

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM LODO PROVENIENTE DO TRATAMENTO DO LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE TERESINA - PI

SOBRINHO, Zenon Freitas Alves¹(zfreitas76@gmail.com); BRAÚNA, Carlos Henrique da Costa²(coldways_1@gmail.com); CAMPELO, Ramon Marques³(ramoncampelo.eng@gmail.com); OLIVEIRA, Ana Kelle Araújo⁴(kellyestudoscivil@gmail.com)

¹Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

²Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

³Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

⁴Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Compostagem. Aterro Sanitário. Lodo. Lixiviado.

Resumo

Buscando reduzir passivos ambientais, é fundamental elaborar sistemas efetivos de tratamento para os resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, este trabalho busca dimensionar um sistema de compostagem com lodo físico-químico e analisar a aplicabilidade do composto gerado, como uma alternativa efetiva para o substrato em questão. A metodologia foi descritiva com pesquisa de campo e análises laboratoriais. A coleta de dados ocorreu com visitas técnicas e entrevistas com a responsável técnica do aterro sanitário e as amostras retiradas in loco. Diante disso, elaborou-se uma proposta de destinação para o lodo físico-químico do Aterro através de um sistema de compostagem com substratos do próprio local dispostos diariamente. Nesse contexto, é possível tratar três mil quilos de lodo do lixiviado diariamente, utilizando aproximadamente 21 mil quilos de restos de poda e capina, importante pois evita que mais substratos sejam dispostos no aterro, reduzindo a produção de lixiviado gerando mais lodo.

Keywords: Solid Waste. Composting. Sanitary Landfill. Sludge. Leachate

Abstract

Seeking to reduce environmental liabilities, it is essential to develop effective treatment systems for urban solid waste. In this sense, this work seeks to design a composting system with physicochemical sludge and analyze the applicability of the generated compound, as an effective alternative for the substrate in question. The methodology was descriptive with field research and laboratory analysis. Data collection occurred through technical visits and interviews with the technical manager of the landfill and samples taken on site. That said, a proposal was drawn up for the disposal of the physical-chemical sludge from the Landfill through a composting system with substrates from the site arranged daily. In this context, it is possible to treat three thousand kilos of leachate sludge daily, using approximately 21 thousand kilos of pruning and weeding remains, which is important as it prevents more substrates from being disposed of in the landfill, reducing leachate production and generating more sludge.

1 INTRODUÇÃO

Teresina enfrenta um desafio ambiental devido à alta geração per capita de resíduos sólidos urbanos, apesar de ter uma das menores populações entre as do Nordeste, isso implica que a geração de chorume no aterro sanitário é alta, o que obriga formas de tratamento mais severas, como por exemplo o tratamento químico. O chorume pode conter altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos, representando um risco para a saúde pública e o meio ambiente (PAES, 2003). Portanto, é necessário tratar o lixiviado para reduzir seu potencial poluidor e evitar passivos ambientais graves.

Um dos substratos do tratamento químico é o lodo físico-químico, que pode conter metais pesados, compostos orgânicos e patógenos, em concentrações prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Nesse contexto, a compostagem é uma forma de tratamento adequada, conforme a política nacional de resíduos sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

A compostagem é um processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos, como resíduos de origem animal e vegetal, por meio da ação de microrganismos. Esse processo não requer a adição de componentes físicos ou químicos adicionais. (MONTEIRO, 2001). Além disso, a PNRS reconhece a compostagem como o tratamento ambientalmente adequado para resíduos, buscando evitar danos à saúde pública, garantir a segurança e minimizar os impactos ambientais adversos. Teresina. Diante disso, o objetivo do trabalho foi dimensionar um sistema de compostagem com o lodo proveniente do tratamento do lixiviado, estimando a quantidade gerada e analisando as possíveis aplicabilidades do substrato gerado no processo de modo que possa funcionar como alternativa para o tratamento do lodo gerado pelo tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Teresina – PI.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o trabalho verificou o dimensionamento de um sistema de compostagem do lodo físico-químico proveniente do tratamento do lixiviado a ser instalado no Aterro Sanitário de Teresina - PI. A pesquisa consistiu em coletar dados e amostras por meio de visitas ao aterro, entrevistas com responsáveis técnicos, análise de artigos relacionados ao saneamento e utilização dos resultados como base para o dimensionamento do sistema.

