



## **203 - DIMENSIONAMENTO DE USINA DE COMPOSTAGEM UTILIZANDO LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E COMPOSTOS ORGÂNICOS PROVENIENTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**

**Lucas Marques Soares Silva<sup>(1)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil - UFPI.

**Danilo Prado Pires<sup>(2)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil – UFPI; Especialização em Engenharia em Saneamento Básico e Ambiental – INBEC; Mestrado em Engenharia Civil em Saneamento e Ambiente – UNICAMP.

**Carlos Henrique da Costa Brauna<sup>(3)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil – UFPI; Mestrado em Engenharia Civil em Saneamento Ambiental – UFC; Doutorado em Engenharia Civil em Saneamento Ambiental – UFC; Professor Efetivo do Curso de Engenharia Civil – UFPI.

**Pedro Alves de Oliveira Júnior<sup>(4)</sup>**

Graduado em Economia – PUC/SP; Pós-graduação em Marketing – ESPM/SP; Extensão Insead Fontainebleu – França; Gestão ambiental – VEIGA DE ALMEIDA/RJ; Gerente de sustentabilidade – Águas de Teresina/PI.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Universitária, s/n - Ininga - Teresina - Piauí - CEP: 64049-550 - Brasil - Tel: +55 (86) 99966-4886 - e-mail: [lucas\\_marques3@hotmail.com](mailto:lucas_marques3@hotmail.com)

### **RESUMO**

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um problema que tem se tornado muito relevante no Brasil. Dentre os tipos de RSU podemos destacar os resíduos sólidos orgânicos (RSO) que abrangem restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas podendo ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, e outras), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras (BRASIL, 2017). Dentre os RSO existentes é possível se destacar os lodos de esgoto, que são subprodutos provenientes das estações de tratamento de esgoto (ETEs) durante sua operação. Uma alternativa para o tratamento desse resíduo em questão é a compostagem que é uma forma de tratamento biológica de resíduos sólidos orgânicos na presença de oxigênio. Este trabalho teve como objetivo o dimensionamento de uma usina de compostagem que utiliza lodos de estação de tratamento de esgoto e compostos orgânicos provenientes da Universidade Federal do Piauí.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Resíduos Sólidos Orgânicos, Compostagem.

### **INTRODUÇÃO**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010, estabelece em seu artigo 9º que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2014), qualquer que seja a opção de tratamento escolhida para os dejetos ao final do processo ocorre a geração de efluente tratado e de resíduos sólidos orgânicos, que são os chamados lodos.

A compostagem se apresenta como alternativa biológica de digestão aeróbia dos resíduos sólidos orgânicos, sendo um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido (KIEHL,2004).

O resultado da compostagem é um produto suficientemente estabilizado que pode ser considerado como um enriquecedor do solo, podendo ser aplicado para melhorar as suas características, sem que haja uma

contaminação do meio ambiente (MEIRA, et al., 2003). Além disso, a compostagem evita a saturação da área de disposição final dos resíduos, contribui para a atenuação da concentração da carga orgânica no lixiviado gerado e redução na emissão dos gases de efeito estufa para a atmosfera (GOMES et al., 2015).

Em 2014 a ETE Leste de Teresina recebia 45 caminhões de 7.000l com dejetos provenientes de fossas sépticas por dia totalizando de 315.000l/dia (PMSB, 2016). O conteúdo desses caminhões é despejado diretamente nos mecanismos de tratamentos da ETE Leste juntamente com o esgoto proveniente do sistema de coleta de esgoto. Todo esse composto é tratado em conjunto e ao final ocorre a geração de resíduos sólidos orgânicos (lodos) e efluente tratado.

Concomitantemente à essa realidade, o Campus Ministro Petrônio Portella da Universidade Federal do Piauí produz resíduos sólidos orgânicos, tais como podas e varrições de árvores, que podem ser aproveitados em pátios de compostagem. O trabalho em questão tem como objetivo propor a implantação de uma usina de compostagem no que utilize como substrato tanto lodos provenientes da ETE Leste, quanto os resíduos sólidos orgânicos gerados no campus da UFPI.

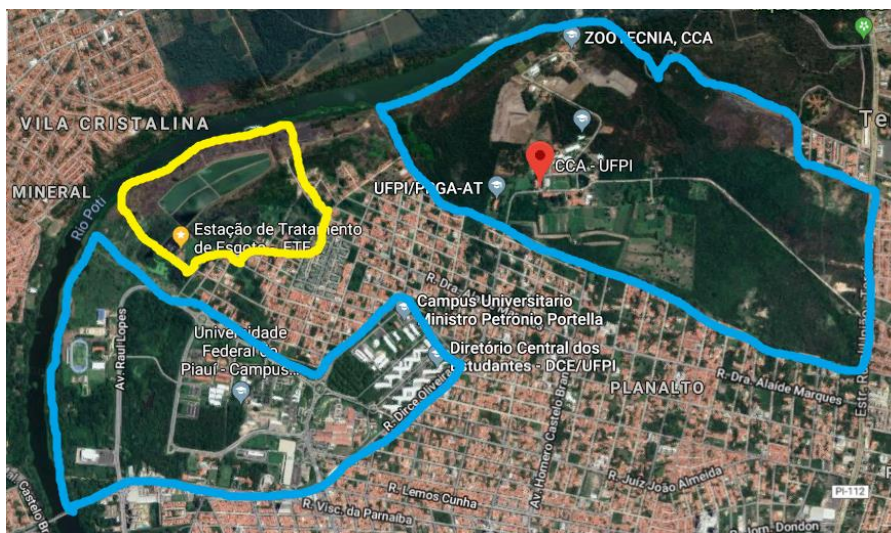
## OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo caracterizar e quantificar lodos provenientes da ETE Leste da cidade de Teresina, Piauí, bem como resíduos arbóreos gerados na Universidade Federal do Piauí e dimensionar usina de compostagem utilizando como substrato esses resíduos.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A usina de compostagem utilizou como substratos tanto resíduos sólidos orgânicos produzidos na própria Universidade Federal do Piauí que foram as varrições de árvores, quanto resíduos provenientes da ETE Leste que são os lodos resultantes do tratamento de esgoto.

