

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**MARIA VICTORIA PRESTES LUCHESE**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE LOCACIONAL, TÉCNICA E ECONÔMICA PARA  
IMPLANTAÇÃO DE USINA DE COMPOSTAGEM EM TORRES, RS**

**CRICIÚMA**

**2020**

**MARIA VICTORIA PRESTES LUCHESE**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE LOCACIONAL, TÉCNICA E ECONÔMICA PARA  
IMPLANTAÇÃO DE USINA DE COMPOSTAGEM EM TORRES, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Ms Gustavo José Deibler Zambrano

**CRICIÚMA**

**2020**

**MARIA VICTORIA PRESTES LUCHESE**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE LOCACIONAL, TÉCNICA E ECONÔMICA PARA  
IMPLANTAÇÃO DE USINA DE COMPOSTAGEM EM TORRES, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental e Sanitarista, no Curso de Engenharia Ambiental de Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Planejamento e Gestão Pública e Gestão de Resíduos Sólidos.

Criciúma, 07 de agosto de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Gustavo José Deibler Zambrano - Mestre - UNESC - Orientador

Prof. Mário Ricardo Guadagnin - Mestre - UNESC

Prof. Sérgio Galatto - Mestre - UNESC

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço minha mãe Gislaine Lopes Prestes. Sou grata por ser tua filha, por compartilhar do teu amor e dos teus valores. Obrigada por doar sempre mais do que possível, obrigada por me incentivar a sonhar e realizar, e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus irmãos, Vitor e Marcos obrigada pelo amor e leveza que vocês trazem para a minha vida, por serem meus melhores amigos e meu porto seguro. A Minha vó Maria e meu tio Diego por todo o carinho e cuidado dedicados a mim desde sempre. Ao meu padrasto Valmir pelos conselhos e por apoiar as minhas escolhas. A minha tia Gisele e minha prima Eduarda por me acolherem e ouvirem sempre.

Ao Lucas por ser uma pessoa incrível, por estar presente neste momento, por me motivar todos os dias com as palavras e atitudes de carinho. As minhas amigas Isabela, Pietra e Dani por serem ouvintes/terapeutas, por estarem sempre prontas para aconselhar, por torcerem por mim, pela sintonia de sempre e por serem luz no meu dia a dia.

A minha família de Criciúma, Tainá, Kati e Anderson, por dividirem aprendizados, perrengues da vida de adulto e momentos especiais. A minha dupla e amiga Nathalia, presente da universidade para a vida, obrigada por todo esse tempo de parceria e cumplicidade.

A todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica. Em especial, ao meu orientador Gustavo pela paciência, pelo tempo dedicado, pelas palavras de incentivo, por todo auxílio e por ser um exemplo de profissional. Ao meu primeiro professor orientador Mário, por compartilhar ensinamentos e experiências e me motivar a aprender sempre mais sobre a importância da gestão de resíduos sólidos.

Por fim, agradeço ao Universo e aos orixás pela oportunidade de finalizar um ciclo de aprendizados, por entender e escolher viver o meu propósito. Pela natureza e seus ensinamentos. Por poder ser e estar nesse mundo, por ter muitos motivos para agradecer. Por ser quem eu sou aqui e agora.

“A responsabilidade social e a preservação ambiental significam um compromisso com a vida.”

João Bosco da Silva

## RESUMO

O gerenciamento municipal de resíduos sólidos urbanos abrange uma série de problemáticas ambientais, econômicas e sociais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que os resíduos devem seguir uma hierarquia com prioridades de ações para que sejam reciclados, compostados, reutilizados, reaproveitados e recuperados com destinação ambientalmente adequada, e que apenas os rejeitos devem ser dispostos de forma segura em aterros sanitários. Cerca de 50% dos resíduos gerados no Brasil são orgânicos e boa parcela é diretamente destinada à aterros sanitários. A determinação de um processo de gerenciamento adequado ao contexto local que priorize a implantação de tecnologias de valorização de resíduos, reciclagem e compostagem, é importante do ponto de vista ambiental, econômico e social. Este estudo teve como objetivo avaliar a implantação de uma Usina de Compostagem com sistema de leiras revolvidas no município de Torres, RS. A partir do dimensionamento da usina, foram estimados os investimentos iniciais e custos de operação que serviram como base para elaboração de um fluxo de caixa para a análise de viabilidade econômica. Além da definição e dimensionamento da técnica, foram determinadas, através do geoprocessamento de dados, as áreas com e sem restrições para implantação da atividade. Foi considerado uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 6%. A Taxa Interna de Retorno para implantação da usina em estudo é de 11%, quase o dobro da TMA estabelecida. O Valor Presente Líquido (VPL) obtido foi de R\$ 301.828,15 mostrando-se positivo o que significa que há expectativa de que todos os custos operacionais do projeto sejam pagos e de que o investimento inicial seja recuperado. O Valor Anual Uniforme (VA) foi de R\$ 28.807,93/ano, valor aceitável para validar o empreendimento.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos urbanos, rota tecnológica, gestão de resíduos orgânicos.

## ABSTRACT

The municipal solid waste management covers a series of environmental, economic and social problems. The National Solid Waste Policy provides that solid waste should be recycled, composted, reused and recovered, and the scraps disposed of in sanitary landfills. More than 50% of waste generated in Brazil are organic matter and a major part are disposed in landfills. The determination of a waste management process in view of local situation which prioritise the implantation of valuation Technologies, recycling and composting, is extremely importante from environmental and economic ponto f view. The aim of this study was to evaluate the implementation of a Compost Plant In Torres, RS. From the plant's sizing were estimated initial investments and operanting costs served as the basis for preparation of a cash flow to analyse the economic feasibility. In addition, were definede the implementation áreas with and without restrictions. The Internal Rate Return result in 11%. The Liquid Present Value for this project was R\$ 301.828,15 proved to be positive. The Annual Value of result in R\$ 28.807,93, an acceptable value to facilitate the roject.

**Keywords:** municipal wast, routes technology, management of organic waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Rota tecnológica adotada para gestão regionalizada de RSU no Paraná	29
Figura 2 - Modelo conceitual de um aterro sanitário .....	32
Figura 3 - Processo de incineração.....	36
Figura 4 - Esquema de sistema de leiras revolvidas .....	42
Figura 5- Fluxograma da metodologia adotada.....	51
Figura 6 - Composição Gravimétrica de municípios de até 50.000 habitantes .....	68
Figura 7 – Mapa de uso da terra do município de Torres.....	75
Figura 8 – Áreas com e sem restrições para implantação do empreendimento.....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições para instalação de Aterros Sanitários.....	33
Tabela 2 - Custos de Implementação de Aterros Sanitários por etapas. ....	35
Tabela 3 - Composição média de resíduos gerados no Brasil .....	47
Tabela 4 - Destinação de resíduos por macrorregião .....	47
Tabela 5 - Dados populacionais de Torres, RS.....	53
Tabela 6 - Dados Populacionais dos Últimos censos.....	54
Tabela 7 - Dimensões de galpões e instalações de apoio .....	59
Tabela 8 - Geração de RSU em Torres.....	66
Tabela 9 - Composição Gravimétrica por Faixas Populacionais .....	67
Tabela 10 - Custo total com a coleta de RSU .....	68
Tabela 11 - Custos de disposição final em aterro sanitário.....	69
Tabela 12 - Custo Total da Gestão de RSU.....	69
Tabela 13 – Dados de entrada para cálculos da geração de matéria orgânica .....	69
Tabela 14 – Dados de entrada para dimensionamento da UC.....	70
Tabela 15 - Custos total das construções .....	71
Tabela 16 – Custo de equipamentos operacionais .....	71
Tabela 17 – Custo fixo com funcionários .....	72
Tabela 18 – Custos fixos com EPI's.....	72
Tabela 19 – Custos variáveis .....	72
Tabela 20 – Despesas fixas .....	72
Tabela 21 – Dados de entrada para estimativa de receitas .....	73
Tabela 22 – Programa de vendas .....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes métodos de compostagem.....	41
Quadro 2 - Quadro comparativo das tecnologias.....	54
Quadro 3 - Balanço de massa.....	57
Quadro 4 - Condições para definição de áreas aptas e inaptas.....	64

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS .....	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
3.1 POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	24
3.2 PROCESSO DE GERENCIAMENTO .....	27
3.3 DIFERENTES TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	31
3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS NA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS..	43
3.5 PANORAMA DE RESÍDUOS NO BRASIL.....	46
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
4.3 DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA E PROPOSTA DE ROTA TECNOLÓGICA .....	54
4.3 DIMENSIONAMENTO DA USINA DE COMPOSTAGEM .....	55
4.4 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS .....	61
4.5 DETERMINAÇÃO DOS IMPOSTOS, PREÇOS DE VENDA E RECEITAS .....	61
4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	62
4.7 DEFINIÇÃO DE ÁREAS APTAS.....	63
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE TORRES, RS 65	
5.2 USINA DE COMPOSTAGEM DE RSU PARA TORRES, RS .....	69
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>77</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos de um município abrange uma série de problemáticas ambientais, econômicas e sociais. Ao longo dos anos a legislação ambiental brasileira obteve avanços nesta área do saneamento básico, porém muitas são as lacunas técnicas existentes que ocasionam inúmeras falhas na gestão pública dos resíduos sólidos urbanos. A ineficácia do gerenciamento pode desencadear uma séria de problemas ambientais e sociais, gerando danos à saúde e a qualidade de vida da população.

A Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tramitou por mais de 20 anos nas esferas legislativas brasileiras, até entrarem em vigor as normas gerais para a gestão dos resíduos sólidos, preenchendo uma importante lacuna na legislação brasileira. Tendo como principais diretrizes aplicáveis a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A PNRS estabelece que os resíduos devem ser reciclados, compostados, reutilizados, reaproveitados e recuperados, e que os rejeitos devem ser dispostos de forma ambientalmente adequada em aterros sanitários.

Apesar de a composição dos resíduos sólidos no Brasil ser heterogênea, nos municípios a maior fração é composta por resíduos orgânicos, que são classificados como sobras de alimentos e resíduos vegetais provenientes da limpeza urbana. O material orgânico gerado possui grande potencial de reaproveitamento através de técnicas de compostagem, entretanto na maioria dos municípios esses resíduos recebem o mesmo destino dos rejeitos, aterros sanitários, aterros controlados ou lixões. Esse fato contribui para o aumento expressivo do custo da gestão municipal de resíduos sólidos, além de contribuir para a redução da vida útil de aterros sanitários e contaminar lençóis freáticos.

Tendo em vista o cenário da gestão de resíduos do município de Torres/RS, esta pesquisa justifica-se como um ensaio de estudo técnico, ambiental e econômico para viabilizar a implantação de uma Usina de Compostagem. Considerando o contexto urbano e todos os aspectos relacionados, contribuindo com a gestão ambiental pública através da valoração direta do material orgânico, redução de custos e de impactos ambientais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar a viabilidade técnica, locacional e econômica para a implementação de uma Usina de Compostagem no município de Torres, localizado na região do litoral norte do Rio Grande do Sul.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município em estudo;
- Avaliar tecnologias de tratamento de resíduos;
- Identificar os aspectos técnicos e econômicos pertinentes;
- Definir as áreas aptas para implantação da Usina de Compostagem;
- Propor uma rota tecnológica adequada para que ocorra efetivamente a valorização do resíduo;
- Realizar um balanço orçamentário para balizar a viabilidade econômica da atividade.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tramitou por 21 anos nas esferas legislativas brasileiras, até entrarem em vigor, as normas gerais para a gestão dos resíduos sólidos. A PNRS versa sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relacionados à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

De acordo com a Lei nº 12.305/2010, resíduos sólidos urbanos são os resíduos originados em atividades domésticas em residências (resíduos domiciliares) e de serviços da limpeza urbana, como limpeza das vias públicas, varrição e limpeza de logradouros (resíduos de limpeza urbana). A diferença entre resíduo sólido e rejeito, é que o rejeito é parte do que sobra do produto consumido. Toda a sobra que não possa ser reutilizada ou reciclada é rejeito, inclusive embalagens de materiais não recicláveis (BRASIL, 2010).

Anteriormente a PNRS, a Norma Brasileira NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação de 2004, da ABNT, que estabelece os critérios para classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais, já definia resíduos sólidos como sendo:

Resíduos que estão nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2004).

A Lei nº 12.305/2010 apresenta o conceito de destinação final ambientalmente adequada, que corresponde a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético, “desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.” (Art. 9 BRASIL, 2010), ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes. Entre elas a disposição final ambientalmente adequada que é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários,

observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos conforme a Lei 12.305/2010, em seu artigo 6º estabelece a responsabilidade do poder públicos e de todos os setores geradores de resíduos, o desenvolvimento sustentável e a visão sistêmica na gestão de resíduos sólidos, considerando as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública. Além disso, os objetivos dessa lei destacam a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, através do incentivo à gestão integrada, assim como à indústria da reciclagem (BRASIL, 2010).