Na usina de compostagem dimensionada, deverão ser utilizados os resíduos sólidos orgânicos provenientes da limpeza urbana de Teresina, como podas de árvores e resíduos de capina, além do lodo físico-químico do tratamento do lixiviado do aterro sanitário. A escolha desses materiais se deu pela disponibilidade, facilidade de manejo e economia. Dados fornecidos pela CTA indicaram que, somente no mês de janeiro de 2023, mais de 12.000 toneladas de podas de árvores e capina foram coletadas na cidade. Através disso, esses resíduos foram utilizados juntamente com o lodo do lixiviado, visando estabelecer uma usina de compostagem eficiente, prática e de baixo custo.

2.1 Área de estudo

O local de estudo para implantação do referido sistema de compostagem dimensionado do lodo do lixiviado foi o Aterro Sanitário de Teresina. Localizado no bairro Angelim, região sul da zona urbana da cidade, capital do estado do Piauí, com latitude de 5°9'44,379" S e

2

longitude de 42°45'24,424" W. O local de coleta dos substratos será o próprio Aterro Sanitário, especificamente na estação de tratamento de efluentes, onde estão localizados os leitos de secagem de lodo.

2.2 Etapas da pesquisa

As etapas da pesquisa foram premeditadas com base no método de tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Teresina e ocorreram durante os meses de novembro de 2022 e março de 2023. A análise do lodo proveniente do sistema de tratamento físico-químico por meio do flutador de ar dissolvido, e a caracterização dos resíduos sólidos orgânicos que chegam ao Aterro são os aspectos centrais da metodologia. O processo de pesquisa foi dividido em quatro etapas majoritárias apresentadas na Figura 1:



Figura 1. Etapas da pesquisa.

2.2.1 Coleta de dados

A coleta de dados objetivou o levantamento e organização das etapas iniciais da metodologia executada. Inicialmente foram acionadas as autoridades responsáveis buscando as devidas autorizações para retirada das amostras no Aterro Sanitário de Teresina. Após isso, foram realizadas entrevistas com a responsável técnica do Aterro, coletando informações, dados e parâmetros referentes aos substratos analisados. As visitas de campo foram realizadas entre os meses de novembro e dezembro de 2022.

2.2.2 Quantificação do montante diário de lodo

Para a quantificação do montante de lodo gerado, utilizou-se a metodologia de Lopes Cabral et al (2016), baseada no modelo empírico para estações de tratamento de água que empregam sulfato de alumínio como coagulante. A fórmula usada é expressa na Equação 1:

$$ML = \frac{(k_1 D + SST)}{1000} * Q * t \quad (1)$$

Onde:

- ML: produção de sólidos (kg);
- D: dose de sulfato de alumínio (mg L^{-1});
- SST: concentração de sólidos suspensos totais (mg L^{-1});
- Q: vazão de lixiviado tratado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);
- t: período de acúmulo de lodo (h);
- k_1 : relação estequiométrica entre a dose de coagulante e a formação do precipitado de hidróxido (adimensional);

2.2.3 Caracterização dos substratos utilizados

Após a obtenção da autorização para retirada de amostras do material do aterro junto à entidade competente, foram realizadas as coletas das mesmas. Estas foram armazenadas e transportadas para os respectivos laboratórios, onde foram analisados os parâmetros necessários para dimensionar a usina de compostagem.

2.2.3.1 Coleta das amostras

Foram retiradas amostras de resíduos sólidos orgânicos de limpeza urbana, capina e poda, diretamente de um caminhão recém chegado ao aterro. A trituração da amostra consistiu em duas etapas. Inicialmente, as podas foram trituradas grosseiramente em uma forrageira industrial, armazenadas em uma bolsa térmica e levadas a um pulverizador para encontrar a granulometria ideal. Ademais, o lodo físico-químico foi retirado diretamente dos leitos de secagem. Utilizou-se pás de pequeno porte, luvas descartáveis e máscaras e foram extraídas pequenas quantidades de diferentes pontos do leito para que a amostra se tornasse mais significativa possível.

2.2.3.2 Análise das Amostras

Após retirada, coleta e tratamento das amostras, determinou-se os parâmetros físico-químicos através dos métodos analíticos apresentados na Figura 2. Os ensaios foram realizados em duplicata.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos analisados

Parâmetro	Unidade	Método	Referência
COT	mg/L	COL	APHA (2005)
NT	mg/L	FMN	CETESB (1999)
ST	mg/L	2540 D	APHA (2005)
SV	mg/L	2540 E	APHA (2005)
CT	mg/L	COLITAG	USEPA (2004)
CF	mg/L	COLITAG	USEPA (2004)
pH	-	4500-H-B	APHA (2005)

Legenda: COT = Carbono Orgânico Total, NT = Nitrogênio Total, ST = Sólidos Totais, SV = Sólidos Totais, CT = Coliformes Totais, CF = Coliformes Fecais.

