

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

JOSÉ MATEUS CURADO DE SOUZA

Análise de aplicação de uma usina de compostagem no município de Matão-SP

**São Carlos
2018**

JOSÉ MATEUS CURADO DE SOUZA

Análise de aplicação de uma usina de compostagem no município de Matão-SP

Versão Original

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Pulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

D83a	<p>de Souza, José Mateus Curado</p> <p>Análise de aplicação de uma usina de compostagem no município de Matão-SP / José Mateus Curado de Souza; orientador Valdir Schalch. São Carlos, 2018.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2018.</p> <p>1. Compostagem. 2. Resíduos Sólidos Urbanos. 3. PMGIRS. 4. Resíduos Sólidos. 5. Resíduos Sólidos Domiciliares. I. Título.</p>
------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **José Mateus Curado de Souza**

Data da Defesa: 29/11/2018

Comissão Julgadora:

Resultado:

Valdir Schalch (Orientador(a))

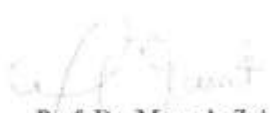
Aprovado

Túlio Queijo de Lima

Aprovado

Juliana Argente Caetano

Aprovado


Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

RESUMO

DE SOUZA, José Mateus Curado. **Análise de aplicação de uma usina de compostagem no município de Matão-SP**. 2018. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais somente dos resíduos de origem urbana no Brasil foram gerados 78,4 milhões de toneladas de resíduos em 2017, sendo que destes resíduos cerca de 50% representam a fração orgânica. Esta fração pode ser encaminhada para um processo de reciclagem que a transforma em um material nutritivo para o solo. O presente trabalho visa a análise comparativa da proposta atual de usina de compostagem para o município de Matão/SP com outros modelos de usina de compostagem, dando correta destinação a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, como definido na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Para a realização deste trabalho foram levantados dados de solo e material rochoso, um levantamento de características do município como população e por fim foi realizada a comparação entre métodos de compostagem aplicáveis para o município através do dimensionamento do pátio de compostagem e verificando os investimentos iniciais de cada método. O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Matão já tem em vista a criação de uma usina de compostagem pelo método de leira revolvida até 2020 e foi comparado este método com o método de leiras estáticas aerada. Ambos os métodos apresentam baixo custo de investimento sendo que o método proposto no PMGIRS possui maior facilidade de produção de um composto de alta qualidade, porém o método de leira estática aerada garante maior controle do processo evitando emissão de odores e controle sobre a temperatura e a aeração. Conclui-se que o método por leira estática garantiria menor ocupação na área e mais vantagens para o município, porém este não seria a melhor opção econômica já que possui maior investimento por conta das bombas de aeração.

Palavras-chave: Compostagem. Resíduos Sólidos Urbanos. PMGIRS. Resíduos Sólidos. Resíduos Sólidos Domiciliares.

ABSTRACT

DE SOUZA, José Mateus Curado. **Analysis of the application of a composting plant in the city of Matão-SP**. 2018. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) –Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

According to the Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, only waste of urban origin in Brazil generated 78.4 million tons of waste in 2017, of which about 50% represent the organic fraction. This fraction can be referred to a recycling process that transforms it into a nutritive material for the soil. To execution of this work, data on soil and rocky material were collected, a survey of characteristics of the municipality as population, and finally a comparison was made between composting methods applicable to the city through the design of the composting yard and checking the initial investments of each method. The present work aims at the comparative analysis of the current proposal of composting plant for the city of Matão / SP with other models of composting plant, giving correct allocation to the organic fraction of municipal solid waste, as defined in the National Solid Waste Policy. The Matão Municipal Solid Waste Integrated Management Plan is already in place to create a composting plant by the revolved farm up to 2020 and this method was compared with the aerated static loop method. Both methods have a low investment cost and the PMGIRS method has a higher production capacity for a high quality composite. However, the aerated static loop method ensures greater process control, avoiding odor emission and temperature control. aeration. It was concluded that the static approach would guarantee less occupancy in the area and more advantages for the municipality, but this would not be the best economic option since it has more investment due to the aeration pumps.

Keywords: Composting. Urban Solid Waste. PMGIRS. Solid Waste. Solid Household Waste.

Sumário

1	Introdução	12
2	Objetivos	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	Revisão Bibliográfica.....	14
3.1	Resíduos Sólidos	14
3.1.1	PNRS	14
3.1.2	Resíduos sólidos urbanos	15
3.1.3	Fração Orgânica.....	17
3.1.4	Compostagem	17
3.1.4.1	Umidade	19
3.1.4.2	Aeração.....	20
3.1.4.3	Temperatura.....	21
3.1.4.4	Relação Carbono/Nitrogênio	22
3.1.5	Métodos de Compostagem para FORSU.....	23
3.1.5.1	Compostagem natural	23
3.1.5.2	Compostagem acelerada	24
3.2	Contaminação do Solo.....	25
4	Metodologia	27
4.1	Caracterização da área de estudo.....	27
4.2	Análise dos métodos de compostagem e dimensionamento	27
5	Resultados e discussão	28
5.1	Caracterização da área de estudo.....	28
5.1.1	Histórico	28
5.1.2	Caracterização geológica.....	28

5.1.2.1	Pedologia.....	28
5.1.2.2	Litologia.....	30
5.1.3	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) ...	31
5.1.4	Crescimento populacional e previsão de geração de resíduos no município	32
5.2	Análise de risco de contaminação.....	32
5.3	Análise de métodos de compostagem.....	33
5.3.1	Dimensionamento do pátio da usina de compostagem	35
5.3.1.1	Leiras revolvidas	35
5.3.1.2	Leiras estáticas aerada.....	36
5.3.2	Investimento inicial.....	36
6	Conclusão	37
7	Proposta para próximos estudos	38
8	Referências	39

Lista de Figuras

Figura 1 - Geração de resíduos por classificação de origem no Brasil em 2016	15
Figura 2 - Disposição final de RSU no brasil por tipo de destinação (t/dia).....	16
Figura 3 – Representatividade da disposição final de RSU no brasil por tipo de destinação (t/dia).....	16
Figura 4 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos	17
Figura 5 – Variação da temperatura na pilha durante os dias do processo de compostagem. (HERBETS, 2005).....	18
Figura 6 – efeito da umidade no consumo de oxigênio na compostagem do lixo domiciliar (SNELL, 1957 apud KIEHL, 1998)	19
Figura 7 – Degradação do carbono orgânico total em diferentes relações de C/N (HERBETS, 2005)	23
Figura 8 – Método de leira revolvida	24
Figura 9 – Leira de compostagem aerada.....	25
Figura 10 – Mapa pedológico do município de Matão-SP.....	29
Figura 11 – Mapa litológico do município de Matão-SP	30
Figura 12 – Fluxograma esquemático de Usina de Triagem e Compostagem.....	31
Figura 13 - Mapa pedológico do município de Matão-SP com área do aterro.	33
Figura 14 – Área de crescimento urbano (delimitação em vermelho) e área do aterro (delimitação em branco).....	35

Lista de tabelas

Tabela 1 - Crescimento populacional e previsão de geração de resíduos no município (MATÃO, 2017).....	32
Tabela 2 – Comparativo de métodos de compostagem.	33

1 Introdução

O planeta segue a um nível o qual não pode mais sustentar a lógica de aumento constante do consumo, isso porque a crescente exploração dos recursos naturais está colocando em risco as condições físicas de vida na Terra, uma vez que a economia capitalista exige um nível e um tipo de produção que são ambientalmente insustentáveis (BELIZÁRIO, 2012).

Os resíduos sólidos estão ligados diretamente com a crescente exploração e seu reflexo é visto diretamente em aterros e lixões.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018) somente dos resíduos de origem urbana no Brasil foram gerados 78,4 milhões de toneladas de resíduos em 2017, sendo destes 59,1% destinados para aterros sanitários, enquanto os demais 40,9% destinados para lixões e aterros controlados que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) são consideradas formas de destinação incorretas.

A fração orgânica representa mais de metade resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2018). Estes resíduos deveriam, em teoria, ser destinados para unidades de compostagem de resíduos orgânicos, porém, a representatividade dos resíduos encaminhados para este tipo de destinação é baixa, concluindo que este, mesmo com a correta destinação segundo a PNRS, não possui a melhor utilização.

Quando a fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares é encaminhada para a compostagem nas unidades de compostagem de resíduos orgânicos ela passa por um processo de reciclagem através de atividades biológicas, ou seja, um processo de transformação de matéria orgânica, encontrada nos resíduos sólidos, em adubo orgânico (FERNANDES, 1999). Os produtos da compostagem são largamente utilizados em jardins, hortas, substratos para plantas e na adubação de solo para produção agrícola em geral, como adubo orgânico fornecendo os nutrientes ao solo, aumentando sua capacidade de retenção de água, permitindo o controle de erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos (MMA, 2018).