No que tange os instrumentos dispostos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu artigo 8º elenca entre eles a necessidade os planos de resíduos sólidos, a coleta seletiva e sistemas de logística reversa como ferramentas relacionadas a implementação da responsabilidade compartilhada, a pesquisa científica e tecnológica, a educação ambiental, além do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) e o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa), entre outros (BRASIL, 2010).

O plano de resíduos é considerado um dos instrumento de suma importância para a aplicação das diretrizes da PNRS, é um documento formal que reproduz o modelo de gestão e gerenciamento, seja a nível nacional, estadual, municipal ou empresarial. Nos planos de resíduos sólidos consolidam-se as metas e estratégias que serão abordadas, além das ações e demais instrumentos para o alcance dos objetivos previstos (GUERRA, 2012).

### **3.1.1 Características e Classificação dos resíduos sólidos**

Os resíduos sólidos apresentam uma vasta complexidade, uma vez que suas características físicas, químicas e biológicas podem variar de acordo com aspectos sociais, geográficos, culturais, econômicos ou climáticos. Deste modo, a caracterização dos resíduos tem como objetivo planejar o tipo de destinação final mais adequado, analisar a implantação de métodos de tratamentos e verificar a viabilidade do aproveitamento desses resíduos, através da reciclagem (STECH, 1990).

As características biológicas do resíduo são definidas pelos microrganismos e agentes patogênicos presentes nele. Os parâmetros físicos dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004 da ABNT são:

- Geração per capita: relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos geradas por dia, e a quantidade de habitantes de uma região (ton./hab.dia);
- Composição gravimétrica: representa a quantidade (em porcentagem) de cada componente (matéria orgânica, papel/papelão, plástico, metal, vidro) em relação ao peso total da amostra analisada;
- Peso específico aparente: é a aceleração do peso do lixo sem qualquer compactação, com o volume por ele ocupado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- Teor de umidade: indica a quantidade de água contida e determinada amostra de resíduos sólido, medida em percentual do seu peso;
- Compressibilidade: indica qual a redução do volume que uma massa de resíduos sólidos pode sofrer quando submetido a uma pressão.

Os parâmetros físico-químicos dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004 da ABNT são:

- Poder calorífico: indica o potencial que determinado material tem de desprender uma quantidade de calor quando submetido à combustão;
- Potencial hidrogeniônico (pH): especifica o teor de alcalinidade ou ácidos do resíduo. Normalmente situa-se na faixa de 5 a 7;
- Composição química: determina os teores de matéria orgânica, carbono, cinzas, potássio, nitrogênio, cálcio, fósforo, gorduras e resíduos mineral solúvel e total;
- Relação carbono nitrogênio (C/N): indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos nos processos de tratamento e disposição final. Geralmente situa-se entre 20:1 e 35:1.

A classificação de resíduos sólidos deve ser realizada a partir da identificação do seu processo de origem, das características e composições específicas, para que então ocorra a comparação com listagens de resíduos e componentes que oferece impacto a saúde e ao meio ambiente.

De acordo com a norma 10.004/2004 da ABNT, os resíduos são classificados em:

- CLASSE I - PERIGOSOS: São os resíduos que possuem características de inflamabilidade, toxicidade, patogenicidade, reatividade ou corrosividade, sendo assim expressam riscos à saúde pública e ao meio, caso sejam manejados de forma incorreta.
- CLASSE II - NÃO PERIGOSOS: São resíduos não perigosos e que não se enquadram na classificação classe I. Eles são divididos em: Resíduos classe II A, e classe II B.
- CLASSE II A – NÃO INERTES: São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou classe II B, e podem ter características como solubilidade, combustibilidade ou biodegradabilidade.
- CLASSE II B – INERTES: São os resíduos que não apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente devido suas características intrínsecas, e que quando em contato com a água não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações acima dos padrões de potabilidade da água, com exceção dos padrões de turbidez, cor, sabor e aspecto.

### 3.2 PROCESSO DE GERENCIAMENTO

A PNRS também aborda os conceitos de gerenciamento e gestão de resíduos sólidos que se diferem em alguns aspectos. O gerenciamento de resíduos sólidos é definido como o “conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010, Art. 3º, inciso X). E conforme o inciso XI do artigo 3º da Lei 12305/2010 “a gestão integrada de resíduos sólidos é considerada o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010).

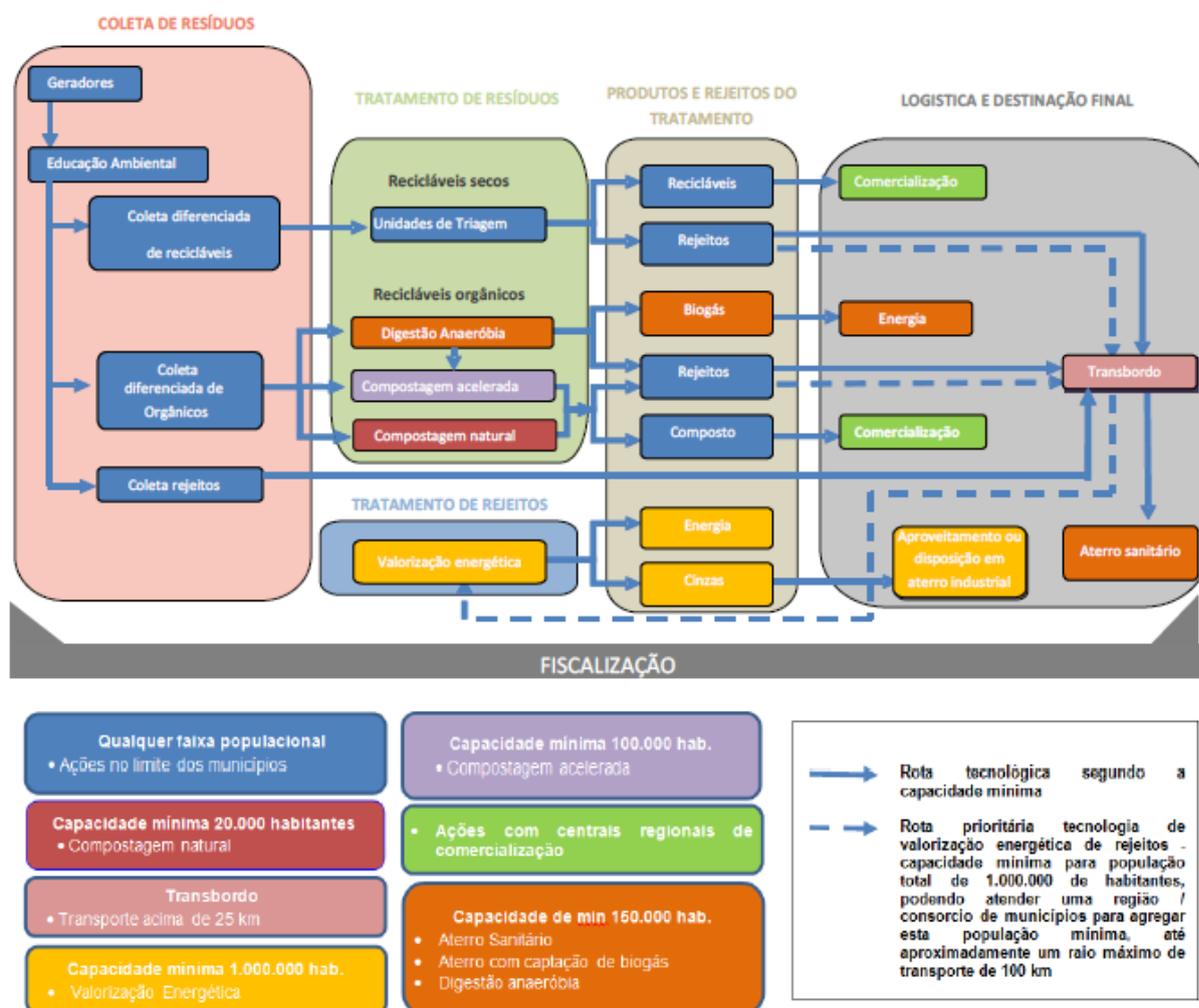
Para Barros (2012), gestão e gerenciamento são, em geral, usados de forma análoga, embora se referindo a conotações diferentes: a gestão diz respeito a estratégia, política; enquanto gerenciamento é questão operacional, da execução propriamente dita.

Segundo Santanella (2014) a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos com a perspectiva do desenvolvimento sustentável devem ser realizados de forma integrada, para assim atender aos objetivos do conceito de prevenção da poluição. O gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos envolve diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil, com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento, e a disposição final dos mesmos, considerando as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais.

### **3.2.1 Rotas Tecnológicas de resíduos sólidas**

Uma rota tecnológica é o conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, considerando circuitos de coleta de resíduos de forma diferenciada e indiferenciada, contemplando também tecnologias de tratamento dos resíduos com ou sem valorização energética (BNDES; UFPE, 2014, p. 148). A Figura 1 indica as possibilidades de rotas a serem adotadas.

Figura 1 - Rota tecnológica adotada para gestão regionalizada de RSU no Paraná



Fonte: PERS (2014).

Para definir um sistema de gerenciamento, é fundamental conhecer a situação atual de geração de resíduos, bem como avaliar as possíveis rotas para o material, as tecnologias disponíveis e os aspectos ambientais. Lima et al. (2014), em estudo para propor alternativas tecnológicas de tratamento de RSU na região sul do Brasil, considerando um arranjo simplificado, sugerem a rota tecnológica da reciclagem, compostagem e aterro sanitário sem geração de energia para os municípios de porte intermediário (com menos de 250 mil habitantes).

### 3.2.2 Coleta e transporte

Segundo Andreoli et al (2014), a etapa da coleta, que corresponde a operação de recolhimento dos resíduos onde eles são gerados, deve ser realizada considerando a frequência necessária a fim de evitar a longa exposição dos resíduos, que pode gerar emissão de odores e proliferação de vetores.

De acordo com Barros (2012) o planejamento do sistema de coleta de RSU deve considerar as características topográficas, de tráfego, do contexto urbano da cidade, o local de destinação, a quantidade e características dos resíduos.

As cidades apresentam, frequentemente, dois ou mais tipos de coleta ao mesmo tempo escolhidas, por exemplo, conforme as áreas onde os resíduos se encontram, topografia, ou algum fator econômico. Existem quatro sistemas diferenciados: sistema convencional (realizados de porta a porta ou de ponto a ponto, em espaços de tempo determinados), sistema especial (realizada em sistema de escala ou a partir de pedidos de interessados), coleta realizada pelo próprio produtor e sistema de coleta seletiva (recolhimento de materiais previamente segregados) (BARROS, 2012).

O acondicionamento corresponde a forma como os resíduos devem ser organizados para aguardar a coleta. O acondicionamento deve ser compatível com as características quali-quantitativas dos resíduos, facilitando a identificação e possibilitando o manuseio seguro dos resíduos, durante as etapas de coleta, transporte (ZANTA e FERREIRA, 2003). O transporte é uma etapa complementar à de coleta. É a condução dos resíduos do ponto final de coleta até o local de disposição final.

### **3.2.3 Destinação e disposição final**

A destinação e a disposição final de resíduos são etapas importantes do processo de gerenciamento, pois quando executada de forma inadequada os impactos ambientais e sanitários são extremamente graves. Os aspectos bióticos, físicos, químicos e socioeconômicos do meio são prejudicados, quando não o controle adequado da destinação e disposição dos resíduos (SANTANELLA, 2014).

Existem algumas formas possíveis para destinação e tratamento dos resíduos sólidos e sua posterior disposição final na natureza. O tratamento de resíduos é um conjunto de métodos tem como finalidade a redução periculosidade, a reinserção na cadeia econômica através da reutilização e diminuição da massa de resíduos dispostos em aterros sanitários e aterros controlados. Dentre os métodos de tratamento pode-se destacar a compostagem, triagem da coleta seletiva e a incineração mesmo que essa não tenha sido regulamentada no Brasil (SANTANELLA, 2014). De acordo com a Lei 12.305 de 2010, a disposição ambientalmente adequada deve ser feita em aterros sanitários, em que deveriam ser

destinados apenas rejeitos que não são passíveis de técnicas de tratamento devido suas características.

De acordo com a legislação vigente, poderão ser utilizadas tecnologias de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos a partir da comprovação da viabilidade técnica e ambiental com a implantação de programa de monitoramento de emissão de poluentes, sendo que o mesmo deve ser aprovado pelo órgão ambiental partindo de normas e legislações regulamentadoras (BRASIL, 2010).

### 3.3 DIFERENTES TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo o Diagnósticos de Resíduos Sólidos (2018), categorizam-se no tratamento e na disposição final as seguintes unidades: lixão, aterro controlado, aterro sanitário, vala específica para resíduos de saúde, aterro industrial, unidade de triagem, unidade de compostagem, incinerador, unidade de tratamento por micro-ondas ou autoclave, unidade de manejo de podas, unidade de transbordo, área de reciclagem de resíduos da construção civil, aterro de resíduos da construção civil, área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil. Este estudo tem como intuito abordar três tecnologias: aterro sanitário, incineração e compostagem.

#### 3.3.1 Aterro Sanitário

O aterramento é considerada uma das técnicas mais difundidas no mundo de disposição final de resíduos sólidos, devido à simplicidade operacional e ao relativo baixo custo. É fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, para confinar os resíduos de forma segura e minimizar os impactos ambientais negativos (SANTANELLA, 2014).