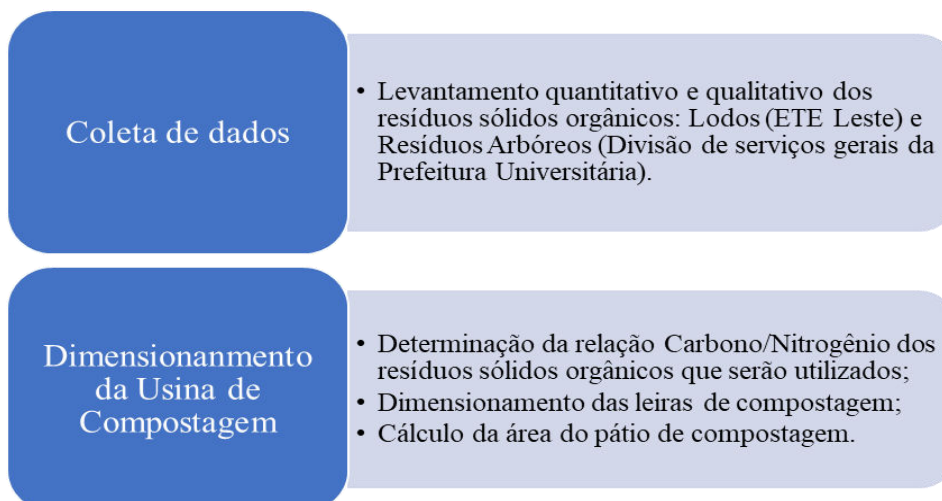
O local de implantação da usina de compostagem proposta nesse trabalho foi o campus Ministro Petrônio Portella da UFPI. E os locais de coleta de resíduos foram o próprio campus (centros de ensino, Hospital Universitário e Residência Universitária) e a ETE Leste (lagoa de onde retirado o lodo) como é visto na Figura 1. Ambos estão localizados no Bairro Ininga, na zona urbana da cidade de Teresina, capital do estado do Piauí. O referido campus apresenta uma latitude de 5°03'31.3"S e longitude de 42°47'53.0"W. Já a ETE Leste apresenta latitude de 5°03'4.06"S e longitude de 42°48'5.20"W.



**Figura 1: Localização geográfica das áreas de estudo**

Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019.

Na Figura 2 estão descritas as etapas da pesquisa:



**Figura 2: Etapas da pesquisa**

Fonte: Autor, 2018.

Os dados referentes às quantidades e às características dos resíduos orgânicos gerados tanto no Campus Ministro Petrônio Portella da UFPI quanto na ETE Leste foram levantados em visitas de campo realizadas durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2018. Foram colhidas amostras para análise em laboratório com o intuito de qualificar quimicamente os resíduos disponíveis e dimensionar a usina de compostagem proposta no trabalho.

O lodo em questão é o composto rico em Nitrogênio para alimentar as leiras de compostagem, além disso, servirá como material fornecedor de organismos adaptados à compostagem, possibilitando a ocorrência da mesma. Foi optado por se trabalhar com o lodo retirado da primeira lagoa da estação de tratamento, pois se trata de uma lagoa aerada que gera maior quantidade de lodo e encontra-se atualmente bastante colmatada, com a sua profundidade reduzida. A lagoa em questão encontra-se destacada na Figura 3.



**Figura 3: Lagoa aerada**

Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019.

O levantamento da quantidade de lodo disponível para ser utilizado na usina de compostagem levou em conta tanto a produção diária da lagoa, quanto a quantidade de lodo existente ao fundo da mesma. Para se chegar a quantidade de lodo gerados diariamente na lagoa aerada da ETE Leste, partiu-se das dimensões e das características da lagoa em questão. Segundo dados internos da ETE Leste as características da lagoa são as mostradas na Tabela 1.



**Tabela 1: Características da lagoa aerada**

Característica da lagoa	Valor	Unidade
<b>Comprimento (C)</b>	160	m
<b>Largura (L)</b>	70	m
<b>Profundidade (H)</b>	2,8	m
<b>Q<sub>média</sub></b>	11.500	m <sup>3</sup> /dia
<b>DQO<sub>afluente</sub></b>	662	mg/L

Fonte: Autor, 2018.