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise comparativa da proposta atual de usina de compostagem para o município de Matão/SP com outros modelos de usina de compostagem.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar características geológicas (solo e material rochoso), visando o melhor local para a implantação da usina de compostagem;
- Realizar análise de riscos e oportunidades com a implantação da usina de compostagem;

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Resíduos Sólidos

3.1.1 PNRS

Por existir a necessidade de uma legislação federal que impulse o desenvolvimento da gestão dos resíduos sólidos, viabilizando a aplicação de ações que modifiquem positivamente a situação nacional, foi criada, em 2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS incentiva uma visão que transforma a gestão de resíduos em uma gestão de recursos (ABRELPE, 2011).

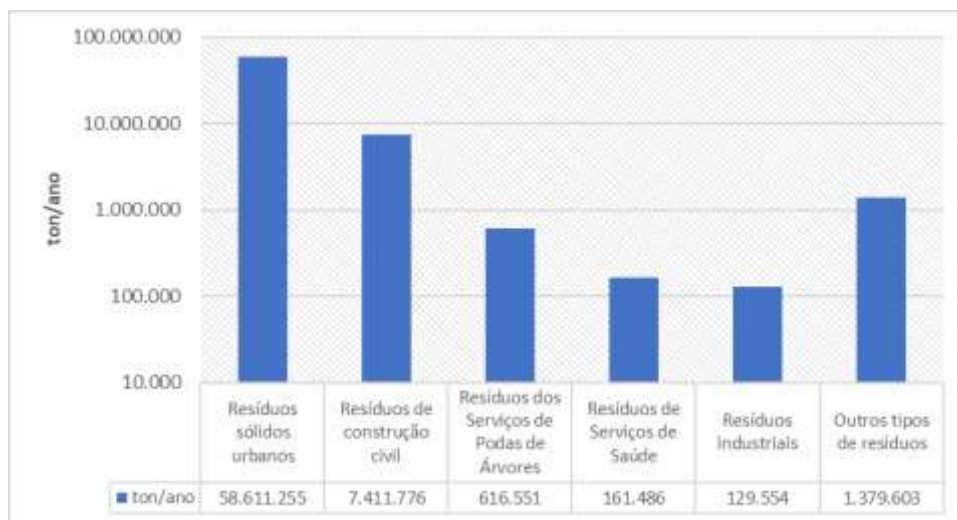
A lei 12.305/10 (PNRS) define princípios como prevenção e precaução, do poluidor-pagador, ecoeficiência, da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, do reconhecimento do resíduo como bem econômico (BRASIL, 2010)

“Um dos objetivos fundamentais estabelecidos pela Lei 12.305 é a ordem de prioridade para a gestão dos resíduos, que deixa de ser voluntária e passa a ser obrigatória: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. (MMA, 2012)

A PNRS também define resíduo sólido como sendo "material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível" e o classifica de acordo com a sua origem e sua periculosidade, enquanto que os “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” são chamados de rejeitos (BRASIL, 2010).

De acordo com a origem os resíduos são classificados em: resíduos sólidos urbanos (resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana), resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração. E pela periculosidade por: resíduos perigosos e resíduos não perigosos.

Figura 1 - Geração de resíduos por classificação de origem no Brasil em 2016



Fonte: SNIS (BRASIL, 2018)

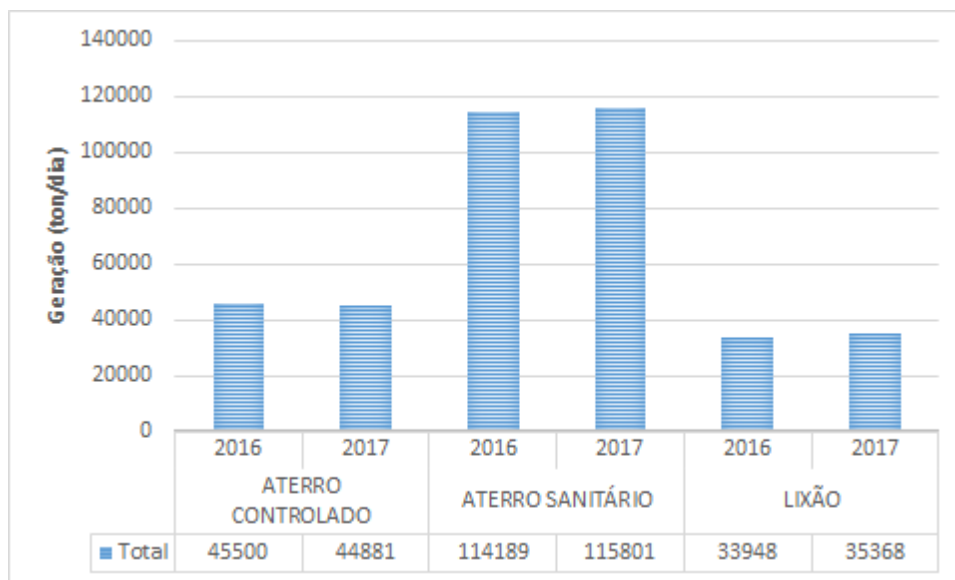
Ao conferir dados provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), verifica-se que, baseado no ano de 2016, as maiores gerações de resíduos no país são de origem urbana e da construção civil sendo respectivamente uma representatividade de 85,80% (58.611.255 ton/ano) e 10,85% (7.411.776 ton/ano), como mostrado na Figura 1.

3.1.2 Resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos urbanos são o principal foco dentro de um município, por conta de sua heterogeneidade e sua quantidade. Sua geração é originária de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares - RDO) e da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos públicos - RPU). (BRASIL, 2010)

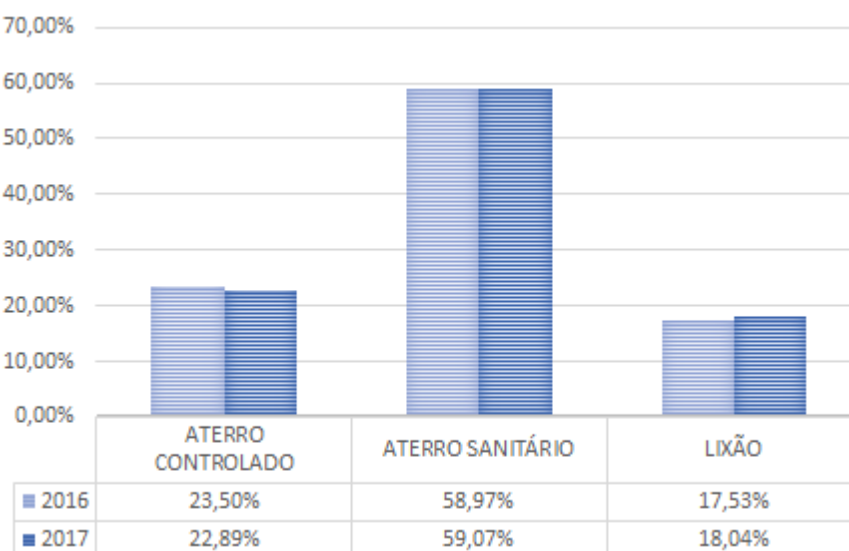
Segundo a ABRELPE (2018), são gerados em torno de 78,4 milhões de toneladas de RSU no país no ano de 2017, sendo que 6,9 milhões de toneladas não tiveram destinação adequada. ABRELPE (2018) ainda mostra que isso equivale à 1,035 kg/hab/dia no país, um acréscimo de 0,003 kg/hab/dia (+0,48%) comparado ao ano anterior.