2.2.4 Dimensionamento da usina de compostagem

Primeiramente, foi quantificada a massa de material vegetal necessário para suprir a demanda diária de lodo do lixiviado. Em seguida, foi dimensionado o pátio de compostagem conforme a demanda necessária e as dimensões da leira de compostagem.

2.2.4.1 Quantificação da massa vegetal

Foi utilizada a equação proposta por Corrêa et al., (2007) que possibilitou estimar o cálculo da relação em massa de material rico em carbono necessário para degradar todo o material rico em nitrogênio disponível. A quantidade dos substratos utilizados nas pilhas de

compostagem foi calculada visando-se obter uma relação C/N no intervalo entre 20 e 35/1, considerado ideal pelo MMA (2010), de acordo com a Equação 2 abaixo:

$$\text{Relação } \frac{C}{N} = \frac{(ML * \%CL) + (MPC * \%CPC)}{(ML * \%NL) + (MPC * \%NPC)} \quad (2)$$

Onde:

- ML: Massa de lodo;
- %CL: teor de carbono no lodo (% ou g/kg);
- MPC: Massa de poda e capina;
- %CPC: teor de carbono na poda e capina (% ou g/kg).
- %NL: teor de nitrogênio do lodo (% ou g/kg);
- %NPC teor de nitrogênio na poda e capina (% ou g/kg);

2.2.4.2 Dimensionamento do pátio de compostagem

A relação C/N adotada foi de 20/1 e a determinação da relação em massa entre os resíduos a serem utilizados nas leiras da usina de compostagem foi feita com base nos resultados das análises laboratoriais dos substratos selecionados.

2.2.4.3 Cálculo da área do pátio de compostagem

Admitiu-se que a seção da leira se aproxima de um triângulo e, conforme o MMA (2010), elas devem possuir no máximo dois metros de altura, haja visto que se forem muito altas a aeração dos resíduos que se encontram nas camadas mais próximas ao solo ficam comprometidas.

A área da seção da leira é representada pela Equação 3:

$$A_{\text{seção}} = \frac{b * h}{2} \quad (3)$$

Onde:

- $A_{\text{seção}}$: Área da seção da leira (m²)
- b: Largura da leira (m)
- h: Altura da leira (m)

Posteriormente, de posse do valor da densidade dos resíduos orgânicos, calculou-se o volume da leira de compostagem através da Equação 4:

$$V_{\text{leira}} = \frac{m}{d} \quad (4)$$

Onde:

- V_{leira} : Volume da leira (m³)
- m: Massa de resíduos a serem compostados por dia (kg)
- d: Densidade da leira (kg/m³)

Com os dados de volume e área da leira, determinou-se o seu comprimento através da Equação 5:

$$L_{\text{leira}} = \frac{V_{\text{leira}}}{A_{\text{seção}}} \quad (5)$$

Onde:

- L_{leira} : Comprimento da leira (m)
- V_{leira} : Volume da leira (m³)
- $A_{seção}$: Área da seção da leira (m²)

De posse das dimensões das leiras, foi possível calcular a área em planta ocupada individualmente através da Equação 6:

$$A_{leira} = b * L_{leira} \quad (6)$$

Onde:

- A_{leira} : Área ocupada por cada leira em planta (m²)
- b : Largura da leira (m)
- L_{leira} : Comprimento da leira (m)

O dimensionamento foi feito utilizando a metodologia proposta por Sousa et al. (2016), que visa reduzir a área total a partir da ideia de que cada leira pode ser realocada após sete dias, período em que é revolvida. Dessa forma, é possível otimizar a área disponível e garantir um processo de compostagem eficiente. Ademais, levando em conta o período de maturação de cada leira de 120 dias, foi determinado que cada uma deve ser revolvida 17 vezes ao longo do ciclo. Com base nessa informação, foi projetado um pátio em formato de matriz, dividido em trechos e setores de acordo com a quantidade de revolvimentos e os dias de formação das leiras. Logo, foi adotado um pátio retangular com 18 trechos e cinco setores, conforme a Figura 2:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
S1																		
S2																		
S3																		
S4																		
S5																		