Posteriormente, foram aplicadas as fórmulas propostas por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2014) que relacionam a DQO que entra no sistema com produção diária de lodo. Foi encontrada, assim, a quantidade de lodos produzidos diariamente pela lagoa.

$$\text{Carga de DQO} = Q_{\text{média}} \times \text{DQO}_{\text{afluente}} \quad \text{equação (1)}$$

onde:

**Carga de DQO** - Carga de DQO a ser tratada na lagoa (kgDQO/dia)

**Q<sub>média</sub>** - Vazão média (m<sup>3</sup>/dia)

**DQO<sub>afluente</sub>** - Medida de DQO do esgoto que entra na lagoa (kgDQO/m<sup>3</sup>)

$$\text{Produção de lodo} = Y \times \text{Carga de DQO} \quad \text{equação (2)}$$

onde:

**Produção de lodo** - Produção diária de lodo (kgSS/dia)

**Y** - Coeficiente de produção de sólidos secos (kgSS/kgDQO)

**Carga de DQO** - Carga de DQO que a ser tratada na lagoa (kgDQO/dia)

Retirou-se o valor da produção diária de sólidos secos (Y) da Tabela 2.

**Tabela 2: Produção diária de lodo**

Sistema	Coeficiente de produção de sólidos secos (kgSS/kgDQO)	Teor de sólidos secos (%)
<b>Lagoa aerada facultativa</b>	0,08-0,13	6-10

Fonte: Adaptado de ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES, 2014.

Optou-se por utilizar a média entre os valores extremos indicados por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2014) na Tabela 2. Então o coeficiente de produção de sólidos secos (Y) adotado foi de 0,105 kgSS/kgDQO.

Chegou-se à quantidade de lodo acumulado ao fundo da lagoa utilizando-se o bote disponível na ETE Leste juntamente com uma régua para medir a profundidade atual da lagoa em questão e, a partir disso, foi possível o cálculo da quantidade de lodo acumulada ao fundo. De posse da medida da profundidade atual da lagoa e das medidas de projeto da mesma foi possível estimar a quantidade de lodo que se encontra depositado ao fundo da lagoa. Através da equação 3 chegou-se à altura de lodo acumulado na lagoa, utilizou-se esse valor para se chegar ao volume de lodo acumulado através da equação 4.

$$H_{\text{acumulada}} = h_{\text{original}} - h_{\text{atual}} \quad \text{equação (3)}$$

onde:

**H<sub>acumulada</sub>** – Altura de lodo acumulado (m)

**h<sub>original</sub>** – Profundidade original da lagoa (m)

**h<sub>atual</sub>** – Profundidade atual da lagoa (m)



$$V = H_{\text{acumulada}} \times L \times C$$

equação (4)

onde:

**V** - Volume de lodo acumulado na lagoa (m<sup>3</sup>)

**H<sub>acumulada</sub>** – Altura de lodo acumulado (m)

**L** – Largura da lagoa (m)

**C** – Comprimento da lagoa (m)

Através da equação 5 se chegou à massa de lodo acumulada ao fundo da lagoa e utilizou-se a Equação 6 para chegar a quantidade de sólidos secos que está acumulada ao fundo da lagoa.

$$M = V \times d$$

equação (5)

onde:

**M** – Massa de lodo acumulada na lagoa (m)

**V** - Volume de lodo acumulado na lagoa (m<sup>3</sup>)

**d** – Massa específica do lodo (kg/m<sup>3</sup>)

O valor da massa específica do lodo utilizada para cálculo foi de 1015 kg/m<sup>3</sup>, valor médio proposto por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2014) para secundário aeróbio.

$$\text{Massa de sólidos secos acumulada} = M \times T$$

equação (6)

onde:

**M** – Massa de lodo acumulada na lagoa (m)

**T** – Teor de sólidos secos (%)

Segundo a Tabela 2 a quantidade de sólidos secos nesse lodo é de 6% a 10%. Foi utilizada a média, que corresponde a 8% para se calcular a massa acumulada de sólidos secos.

A partir do valor da massa de lodo acumulada ao fundo da lagoa e do posterior dimensionamento da usina de compostagem, foi calculado se seria possível a limpeza da lagoa utilizando apenas a usina de compostagem em questão e, se possível, em quanto tempo seria feita essa limpeza.

A composição do lodo existente na lagoa aerada da ETE Leste foi obtido através da coleta de amostras que foram encaminhadas ao laboratório Pure Águas, localizado em Teresina, Piauí. Os testes foram realizados durante o mês de novembro de 2018. Foram realizados os testes de Carbono Orgânico Total (COT) e de Nitrogênio Total (NT) utilizando o método descrito na norma DIN 38 414 4 que está em consonância com o *Standart Methods for the examination of water and wastewater 20th edition* (APHA, 1998). Assim, foi possível se obter a relação C/N no lodo que foi utilizada no dimensionamento da usina de compostagem.

Com o intuito de se obter uma medida mais fiel acerca da composição do lodo, foram coletadas três amostras cada uma com 1 litro de lodo da lagoa aerada da ETE Leste para que fosse feita a análise em laboratório. Optou-se por utilizar o valor médio das porcentagens de carbono e de nitrogênio obtidos na análise das três amostras para o dimensionamento da usina de compostagem. Cada amostra foi colhida em um ponto da lagoa para que se obtivesse uma região de amostragem maior, tendo assim uma caracterização mais fiel do lodo existente.

Os materiais ricos em Carbono que serão utilizados para o dimensionamento da usina de compostagem proposta foram as varrições e podas de árvores do Campus Ministro Petrônio Portella da UFPI. Acerca desses materiais levantou-se: os órgãos responsáveis pela coleta, tipos de resíduos coletados, quantidade de resíduos coletados, frequência de coleta e destinação final dos resíduos coletados. Com estas informações obtidas, foi possível estabelecer qual a quantidade de material que pode ser reaproveitada para utilização nas leiras de compostagem.