Figura 2 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia)



Fonte: ABRELPE (2018)

Figura 3 – Representatividade da disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia)



Fonte: ABRELPE (2018)

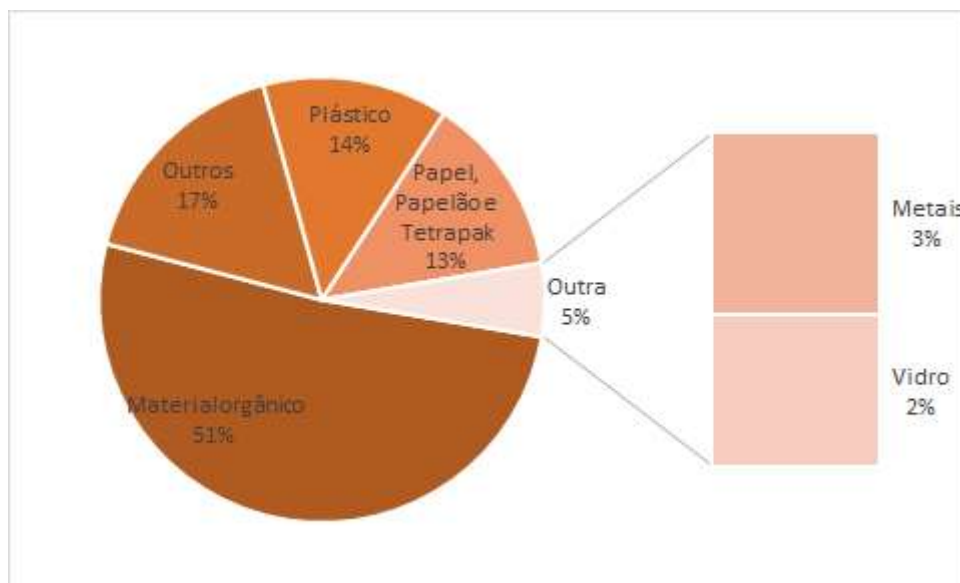
Analisando as figuras abaixo (Figura 2 e Figura 3), verifica-se que do ano 2016 para 2017 houve um aumento quantitativo nos aterros sanitários e nos lixões e uma diminuição nos aterros controlados, sendo equivalente a crescimentos respectivamente de, +0,1%, +0,51% e - 0,61%. Apesar do crescimento positivo em aterros sanitários, 59,07% de resíduos com disposição correta ainda não representa um valor considerado adequado dado como um dos

objetivos da PNRS “a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis” (BRASIL, 2010).

3.1.3 Fração Orgânica

Dos resíduos gerados que chegam aos aterros sabe-se que, como indicado na Figura 4, a fração orgânica é a que possui maior representatividade.

Figura 4 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: IPEA (2012)

Segundo IPEA (2012), desta fração apenas 1,6% possuem como destinação a compostagem, a qual seria a correta destinação do resíduo de forma a reduzir o volume de resíduos em aterros. São 14 Unidades Federativas que possuem unidades de compostagem sendo as 3 maiores em quantidade: São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

Dada a quantidade gerada e a porcentagem encaminhada para compostagem verificar-se um alto potencial de investimento, já que, segundo análise feita por IPE (2012), a Lei nº11.445/2007 estabelece como atividade do serviço público de manejo de resíduos sólidos o tratamento dos resíduos sólidos domésticos, inclusive se utilizando da compostagem e a Lei nº12.305/10 a “compostagem como uma forma de destinação final ambientalmente adequada para os resíduos sólidos e atribui ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos”.

3.1.4 Compostagem

Define-se a compostagem como sendo um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e

úmido (VALENTE, 2009). Outra interpretação seria que este processo é basicamente uma reciclagem da fração orgânica existente nos resíduos sólidos domiciliares.

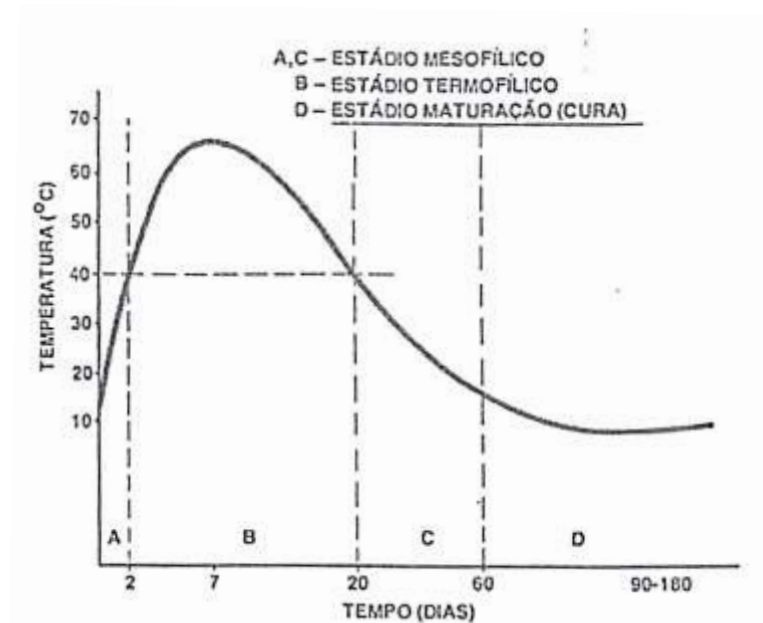
O produto resultante do processo de compostagem, tradicionalmente chamado de composto, é rico em nutrientes que beneficiam o solo.

“O principal impacto ambiental negativo relacionado à compostagem é a possibilidade de produção de maus odores e de escoamento de chorume” (MASSUKADO, 2008).

Durante todo o processo ocorre produção de calor e desprendimento, principalmente, de gás carbônico e vapor de água (KIEHL, 2004).

O processo da compostagem até seu produto final pode ser separado em 4 grandes etapas utilizando de análise a atividade microbiana, como mostrado na Figura 5, sendo elas: fase mesofílica (A e C), fase termofílica (B) e fase de maturação (D).

Figura 5 – Variação da temperatura na pilha durante os dias do processo de compostagem. (HERBETS, 2005)



Na fase mesofílica, segundo CORRÊA, et al (1982), predominam bactérias responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, promovendo liberação de calor na massa heterogênea em compostagem. Complementando, VALENTE, et al (2009), fala ainda que nesta fase ocorre a atuação de fungos, os quais “são seres heterotróficos, pois utilizam a matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e outros microrganismos, como fonte de energia”.

Na fase termofílica, segundo VALENTE, et al (2009), dá-se início o crescimento da temperatura por conta da liberação de calor, provocando a morte dos seres mesofílicos, sendo estes substituídos por actinomicetos, bactérias e fungos termofílicos. Estes, segundo

VALENTE, et al (2009), bactérias irão degradar os lipídeos e frações de hemicelulose, enquanto que os actinomicetos e fungos irão decompor a celulose e a lignina.

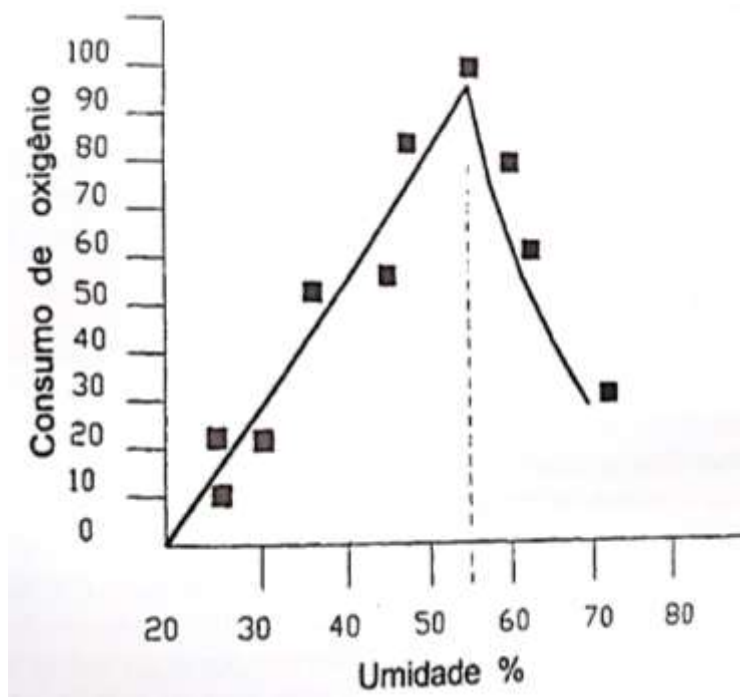
Por fim, a maturação (última fase) há a diminuição da atividade microbiana, juntamente com as quedas de gradativas de temperatura (até se aproximar da temperatura ambiente) e acidez, antes observada no composto. Neste período de estabilização que é produzido o composto maturado, sendo que sua maturidade ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus, livre de toxicidade, metais tóxicos e patógenos.

Para a melhor eficiência dos microrganismos no processo de compostagem são destacados alguns parâmetros, já que estes irão definir qual será a qualidade do composto. Dentre estes parâmetros temos: temperatura, umidade, aeração e relação carbono/nitrogênio.

3.1.4.1 Umidade

Segundo KIEHL (1998), os organismos presentes no composto não sobrevivem sem a presença de água, tornando-a assim um fator indispensável para o processo de compostagem, sendo que a variação ideal de umidade seria entre 40% e 60%, o qual estará com umidade o suficiente para que os organismos possam realizar processos aeróbios de decomposição e de forma acelerada sem estar com o excesso de saturação que pode criar um ambiente anaeróbio.

Figura 6 – efeito da umidade no consumo de oxigênio na compostagem do lixo domiciliar (SNELL¹, 1957 apud KIEHL, 1998)



¹ SNELL, J.R. **Some engineering aspects of high-rate composting**. Journal of the Sanitary Engineering Division, v. 83, n. 1, p. 1-36, 1957.