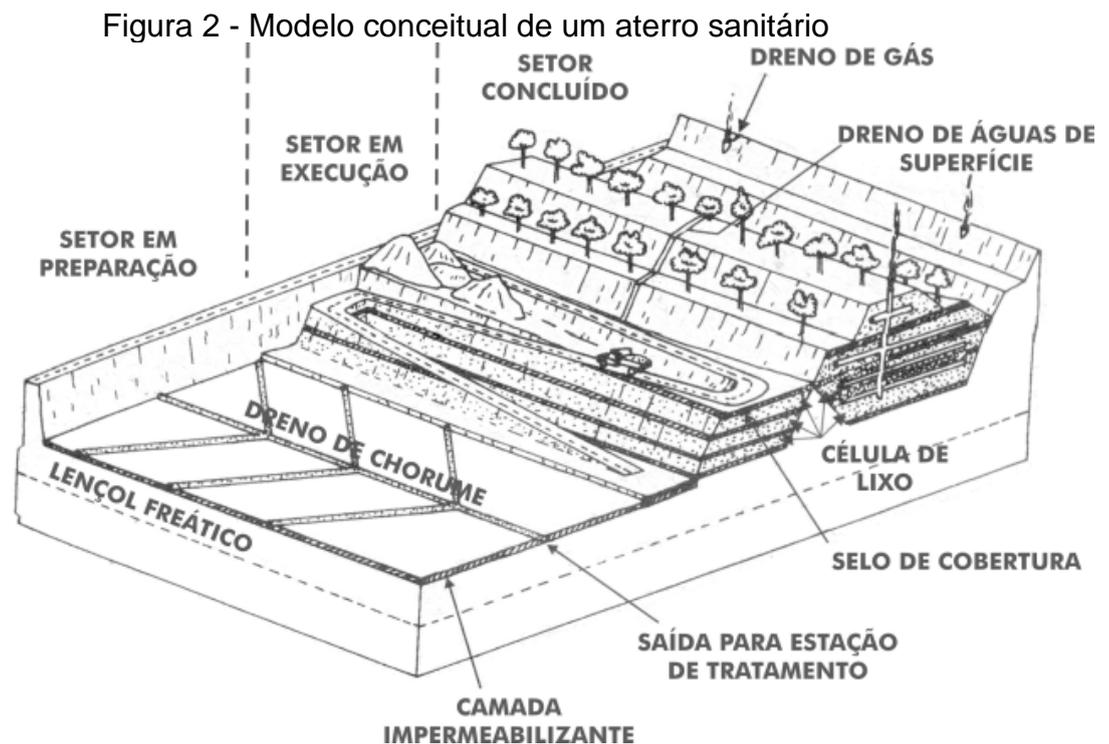
Um projeto de aterro sanitário deve fazer parte do gerenciamento integrado de resíduos sólidos, como institui a PNRS, ou seja, deve ser implantado juntamente com a separação na fonte geradora para coleta seletiva, educação ambiental e o incentivo a redução do consumo. Esses fatores são essenciais para a boa execução desse tipo de empreendimento (GADELHA, 2008).

De acordo com a CESTESB (2020) os aterros podem ser divididos em diferentes tipos:

- Aterro convencional: formação de camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno resultando em configurações típicas de “escada” ou de “troncos de pirâmide”;
- Aterro em valas: o uso de trincheiras ou valas visa facilitar a operação do aterramento dos resíduos e a formação das células e camadas; assim sendo, tem-se o preenchimento total da trincheira, que deve devolver ao terreno a sua topografia inicial.

### 3.3.1.1 Aspectos técnicos e Aspectos ambientais

A técnica de aterramento, é feita com a compactação dos resíduos em camadas. O solo é previamente impermeabilizado, o chorume é coletado e conduzido para estações de tratamento. Da mesma forma, o gás que é produzido pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica, é capturado e queimado, ainda, por diversas vezes, podendo ser realizado um aproveitamento energético para a geração de energia elétrica (ANDREOLI *et al.*, 2012). A Figura 2 apresenta um modelo de aterro sanitário.



Fonte: (VILHENA, 2010, p. 244)

A instalação de um aterro sanitário deve estar de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, sendo elas:

- NBR 8.419/1992 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento;
- NBR 12.988/1993 - Líquidos livres - Verificação em amostra de resíduos - Método de ensaio;
- NBR 13.895/1997 - Construção de poços de monitoramento e amostragem – Procedimento;
- NBR 13.896/1997 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação;
- NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação NBR 10007 - Amostragem de resíduos – Procedimento.

A ABNT - NBR 13.896/1997 em suas normatizações sobre aterros de resíduos não perigosos estabelece que uma área para abrigar um aterro de resíduos deve ser tal que: seja atenuado o impacto ambiental a ser causado por este empreendimento; seja maximizado o consentimento da instalação pela população; esteja de acordo com o zoneamento e legislação municipal; e possua vida útil longa, exigindo para o início da operação um mínimo de obras. Para os centros de compostagem, esses requisitos também são válidos. A Tabela 1 apresenta as condições para instalação de acordo com a NBR em questão.

Tabela 1 - Condições para instalação de Aterros Sanitários

Atributos	Aterros de Resíduos Não-Perigosos (NBR 13896/1997)
Topografia	Declividade superior a 1% e inferior a 30%
Geologia e tipos de solos existentes	Desejável depósito natural extenso e homogêneo com $k < 10^{-5}$ cm/s. Zona insaturada com espessura superior a 1,5m
Recursos Hídricos	À distância mínima de 200 m de corpos d'água (a critério do Órgão Estadual de Controle Ambiental)
Vegetação	Estudo macroscópico da vegetação
Acessos	Utilização sob quaisquer condições climáticas
Tamanho e vida útil	Vida útil mínima de 10 anos
Custos	Determina a viabilidade econômica do empreendimento
Distância de núcleos Populacionais	Superior a 500m (a critério do Órgão Estadual de Controle Ambiental)
Áreas sujeitas à inundação	Em períodos de recorrência de 100 anos

Fonte: adaptado de Silva (2011).

Através da Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981, é possível, por meio dos seus instrumentos, avaliar os impactos ambientais (AIA). Em meio a estes se destacam: o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), os quais são documentos necessários para o licenciamento ambiental de empreendimentos impactantes, como estradas, aeroportos, extração de minérios, aterros sanitários, descritos nos incisos do Art. 2º da Resolução CONAMA 01/1986.

Os aterros estão expostos às intempéries da natureza, portanto encontram-se ativados os processos físicos, químicos e biológicos. Desta forma, considerando a composição gravimétrica dos resíduos brasileiros, com predominância de matéria orgânica, ocorre a formação de biogás e lixiviado (CASTILHOS, 2003).

Os potenciais impactos ambientais decorrente do processo de aterramento quando não efetuado da forma correta, estão relacionado com a poluição do solo, de recursos hídricos, a emissão de gases poluentes, entre outros. Nos aterros sanitários, existe uma série de particularidades incorporadas de modo a minimizar os impactos ambientais, pode-se citar: impermeabilização inferior e superior; sistema de drenagem e tratamento do chorume e dos gases (ANDRIEOLI et al., 2012).

### 3.3.1.3 Aspectos econômicos

Os investimentos necessários para a execução de um aterro sanitário, podem ser divididos em cinco etapas: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-operação. Os custos da implantação de um aterro sanitário representam em média 5% do total investido; os custos com operação e manutenção para um período de vida útil de 20 anos, caracterizam normalmente 85 % dos gastos; por sua vez, o encerramento e pós encerramento representam 10 % do total (ABETRE e FGV, 2009; DIAS et al, 2017).

No estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas e pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos foram definidos os custos totais de gerenciamento de aterros sanitários padrões, com três capacidades distintas: grande porte (2000 t/dia); médio porte (800 t/dia) e pequeno porte (100 t/dia) de resíduos municipais e indústrias não perigosos (classe II – A). Os resultados desse

estudo de viabilidade econômica estão descritos na Tabela 2 (ABETRE e FGV, 2009).

Tabela 2 - Custos de Implementação de Aterros Sanitários por etapas.

<b>Etapa do Aterro</b>	<b>Grande 2000 t/dia</b>	<b>Médio 800 t/dia</b>	<b>Pequeno 100 t/dia</b>
Pré-implantação	4.065.461,00	2.032.730,00	608.087,00
Implantação	18.169.781,00	9.084.890,00	2.669.178,00
Operação	461.494.052,00	230.747.020,00	45.468.163,00
Encerramento	6.488.889,00	3.244.444,00	486.667,00
Pós-encerramento	35.575.984,00	17.787.922,00	3.212.354,00
<b>Custo total (R\$)</b>	<b>525.794.167,00</b>	<b>262.897.006,00</b>	<b>52.444.449,00</b>

Fonte: ABETRE e FGV, 2009.

O aterro sanitário é uma tecnologia amplamente conhecida, onde ocorre a possibilidade de aproveitamento do biogás, podendo ser utilizado para a geração de energia elétrica. Porém, como desvantagem possui um alto custo construtivo, necessita de grandes áreas para implantação do empreendimento e quando atinge a capacidade máxima exige uma série de manutenções, ou seja, mais investimentos (SANTANELLA, 2014).

### **3.3.2 Incineração**

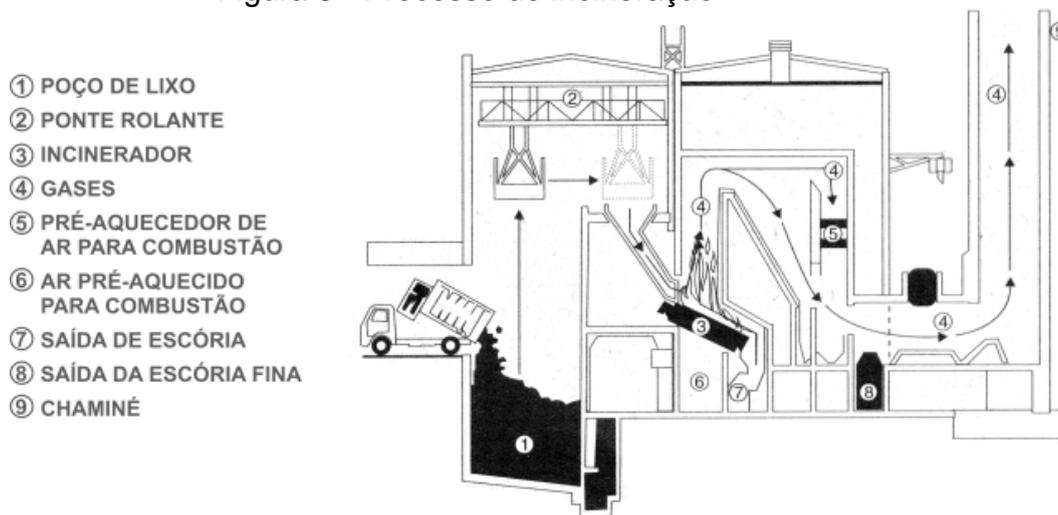
A incineração consiste na queima dos resíduos sólidos, em temperaturas muito elevadas, até a sua transformação em cinzas, com o objetivo de reduzir massa e volume destes resíduos. Essa técnica é considerada a segunda mais antiga forma de tratamento de resíduos, a primeira seria lixões, que correspondem a disposição de resíduos em qualquer local, sem os controles ambientais. O conceito de incineração começou a ser discutido na década de 50 (MENEZES, GERLACH E MENEZES, 2000; SANTANELLA, 2014).

O processo de incineração é praticado de forma comum em países da Europa, Estados Unidos e no Japão. No Brasil, de acordo com Machado (2015) apenas indústrias de grande porte possuem incineradores, como parte da sua política de redução de resíduos sólidos e cogeração de energia. Estas empresas são responsáveis pela incineração de 80.750t/ano com uma capacidade de incineração que varia de 7,5 até 50t/dia. Todos os incineradores possuem lavadores de gases e, na maioria, as cinzas produzidas são direcionadas a aterros industriais próprios.

### 3.3.2.1 Aspectos técnicos e Aspectos ambientais

Para a execução da incineração deve ocorrer a combustão controlada, com temperaturas elevadas entre 900°C a 1200°C, realizando uma transformação do resíduo sólido em dióxido de carbono, vapor de água e cinza. Pode-se considerar como uma vantagem da incineração a produção de energia elétrica através da combustão (ANDREOLI et al., 2012). A Figura 3 ilustra uma planta de incineração.

Figura 3 - Processo de incineração



Fonte: Tetra Pak (2017).

Com o incinerador se deve tomar diversos cuidados, pois é produzido um gás tóxico na queima, o qual é composto por diversas substâncias que são prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Segundo Puna e Baptista:

Relativamente ao tratamento dos gases de combustão, serão necessários processos físico-químicos para tratar nomeadamente, CO (proveniente da combustão incompleta do carbono), NOx (provenientes da exposição do refratário do forno de incineração às altas temperaturas existentes no mesmo), gases ácidos (HF, HCl e SO<sub>2</sub>), metais pesados, Dioxinas/Furanos/PCB's, compostos orgânicos voláteis (COV's) e partículas. Todos estes produtos resultam da combustão incompleta dos RSU (à exceção dos NOx), consoante a composição elementar dos mesmos, nomeadamente em termos da presença de halogêneos, como cloro e flúor, enxofre e metais pesados como Cu, Cr, Cd, Be, Mn, Hg e As (PUNA; BATISTA, 2008, p. 647-648).