Com relação a composição qualitativa dos materiais ricos em carbono também foram coletadas amostras para a análise em laboratório. Os funcionários do setor de serviços de gerais da UFPI coletaram 3 amostras, cada uma

com 1,5 kg de varrições de árvores. A amostra 1 foi coletada no Centro de Ciências de Saúde (CCS), a amostra 2 foi coletada no Centro de Ciências da Natureza (CCN) e a amostra 3 foi coletada no Centro de Ciências Humanas e Letras (CCHL), a Figura 4 ilustra as amostras coletadas. Optou-se por coletar as amostras em pontos diferentes do campus para se ter uma área de amostragem maior.



**Figura 4: Amostras coletadas**

Fonte: Autor, 2018.

Posteriormente as amostras foram encaminhadas ao laboratório Pure Águas, localizado em Teresina, Piauí. Tal qual aconteceu com os lodos provenientes da ETE Leste foram realizados os testes de Carbono Orgânico Total (COT) e de Nitrogênio Total (NT) utilizando o método descrito na norma DIN 38 414 4 que está em consonância com o *Standart Methods for the examination of water and wastewater 20th edition* (APHA, 1998). De posse dos resultados, fez-se média dos parâmetros analisados para se chegar a um valor que poderia ser utilizado no dimensionamento das leiras de compostagem. Os testes ocorreram durante o mês de novembro de 2018.

Partiu-se da quantidade e da caracterização dos resíduos sólidos orgânicos gerados no Campus Ministro Petrônio Portella na UFPI e na ETE Leste para se realizar o dimensionamento da usina de compostagem. Baseando-se na metodologia proposta por Meira et al. (2003) foi adotada a relação C/N inicial na leira de compostagem de 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio, a justificativa para a adoção dessa relação é que ela é a que mais se aproxima da proporção em que os microrganismos envolvidos no processo de compostagem absorvem os nutrientes em questão. Utilizou-se a equação 7 para se calcular a quantidade necessária de cada resíduo orgânico.

$$PMRC = \frac{MRN}{MRC} = \frac{30 \times \%nitrogênio - \%carbono}{\%carbono - 30 \times \%nitrogênio} \quad \text{equação (7)}$$

onde:

**PMRC** - Proporção em massa de material rico em carbono;

**MRN** - Dados do material rico em nitrogênio;

**MRC** - Dados do Material rico em carbono;

**%nitrogênio** - Teor de nitrogênio do material (% ou g/kg);

**%carbono** - Teor de carbono do material (% ou g/kg).

O dimensionamento das leiras foi realizado seguindo a metodologia do Manual de Compostagem do MMA (2010). Optou-se pelo sistema de leiras revolvidas, em face da sua simplicidade e baixo custo de operação e instalação. Nesse sistema, as leiras devem ser dispostas em pátio impermeabilizado, o revolvimento deve ocorrer manualmente ou mecanicamente de forma periódica e o tempo de maturação do composto é de 120 dias.

De posse das quantidades de cada insumo que foram levantadas foi determinada a área que será ocupada por cada leira. A partir da quantidade de leiras e da área ocupada para por cada uma, foi calculada a área total do pátio de compostagem.

Segundo o Manual de Compostagem, as leiras devem possuir no máximo dois metros de altura, uma vez que se forem muito altas a aeração dos resíduos que estão nas camadas mais próximas ao solo fica comprometida.

Admite-se que a seção da leira se aproxima de um triângulo possuindo 1,2 metros de altura e 2 metros de largura, assim, sua área é representada pela equação 8.

$$A_{\text{seção}} = \frac{b \times h}{2} \quad \text{equação (8)}$$

onde:

$A_{\text{seção}}$  – Área da seção da leira (m<sup>2</sup>)

$b$  – Largura da leira (m)

$h$  – Altura da leira (m)

Posteriormente, de posse do valor da massa específica dos resíduos orgânicos, adotada pelo Manual de Compostagem como 550 kg/m<sup>3</sup> foi calculado o volume da leira de compostagem através da equação 9.

$$V_{\text{leira}} = \frac{m}{d} \quad \text{equação (9)}$$

onde:

$V_{\text{leira}}$  – Volume da leira (m<sup>3</sup>)

$m$  – Massa de resíduos a ser compostada por dia (kg)

$d$  – Massa específica dos resíduos da leira (kg/m<sup>3</sup>)

Partindo-se dos dados de volume a área da leira, foi calculado o seu comprimento através da equação 10, e a leira ficará com o formato mostrado na Figura 5.

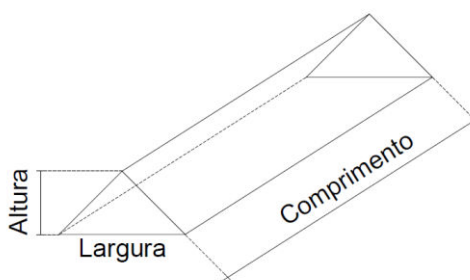
$$L_{\text{leira}} = \frac{V_{\text{leira}}}{A_{\text{seção}}} \quad \text{equação (10)}$$

onde:

$L_{\text{leira}}$  - Comprimento da leira (m)

$V_{\text{leira}}$  – Volume da leira (m<sup>3</sup>)

$A_{\text{seção}}$  – Área da seção da leira (m<sup>2</sup>)



**Figura 5: Esquema de leira de compostagem**

Fonte: Autor (2018).