Como é possível visualizar na Figura 6, conforme aumenta a saturação maior é o consumo de oxigênio indicando o aumento da atividade microbiana. Em determinado limiar que esta em aproximadamente 55% de saturação o consumo de oxigênio começa a reduzir, indicando que o meio começa a ficar anaeróbio para a atividade dos organismos desejados.

Para o total controle deste parâmetro é importante entender como é a porosidade do resíduo, especificamente falando a relação de micropóros (responsáveis pela retenção de água por capilaridade) e macropóros (responsáveis por alojar o ar) (Kiehl, 1998). Conforme a granulometria de um composto reduz a microporosidade aumenta o que consequentemente aumenta a retenção de água, enquanto que, conforme se aumenta a granulometria, aumenta a macroporosidade que consequentemente aumenta a aeração do composto. Conforme o substrato humifica são formadas micelas coloidais que elevam a capacidade de retenção de água, podendo até duplicar a retenção do material (KIEHL, 1998).

Como pode ocorrer um excesso de água no material, um dos processos indicados é o revolvimento constante do mesmo, já que ao revolver este material esta liberando a umidade em forma de vapor, formada por conta do aumento da temperatura da atividade dos organismos. Na falta de umidade só é indicada a irrigação do composto juntamente ao revolvimento com a aplicação em forma de chuveiro fino, já que desta forma é possível distribuir uniformemente a água no substrato.

3.1.4.2 Aeração

Como foi possível visualizar na seção sobre *Umidade*, a aeração e a umidade andam praticamente juntos já que ambos são essenciais para a atividade microbiana. Durante o processo de decomposição podem ter duas categorias de processos: anaeróbio e aeróbio. Segundo KIEHL (1998), estes processos são caracterizados como:

- Aeróbio: “realizado na presença de oxigênio livre e por organismos aeróbios, sendo caracterizado pela alta temperatura desenvolvida no composto, pela ausência de maus odores, pelo menor tempo de degradação da matéria orgânica e pelas reações de oxidação e oxigenação que se dão no processo, conduzindo o substrato a ter no final um índice pH maior que 7,0.”
- Anaeróbio: “realizado principalmente por bactérias que decompõem a matéria orgânica por fermentação, na ausência de oxigênio, sendo caracterizado pela baixa temperatura desenvolvida pela produção de maus odores, pelas reações de redução química que ocorrem na massa em fermentação, pelo maior tempo de cura em relação ao processo aeróbio e pela tendência do composto se tornar ácido.”

A decomposição característica da compostagem é a aeróbia e a aeração esta entre os processos mais importantes da compostagem, pois ao destinar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) para um processo de compostagem comumente este já possui os microrganismos e umidade suficientes para o processo, podendo o último inclusive se apresentar com o excesso (KIEHL, 1998). Comumente em usinas de compostagem, para compensar a deficiência de aeração, são empregados processos de revolvimento do resíduo, garantindo o controle de temperatura que será comentada mais a frente e o controle da oxigenação (KIEHL, 1998).

KIEHL (1998) cita que a compostagem é predominante aeróbia, mas não inteiramente sendo que em processos conhecidos como casa-de-compostagem e compostagem em baias (processos caracterizados por ter processo de injeção e insuflação, os quais são realizados em galpões fechados com insuflação de ar aquecido, é possível um revolvimento mais intenso sem perdas relevantes de calor e de umidade por conta do ar se manter confinado.

Segundo FERNANDES (1999), é o processo de aeração que irá influir na velocidade de oxidação da matéria orgânica e na redução de odores, sendo que sua maior necessidade será durante a fase inicial, a qual terá maior atividade microbiana e maior velocidade de degradação.

3.1.4.3 Temperatura

A temperatura estará ligada diretamente a atividade dos microrganismos, pelo fato desta liberar calor por conta do metabolismo exotérmico e da característica isolante da massa em compostagem (KIEHL, 1998). Isso resultará no aumento constante da temperatura podendo ultrapassar 80°C no interior de uma leira. Segundo FERNANDES (1999), apesar deste aumento de temperatura ser benéfico para a eliminação de microrganismos patogênicos, deve-se evitar ultrapassar 65°C, para não a máxima eficiência de degradação e evitar a perda de microrganismos benéficos ao processo de decomposição.

Para HERBETS (2005), a temperatura na leira irá possuir alterações de acordo com: característica do material a compostar; tipo de sistema utilizado; disponibilidade de nutrientes e; configuração geométrica da pilha.

Analisando o que HERBETS (2005) comenta, como a temperatura é um reflexo da atividade microbiana pode-se indicar a fase de desenvolvimento da leira e/ou ação corretiva na mesma.

Analisando a Figura 5 verifica-se 3 níveis de temperatura, sendo: mesofílico (A e C), termofílico (B) e maturação (D). Quando a temperatura está crescente, dando início a fase de bioestabilização, ela parte da temperatura ambiente passando pelos níveis mesofílico (A) e em

seguida para termofílico (B) por conta do aumento das populações de bactérias e fungos, alcançando o máximo potencial da degradação da matéria orgânica HERBETS (2005). Nesta fase há a sanitização de microrganismos patogênicos e a maioria dos ingredientes são consumidos incluindo a lignina e a celulose c. A temperatura mantém-se estável por um período de tempo e decresce para a mesofílica (C) dando fim a fase de bioestabilização.

A fase seguinte conhecida como maturação ocorrerá a diminuição e estabilização da temperatura (D) e o processo de humificação. No composto final são encontradas substâncias húmicas que são similares às presentes no solo. Elas são denominadas de “humic-like substances”, assim denominadas pelo fato “de que, para alguns autores, as substâncias formadas durante a compostagem não apresentam as mesmas propriedades daquelas extraídas de solos ou de materiais mais humificados como, por exemplo, carvão ou turfa” (FIALHO, 2007). Estas substâncias compreendem uma fração importante de matéria orgânica no composto e apresentam algumas características únicas como: capacidade de interagir com íons metálicos, manutenção do pH, além de ser uma potencial fonte de nutrientes para as plantas.

Quando a temperatura não apresenta uma variação seguindo o padrão da curva apresentada na Figura 5 pode-se identificar possíveis problemas no processo de formação do composto. Entre as anormalidades vinculados a temperatura pode-se destacar, segundo (HERBETS, 2005), as seguintes:

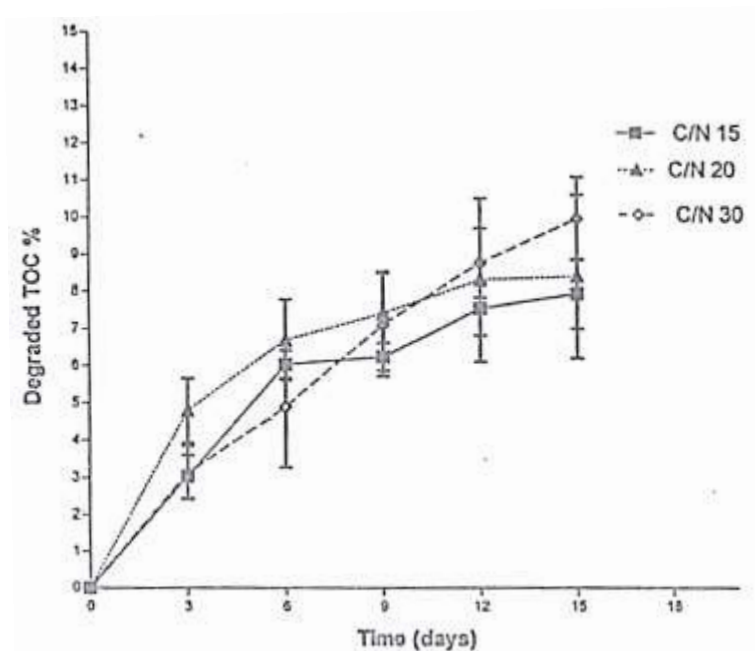
- Uma diminuição da temperatura inesperada indicando falta de aeração, umidade e/ou nutriente e;
- Aumento da temperatura acima de 75°C quando falta aerar/revirar a leira.

3.1.4.4 *Relação Carbono/Nitrogênio*

Os microrganismos necessitam de carbono como fonte de energia e de nitrogênio para a síntese de proteínas. Segundo KIEHL (1999), a relação mais favorável para a compostagem é a proporção 30:1 (C/N), considerando uma margem de erro de 5:1 aproximadamente. Essa relação se deve ao fato dos microrganismos trabalharem com a proporção de 30 de carbono para 1 de nitrogênio.

Nos estudos de HERBETS (2005) foram realizados testes que verificavam a eficiência da degradação em função da relação C/N (Figura 7). Observa-se que a amostra C/N 30 tem um início de degradação inferior aos demais mas, a partir do 11º dia apresenta uma degradação mais eficiente que os demais.