No Brasil usinas de incineração são sujeitas ao que estabelece a Resolução CONAMA n.º 316/2002, a qual disciplina os métodos de tratamento térmico de resíduos, e estabelece procedimentos operacionais, limites de emissão, critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes. Além disso, evidencia a exigência de estudos, tanto para uma análise de alternativas tecnológicas, de acordo com o conceito de melhor técnica disponível (art.4), quanto

para o processo de licenciamento das unidades de tratamento térmico de resíduos, como Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), análise de Risco, dentre outros (art. 26).

Os artigos 22, 23 e 24 desta Resolução referem-se ao tratamento dos resíduos de origem urbana:

Art. 22. O sistema de tratamento térmico de resíduos de origem urbana, ao ser implantado, deve atender os seguintes condicionantes, sem prejuízo de outras exigências estabelecidas no procedimento de licenciamento e legislações complementares:

I - área coberta para o recebimento de resíduos;

II - sistema de coleta e tratamento adequado do chorume.

Art. 23. Os resíduos de origem urbana, recebidos pelo sistema de tratamento térmico, deverão ter registro das informações relativas à área de origem e quantidade. Parágrafo único. As câmaras deverão operar à temperatura mínima de oitocentos graus Celsius, e o tempo de residência do resíduo em seu interior não poderá ser inferior a um segundo.

Art. 24. A implantação do sistema de tratamento térmico de resíduos de origem urbana deve ser precedida da implementação de um programa de segregação de resíduos, em ação integrada com os responsáveis pelo sistema de coleta e de tratamento térmico, para fins de reciclagem ou reaproveitamento, de acordo com os planos municipais de gerenciamento de resíduos (BRASIL, 2002).

Outros dois instrumentos legais sobre incineração, no Brasil, que merecem destaque são:

- Resolução CONAMA n.º 264/1999 - que dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividade de coprocessamento de resíduos na fabricação de cimento;
- Resolução CONAMA n.º 283/2001 - que dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Muito embora a incineração no Brasil se aplica principalmente aos RSSS, esta Resolução apresenta outras tecnologias de tratamento que não seja por meio da incineração.

A produção de energia potencial, decorrente da incineração, depende diretamente do poder calorífico dos materiais encontrados na massa total de resíduos sólidos urbanos. O poder calorífico de materiais normalmente encontrados em RSU, em que predominam orgânicos, tendem a apresentar menor poder calorífico. Desse modo, para que ocorra o rendimento esperado, além da massa de resíduo passar por um processo de pré-tratamento, também deve ser adicionado

combustíveis auxiliares tais como GLP, gás natural ou óleo diesel, o que torna o processo ainda mais oneroso (THEMELIS e KAUFMAN, 2004).

Em um contexto geral, a incineração de resíduos tem como vantagens: a redução da disposição de RSU em aterros sanitários, o que ocasionaria o aumento da vida útil de aterros; a geração de energia e a obtenção de receitas a partir da comercialização da energia gerada (GIRAÇOL et al., 2011; PASSARINI et al., 2014).

Ao se comparar as tecnologias de incineração e de processamento biológico como as duas formas adotadas para se produzir energia elétrica, com a quase total eliminação da necessidade de aterros sanitários, conclui-se que os processos biológicos são mais viáveis economicamente e não agredem a natureza. Entre os fatores que tornam os processos biológicos mais vantajosos em relação a incineração, pode-se citar: uma planta de incineração exige uma área grande para instalação; o investimento inicial é muito elevado; exige controles operacionais mais rigorosos e ocorre a geração de efluentes gasosos e cinzas, sendo que o tratamento de gases e disposição das cinzas torna o processo dispendioso (GRIPP, 1998).

### 3.3.2.3 Aspectos econômicos

O ciclo padrão para construção de uma usina de incineração envolve três fases: estudo de viabilidade, elaboração do projeto e implementação. Em estudo de viabilidade econômica para instalação de uma Usina de Incineração com capacidade de processamento entre 350 e 640 t/d (massa seca que viabiliza a recuperação energética) realizado por SAFFER (2011), o investimento inicial é de R\$ 232.400.000,00. Os custos com operação da planta são estimados utilizando valores de estudos similares e incluem, tributos, encargos, gastos operacionais e manutenção estes totalizam gastos da ordem de R\$ 1.729.026,00 mensais. A rentabilidade do projeto depende fortemente das receitas provenientes da venda de energia, de acordo com a ANEEL (2017), a energia pode ser comercializada no Brasil por 0,39865 R\$/kWh.

### 3.3.3 Compostagem

O processo de decomposição biológica controlada da matéria orgânica por uma diversa população de organismos, em condições aeróbias e termofílicas é chamado de compostagem. O resultado da compostagem é um material estabilizado, com características completamente diferentes das de sua origem (BRASIL, 2017). O produto resultante da decomposição de resíduos orgânicos é o

húmus, sendo um composto estabilizado, rico em nitrogênio e fósforo utilizado como fertilizando e adubo natural (SANTANELLA, 2014).

Para a Embrapa (2009), compostagem é o conjunto de técnicas aplicadas para estimular a decomposição de materiais orgânicos por organismos heterótrofos aeróbios, com a finalidade de obter, no menor tempo possível, um material estável, rico em nutrientes e minerais, formando, assim, um solo húmico.

A estratégia mais prometedora para melhorar a gestão ambiental é a minimização da quantidade de resíduos produzidos e a maximização da reciclagem e recuperação de recursos. Nestes últimos, está incluída a compostagem. (ALMEIDA, TEIXEIRA E SILVA, 2003).

### 3.3.3.1 Aspectos técnicos e Aspectos ambientais

Segundo Andreoli et al (2001), o bom desempenho da tecnologia escolhida depende da utilização de resíduos adequados para a compostagem e da garantia que o processo biológico ocorra em boas condições.

A técnica de compostagem é simples comparando-se com as estruturas dos aterros sanitário que são complexos e, muitas vezes, não possuem a eficiência desejada no seu funcionamento, causando impactos ambientais inesperados. Instalar um centro de compostagem municipal requer um planejamento que envolve diversas áreas do conhecimento (CERCINÁ, 2017).

As variáveis que devem ser consideradas para uma boa execução da técnica de compostagem são as variações de temperatura, nível de oxigênio, quantidade e qualidade do material compostável, relação C/N, pH e disponibilidade de nutrientes, sendo esses os principais fatores a serem controlados (MASSUKADO, 2008):

- Temperatura: O controle da temperatura está relacionado a eliminação de microrganismos patogênicos, os principais fatores que contribuem para a eliminação desses organismos são a manutenção da temperatura entre 65 °C e 70 °C, o tempo de exposição a temperatura, competição entre espécies e a extinção do substrato e dos nutrientes. Os intervalos de temperatura definem as fases da compostagem em: termófila, mesófila e de maturação, a manutenção da temperatura termófila por um determinado período garante a

quase completa erradicação de ervas daninhas e microorganismos patogênicos (BIDONE E POVINELLI, 1999; REIS, 2005);

- Umidade: o teor de umidade é determinado pelas condições físicas iniciais do material de entrada, do tamanho das partículas e estágio de decomposição. O valor ideal de umidade deve ser em torno de 45 a 55 %, e está diretamente relacionada com a atividade biológica de decomposição da matéria orgânica (KIEHL, 2004);
- Aeração e revolvimento: tem como função eliminar o calor a umidade excessivo, através do revolvimento que pode ser manual, mecânico ou através da injeção de ar (MASSUKADO, 2008);
- Relação de carbono/nitrogênio (C/N): Ambos são elementos essenciais para o desenvolvimento dos microorganismos, o carbono sendo fonte de energia e o nitrogênio essencial para a síntese de proteínas. O intervalo recomendável é de 25/1 e 35/1 (KIEHL, 2004);
- pH: O pH influencia na atividade microbiológica devendo alcançar um valor médio, pois as variações de acidez e alcalinidade afetam diretamente o fornecimento de nutrientes necessários. Ou seja, o valor de pH ideal deve variar entre 6,0 e 7,0 (BIDONE E POVINELLI, 1999);
- Microorganismos: a condição primária para ocorrer a atividade microbiana é a presença de um ambiente aeróbio na compostagem. As bactérias tem como função a decomposição e açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos. Fungos e actinomicetos são responsáveis pela degradação do material celulósico. A função de fixação do nitrogênio é comum aos três microorganismos (BIDONE E POVINELLI, 1999).

Compostagem é uma técnica bastante flexível, que pode ser executada em pequena e grande escala. Pode ser realizada, basicamente segundo o método de leiras revolvidas ou sistema *windrow*; leiras estáticas aeradas ou *static piles* e sistema fechado ou acelerado (MASSUKADO, 2008). O Quadro 1 descreve o processo e os aspectos de cada método de compostagem.

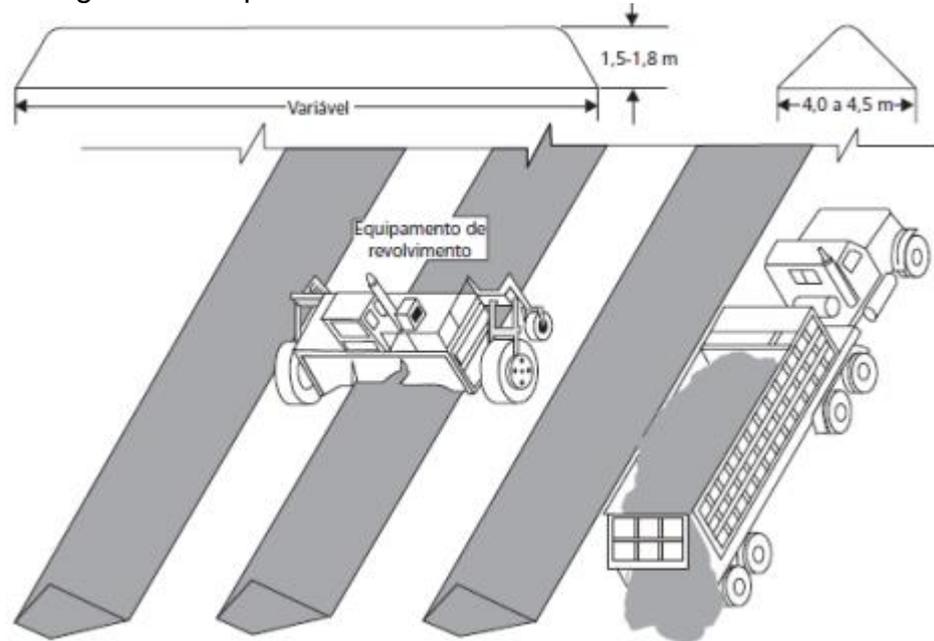
Quadro 1 - Diferentes métodos de compostagem

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
Leiras revolvidas ou sistema <i>windrow</i>	A pilha de resíduo é montada sobre o solo (compactado ou impermeabilizado). A aeração é realizada por revolvimento, manual ou mecânico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo investimento inicial;</li> <li>• Flexibilidade na quantidade de resíduo processada;</li> <li>• Simplicidade de operação;</li> <li>• Uso de equipamentos mais simples;</li> <li>• Emprego de mão de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer mais área;</li> <li>• Odor mas difícil de ser controlado;</li> <li>• Depende do clima.</li> </ul>
Leiras estáticas aeradas ou <i>static piles</i>	As leiras são colocadas sobre uma tubulação perfurada de 10 cm de diâmetro acoplada a um soprador ou exaustor, que injeta ou aspira o ar na massa a ser compostada. Nesse sistema não há revolvimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo investimento inicial;</li> <li>• Melhor controle de odores;</li> <li>• Etapa de estabilização mais rápida que o método de leiras revolvidas;</li> <li>• Melhor aproveitamento da área disponível;</li> <li>• Mais eficaz na eliminação de organismos patogênicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores;</li> <li>• Operação também influenciada pelo clima;</li> <li>• Requer que o material de entrada seja o mais homogêneo possível.</li> </ul>
Sistema fechado ou acelerado	Nesse método ocorre a utilização de dispositivos tecnológicos como digestores e bioestabilizadores, o processo é mais acelerado e ocorre um maior controle de odores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor demanda de área;</li> <li>• Menor dependência dos fatores climáticos;</li> <li>• Facilidade para controlar odores;</li> <li>• Reduz o tempo de compostagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior investimento inicial;</li> <li>• Dependência de sistemas mecânicos;</li> <li>• Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos;</li> <li>• Risco de erro difícil de ser reparado em caso de mal dimensionamento.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Reis (2005).

A compostagem apresenta diversas vantagens ambientais, destacando-se o aumento da vida útil do aterro, uma menor emissão de gás metano e menor geração de lixiviado. Um benefício indireto é a diminuição nos custos de implantação e operação de sistemas de tratamento do chorume (MASSUKADO, 2008). A Figura 4 demonstra um esquema de sistema de leiras revolvidas.