De posse das dimensões das leiras, foi possível calcular a área em planta ocupada por cada leira através da equação 11.

$$A_{\text{leira}} = b \times L_{\text{leira}} \quad \text{equação (11)}$$

onde:

$A_{\text{leira}}$  - Área ocupada por cada leira em planta (m<sup>2</sup>)

$b$  - Largura da leira (m)

$L_{\text{leira}}$  - Comprimento da leira (m)



Após ser obtida a área em planta ocupada por cada leira, foi calculada a área necessária por cada leira no pátio de compostagem. Calculou-se a área do pátio de compostagem de duas maneiras, os resultados foram comparados e utilizou-se a maneira em que fosse ocupada uma menor área.

Na primeira maneira, indicada pelo MMA, considerou-se que o pátio deve prever para cada leira além de uma área ocupada por seu volume uma área de igual valor para permitir seu reviramento, e uma área de 10% da área ocupada pelo volume da leira que será dedicada para circulação com segurança. Dessa forma, a área necessária para cada leira considerando a área de reviramento e a para área de circulação é dada pela equação 12.

$$A_{\text{necessária}} = 2,10 \times A_{\text{leira}} \quad \text{equação (12)}$$

onde:

$A_{\text{necessária}}$  - Área necessária no pátio para cada leira (m<sup>2</sup>)

$A_{\text{leira}}$  - Área ocupada por cada leira em planta (m<sup>2</sup>)

Ao considerar o tempo de maturação de cada leira de 120 dias e que o volume de cada leira corresponda à quantidade de resíduos orgânicos a serem compostados por dia, o pátio de compostagem deverá comportar pelo menos 120 leiras simultaneamente. Assim, foi calculada a área do pátio através da equação 13.

$$A_{\text{pátio}} = 120 \times A_{\text{necessária}} \quad \text{equação (13)}$$

onde:

$A_{\text{pátio}}$  - Área total do pátio (m<sup>2</sup>)

$A_{\text{necessária}}$  - Área necessária no pátio para cada leira (m<sup>2</sup>)

A segunda forma de cálculo da área do pátio de compostagem segue a metodologia desenvolvida por Sousa et al. (2016). Essa metodologia mostra que é possível se reduzir a área de um pátio de compostagem através da consideração de que a área ocupada por uma leira pode ser ocupada por outra leira após 7 dias que é o tempo em que cada leira deve ser revirada.

Tendo em vista que o tempo de maturação para cada leira é de 120 dias, e que cada leira tem que ser revirada uma vez a cada 7 dias, então, conclui-se que cada leira será revirada 17 vezes. Considerando que as leiras são formadas de segunda a sexta-feira, é possível dividir o pátio de compostagem em 18 colunas, que correspondem aos dias que a leira fica estática somados aos 17 reviramentos que ela tem que sofrer e 5 linhas formando uma matriz, conforme ilustrado na Figura 6.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18
M1																		
M2																		
M3																		
M4																		
M5																		

**Figura 6: Divisão do pátio de compostagem em forma de matriz**

Fonte: Autor (2018).

Ao final de cada dia útil (de segunda a sexta-feira), uma célula da coluna N1 terá sido ocupado pela formação de uma leira. Assim, ao final do primeiro dia, apenas a célula M1N1 estará ocupada pela leira L1 e ao final da primeira semana, todas as 5 células da coluna N1 estarão ocupadas, conforme mostra a Figura 7.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18
M1	L1																	
M2	L2																	
M3	L3																	
M4	L4																	
M5	L5																	

**Figura 7: Disposição do pátio ao final da primeira semana**

Fonte: Autor (2018).



Passados os 120 dias de maturação dos compostos, configuração do pátio será como mostrada na Figura 8.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18
M1	L86	L81	L76	L71	L66	L61	L56	L51	L46	L41	L36	L31	L26	L21	L16	L11	L6	L1
M2	L87	L82	L77	L72	L67	L62	L57	L52	L47	L42	L37	L32	L27	L22	L17	L12	L7	L2
M3	L88	L83	L78	L73	L68	L63	L58	L53	L48	L43	L38	L33	L28	L23	L18	L13	L8	L3
M4	L89	L84	L79	L74	L69	L64	L59	L54	L49	L44	L39	L34	L29	L24	L19	L14	L9	L4
M5	L90	L85	L80	L75	L70	L65	L60	L55	L50	L45	L40	L35	L30	L25	L20	L15	L10	L5

**Figura 8: Disposição do pátio ao fim de 120 dias**

Fonte: Autor (2018).

Ao fim de 120 dias, os compostos que estão na coluna N18 poderão ser coletados e entrarão simultaneamente compostos novos no sistema. As leiras vão mudando de posição no pátio, então não é preciso duplicar a área ocupada por elas, pois área de reviramento é a célula seguinte da matriz. Assim, se adiciona à área das leiras um valor de 10% em relação à sua área para permitir circulação e manutenção, como mostra a equação 14.

$$A_{\text{necessária}} = 1,10 \times A_{\text{leira}} \quad \text{equação (14)}$$

onde:

$A_{\text{necessária}}$  - Área necessária no pátio para cada leira (m<sup>2</sup>)

$A_{\text{leira}}$  - Área ocupada por cada leira em planta (m<sup>2</sup>)

Constata-se que são necessárias 90 leiras simultâneas no pátio. Dessa forma, chegou-se a nova maneira de cálculo do pátio de compostagem mostrada na equação 15.

$$A_{\text{pátio}} = 90 \times A_{\text{leira}} \quad \text{equação (15)}$$

onde:

$A_{\text{pátio}}$  - Área total do pátio (m<sup>2</sup>)

$A_{\text{necessária}}$  - Área necessária no pátio para cada leira (m<sup>2</sup>)

As duas maneiras de cálculo de área de pátio de compostagem foram comparadas e optou-se pela metodologia que forneceu a menor área.