Figura 2. Disposição das leiras de compostagem

Adicionou-se 40% de área às leiras por se tratar de um pátio com de médio/grande porte, considerando área de casa de ferramentas, passagem de máquinas e local de estocagem do adubo produzido, conforme Equação 7, onde ficam os materiais necessários para o revolvimento, formação e manutenção das mesmas, incluindo o triturador que será utilizado

$$A_{necessária} = 1,40 * A_{leira} \quad (7)$$

Onde:

- $A_{necessária}$ = Área necessária para cada leira (m²)
- A_{leira} = Área ocupada por cada leira em planta (m²)

$$A_{pátio} = 90 * A_{necessária} \quad (8)$$

Onde:

- $A_{\text{pátio}}$ = Área total do pátio (m²)
- $A_{\text{necessária}}$ = Área necessária para cada leira (m²)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados aspectos relevantes, como fatores que impactam o processo e possíveis resultados ao final do ciclo. Além disso, foram examinadas as possíveis utilidades do biossólido e suas futuras aplicações.

3.1 Quantificação da geração de lodo

Para a quantificação do montante diário de lodo foram utilizadas informações coletadas juntamente à administração do aterro sanitário, além de fontes bibliográficas. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros utilizados no dimensionamento:

Tabela 2. Parâmetros utilizados no dimensionamento

Parâmetro	Unidade	Valor Utilizado
<i>D</i>	mg/L	6500
<i>SST</i>	mg/L	4445
<i>Q</i>	m ³ /h	25,00
<i>t</i>	h	1
<i>k1</i>	-	0,25

Legenda: D=Concentração de coagulante; SST= Concentração de Sólidos Totais; Q= Vazão; t= Tempo; K1= Constante Estequiométrica. Adaptado de Noronha, 2022.

Constatou-se que a produção diária do flotador de ar dissolvido é de aproximadamente 3.700,00 kg de lodo.

3.2 Caracterização dos substratos

As amostras vegetal (Tabela 3) e de lodo (Tabela 4) apresentaram os seguintes valores médios para os parâmetros analisados:

Tabela 3. Parâmetros de caracterização da amostra vegetal

Poda/Capina		
Parâmetro	Unidade	Valor Obtido
COT	g/kg	349,02
NT	g/kg	16,52
ST	mg/L	33,93
SV	mg/L	15,01
Relação C/N	-	21,1

Legenda: COT = Carbono Orgânico Total, NT = Nitrogênio Total, ST = Sólidos Totais, SV = Sólidos Voláteis.

Tabela 4. Parâmetros de caracterização da amostra de lodo

7

Lodo do lixiviado		
Parâmetro	Unidade	Valor Obtido
COT	g/kg	117,57
NT	g/kg	11,34
ST	mg/L	32,65
SV	mg/L	4,37
CF	NMP/5mL	5,07E+02
CT	NMP/10000mL	3,45E+06
pH	-	7,41
Relação C/N	-	10,40

Legenda: COT = Carbono Orgânico Total, NT = Nitrogênio Total, ST = Sólidos Totais, SV = Sólidos Totais, CT = Coliformes Totais, CF = Coliformes Fecais; pH= Potencial Hidrogeniônico.

As perdas de N por volatilização podem ocorrer quando o lodo do lixiviado é armazenado por longos períodos. Por ser um gás em condições normais de temperatura e pressão atmosférica, a amônia presente pode volatilizar para a atmosfera e reagir rapidamente com prótons, metais e compostos ácidos para formar íons ou compostos que variam em estabilidade (BASSO et al., 2004).

3.3 Dimensionamento do sistema de compostagem

Obtidos os parâmetros de entrada conforme os resultados da caracterização tanto do lodo físico-química do Aterro Sanitário quanto dos restos de poda e capina utilizou-se esses valores na proporção em massa de material rico em carbono estipulando-se a relação C/N de 20/1 e chegou-se à relação em massa entre os dois resíduos que deve ser utilizada para a confecção das leiras da usina de compostagem. A mistura a ser compostada contém 3642,00kg de lodo e 21374,70kg de massa vegetal (resíduos de podas de árvore e capina).