Figura 4 - Esquema de sistema de leiras revolvidas



Fonte: Fernandes e Silva (1996).

Segundo Cerciná (2017), os benefícios da compostagem podem ser categorizados da seguinte forma:

- Aproveitamento de resíduos na região;
- Desenvolvimento de tecnologias limpas para o aproveitamento de resíduos;
- Solução para o aporte de adubo orgânico;
- Recuperação de solo;
- Não dependência de insumos sintéticos;
- Diminuição do custo de produção;
- Destino correto para passivos ambientais;
- Atendimento a legislação;
- Gerenciamento participativo com envolvimento da população.

Os únicos possíveis impactos negativos relacionados a essa atividade é a possibilidade de produção de maus odores e de escoamento do chorume, fatores que podem ser evitados quando ocorre a execução correta do processo (MASSUKADO, 2008).

### 3.3.3.3 Aspectos econômicos

Os aspectos econômicos relacionados a implantação de uma usina de compostagem, no que tange sobre o investimento inicial, os custos de construção, implantação e operação. Os valores de investimento inicial dependem do método a ser adotado, da quantidade de resíduos que será tratado, entre outros fatores. Em um estudo realizado por Pires (2011), após estabelecer todos os custos preliminares, concluiu-se que o investimento inicial deveria ser de R\$ 1.003.656,00. Esse levantamento inicial considerou os custos da construção do pavilhão, equipamentos e materiais para recebimento de resíduos sólidos urbanos igual a 30 t/dia.

## 3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS NA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS

A análise de investimento de um determinado projeto tem como objetivo fazer estimativas de todo o gasto envolvido com o investimento inicial, operação, manutenção e receitas geradas durante um determinado período de tempo. O resultado das estimativas pode ser apresentado através de um fluxo de caixa relativo aos investimentos, custos e receitas, permitindo que a tomada de decisão seja a mais adequada e econômica (LINDEMAYER, 2008).

De acordo com Buarque (2004) existem diferentes formas de medir rentabilidade de um projeto, como: o Tempo de Retorno do Capital, a Taxa Interna de Retorno e o Valor Presente Líquido. A Taxa interna de retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL), ambos baseados no conceito de atualização, são os dois melhores instrumentos para determinar a viabilidade econômica.

### 3.4.1 Conceitos básicos da análise de investimentos

#### 3.4.1.1 Gasto

De acordo com Lindemeyer (2008) gasto é o sacrifício econômico da de um projeto para a obtenção de um produto ou serviço qualquer. O sacrifício é representado por entrega ou promessa de entrega de dinheiro ou outros ativos. Engloba, portanto, investimento, custo, despesa e perda.

#### 3.4.1.2 Investimento

É o gasto ativado em função da vida útil ou de benefícios atribuíveis a futuros períodos. Pode-se citar como exemplos: estoques, aplicações, máquinas e

equipamentos, construções civis, marcas e patentes, ações de outras empresas (LINFREYER, 2008).

#### 3.4.1.3 Despesa

É o gasto relativo a bens ou serviços consumidos direta ou indiretamente na obtenção de receitas, podendo ou não transitar pelo custo. No momento da venda dos produtos ou serviços, todos os seus custos transformam-se em despesas; outros gastos transformam-se, automaticamente, em despesas sem passar pelo custo, como gastos administrativos, financeiros e de vendas; outros ainda só se transformam em despesas se forem vendidos, como é o caso dos terrenos, que não estão sujeitos à depreciação.

#### 3.4.1.4 Custo

De acordo com Cohen e Franco (2000), custo é o gasto relativo a produtos e serviços utilizados na produção de outros bens (produtos e serviços). Os custos são compostos por três elementos básicos: a matéria-prima (MP), a mão-de-obra direta (MOD) e os custos indiretos de fabricação (CIF).

#### 3.4.1.5 Receitas

Receita é a entrada bruta de benefícios econômicos durante o período que ocorre no curso das atividades ordinárias de uma empresa quando tais entradas resultam em aumento do patrimônio líquido (COHEN e FRANCO, 2000).

#### 3.4.1.6 Fluxo de caixa

Segundo Helfert (2000), o fluxo de caixa referente a um empreendimento deve compor-se de contribuições que refletem, com grande probabilidade de acerto, as entradas e as saídas de dinheiro que realmente irão atuar no período do projeto. Assim podem-se condensar todas as contribuições de um projeto, destacando-se os seguintes conjuntos importantes: investimentos; resultados operacionais (receitas subtraídas as despesas operacionais); receitas eventuais e gastos eventuais (pagamentos de juros, aquisições de bens etc.)

#### 3.4.1.7 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

É a taxa mínima a ser alcançada em determinado projeto; caso contrário, o mesmo pode ser rejeitado. É também a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa quando se usa o método do Valor Presente Líquido (VPL) e o parâmetro de

comparação para a TIR (Taxa Interna de Retorno). A Taxa Mínima de Atratividade é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros (GASLENE et al., 1999; KASSAI et al., 2000).

#### 3.4.1.8 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos instrumentos mais utilizados para se avaliar propostas de investimentos de capital. Reflete a atratividade, em valores monetários, do investimento medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a uma determinada taxa de desconto. É considerado atraente todo o investimento maior ou igual a zero. Quanto maior o VPL, maior a atratividade do projeto, porque as entradas são maiores que as saídas de caixa. A análise do VPL é baseada na utilização do custo de capital, que consiste em descontar os fluxos de caixa futuros, aceitando assim o projeto cujo valor de VPL for positivo, e rejeitando os projetos com valor negativo (KASSAI et al., 2000; LINDEMEYER, 2008).

#### 3.4.1.9 Método da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um índice relativo que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, é considerada uma das formas adequadas para se avaliar propostas de investimentos de capital. Representa segundo (COHEN e FRANCO, 2000).

É considerado rentável o investimento que apresentar  $TIR > TMA$ . Ela iguala o Valor Presente Líquido a zero, e é uma das formas mais completas de analisar as propostas de investimentos de capital (PEREIRA, 2009).

#### 3.4.1.10 Tempo de retorno do investimento (Payback)

O tempo de retorno do investimento indica quando será recuperado o investimento realizado, ou seja, em quanto tempo (meses ou anos) o dinheiro investido retornará. É realizado analisando o fluxo de caixa e quando os investimentos (fluxos negativos) se anularem com as entradas de caixa (receitas), então se terá o período de *Payback*. Para minimizar os riscos de se utilizar um método que não leva em consideração o fator tempo, o *Payback* é utilizado juntamente com os métodos do VPL e TIR no processo de tomada de decisão. (LINDEMEYER, 2008; PEREIRA, 2009).

### 3.5 PANORAMA DE RESÍDUOS NO BRASIL

O Brasil possui o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento SNIS, desde 2002, que consiste em um banco de dados administrado na esfera federal que contém informações sobre a prestação de serviços de saneamento dos municípios do país. O SNIS destina-se ao planejamento e à execução das políticas públicas. Ele é atualizado anualmente e seus resultados são sempre relativos ao ano anterior, coleta informações diretamente dos municípios e apresenta informações acerca de cobertura dos serviços de coleta domiciliar e pública, bem como da coleta seletiva, quantidade de massa coletada e recuperada no país, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, informações financeiras, entre outras. Na edição de 2018, 3.468 municípios participaram da coleta, isto é, 62,3% do total do país. Em termos de população urbana este percentual representa 85,6% ou 151,1 milhões de habitantes (BRASIL, 2018).

No que tange a cobertura do serviço regular de coleta domiciliar de resíduos sólidos, o resultado obtido foi que 98,8% da população urbana e 92,1% da população total são atendidas. Quanto à coleta seletiva, o diagnóstico apontou a presença do serviço em 1.322 ou 38,1% dos municípios do Brasil, sendo prestado na modalidade porta a porta em 1.135 municípios, que representam 37,8% da população urbana do país. Esse índice obteve um pequeno avanço, em 2016 a coleta seletiva era praticada em 33,1% dos municípios (BRASIL, 2018).

A geração per capita média de resíduos sólidos urbanos no país foi de 0,96 kg/hab.dia<sup>-1</sup>. Ou seja, foram coletadas um total de 172,0 mil de toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, no Brasil. Enquanto isso, a massa coletada de resíduos recicláveis foi de apenas 14,4 kg/hab.ano<sup>-1</sup>, equivalente a 1,7 milhão de toneladas coletada seletivamente em 2018. Isto significa dizer que, para cada 10 kg de resíduos disponibilizado para a coleta, apenas 411 gramas são coletadas de forma seletiva (BRASIL, 2018).

De acordo com as informações disponibilizadas pelas prefeituras dos municípios participantes do SNIS (2018), o indicador médio do país em relação a massa de resíduos secos recuperados é de 7,6 kg/hab.ano<sup>-1</sup>. A situação da macrorregião Sul se destaca com um resultado bem acima da média nacional. Seu indicador médio chega a 13,9 kg/hab.ano<sup>-1</sup>, quase alcançando o dobro do resultado nacional.

Para elaborar o cálculo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente, ao elaborar o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, utilizou dados da composição média do Brasil a partir de estudos realizados entre 1995 e 2008, gerando os resultados descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição média de resíduos gerados no Brasil

<b>Resíduos</b>	<b>Participação (%)</b>	<b>Quantidade (t/dia)</b>
<b>Metais</b>	<b>2,9</b>	<b>5.293,50</b>
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
<b>Plástico total</b>	<b>13,5</b>	<b>24.847,90</b>
Plástico Filme	8,9	16.399,60
Plástico Rígido	4,6	8.448,60
Vidro	2,4	4.388,60
<b>Papel, papelão, Tetra Pak</b>	<b>13,1</b>	<b>23.997,40</b>
<b>Total de Recicláveis</b>	<b>31,9</b>	<b>58.527,40</b>
<b>Matéria Orgânica</b>	<b>51,4</b>	<b>94.335,10</b>
<b>Outros</b>	<b>16,7</b>	<b>30.618,90</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>183.481,50</b>

Fonte: Brasil, 2012.

Quanto à destinação das 62,78 milhões de toneladas de resíduos coletados em 2018, o diagnóstico do SNIS aponta a recuperação de 124 mil toneladas recebidas em 70 unidades de compostagem e 1,05 milhão de toneladas de resíduos recicláveis em 1.030 unidades de triagem. Na Tabela 4 está descrita a destinação de resíduos por macrorregião.

Tabela 4 - Destinação de resíduos por macrorregião

<b>Tipo de unidade de processamento</b>	<b>Quantidade de unidades de processamento na amostra por macrorregião geográfica</b>					<b>Total de unidades na amostra</b>
	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Centro-Oeste</b>	
Lixão	154	588	85	33	177	1.037
Aterro controlado	39	61	362	39	39	540
Aterro sanitário	16	56	311	189	35	607

Unidade de triagem (galpão ou usina)	25	85	489	359	72	1.030
Unidade de compostagem (pátio ou usina)	1	4	50	12	3	70
Unidade de transbordo	0	8	70	55	12	145
Unidade de tratamento por incineração	1	5	5	3	0	14

Fonte: adaptado do SNIS, 2018.

Ao estimar a massa total de disposição final, obtém-se o resultado de aproximadamente 46,68 milhões de toneladas dispostas em aterros sanitários, o que corresponde a 75,6% do total. Além disso, concluiu-se que 15,05 milhões de toneladas dispostas em unidades de disposição final consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem juntas a 24,4% do total disposto em solo em 2018 (BRASIL, 2018).

De acordo com a PNRS a disposição final dos rejeitos de forma ambientalmente adequada deveria ser implantada em até quatro anos depois da sua publicação. Ou seja, a lei estabelecia que até 2014 fossem extinguidos todos os lixões e aterros controlados existentes nos municípios. De acordo com uma pesquisa da ABRELPE, em 2014, ano do final do prazo para adequação dos municípios à extinção de lixões e aterros controlados, 41,6% dos RSU coletados ainda eram dispostos em locais incorretos.

Apesar de ser considerado uma destinação ambientalmente adequada o aterro sanitário deveria ser considerado a última opção na gestão dos resíduos. Somente os rejeitos deveriam ter esse final, sem tratamento, já que em média 31,9% do resíduo sólido urbano brasileiro é reciclável, 51,4% constitui-se de matéria orgânica compostável e somente 16,7% é considerado rejeito (IPEA, 2012) e somente estes deveriam estar sendo enviados para os aterros sanitários.

No Brasil, a disposição inadequada de RSU apresenta sinais de acréscimo, com relação à destinação adequada, aumentando em 10% a disposição em lixões (BRASIL, 2018). As unidades inadequadas recebem aproximadamente 82.000 toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental.

No diagnóstico apresentado pelo SNIS, no ano de 2018, a despesa total das Prefeituras com o manejo dos resíduos sólidos no ano 2018, quando rateada

pela população urbana, resultou no valor de R\$ 130,47 por habitante, ou seja, um gasto aproximado de R\$ 22 bilhões para o manejo de resíduos sólidos urbanos em todo o país, empregando 333 mil trabalhadores. Porém, a insustentabilidade financeira do setor ainda é considerado um indicador preocupante, uma vez que apenas 47,0% dos municípios fazem cobrança pelos serviços, e o valor arrecadado cobre somente 54,3% dos custos, sendo insuficientes para manter as atividades de manejo de resíduos.