Após o dimensionamento, foi estimada a quantidade de composto orgânico gerada pelo sistema. O rendimento da compostagem se situa entre 1/2 e 1/3 do volume inicial da leira, esse rendimento é influenciado pelos materiais envolvidos no processo bem como pelo teor de umidade (Oliveira, Sartori e Garcez, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos lodos produzidos na lagoa aerada da ETE Leste, constatou-se que eles se depositam ao fundo da lagoa em questão e lá são deixados. Uma pequena quantidade de lodo sobrenadante é retirada de forma manual e colocada para secar em leitos de secagem ao ar livre, após isso o lodo é destinado a um aterro sanitário existente na cidade de Água Branca, Piauí. A coleta e destinação final do lodo são feitas por uma empresa terceirizada. No entanto, já foram realizados procedimentos de dragagem anteriormente na lagoa.

Constatou-se que os resíduos arbóreos são coletados através de ações de dois entes. As varrições de árvores, que são as folhagens, frutos que caem ao chão e restos de capina em geral, são coletados pela própria Divisão de Serviços Gerais do Campus, visando manter a limpeza interna. Já as podas de árvores, que são galhos das árvores que precisam ser cortados anualmente visando a segurança da rede elétrica do campus, são coletadas por empresas terceirizadas.

Quanto à destinação dos resíduos arbóreos, verificou-se que eles após a coleta, eles são depositados em caminhões e posteriormente são dispostos em um terreno localizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA) onde não existe nenhuma estrutura de impermeabilização e proteção do terreno nem de coleta e tratamento do lixiviado gerado por esses resíduos orgânicos. Uma pequena parte desses resíduos é utilizada em experimentos realizados em aulas práticas que ocorrem nos cursos ministrados no CCA e no Colégio Técnico de Teresina (CTT).

Através de levantamento interno constatou-se que a flora do campus Ministro Petrônio Portella da UFPI é composta por aproximadamente 60% de mangueiras, 30% de jambeiros e 10% de plantas diversas, como gramíneas, castanhas da praia, oitis, ipês, angicos, cajazeiras e outras.

Através da aplicação das Equações 1 e 2, chegou-se nos resultados mostrados na Tabela 3 que mostram a produção diária de lodo da lagoa. Constata-se, então, que a produção diária da lagoa é de aproximadamente 800,00 kg de lodo.

**Tabela 3: Quantidade de lodos produzidos diariamente**

Descrição	Unidade	Valor Obtido
Carga de DQO	Kg/dia	7.613
Produção de lodo	Kg/dia	799,37

Fonte: Autor (2018).

A profundidade atual da lagoa foi medida e encontrou-se o valor de 1,89 m. A partir desse valor, das medidas da lagoa e das Equações 3 a 6 se chegou a quantidade de lodo acumulado, conforme mostra a Tabela 4.

**Tabela 4: Quantidade de lodos acumulados na lagoa**

Descrição	Unidade	Valor Obtido
Profundidade atual da lagoa	m	1,89
Altura de lodo acumulado	m	0,91
Volume de lodo acumulado	m <sup>3</sup>	10.192
Massa de lodo acumulada	kg	10.344.880
Massa de sólidos secos acumulada	kg	827.590

Fonte: Autor (2018).

Então, a partir dos dados da Tabela 4 obtém-se a quantidade de lodo que a usina proposta tem disponível para consumir além da produção diária.

Para o levantamento quantitativo dos resíduos orgânicos provenientes da UFPI passíveis de serem utilizados na usina de compostagem em questão, considerou-se apenas as varrições de árvores, tendo em vista que elas são coletadas diariamente, enquanto que as podas de árvores são realizadas apenas no período do início do ano e em ações pontuais, assim, não é possível contar constantemente com os resíduos provenientes das podas. Segundo levantamento do responsável pela Divisão de Serviços Gerais da UFPI são coletados por dia três carradas de varrições por dia, o que equivale a cerca de 5000 kg de resíduos coletados diariamente no campus.

A Tabela 5 mostra a quantidade de COT e NT, bem como a relação C/N de cada amostra de lodo que foi coletada na ETE Leste. Além disso, está mostrada a composição média do lodo em questão, que foi o valor utilizado para o dimensionamento das leiras de compostagem.

**Tabela 5: Composição dos lodos da lagoa**

Amostra	COT (g/kg)	NT (g/kg)	Relação C/N
<b>Amostra 1 – Entrada da lagoa</b>	387,5	96,5	4,02
<b>Amostra 2 – Meio da lagoa</b>	256,3	89,8	2,85
<b>Amostra 3 – Final da lagoa</b>	225,9	72,6	3,11
<b>Composição Média</b>	289,9	86,3	3,36

Fonte: Autor (2018).

