
34. VELOSO, P. et al. *Hiperinfecção por Strongyloides stercoralis: relato de caso autopsiado*. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, v. 41, n.4, p. 413- 415, 2008.
35. VIEIRA, B. et al. *Legislação ambiental no contexto evolutivo internacional e nacional*. *Revista Jurídica*, v.18, n.2, p.01-20, 2018.