#### **4 METODOLOGIA**

A primeira etapa do trabalho é baseada na revisão de livros, artigos, teses, dissertações, publicações em periódicos e legislações relacionadas ao assunto. De acordo com Fonseca (2002), o trabalho científico é iniciado por meio de pesquisas bibliográficas, a fim de permitir uma maior análise por parte do pesquisador.

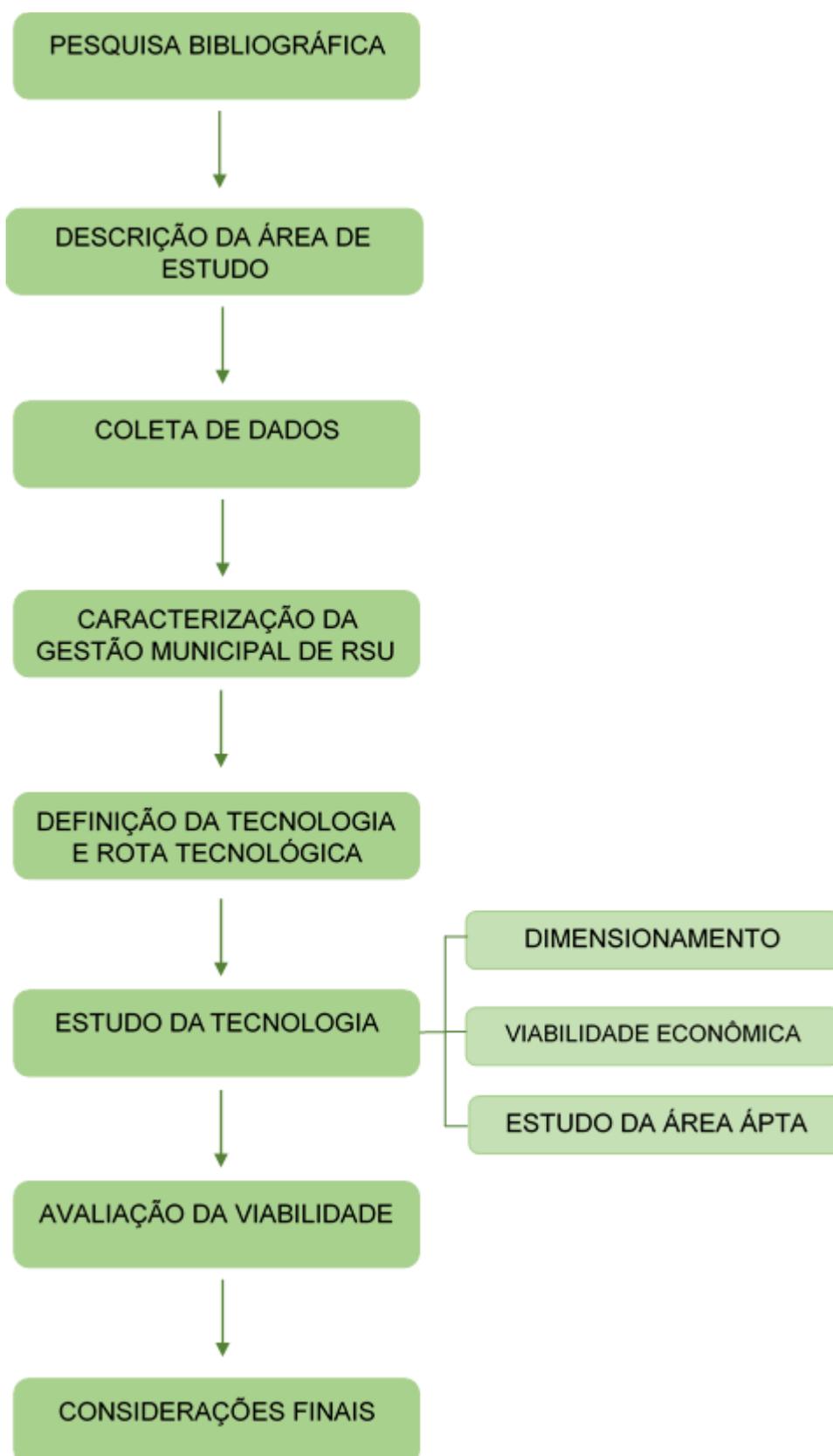
A metodologia aplicada neste trabalho é de caráter descritivo, tendo como propósito inicial, descrever as características de determinada população, acontecimento ou o estabelecimento de relações entre variáveis. A pesquisa descritiva visa relatar com precisão os acontecimentos de certa prática, requerendo uma série de informações daquilo que se deseja investigar (GIL, 2008; TRIVIÑOS, 1987).

A natureza aplicada da pesquisa tem a abordagem do problema qualitativo e quantitativo de caráter exploratório. Estudos quantitativos geralmente procuram seguir com rigor um plano previamente estabelecido e variáveis que são objetos de investigação. Já a pesquisa qualitativa costuma ser direcionada ao longo do desenvolvimento, não busca medir ou enumerar eventos, sendo assim geralmente não emprega estatística e análise de dados (NEVES, 1996).

Mesmo sendo normalmente estudados separadamente, os métodos qualitativos e quantitativos não se excluem. A abordagem dessas duas tipologias apresenta pontos de convergência que possibilitam um maior cruzamento de dados e validação de informações, para melhor compreensão das questões em estudo (POPE e MAYS, 1995).

O presente trabalho aborda a elaboração de um estudo técnico e ambiental para avaliar a viabilidade da implantação de uma Usina de Compostagem no município de Torres/RS. Essa pesquisa terá como base uma análise comparativa entre diferentes técnicas de disposição e tratamento final de resíduos sólidos, considerando os aspectos existentes a fim de comprovar a viabilidade da compostagem frente à incineração e à disposição final em aterros sanitários. A Figura 5 apresenta o fluxograma do trabalho.

Figura 5- Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: autora, 2020.

A pesquisa bibliográfica inicial permitiu a contextualização sobre todos os conteúdos (ou segmentos) importantes a respeito dos resíduos sólidos urbanos. A ênfase da pesquisa está nas diferentes técnicas de tratamento de disposição final de resíduos sólidos, sendo: aterro sanitário, incineração e compostagem. O estudo da bibliografia permitiu a determinação dos aspectos técnicos, ambientais e econômicos de cada tecnologia.

A descrição da área de estudo se deu por meio da pesquisa de dados em plataformas, e de documentos disponibilizados pela Prefeitura do Município de Torres, RS. A coleta de dados ocorreu com a realização de uma entrevista aplicada aos gestores municipais, responsáveis pela gestão de resíduos sólidos do município. Além dos dados referentes à gestão de resíduos, foram levantados dados necessários para o estudo da área apta à implantação dos empreendimentos, através do geoprocessamento.

Após a coleta de dados foi possível caracterizar e descrever os procedimentos de gestão adotados pelo município. Essa etapa tem relevância para a realização de cálculos e estimativas, assim como para a análise dos resultados do estudo.

A descrição das tecnologias em estudo serviu como base para a elaboração de um quadro comparativo, onde foram avaliados os aspectos das mesmas, de acordo com o contexto do município em estudo, com o intuito de definir qual a melhor técnica de tratamento e disposição final a ser adotada, considerando a complexidade da tecnologia, o investimento inicial e o prazo de implantação. Após a definição da tecnologia, pôde-se propor a melhor rota para que a valoração dos resíduos fosse efetiva.

Após a comparação entre as tecnologias, foi definida a que melhor se enquadra nos critérios estabelecidos. Posteriormente, iniciou-se a etapa de dimensionamento, que foi realizada através de cálculos para estabelecimento das dimensões de cada unidade e da área total do método definido. O dimensionamento concluído permitiu que fossem elencados os principais custos de implantação e operação.

Além dos aspectos técnicos e econômicos, foi realizada uma análise locacional, de acordo com a legislação municipal e as condições necessárias para implantação do empreendimento.

Com todos os dados e informações reunidos, foi feita a avaliação locacional, e a viabilidade técnica e econômica da metodologia adotada diante dos resultados pretendidos e, a apresentação das considerações finais.

#### 4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

##### 4.1.1 Localização Geográfica

O município de Torres está situado no litoral norte do Rio Grande do Sul, encontra-se nas coordenadas de 29° 20' de latitude sul e 49° 43' de longitude oeste, abrangendo 161.182 quilômetros quadrados de área territorial. Ao norte está limitado pelo Rio Mampituba, o qual, neste trecho, corresponde à divisa do Estado do Rio Grande do Sul com o Estado de Santa Catarina; seu limite sul o município de Arroio do Sal; a oeste os municípios de Dom Pedro de Alcântara e Morrinhos do Sul; a noroeste limita-se com o município de Mampituba; e a leste/sudeste com o Oceano Atlântico. O clima característico é quente e temperado. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano em Torres. Mesmo o mês mais seco ainda assim tem muita pluviosidade. A temperatura média é de 18,8 °C e a média anual de pluviosidade é de 1.404 mm (PMSB, 2013; IBGE, 2019).

##### 4.1.2 Dados populacionais

De acordo com o último censo realizado pelo IBGE, em 2010 a população total do município de Torres era de 34.656 habitantes e a população estimada para 2019 era de 38.732 habitantes. Segundo informações disponibilizadas pela Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo, há uma variação da população na temporada de verão, que ocorre entre o fim do mês de dezembro ao fim de fevereiro, chegando a aproximadamente 140.000 habitantes. A Tabela 5 e Tabela 6 apresentam os dados populacionais do município em estudo.

Tabela 5 - Dados populacionais de Torres, RS

População estimada em 2019 (hab.)	38.732
Área total do município (km <sup>2</sup> )	161,62
Densidade Demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	239,65

Fonte: IBGE (2020)

Tabela 6 - Dados Populacionais dos Últimos censos

Ano	População Urbana (hab.)	População Rural (hab.)	População Total (hab.)
1960	7.537	27.852	35.389
1970	8.280	32.849	41.129
1980	18.403	23.216	41.619
1991	21.478	15.996	37.474
2000	27.556	3.324	30.880
2010	33.340	1.316	34.656

Fonte: IBGE (2020)

A taxa de crescimento da população de Torres entre 2000 e 2010 foi de aproximadamente 1,16%. De acordo com o IBGE, através do método de projeção geométrico a população estimada até 2037, é de 55.769 habitantes. Esse valor será considerado nos cálculos do projeto.

#### 4.2 DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA E PROPOSTA DE ROTA TECNOLÓGICA

Para validar a definição da tecnologia foi elaborado um quadro comparativo, Quadro 2, utilizando as informações coletadas no referencial bibliográfico deste trabalho. Através também das características do município em estudo, pode-se estabelecer que a tecnologia de tratamento de resíduos mais adequada é a compostagem de resíduos orgânicos.

Quadro 2 - Quadro comparativo das tecnologias

Considerações	Aterro Sanitário	Incineração	Compostagem
<b>Aspectos Técnicos</b>	Exigência de EIA/RIMA; Necessita de grandes áreas; Após atingir a capacidade máxima exige uma série de manutenções; Pode ocorrer aproveitamento energético.	Exigência de EIA/RIMA; Depende diretamente do poder calorífico dos materiais; Exige uma área grande para instalação; Ocorre produção de energia; Exige controles operacionais mais rigorosos.	Não há exigência de estudos ambientais para unidades de pequeno porte; Deve ocorrer um controle das variáveis; Resulta em um produto que pode ser comercializado;
<b>Impactos Ambientais</b>	Poluição do solo; Poluição de recursos hídricos; Geração de Efluentes Líquidos; Emissão de gases poluentes	Geração de efluentes gasosos; Geração de cinzas; Emissão de poluentes tóxicos	Produção de maus odores; Escoamento do chorume.
<b>Investimento Inicial</b>	R\$ 3.277.264,00 com capacidade de recebimento de 100 t/dia	R\$ 232.400.000,00 exigindo entre 350 e 640 t/dia de resíduo para validar a geração de energia	R\$ 1.003.656,00 com capacidade de 30t/dia

Fonte: dados de pesquisa, elaborado autora (2020).

Desta forma, a proposta de rota tecnológica foi determinada segundo Lima *et al.* (2014), considerando um arranjo simplificado de reciclagem, compostagem e aterro sanitário, de forma que: os resíduos coletados pela coleta seletiva deverão ser destinados para a cooperativa ativa no município; os materiais orgânicos destinados para tratamento em uma Usina de Compostagem, com a comercialização do produto final e os rejeitos destinados para disposição final em aterro sanitário.

Para um bom funcionamento do sistema proposto, deve haver participação ativa da população e de empresas que são potencialmente geradoras de material orgânico e de recicláveis, através da separação dos resíduos gerados (separação na fonte). Além disso, a coleta deve ser planejada de maneira que tenha abrangência e frequência adequadas. A conscientização quanto à necessidade da participação deve ser fundada na implantação de educação ambiental contínua.