Dessa forma, são necessárias 5,87 partes de carbono (poda/capina) para 01 parte de lodo do lixiviado. Como resultado, devem ser adicionados 21374,70 kg de resíduos de amostra vegetal para a produção diária de 3642,00 kg de lodo de lixiviado. Esse montante é suficiente para garantir que todo o lodo produzido diariamente seja destinado exclusivamente para compostagem, prevendo que cada leira possuirá 25016,70 kg. Ainda conforme o MMA (2010), considerou-se a massa específica da mistura orgânica com o valor de 550 kg/m³. As dimensões das leiras e a área do pátio de compostagem são mostradas nas tabelas 5 e 6 respectivamente:

Tabela 5. Resultados das medidas de cada leira

Descrição	Unidade	Valor Obtido
Área da seção da leira	m ²	1,875
Volume da leira	m ³	45,480
Comprimento da leira	m	24,260
Área ocupada por cada leira	m ²	60,650

Tabela 6. Áreas do pátio de compostagem

Descrição	Unidade	Valor Obtido
Área de ocupação da leira	m ²	60,65
Área necessária	m ²	84,90
Área do pátio de copostagem	m ²	7641,46

O aterro ocupa uma extensão de 50 hectares, sendo que a porção reservada para a compostagem abrange cerca de 1,4% do total. Esse tamanho é adequado para as dimensões do aterro, viabilizando a realização do processo de compostagem.

3.4 Análise da aplicabilidade do biossólido gerado

Vale ressaltar que não houve a análise de metais pesados presentes na amostra recolhida. Outrossim, é relevante citar que, como o tratamento do flotador de ar dissolvido utiliza o sulfato de alumínio como agente coagulante, logo o lodo em questão também tem a possibilidade de ser enquadrado como classe B segundo a Resolução nº 375 (CONAMA, 2006), valendo realizar análises futuras para embasar essa possibilidade. Diante disso, não é possível afirmar se é possível utilizar o substrato da compostagem do lodo do lixiviado em horticulturas e árvores frutíferas, limitando seu uso a cultivos ornamentais.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou ser possível utilizar a compostagem como alternativa para destinação do lodo. A produção diária do flotador de ar dissolvido é de 3642 kg de lodo, tornando evidente a enorme quantidade de material que é depositado nos leitos de secagem. Diante disso, faz-se necessário implementar uma política de gerenciamento de resíduos mais eficiente, em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Constatou-se também a necessidade de misturar o lodo com o material vegetal proveniente de poda e capina devido à caracterização feita em laboratório, que representa parcela significativa de resíduos destinados ao aterro: em média 413 toneladas. Dado o grande volume que chega, a demanda requerida para mistura ao lodo é facilmente atendida. As leiras de compostagem dimensionadas ocupariam um volume diário de 45,48 m³, contendo 25016,70 kg de resíduos: 3642,00 kg de lodo do lixiviado e 21374,70 kg de resíduos de poda e capina. De acordo com a metodologia proposta no estudo, o pátio de compostagem tem capacidade para 90 leiras simultâneas, e a área total utilizada seria de aproximadamente 0,7 hectares, representando 1,4% da área total do aterro. Os valores obtidos mostram que o volume de lixiviado tratado é elevada, e conseqüentemente mais lodo é gerado, ou seja, é de suma importância que um sistema de tratamento alternativo seja implementado buscando suprimir ainda mais os passivos ambientais gerados nesse processo. Além disso, com a compostagem é possível reduzir consideravelmente o volume de material disposto no aterro, bem como gerar um composto com valor econômico.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Basso, C. J.; Ceretta, C. A.; Pavinato, P. S.; Silveira, M. J. (2004). Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. *Ciência Rural*, v. 34, n. 6, p. 1773–1778.

Brasil. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010) Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm.

Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Resolução nº 375, 29 de agosto de 2006. Ministério do Meio Ambiente. Seção 1, p. 2, 2006.

Corrêa, R. S.; Fonseca, Y. M. F.; Corrêa, A. S. (2007) Produção de biossólido 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.

Noronha, J. C. C. (2022). Influência da concentração do coagulante e da areação no tratamento do lixiviado do aterro sanitário. Universidade Federal do Piauí (UFPI). Piauí, Brasil.

Ministério Do Meio Ambiente. Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos. Brasília, DF, outubro, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf>.

Monteiro, J.R.P. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

Paes, Roberta Falcão de Cerqueira. Caracterização do chorume produzido no aterro da Muribeca – PE. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, PB, 2003.

Sousa, D. T.; Junior, A. F. S.; Santos, M. S. F.; Simoes, A. S. (2016). Proposta de tratamento de resíduo orgânico por meio da compostagem – Estudo de caso no restaurante universitário da Universidade Federal do Piauí. In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 36, João Pessoa. Anais...João Pessoa.