Figura 7 – Degradação do carbono orgânico total em diferentes relações de C/N (HERBETS, 2005)



Segundo KIEHL (1999), quanto maior a relação C/N menor é a velocidade da compostagem, já que, com a deficiência de nitrogênio o mesmo é reciclado entre os microrganismos até a degradação total do carbono. Ainda segundo KIEHL (1999), quando a relação C/N é baixa os microrganismos irão apresentar uma liberação de nitrogênio na forma de amônia para regular o composto para a proporção 30:1.

Ambos os extremos podem trazer prejuízos em sua composição final ao serem aplicados em solo. Para relações C/N altas costuma-se a notar que a alta concentração de carbono fará com que os microrganismos que presentes no composto consumam o nitrogênio presente no solo, provocando uma deficiência de nitrogênio temporária nas plantas (KIEHL, 1999). Para baixa relação de C/N o excesso de nitrogênio provocará um desprendimento de amônia no solo.

3.1.5 Métodos de Compostagem para FORSU

Kiehl (1998) indica algumas metodologias de compostagem para a FORSU, entre elas esta a *Compostagem natural* e a *Compostagem acelerada* (*Compostagem com digestor* e a *Compostagem com leira estática aerada*).

3.1.5.1 Compostagem natural

Método identificado por passar por tratamento prévio do RSU, tendo como fases: a separação dos componentes recicláveis (papel, papelão, plásticos filmes, metais ferrosos e não ferrosos, vidros e trapos); a trituração; o peneiramento e; a disposição final no pátio de compostagem (KIEHL, 1998).

Figura 8 – Método de leira revolvida



Fonte: DE MOURA, 2017

“Este método é recomendado para cidades com população abaixo de 200 mil habitantes. A aeração do composto é realizada por revolvimentos periódicos das leiras dispostas no pátio de compostagem” (KIEHL, 1998).

O revolvimento, como mostrado na Figura 8, será o responsável pelo controle de temperatura e aeração da compostagem.

3.1.5.2 Compostagem acelerada

São dois processos de compostagem acelerada: Compostagem com digestor e; Compostagem com leira estática.

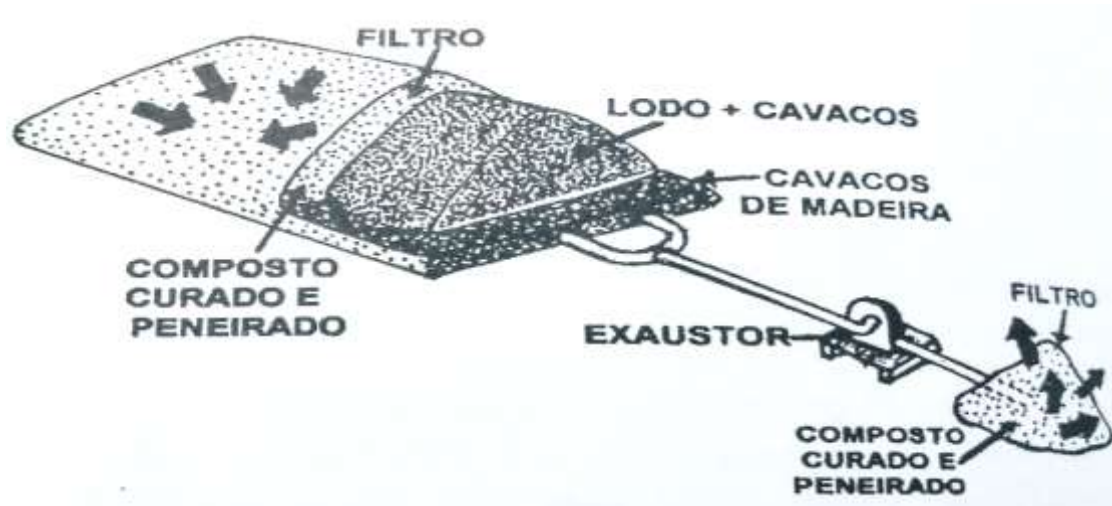
A compostagem com digestor um processo recomendado para um município com mais de 200 mil habitantes. Este é composto de um reator e outros equipamentos que não constam numa usina de compostagem natural, como: fosso com ponte rolante e pólipó; separador eletromagnético, separador pneumático; separador balístico; tratamentos de águas residuais e; controle de qualidade (KIEHL, 1998).

A compostagem com leira estática, também conhecida como *método da pilha estática*, foi desenvolvida inicialmente para lodo de esgoto. Diferente da compostagem natural, o

processo de aeração não ocorre por revolvimento, ocorre pela injeção de ar através de uma tubulação plástica, perfurada e ligada a um exaustor (KIEHL, 1998).

A estrutura da composteira segue o esquema da Figura 9 que consiste “em se colocar um piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica, perfurada, de 10cm de diâmetro em forma de retângulo e ligada a um exaustor” (KIEHL, 1998). Sobre a tubulação dispõe-se uma camada de cavacos de madeira com 15 a 20 cm de espessura, servindo de leito filtrante e, por cima desse leito de cavacos é onde se monta a leira (KIEHL, 1998). Para FORSU costuma-se a dispensar o uso de cavaco desde que a granulometria seja alta, ou seja, tenha passado pela peneira de 50 a 60mm de abertura. Por fim é recoberto com uma camada de composto curado e peneirado com espessura de 30 cm, com a finalidade de reter o calor formado na leira e funcionar como filtro para o odor (KIEHL, 1998).

Figura 9 – Leira de compostagem aerada



Fonte: KIEHL, 1998.

3.2 Contaminação do Solo

A principal preocupação no que diz respeito à contaminação do solo é que haja um retorno de materiais nocivos à saúde, como metais pesados, compostos orgânicos aromáticos e hidrocarbonetos. O retorno destes contaminantes podem ocorrer através da ingestão de alimentos de origem agrícola que possam ter absorvido esses contaminantes e de água de abastecimento proveniente de aquíferos contaminados.

Os componentes mais vulneráveis a contaminação, segundo PALMA et al. (2015), seriam os materiais geológicos e a água (superficial e subterrânea).

O contaminante, ao entrar em contato com o solo irá se deslocar de forma diferenciada segundo sua característica molecular. Este deslocamento poderá ocorrer pelos seguintes processos físicos: Advecção e Dispersão hidrodinâmica (dispersão mecânica e difusão molecular).

A advecção é um “processo no qual os compostos são transportados com o escoamento do fluido ou solvente (tipicamente a água), em resposta ao gradiente na carga hidráulica total” (PALMA, 2015). Em todo o processo a solução mantém a mesma concentração.

A dispersão hidrodinâmica é um fenômeno “pelo qual ocorre o espalhamento tridimensional do contaminante, causando sua diluição pelo caminho do escoamento” (PALMA, 2015) e ocorre através dos seguintes mecanismos: a dispersão mecânica e a difusão molecular.

A difusão molecular é a movimentação do soluto da zona mais concentrada para a menos concentrada. “A força motriz é o movimento aleatório dos constituintes iônicos e moleculares sob a influência de sua atividade cinética, denominada movimento browniano” sendo este irreversível (PALMA, 2015). A dispersão mecânica ocorre pela movimentação do fluido pelo meio poroso, que diminui as concentrações do soluto (PALMA, 2015).

Fora estes processos de transporte citados vale ressaltar que há outros fatores que irão influenciar no transporte destes contaminantes, como: densidade; concentração; solubilidade; volatilidade; mineralogia; distribuição de vazios e; capacidade de troca catiônica.

4 Metodologia

4.1 Caracterização da área de estudo

Primeiramente foram levantados dados caracterizando o município quanto história, caracterização geológica, do Plano Municipal de Gestão Integral de Resíduos Sólidos com o intuito de compreender o panorama atual do município.

Baseou-se para crescimento populacional o estudo já existente no PMGIRS do município de Matão e utilizou-se o fator de 0,5 kg/hab.dia com os devidos ajustes para estimar a geração de RDO no município e o fator de correção de 55% para converter em fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (MATÃO, 2017).

Como primeira análise realizou-se uma análise geológica para entender o potencial de contaminação do município.

4.2 Análise dos métodos de compostagem e dimensionamento

Primeiramente foi realizado um levantamento das vantagens e desvantagens das possíveis metodologias de compostagem.

Depois dimensionou-se os métodos escolhidos. Para ambos os métodos se adotou uma altura de 1,8m de altura da leira e seção triangular com ângulo de 45°, para facilitação de cálculo (KIEHL, 1998).