De acordo com a Resolução CONSEMA nº 372/2017 que dispõe sobre os empreendimentos e atividades passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental, determina que:

- Descrição: Usina de Compostagem de RSU;
- Código da atividade: 3541,50;
- Potencial Poluidor: Médio;
- Porte Médio: de 5,01 a 50 t/dia.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DA USINA DE COMPOSTAGEM

De acordo com o CEMPRE (2018) o projeto de uma usina de triagem e compostagem deve ser executado considerando-se as características socioeconômicas e culturais da população. Para o dimensionamento foi utilizada a estimativa de população para o ano de 2037, ou seja, a projeção será para 17 anos.

As Usinas de Triagem e Compostagem (UTC) simplificadas são soluções que vem sendo utilizadas em municípios de pequeno porte, e são geralmente constituídas das unidades de recepção, mesa ou esteira de triagem, pátio de compostagem, baias ou galpão para depósito de materiais recicláveis e instalação de apoio (VIMIEIRO, 2012).

Não há normas técnicas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT que orientem o projeto e a execução das usinas de

triagem e compostagem, sendo utilizadas como referências a NBR 8419/1992 – Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos, e a NBR 13896/1997 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

Para a etapa de dimensionamento foi definido o sistema de compostagem de leiras com revolvimento mecânico, tendo em vista o baixo custo de investimento, e a facilidade de operação e manutenção desse método. Os cálculos para dimensionamento básico da UTC foram baseados em Pereira Neto (1996) considerando uma vida útil de 17 anos.

#### **4.3.1 Determinação da produção diária de resíduos**

De acordo com o cálculo realizado com os dados disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente Urbanismo a geração diária de resíduos sólidos ( $G_{PC}$ ) é de 0,75 kg por hab./dia. Para o cálculo da produção diária de resíduos ( $M_d$ ) em kg/dia, usou-se a Equação 1, com a população estimada para o ano de 2037 ( $P_T$ ).

$$M_d = P_T \times G_{PC} \quad (1)$$

Em que:

$P_T$  = População total em 2037, em hab;

$G_{PC}$  = Geração *Per Capita*, em kg/hab.dia<sup>-1</sup>

#### **4.3.2 Determinação da quantidade de matéria orgânica nos resíduos**

Como já informado na descrição da gestão de resíduos sólidos urbanos de Torres, não há um estudo de composição gravimétrica. Desta forma, para fins de cálculo serão utilizados os percentuais estabelecidos no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul, ou seja, 65% de matéria orgânica, 20% de material reciclável e 15% de rejeito. Assim, a quantidade de matéria orgânica (MO), em kg/dia, foi estimada multiplicando a produção diária de resíduos pela porcentagem referente à matéria orgânica (Equação 2).

$$MO = M_d \times 0,65 \quad (2)$$

A densidade típica da matéria orgânica ( $D_{MO}$ ), de acordo com Pereira Neto (1996), varia entre 450 e 550 kg/m<sup>3</sup>. Para a realização dos cálculos estabeleceu-se a média aritmética, sendo considerada  $D_{MO} = 500$  kg/m<sup>3</sup>. O volume da matéria orgânica foi estabelecido pela Equação 3.

$$VO = MO / D_{MO} \quad (3)$$

A partir da determinação do volume de matéria orgânica gerada diariamente, foi possível determinar a quantidade de caminhões necessários para a coleta. Para a coleta e transporte recomenda-se o uso de caminhões sem compactação, com caçamba fechada com capacidade de volume de até 50m<sup>3</sup>, a fim de facilitar a triagem dos resíduos. Sabendo-se a capacidade de coleta (Cc) do caminhão com caçamba fechada, é possível calcular a quantidade de caminhões (Qc) necessária para o transporte diário dos resíduos até a usina, como mostrada na Equação 4.

$$Qc = V / Cc \quad (4)$$

#### 4.3.3 Dimensionamento das leiras

De acordo com o CEMPRE (2018), o formato das leiras pode ser cônico, piramidal ou trapezoidal. A recomendação são leiras com base (b) de até 3 m e altura (h) entre 1,2 e 1,8 m, ou maiores, desde que compatíveis com o equipamento de revolvimento.

De acordo com CEMPRE (2018), em termos médios, entre 30 e 40% do peso do material que entra nas usinas, sai na forma de composto orgânico. Cerca de 20 a 30% representam perda por gases e umidade por evaporação e/ou infiltração, e, cerca de 5 a 15% é comercializado no mercado de recicláveis. A parcela de rejeitos a ser descartada situa-se entre 25 e 35% do total coletado, evidenciando substancial redução do espaço físico para disposição final. Tendo em vista que a rota tecnológica proposta terá como objetivo a separação na fonte em três categorias, definiu-se para fins de cálculo o balanço de massa apresentado do Quadro 3.

Quadro 3 - Balanço de massa

Itens	Percentual
Composto orgânico	40%
Recicláveis	10%
Perdas de água e CO <sub>2</sub>	25%
Rejeito	25%

Fonte: adaptado de CEMPRE (2018).

Para o dimensionamento das leiras, foram adotadas leiras geometricamente piramidais com b= 2m e h= 1,6m. A área da seção (As) foi calculada com a Equação 5.

$$As = (b \times h) / 2 \quad (5)$$

O volume da leira ( $V_L$ ), em  $m^3/\text{dia}$ , é igual ao volume da matéria orgânica gerada diariamente, descontando-se o percentual de recicláveis e rejeitos a serem triados (Equação 6).

$$V_L = (MO - 25\%Rejeito - 10\%Recicláveis) / D_{mo} \quad (6)$$

$$V_L = V_O$$

O comprimento da leira ( $L$ ) foi calculado pela da equação 7.

$$L = V_L / A_s \quad (7)$$

#### 4.3.4 Dimensionamento do pátio de compostagem

Para dimensionar o pátio de compostagem foram calculadas as áreas das bases das leiras, a área de folga para reviramento, e a área total ocupada por cada leira. A área da base da leira ( $A_b$ ) foi calculada com a Equação 8.

$$A_b = b \times L \quad (9)$$

Em que:

$b$  = Largura da leira;

$L$  = Comprimento da leira.

A área de folga para reviramento ( $A_f$ ) tem o exato tamanho da área de base da leira antes do reviramento, como mostrado na Equação 10.

$$A_f = A_b \quad (10)$$

A área total ocupada por cada leira é dada pela Equação 11.

$$A = A_b + A_f \quad (11)$$

Considerando que uma leira por reviramento mecânico leva aproximadamente 100 dias para estabilização completa, em que nos primeiros 70 dias ocorre a degradação ativa, e nos outros 30 dias a maturação, foi definido que o seriam necessárias 100 leiras, ou seja, uma leira por dia, até que o ciclo de compostagem seja iniciado novamente na primeira leira construída (BIDONE, 1999).

Assim, tem-se uma área útil ( $A_u$ ) do pátio de acordo com a Equação 12.

$$A_u = N^{\circ} \text{ de leiras} \times A \quad m^2 \quad (12)$$

Para a área total do pátio ( $A_T$ ) acrescentam-se 10% (PEREIRA NETO, 1996) da área calculada como coeficiente de segurança, em virtude de necessidade de circulação e estacionamento. A área total é finalmente calculada pela Equação 13.

$$A_T = A_u + 0,1 \times A_u \quad (13)$$

#### 4.3.5 Dimensionamento do galpão para a triagem e das instalações de apoio

Para o dimensionamento do galpão de triagem e para as demais instalações de apoio, como bloco administrativo, refeitório, sanitários e vestiários foram utilizadas informações de acordo com Fuão (2015). A classificação do porte do galpão, e conseqüentemente as demais unidades são definidas a partir do número de triadores.

De acordo com Fuão (2015) a classificação dos galpões é: galpão de pequeno porte é aquele que comporta 20 triadores; de médio porte que comporta 28 triadores; e, o de grande porte que comporta 36 triadores. A Tabela 7 apresenta as áreas em metros quadrados de cada unidade. Os valores de área referentes ao bloco administrativo, refeitório, vestiário e sanitários foram estipulados a partir da área do galpão, através de um percentual.

Tabela 7 - Dimensões de galpões e instalações de apoio

Núcleos	Galpão de pequeno porte	Galpão de médio porte	Galpão de grande porte
Área do galpão (m <sup>2</sup> )	441	588	735
Bloco administrativo (m <sup>2</sup> )	16	8,82	9,555
Refeitório, vestiários e sanitário (m <sup>2</sup> )	119,952	137,592	150,675

Fonte: Adaptado de Fuão (2015).

Considerando o fato de que a usina irá processar apenas o resíduo orgânico, e que a etapa de triagem é apenas para selecionar os resíduos que podem ser compostados, há necessidade de poucos triadores. Desta forma, definiram-se as áreas como as correspondentes a galpão de pequeno porte.

A distribuição de funcionários proposta pelo CEMPRE (2018) para uma Usina de Compostagem de capacidade de até 100 t/dia é de:

- 1 gerente;
- 3 funcionários administrativos;
- 1 a 2 técnicos de nível médio;
- 2 motoristas;
- 2 a 3 operadores de máquina;
- 40 a 50 mão-de-obra não-qualificada.

Essa distribuição não se adapta à realidade desse estudo, por esse motivo a proposta inicial de funcionários para o projeto em questão será de:

- 1 funcionário administrativo;
- 1 motorista;

- 1 operador de máquina;
- 5 funcionários para os serviços de triagem e manutenção do pátio de compostagem.

#### 4.3.5.1 Esteira de triagem

Segundo Fuão (2015) quando ocorre a separação entre resíduos orgânicos e resíduos recicláveis, a indicação é que seja utilizada no processo de triagem uma esteira, e não mesas. Em que as medidas comuns são: 10 metros de comprimento; 0,80 metros de largura e 1,10 metros de altura.

#### **4.3.6 Sistema de Drenagem Pluvial, Drenagem do Lixiviado e Impermeabilização do Solo**

De acordo com a FAPESC (2017) o requisito fundamental para o sistema de drenagem, é evitar que a água da chuva de outras áreas entre nas mediações do pátio de compostagem. A área sob as leiras deve ser impermeabilizada, podendo ser utilizados métodos com camada de argila, camada de geomembrana associada à argila ou camada de concreto, garantindo que o líquido percolado seja conduzido integralmente para um sistema de captação para posterior recirculação, utilização como composto líquido, ou tratamento.

O lixiviado em uma leira de compostagem é referenciado pelos dados elaborados por Inácio & Miller (2009), os quais apontam que para uma leira a céu aberto, localizada em Florianópolis, com dimensões de 3,0m x 10,0m (30,00 m<sup>2</sup> de área projetada) x 1,2m de altura, foram coletados 1.291 litros de líquido lixiviado, no período de 4 meses.

#### **4.3.7 Área total e layout do empreendimento**

O *layout* técnico tem a função de apresentar o pátio de compostagem com todas as suas estruturas dimensionadas, de forma a facilitar a visualização do empreendimento. É importante saber a quantidade de resíduos orgânicos que será reciclada por dia e como será estruturado seu manejo. No desenho técnico estão previstas então áreas para entrada e saída de caminhões, áreas de transbordo, a disposição das leiras de compostagem, o sistema de drenagem, área para maturação do composto, área para lavagem dos recipientes de coleta, galpão de triagem e demais unidades (FAPESC, 2017).

A área total do empreendimento foi definida a partir da determinação dos dimensionamentos do pátio de compostagem, do galpão de triagem e das instalações de apoio. O *layout* da Usina de Compostagem foi elaborado no *software* Auto CAD, para uma melhor compreensão do projeto.

#### 4.4 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS

Para o cálculo dos custos da construção da usina, foram considerados os custos envolvendo todas as unidades de operação da usina e dos equipamentos de operação. Ressalta-se que são estimativas e valores aproximados.

O levantamento dos equipamentos necessários para operação da usina foi realizado através da consulta de manuais, de acordo com Fuão (2015) e CEMPRE (2018), o preço médio de cada equipamento foi determinado através de pesquisas em sites, assim como em outros trabalhos de pesquisa desenvolvidos na área.

Para estimar o custo da construção do galpão de triagem, do pátio de compostagem e das demais instalações de apoio (bloco administrativo, banheiro/vestiário e refeitório), foi realizado um orçamento utilizando-se como referência o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), e consultas a uma empresa do ramo da construção civil.

Os custos operacionais também foram estimados, sendo que a mão-de-obra é o fator que mais influi no custo operacional de uma usina. Seu dimensionamento depende de uma série de fatores, como capacidade da usina, nível de treinamento dos operadores, grau de beneficiamento dos produtos e estilo gerencial. A determinação dos salários foi estimada a partir de pesquisas em bibliografias (CEMPRE, 2018).

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DOS IMPOSTOS, PREÇOS DE VENDA E RECEITAS

Para determinação dos impostos envolvidos na produção e comercialização do composto orgânico, buscaram-se informações em literatura especializada, bem como consulta a profissionais da área contábil.

Já na determinação das receitas, foi realizada uma pesquisa de mercado, visando obter dados sobre o preço de venda praticado em diversos locais, para comercialização de composto orgânico de diferentes fontes de matéria-prima, e, principalmente, os compostos obtidos a partir de resíduos sólidos urbanos.