Na Tabela 6 estão dispostas as quantidade de COT e NT, bem como a relação C/N de cada amostra de varrições coletada na UFPI, também está evidenciada a média desses parâmetros.

**Tabela 6: Composição das varrições coletadas na UFPI**

Amostra	COT (g/kg)	NT (g/kg)	Relação C/N
Amostra 1 – CCS	35,9	2,59	13,86
Amostra 2 – CCN	37,3	2,74	13,61
Amostra 3 – CCHL	36,5	2,65	13,77
Média	36,57	2,66	13,75

Fonte: Autor (2018).

Os dados de COT e NT das varrições em questão mostram que a matéria orgânica presente nos referidos compostos estão em quantidades muito baixas quando comparadas por dados fornecidos pela literatura. Uma hipótese para a ocorrência desse fato é que nas amostras coletadas tenha-se coletado uma grande quantidade de folhas secas em relação as folhas ainda verdes, assim, a matéria orgânica presente nesses compostos já foi degradada em sua maioria.

Como a confiabilidade do teste foi comprometida, optou-se por utilizar dados fornecidos por Fernandes e Silva (1999) para se encontrar a quantidade de COT e NT média nas varrições de árvore provenientes da UFPI. Os referidos dados estão evidenciados na Tabela 7.

**Tabela 7: Composição físico-química dos compostos ricos em carbono**

Resíduo	COT (g/kg)	NT (g/kg)	Relação C/N
Restos de capina	488,4	22,9	21
Folhas de jambeiro	502,6	8,8	57
Folhas de mangueira	467,8	8,2	56

Fonte: Adaptado de Fernandes e Silva (1999).

Para o cálculo da composição média da mistura de varrições, considerou-se que as varrições são compostas de 60% por folhas de mangueira, 30% por folhas de jambeiro e 10% por restos de capina. Chegou-se assim a composição média das varrições como sendo a mostrada na Tabela 8.

**Tabela 8: Composição físico-química das varrições provenientes da UFPI**

Resíduo	COT (g/kg)	NT (g/kg)	Relação C/N
Varrições	480,3	9,85	48,76

Fonte: Autor (2018).

De posse dos resultados da composição físico-química tanto dos lodos da ETE Leste quanto das varrições provenientes da UFPI, através da equação 7, constatou-se que são necessárias 12,44 partes de varrições de árvores para 1 parte de lodos provenientes de ETE. Assim, a mistura será composta de 92,6% de varrições e 7,4% de lodos. A mistura a ser compostada possuirá, então, as características descritas na Tabela 9.

**Tabela 9: Características da mistura a ser compostada**

Parâmetros	Resultado obtido
Carbono orgânico (g/kg)	466,13
Nitrogênio (g/kg)	15,54
Relação C/N	30

Fonte: Autor (2018).

Como o objetivo da usina de compostagem em questão é consumir a maior quantidade de lodo possível proveniente da ETE Leste, o resíduo orgânico limitante para o dimensionamento da usina serão as varrições provenientes da UFPI (5.000 kg). De posse da quantidade de varrições disponíveis por dia e da relação em massa entre os compostos em questão, conseguiu se chegar a quantidade de lodos que poderá se estabilizada por dia na usina o resumo dessas informações está na Tabela 10.

**Tabela 10: Quantidade de cada resíduo a ser utilizada nas leiras de compostagem**

Resíduo	Quantidade disponível por dia (kg)	Quantidade a ser utilizada (kg)	% Utilizada
<b>Varrições</b>	5.000,00	5.000,00	100
<b>Lodos</b>	799,37	401,9	50,28
<b>Total</b>	5.799,37	5.401,9	-

Fonte: Autor (2018).

Observa-se que a quantidade de lodos consumida por dia na usina é menor do que a quantidade de lodos produzida diariamente pela lagoa, então, não é possível a despoluição da lagoa através apenas da usina de compostagem.

De posse da quantidade de cada material a ser empregada por dia na usina de compostagem, foi possível o dimensionamento das leiras de compostagem. Como já se destacou, considerou-se que as leiras são triangulares, possuindo 1,2 metros de altura e 2 metros de largura. Foi previsto que cada leira corresponderá a mistura a ser compostada por dia, ou seja, cada leira possuirá 5401,90 kg de resíduos orgânicos. O dimensionamento, então, foi feito a partir das equações 8 a 11 e está resumido na Tabela 11.

**Tabela 11: Resultados das medidas de cada leira**

Descrição	Unidade	Valor obtido
<b>Área da seção da leira</b>	m <sup>2</sup>	1,2
<b>Volume da leira</b>	m <sup>3</sup>	9,82
<b>Comprimento da leira</b>	M	8,18
<b>Área ocupada por cada leira</b>	m <sup>2</sup>	16,37

Fonte: Autor (2018).

Em seguida, para se calcular a área do pátio de compostagem, utilizou-se das duas maneiras já descritas e optou-se pela metodologia que forneceu uma menor área ocupada. Os resultados da metodologia proposta pelo MMA (2010) e os resultados da metodologia proposta por Sousa et al. (2016) estão mostrados na Tabela 12.