Para o cálculo da área considerou-se a seguinte equação:

$$A_{total} = A_{compostagem} + A_{revolv}$$

$$A_{total} = \frac{\frac{g*t}{d}}{\left(\frac{h*b}{2}\right)} * b + A_{revolv} \quad (1)$$

Sendo:

g = geração estimada por dia;

d = densidade do FORSU = 1,25 t/m³ (REIS, 2005);

t = tempo total do processo de compostagem;

h = altura da leira = 1,8m;

b = base da leira = 2*1,8m*tan45° = 3,6m;

A_{revolv} = Área usada para revolvimento do composto.

5 Resultados e discussão

5.1 Caracterização da área de estudo

5.1.1 Histórico

Segundo FERREIRA (1958), inúmeras pessoas adquiriram terras em meados de 1890 onde, nos dias atuais é conhecido como o Município de Matão. “O chapadão era exuberante e as terras de boa qualidade e estava encravado na sesmaria do Matão, nome esse que teve origem devido a existência de matas densas” (FERREIRA, 1958).

Com uma economia historicamente voltada para a fabricação de implementos agrícolas, máquinas industriais e processamento de suco, nas últimas décadas a cidade ampliou as atividades produtivas para os setores de metalurgia, alimentos, tintas, vestuário e material esportivo. (ÁGUAS DE MATÃO, 2018)

O município está situado na Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha e, segundo Ferreira (1958), apresentando a sede municipal nas seguintes coordenadas geográficas: 21° 36'S e 48° 22'O, distando 280 km, em linha reta, da Capital. De acordo ainda com Ferreira (1958),

Os acidentes geográficos mais importantes são: o Rio São Lourenço, que nasce no distrito da sede, atravessa a cidade de Matão e o distrito de São Lourenço do Turvo, faz parte das divisas de Matão com Taquaritinga e Itápolis, e junta-se ao Ribeirão dos Porcos no município de Ibitinga; e o Rio Itaquerê que nasce no município de Araraquara, nas imediações do distrito de Bueno de Andrada (ex-Itaquerê) faz a divisa deste município com o de Araraquara na zona sul e junta-se ao Rio Jacaré-Guaçu no município de Ibitinga.

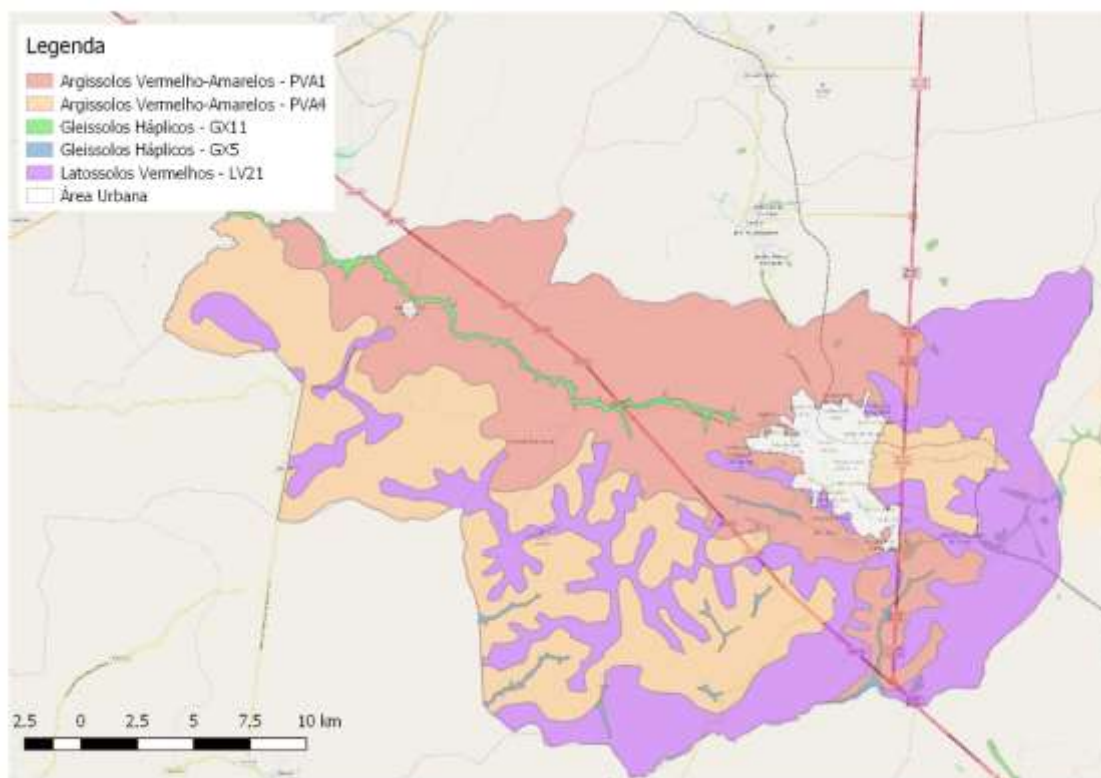
Segundo dados do Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha (2017), Matão faz parte de um dos municípios que possui um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e um gerenciamento do mesmo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e, de acordo com CETESB (2009, apud COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-BATALHA, 2017) o município está entre os municípios deste comitê de bacia que mais produz resíduos por dia, sendo este de aproximadamente 63,24 ton/dia.

5.1.2 Caracterização geológica

5.1.2.1 Pedologia

No município de Matão-SP podem ser encontrados três tipos predominantes de solo, sendo eles: *Argissolo Vermelho-Amarelo*, *Gleissolos Háplicos* e o *Latossolo Vermelho*.

Figura 10 – Mapa pedológico do município de Matão-SP



Fonte: ROSSI, 2017

Baseado nas características descritas no Manual do IBGE de 2007, verificasse que o *Argissolo Vermelho-Amarelo* possui classificação de drenagem como boa drenagem, sendo que “a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente”, isso se deve, segundo Rossi (2017), a granulometria arenosa predominante do solo que lhe proporciona maior permeabilidade do solo. Ainda analisando informações de Rossi (2017), este possui característica eutrófica (alta fertilidade).

No município de Matão-SP nota-se que são dois tipos de *Argissolo Vermelho-Amarelo*, o PVA1 e o PVA4, sendo que suas principais diferenças que o PVA4 possui uma textura binária enquanto que a PVA1 possui textura abrupta que são suscetíveis a processos erosivos. (ROSSI, 2017)

Os *Gleissolos Hápticos* possuem característica distrófica e hidromórfica. São encontrados dois tipos de *Gleissolos* no município: o GX11 e; o GX3. O GX11 acompanha o caminho do Rio São Lourenço, granulometria predominante argilosa e com variação de textura simples.

Já o *Latossolo Vermelho*, segundo IBGE (2007):

“Solos vermelhos, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural (necessitam correções

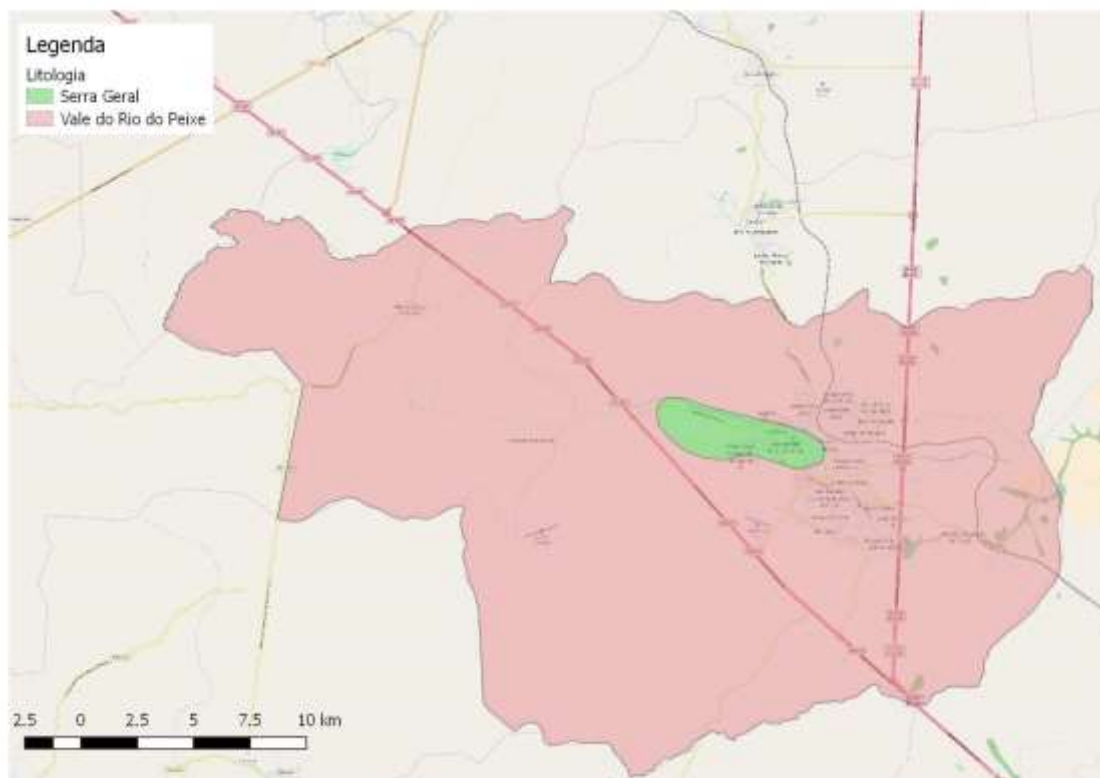
químicas para aproveitamento agrícola). Ocorrem em praticamente todas as regiões do Brasil, mas têm grande expressividade nos chapadões da Região Central (Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Minas Gerais e outros). São responsáveis por boa parte da produção de grãos em sistema de manejo desenvolvido desta região do País.”

5.1.2.2 Litologia

Segundo dados extraídos da CPRM (2006), o Município de Matão, SP apresenta duas formações principais, como mostrado na Figura 11: Formação Serra Geral e Vale do Rio do Peixe.

Segundo Tambara e Mizusaki (2011), esta formação possui capacidade de armazenamento de hidrocarbonetos de uma rocha vulcânica de acordo com suas estruturas físicas e observa-se que intervalos de rochas vulcânicas com vesículas (poros não-preenchidos), fraturas e microfraturas bem delimitadas e interligadas podem prover certa permeabilidade à rocha. Processos intempéricos que atuem nestes locais, tais como a dissolução de cimentos calcíferos das fraturas e vesículas, podem contribuir no aumento da microporosidade e permeabilidade da rocha devido ao alargamento dessas fraturas. As fraturas, principalmente as verticalizadas e sem preenchimento por minerais secundários, são excelentes “condutos” para a migração do hidrocarboneto e também mostram porosidade por fraturamento.

Figura 11 – Mapa litológico do município de Matão-SP



Fonte: CPRM, 2006

Segundo CPRM (2012), a formação Vale do Rio do Peixe corresponde a depósitos conglomeráticos arenosos com clastos de várias litologias (vulcânicas, arenitos, folhelhos e rochas cristalinas do embasamento), além de rochas siltico-argilosas, carbonatos e algumas ocorrências de magmáticas alcalinas.

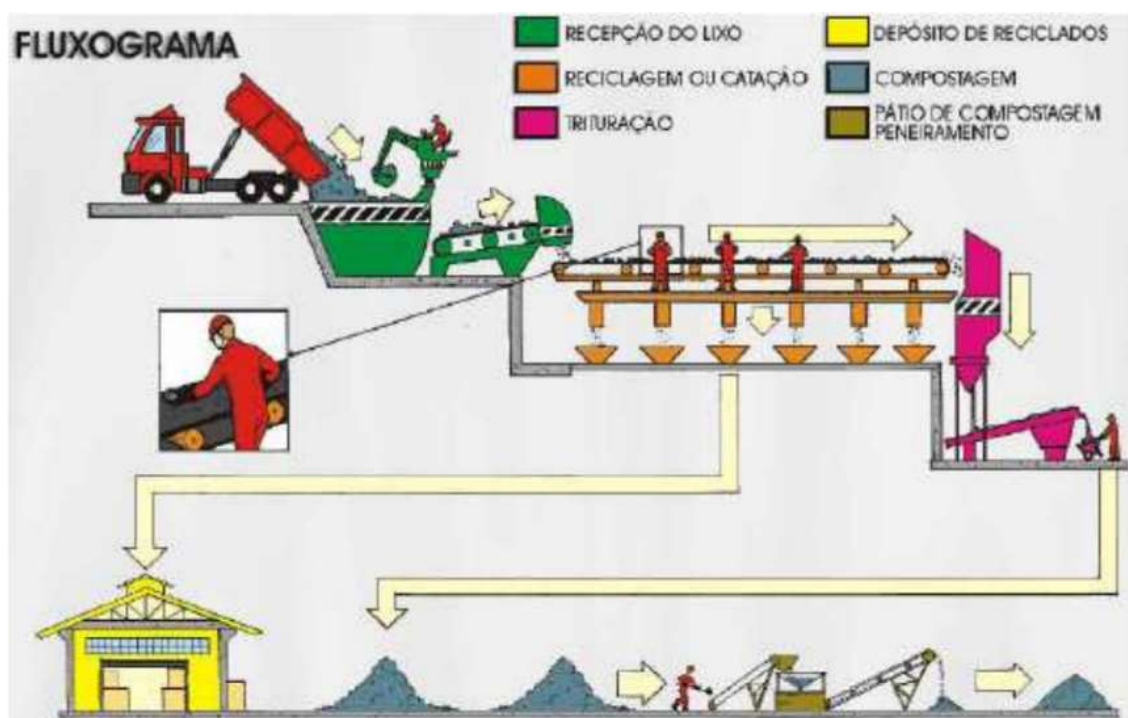
5.1.3 Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS)

O PMGIRS do município de Matão-SP tem como principal objetivo servir de ferramenta útil para a capacitação dos gestores públicos no que diz respeito à correta gestão dos resíduos sólidos urbanos, visando facilitar e estimular a elaboração do planejamento e o alcance dos objetivos de: não geração, minimização, reutilização, reciclagem, destinação e tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com as diretrizes da Legislação vigente (MATÃO, 2017).

No que diz respeito ao resíduo principal abordado neste trabalho, o município possui uma geração de 42,10 ton/dia de resíduos de origem domiciliar sendo 55% (23,16 ton/dia) referentes a restos de alimentos (MATÃO, 2017). O PMGIRS do município já prevê a implantação de uma usina de compostagem juntamente a triagem seguindo o fluxograma mostrado na Figura 12, sendo este implantado no próprio aterro.

O PMGIRS do município prevê um investimento total de R\$ 856.300,00 e tem como prazo final para implantação agosto de 2022.

Figura 12 – Fluxograma esquemático de Usina de Triagem e Compostagem.



Fonte: MATÃO, 2017

5.1.4 Crescimento populacional e previsão de geração de resíduos no município

Utilizou-se o crescimento populacional utilizado pelo PMGIRS do município de Matão-SP como base. Com isto estima-se que no ano de 2032 a geração da FORSU será de 25,15 ton/dia, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Crescimento populacional e previsão de geração de resíduos no município (MATÃO, 2017).

Ano	População (hab)	Geração de RSU (ton/dia)	Geração de FORSU (ton/dia)
2000	71.753	35,88	19,73
2005	74.114	37,06	20,38
2010	76.786	38,39	21,12
2015	79.728	39,86	21,93
2020	82.911	41,46	22,80
2025	86.318	43,16	23,74
2030	89.936	44,97	24,73
2032	91.440	45,72	25,15

5.2 Análise de risco de contaminação

Fazendo uma análise dos mapas pedológicos e litológicos na Figura 10 e na Figura 11 respectivamente, verifica-se que as formações litológicas indicam que possuem boa permeabilidade, sendo a formação Serra Geral por conta das fraturas existentes e do Vale do Rio do Peixe por conta de sua característica arenosa. O solo no município apresenta-se predominante em sua extensão com característica arenosa (Argilossolo e Latossolo), permitindo boa permeabilidade do solo.

As regiões com granulometria argilosa (Gleissolos) possuem baixa permeabilidade e seriam ideias para um processo de compactação. Estes solos encontram-se no território do município próximos de corpos hídricos. A instalação de uma usina nessas regiões poderia ser um risco de contaminação por conta de sua proximidade com corpos hídricos, o que inviabiliza uma usina de compostagem.

Dada a situação geológica da região, o local ideal para instalação de uma usina de compostagem será aquele que terá melhor custo-benefício, que neste caso seria a instalação no próprio aterro.

Figura 13 - Mapa pedológico do município de Matão-SP com área do aterro.



Na Figura 13 nota-se que a área em que o aterro se encontra é inteira de Argilossolo Vermelho-Amarelo PVA1. Na montagem de uma usina nesta área seria necessária a aplicação de processos de compactação e impermeabilização do solo com sistemas de drenagem, minimizando possíveis impactos no solo.

5.3 Análise de métodos de compostagem.

Para esta análise foram estudados os dois principais métodos de compostagem como comparação para este estudo: *Leiras revolvidas* e *Leiras estáticas aeradas*. Desconsiderou-se compostagem com digestor já que este é indicado para municípios com mais de 200 mil habitantes.

Segundo Reis (2005), os sistemas apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

Tabela 2 – Comparativo de métodos de compostagem.