**Tabela 12: Resultados obtidos através do método proposto pelo MMA**

Descrição	Unidade	Valor obtido – Método proposto pelo MMA (2010)	Valor obtido – Método proposto por Sousa et al. (2016)
<b>Área ocupada por cada leira</b>	m <sup>2</sup>	16,37	16,37
<b>Área de reviramento</b>	m <sup>2</sup>	16,37	-
<b>Área de operação e segurança</b>	m <sup>2</sup>	1,64	1,64
<b>Área necessária para cada leira</b>	m <sup>2</sup>	34,38	18,01
<b>Área do pátio de compostagem</b>	m <sup>2</sup>	4.125,08	1.620,57

Fonte: Autor (2018).

Optou-se, então pela configuração de pátio de proposta por Sousa et al. (2016). Ao final de 120 dias terão sido produzidas 90 leiras com volume de 9,82 m<sup>3</sup> cada uma, resultando em 883,95 m<sup>3</sup> de resíduos orgânicos processados, que resultarão em, pelo menos, 294,65 m<sup>3</sup> de adubo orgânico produzido.

A destinação do adubo formado é regulamentada pela resolução n° 375 do CONAMA (BRASIL, 2006). Este adubo poderá ter várias destinações como os jardins da própria UFPI ou hortas comunitárias na cidade de Teresina, além disso, a venda desse composto adubo para entes externos à universidade poderia inclusive gerar renda para ajudar os órgãos responsáveis pela usina a mantê-la financeiramente.

## CONCLUSÕES

A situação atual dos resíduos sólidos orgânicos verificada tanto na ETE Leste quanto no Campus Ministro Petrônio Portella da UFPI mostra que é necessária uma política mais eficaz para o gerenciamento dos resíduos em questão. As varrições coletadas na UFPI são dispostas de forma praticamente integral em um terreno localizado no CCA que não possui nenhum preparo para receber esses resíduos muito menos alguma estrutura de tratamento para esses resíduos. Já os lodos produzidos na lagoa aerada da ETE Leste são deixados na própria lagoa e acabam por alterar as características da lagoa em questão, prejudicando a eficiência do tratamento de esgoto.

Constatou-se que os resíduos orgânicos provenientes de jardinagem da UFPI são compostos de varrições e de podas de árvores e a flora do campus é formada por espécies como mangueira, cajueiro, jambeiro, gramíneas em geral e outras. As podas ou são geradas em épocas específicas do ano ou quando ocorre corte de árvores em caráter emergencial. Já as varrições de árvores são coletadas diariamente, durante o ano todo, gerando uma média de 5.000 kg de resíduos orgânicos por dia. Os testes apontaram a importância de utilizar esses materiais arbóreos o mais próximo possível do período da realização da poda, enquanto ainda estão verdes, devido a rápida decomposição da matéria orgânica que reflete na diminuição de concentração de carbono presente nesses resíduos.

A produção diária na lagoa aerada facultativa da ETE Leste é de 799,37 kg de lodo e ao seu fundo encontram-se 827.590 kg de lodos acumulados. Partindo-se de uma relação C/N de 30/1 chegou-se na quantidade de resíduo rico em carbono (varrições) e na quantidade de resíduo rico em nitrogênio (lodos) que deveria se misturar para se formar as leiras de compostagem. Adotou-se como resíduo limitante as varrições, chegando-se ao valor de lodos consumido por dia.

Cada leira formada diariamente na usina de compostagem ocupa um volume de 9,82 m<sup>3</sup> e possui 5.401,90 kg, sendo 5.000 kg de varrições de 401,9 kg de lodos. Ao final de 120 dias, que é o tempo de maturação do composto, serão formados, pelo menos, 294,65 m<sup>3</sup> de adubo orgânico. O pátio de compostagem proposto segundo a metodologia de Sousa et al. (2016) tem capacidade para 90 leiras simultâneas ocupando uma área total de 1.620,57 m<sup>2</sup> e poderá gerar ao final de 120 dias, pelo menos, 294,65 m<sup>3</sup> de adubo orgânico.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6, 2014).
2. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20ed., Washington, 1998.
3. BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 14 de Abril de 2018.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação / Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. -- Brasília, DF: MMA, 2017.
5. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 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 República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 de agosto de 2006.
6. FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 1999. 91p.
7. GOMES, L. P.; KOHL, C. A.; SOUZA, C. L. L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. Engenharia Sanitária Ambiental. V. 20, n. 3, p. 449-462, 2015.
8. GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em 05 maio 2019.
9. KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 4.ed. Piracicaba: Editora Desgaspari, 2004. 173 p.; 2004.
10. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. 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](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf)>. Acesso em 05 maio 2019.
11. MEIRA, A. M.; CAZZONATTO, A. C.; SOARES, C. A. Manual básico de compostagem – série: conhecendo os resíduos. Piracicaba, USP Recicla, 2003, com contribuições de: Anne Caroline Malvestio Caio Souza Pires Fernando William Ka Heng Mo Giulio de Manincor Capestrani Marina Oliveira Alves Pereira (estudantes de Engenharia Ambiental/ EESC USP).

12. OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, B. T. Compostagem. 2008. 19 f. Dissertação (Pós-graduação) - Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrientes de Plantas, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2008.
13. PMSB. 2013. Plano Municipal de Saneamento Básico de Teresina: Produto 02 – Diagnóstico da Situação do Saneamento Básico. Disponível em: <<http://semplan.35.193.186.134.xip.io/wp-content/uploads/sites/39/2018/04/PRODUTO-FINAL-PMSB-28.03-.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.
14. SOUSA, D. T.; JUNIOR, A. F. S.; SANTOS, M. S. F.; SIMOES, A. S. 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., 2016, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2016. 17p.