Sistema de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; 3. Simplicidade de operação; 4. Uso de equipamentos simples; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior necessidade de área, pois as leiras têm que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas;

	<ol style="list-style-type: none"> 5. Produção do composto homogêneo e de boa qualidade; 6. Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao teor de revolvimento. 	<ol style="list-style-type: none"> 2. Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; 3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; 4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.
Leiras estáticas aeradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Melhor controle de odores; 3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior; 4. Possibilidade de controle da temperatura e da aeração; 5. Melhor uso da área disponível que o sistema anterior. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; 2. Operação também influenciada pelo clima.

Fonte: REIS, 2005

Analisando a Tabela 2 nota-se que ambas as metodologias se apresentam como baixo custo. As leiras revolvidas apresentarão maior simplicidade na execução e controle na umidade do processo, enquanto que as leiras estáticas aeradas permitem maior controle da temperatura e da aeração, dois fatores importantes por definir o tipo de decomposição dos microrganismos.

Uma questão que ganha certo destaque é que a leira estática aerada ocupa um menor espaço do que a leira revolvida, isso porque a mesma tem um tempo de decomposição da matéria orgânica inferior e não necessita de espaço livre entre as leiras.

Figura 14 – Área de crescimento urbano (delimitação em vermelho) e área do aterro (delimitação em branco)



Atualmente há uma área de crescimento urbano próximo do aterro (Figura 14) e convém para o município um maior controle dos odores já que não há uma barreira natural do relevo entre o bairro e o aterro e sua menor distância, segundo análise realizada é de 347m, como identificado no perfil topográfico.

5.3.1 Dimensionamento do pátio da usina de compostagem

5.3.1.1 Leiras revolvidas

Segundo Bruni, 2005 este processo terá um processo que totaliza um período de até 120 dias. Aplicando a Equação 2, temos:

$$A_{total} = \frac{\frac{g * t}{d}}{\left(\frac{h * b}{2}\right)} * b + A_{revolv}$$

$$A_{total} = \frac{\frac{25,15 * 120}{1,25}}{\left(\frac{1,8 * 3,6}{2}\right)} * 3,6 + A_{revolv}$$

$$A_{total} = 2.682,67 + A_{revolv}$$

Adota-se como área de revolvimento (A_{revolv}) igual a área de compostagem já que se faz necessário um espaço maior para a realização do revolvimento do material, portanto:

$$A_{total} = 2.682,67 * 2$$

$$A_{total} = 5.365,33 \text{ m}^2$$

5.3.1.2 Leiras estáticas aerada

Segundo Bruni, 2005 este processo terá um processo que totaliza um período de até 90 dias. Aplicando a Equação 2, temos:

$$A_{total} = \frac{\frac{g * t}{d}}{\left(\frac{h * b}{2}\right)} * b + A_{revolv}$$

$$A_{total} = \frac{\frac{25,15 * 90}{1,25}}{\left(\frac{1,8 * 3,6}{2}\right)} * 3,6 + A_{revolv}$$

$$A_{total} = 2.012,0 + A_{revolv}$$

Adota-se como área de revolvimento igual a zero por não necessitar de espaço para o processo de revolver o material, portanto:

$$A_{total} = 2.012,0 + 0$$

$$A_{total} = 2.012,00 \text{ m}^2$$

5.3.2 Investimento inicial

Em ambos os métodos de compostagens são válidos os materiais listados no PMGIRS do município. O que irá diferenciar da leira revolvidas (proposto pelo PMGIRS) e a leira estática aerada será a troca da peneira rotativa por um sistema de aeração.

A peneira rotativa equivale a um investimento de R\$ 15.000,00, segundo PMGIRS. Ao analisar o estudo de Leitão (2008), é possível verificar uma necessidade de 1 HP por 12 ton de resíduos. Aplicando este fator à área de estudo pode adotar a necessidade de 13 bombas de 10HP. No mercado a média de preço de uma bomba compressora nesta potência varia na faixa de preço de R\$ 7.500,00 reais cada, totalizando um valor total de R\$ 97.500,00 usando o método de compostagem por leiras estáticas aeradas.

6 Conclusão

Dadas as características de solo e material rochoso do município a suscetibilidade a contaminação é semelhante por todo o território, portanto não há uma restrição de local de implantação da usina.

Analisando qualitativamente, o método de compostagem por leira aerada apresentou como vantagem uma menor área para a implantação do pátio de compostagem. Além disto este método possui maior controle de odores, o que garantirá maior controle de odores que poderiam impactar a área de crescimento urbano próximo do aterro.

Verificando o investimento inicial para a implantação dos sistemas de compostagem, o método por leira revolvida necessita R\$82.500,00 a menos que a leira aerada.

7 Proposta para próximos estudos

- Complementar este estudo com um estudo *in loco*;
- Estudo da coleta dos resíduos atual e analisar a melhor logística coleta para o município;
- Analisar propostas existentes de educação ambiental vinculado a implantação da usina de compostagem.

8 Referências

[ABRELPE] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. São Paulo, 2011.

[ABRELPE] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018.

ÁGUAS DE MATÃO. Concessionária responsável pela gestão plena dos serviços de saneamento básico do município de Matão – SP. Disponível em: <<http://www.aguasdematao.com.br>> Acesso em: Julho de 2018

BELIZÁRIO, Fernanda; DOURADO, Juscelino (Ed.). **Reflexão e práticas em educação ambiental: discutindo o consumo e a geração de resíduos**. Oficina de Textos, 2012.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 ago. 2010

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações de Saneamento – SNIS**, Ministério das Cidades. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 27 de setembro de 2018.

BRUNI, V. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados**. Curitiba: UFPR. 2005. 95p. Tese de Doutorado. Dissertação Mestrado.

[CBH-TB] COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-BATALHA. **Diagnóstico do Plano de Bacia do Comitê da Bacia do Tietê-Batalha 2016-2027**, v. 2017, 2017.

[CETESB] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: Relatório de 2008. Cetesb; 2009. apud [CBH-TB] COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-BATALHA. **Diagnóstico do Plano de Bacia do Comitê da Bacia do Tietê-Batalha 2016-2027**, v. 2017, 2017.

CORRÊA, D. et al. Tecnologia de fabricação de fertilizantes orgânicos. **COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**, v. 1, p. 217-222, 1982.

[CPRM] Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Ministério de Minas e Energia–Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2006.

[CPRM] Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Relatório diagnóstico Aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos Estados de Mato Grosso e Goiás**. 2012

DE MOURA, D.C. et al. **Monitoramento da Temperatura no Processo de Compostagem de Lodo de Tratamento de Efluente com Casca de Eucalipto e Bagaço de Cana-de-açúcar**. In: Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais. 2017.

FERNANDES, F. et al. **MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BIOSSÓLIDOS**. In: Manual prático para a compostagem de biossólidos. PROSAB, 1999.

FERREIRA, Jurandyr Pires et al. (Ed.). **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1958.

FIALHO, L.L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem po métodos convencionais e espectroscópicos**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007

HERBETS, R.A. et al. **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos**. Revista Saúde e Ambiente, v. 6, n. 1, 2005.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Manual técnico de pedologia**. 2007.

[IPEA] Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: relatório de pesquisa**. Brasília: IPEA; 2012. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/>>. Acesso em: 28 de setembro de 2018.

JACOBI, P. **Educação ambiental e o desafio da sustentabilidade socioambiental**. O mundo da saúde, v. 30, n. 2006, p. 524-531, 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Manutenção e Qualidade do Composto**. 2004.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Manutenção e Qualidade do Composto**. 1998.

LEITÃO, V. P. M. **Utilização de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras**. 2008.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

MATÃO, Prefeitura Municipal. Lei Municipal nº 5.132, de 16 de novembro de 2017. **Dispõe sobre a aprovação do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Matão e dá outras providências.** Matão, SP, 2017.

[MMA] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de Orientação.** Brasília, 2012.

[MMA] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compostagem.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf>. Acesso em: 02/11/2018.

PALMA, J. B.; SCUDELARIABILIO, G.; MATOS, S. L. F. **Contaminação de materiais geológicos e da água subterrânea.** In: ZUQUETTE, L. V. Geotecnia ambiental. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 183-213

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos ese de Doutorado.** Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

ROSSI, M. 2017. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.** São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p

SCHALCH, V.; LEITE, WCA. Resíduos sólidos (lixo) e meio ambiente. **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias.** São Paulo: EESC, USP, 2000.

SEARA FILHO, G. O que é Educação Ambiental. CASTELLANO, EG; CHAUDHRY, FH **Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias.** São Carlos: EESC-USP, 2000.

TAMBARA, G. B.; MIZUSAKI A. M. P. **Modelo tectono-estratigráfico da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) como análogo para os reservatórios vulcano-sedimentares das bacias da margem continental brasileira.** 2011.

VALENTE, B. S. et al. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.** Archivos de Zootecnia, v. 58, n. 1, p. 59-85, 2009.