A pesquisa foi realizada em dois eixos distintos: estimativa de valores de venda do produto “a granel” (R\$/tonelada) e venda de varejo, neste caso específico em embalagens de 1 kg. A determinação das receitas partiu do pressuposto que a comercialização do produto de varejo (produto 1), representaria 15% do volume total produzido, e a de atacado (produto 2) representaria 85% do volume total produzido dos resíduos compostados.

#### 4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a determinação da viabilidade econômica foi elaborada uma planilha de fluxo de caixa, relacionando os investimentos iniciais, custos e despesas para a instalação e operação do sistema de compostagem por leiras revolvidas. Esta etapa incluiu os custos dos materiais e equipamentos utilizados na operação de cada sistema, além das receitas geradas com a venda dos produtos. Ressalta-se que não foram considerados os custos com a obtenção de terreno, caminhão e retroescavadeira, pois os mesmos podem ser adquiridos a partir de concessões.

##### 4.6.1 Valor Presente Líquido

Para o cálculo do valor presente líquido (VPL) na equação, utiliza-se a seguinte equação 14:

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (14)$$

Em que:

VPL = valor presente líquido;

I = investimento de capital na data zero;

FCt = valor final na data t do fluxo de caixa;

n = prazo de análise do projeto;

i = Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para realizar o investimento, ou custo de capital do projeto de investimento.

##### 4.6.2 Taxa Interna de Retorno

O cálculo da TIR se faz através da determinação da taxa de juros que anula o Fluxo de Caixa no horizonte de tempo do projeto. Para se determinar a Taxa Interna de Retorno (TIR) faz-se uso da equação 15.

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1 + TIR)^t} \quad (15)$$

#### 4.6.3 Valor Anual

Consiste em achar uma série uniforme anual equivalente (pela TMA) ao fluxo de caixa do investimento. Este valor uniforme anual (VA) determina o quanto este investimento retornaria anualmente a mais que a Taxa Mínima de Atratividade.

#### 4.6.4 Período de Recuperação de Capital

O método do *Payback* consiste na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido.

O *Payback* pode ser calculado conforme a Equação 16 onde se divide o Valor do Investimento Inicial pela média do Fluxo de caixa anual:

$$PB = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{FC_{ano}} \quad (16)$$

### 4.7 DEFINIÇÃO DE ÁREAS APTAS

A elaboração dos estudos referentes à definição da viabilidade locacional da implantação de uma Usina de Compostagem no município de Torres, teve início com a determinação da legislação ambiental a ser seguida. Não há uma diretriz específica para a implantação de usinas de compostagem no estado do Rio Grande do Sul. Desta forma foram utilizadas as restrições da Diretriz nº 04/2017 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), para o licenciamento ambiental da atividade de disposição final de resíduos sólidos urbanos, que versa sobre a implantação de aterros sanitários, adaptando os atributos e as restrições para a atividade de compostagem natural. Além das condições para instalação apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Condições para definição de áreas aptas e inaptas

Atributos	Descrição	Condições para instalação
Áreas de Proteção Permanente	Ocorrência de Unidades de Conservação no âmbito Estadual e Municipal	Raio de 10km do empreendimento
Núcleos Populacionais/Área Urbanizada	Residências e áreas urbanizadas	Distância superior a 500m de núcleos populacionais e 2000m de áreas urbanizadas
Recursos Hídricos	Rios, lagos, nascentes, açudes e mananciais	Distância de 200m a partir da calha regular.
Sistema Viário	Rodovias e estradas vicinais	20m a partir da faixa de domínio
Topografia	Variação da declividade	Declividade superior 2% (1,14°) e inferior a 20% (11,30°)
Vegetação nativa	Espécies vegetais raras, endêmicas, ameaçadas de extinção e imunes ao corte.	Considerar a necessidade preservação

Fonte: adaptado de FEPAM (2017).

Posteriormente, foram coletados os dados necessários, sendo que a base cartográfica utilizada foi a de acordo com Hasenack e Weber (2010), disponibilizada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os dados foram processados no software Arc Gis®, o Sistema de Coordenadas Geográficas utilizado foi SIRGAS 2000 UTM 22 S.

A condição de instalação do atributo de Áreas de Proteção Permanente (APP) foi alterada, sendo utilizado um raio de 2 km do empreendimento, uma vez que a atividade não possui impacto ambiental tão significativo ao entorno, que justificasse a utilização da metragem associada à instalação de aterros sanitários, que corresponde a 10 km. No estudo não foram atribuídas condições para solo e geologia, pois foi determinado que o pátio de compostagem seria impermeabilizado e com sistema de coleta de lixiviado.

## 5 RESULTADOS

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE TORRES, RS

O órgão responsável pela gestão municipal de resíduos sólidos de Torres é a Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo, desta forma através de uma entrevista com o secretário da SMAURB foram levantados uma série de dados referentes à gestão de resíduos do município, com o objetivo de realizar um breve diagnóstico.

Os instrumentos de planejamento municipais relacionados à gestão de resíduos são:

- Lei nº 2.902/1995 – que dispõe sobre o Plano Diretor de Torres e dá outras providências;
- Lei Complementar nº 30/2010 que institui o Código Ambiental do município de Torres;
- Decreto nº 111/2012 - que aprova o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município;
- Decreto nº 78/2014 – que aprova o Plano de Saneamento Básico de Torres.

A coleta convencional é realizada por uma empresa contratada, Brisa Transportes inscrita no CNPJ 94.107.919/0001-22. São utilizados 4 caminhões prensa em período de baixa temporada (inverno), e 7 em período de alta temporada (verão). De acordo com a SMAURB, a coleta convencional abrange 99% do município, sendo que o 1% restante, que não possui abrangência, deve-se à dificuldade de acesso.

O material coletado é enviado para uma Unidade de Transbordo de iniciativa privada, localizada próxima à Unidade de Triagem RECIVIDA. Na Unidade de Transbordo é realizada a triagem dos resíduos provenientes da coleta convencional, e o material triado (plástico, papel, vidro e metal) é comercializado pela empresa. Os demais resíduos são destinados para um aterro sanitário.

A coleta seletiva é realizada pela Cooperativa de Reciclagem, Recolhimento, Beneficiamento e Industrialização de Materiais Recicláveis (CORBIM), através de um contrato de concessão (Lei nº 4.820/2015). A coleta não abrange todo o município, cobrindo apenas a Zona Urbana em pontos de grande

geração (comércio, hotéis e empresas), não tendo uma grande abrangência. O material coletado é enviado para a Unidade de Triagem Municipal RECIVIDA.

A Unidade de Triagem RECIVIDA localiza-se em Zona Rural, na localidade de Águas Claras, abrangendo uma área de 118.209,80 m<sup>2</sup>, de propriedade do município. Foi implantada com o intuito de receber todos os resíduos sólidos urbanos para triagem e compostagem. Porém, a operacionalidade não se mostrou eficiente, e por isso a renovação de sua licença de operação foi indeferida pelo Órgão Ambiental Estadual em 2009. Atualmente, ocorre apenas a triagem de materiais recicláveis realizada pela cooperativa, a partir de mesa de separação e esteira. Os materiais triados são comercializados para empresas do Estado de Santa Catarina (TORRES, 2020).

O município possui uma área em monitoramento de um antigo lixão, onde eram dispostos os resíduos sem controle técnico e ambiental. Porém, há alguns anos os resíduos sólidos urbanos coletados juntamente com os rejeitos provenientes da triagem de recicláveis são transportados para o Aterro Sanitário da RAC Saneamento, localizado na Rodovia BR 101, km 389 no Bairro Poço Oito no Município de Içara, Estado de Santa Catarina. É uma empresa licenciada e especializada no gerenciamento, destacando-se o tratamento e a disposição final, de resíduos sólidos urbanos (domiciliares e comerciais) e industriais Classe II (IIA e IIB), conforme classificação definida pela NBR 10.004/2004, como exemplos: resíduos gerais de fábrica, escritório, varrição, restos de banheiros, cozinhas e refeitórios, além de lodos gerados em sistema de tratamento de efluentes líquidos e areias de fundição (RAC Saneamento, 2020).

### 5.1.1 Geração de Resíduos Sólidos

De acordo com a SMAURB, devido ao fato de Torres situar-se sobre território litorâneo, há uma variação da geração de resíduos entre a temporada de inverno e a temporada de verão. A Tabela 8 indica os valores de geração em cada período.

Tabela 8 - Geração de RSU em Torres

Período	Número de Habitantes	Geração (ton/dia) <sup>1</sup>	Geração <i>per capita</i> (kg/hab.dia) <sup>3</sup>
Inverno (Mar a Nov)	38.732 <sup>2</sup>	29	0,749
Verão (Dez a Fev)	140.000 <sup>1</sup>	71	0,507

<sup>1</sup> SMAURB. <sup>2</sup> IBGE. <sup>3</sup> autora. Fonte: IBGE e SMAURB (2020).

Como já citado anteriormente, o estudo da composição gravimétrica representa a quantidade de cada componente em relação ao peso total da amostra analisada (BRASIL, 2004). De acordo com Guadagnin et al (2001), a identificação e caracterização dos constituintes de cada localidade são fundamentais na determinação da alternativa tecnológica mais adequada, desde a etapa de coleta, transporte, reaproveitamento, reciclagem, até a destinação final dos rejeitos dispostos de maneira ambientalmente adequada em aterros sanitários.

Como o município de Torres não possui nenhum estudo similar realizado, adotou-se o apresentado no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul. Para a determinação da composição gravimétrica do Estado adotaram-se as composições médias por faixas populacionais dos municípios gaúchos, considerando-se o aumento da fração orgânica sobre a fração de materiais secos recicláveis em municípios de menor porte, de acordo com o padrão de consumo observado no Estado, como está apresentado na Tabela 9.

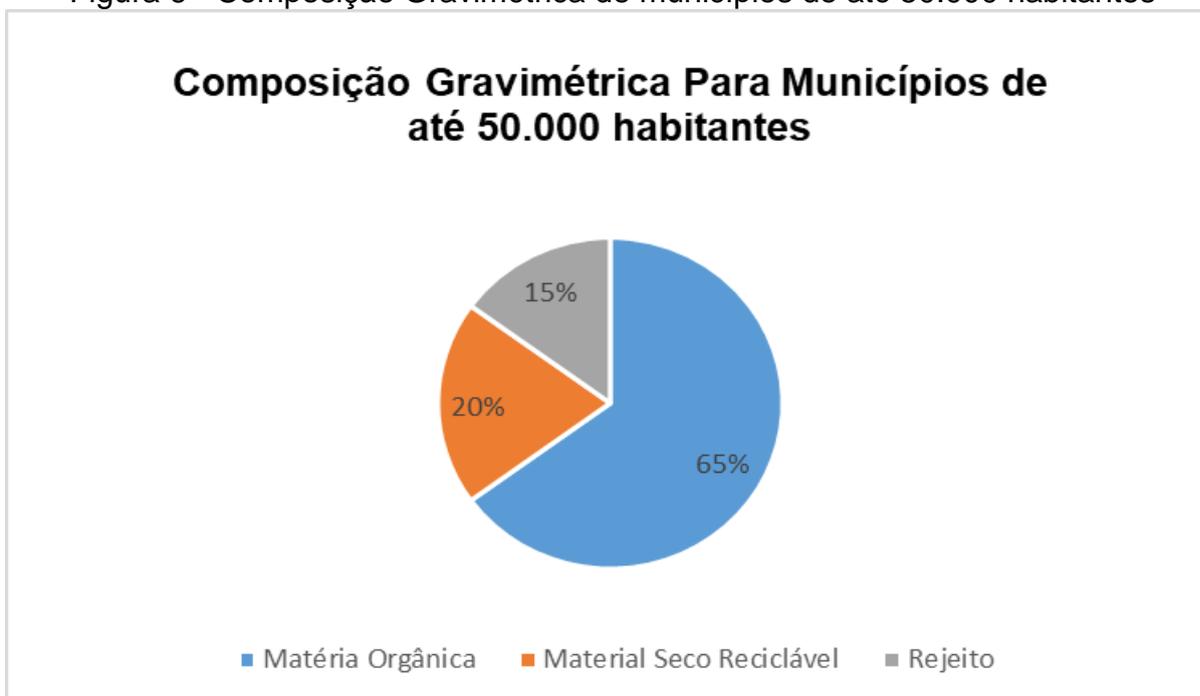
Tabela 9 - Composição Gravimétrica por Faixas Populacionais

Faixa populacional (hab.)	Composição Gravimétrica		
	Matéria Orgânica	Material Seco Reciclável	Rejeito
Até 50.000	65%	20%	15%
De 50.001 a 300.000	60%	25%	15%
Mais de 300.000	55%	30%	15%

Fonte: PERS/RS (2014).

O município de Torres encontra-se na faixa dos municípios com até 50.000 habitantes, logo, como pode ser visto na Tabela 9, a composição gravimétrica é definida por 65% de matéria orgânica, 20% de materiais seco reciclável e 15% de rejeito, conforme o gráfico apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Composição Gravimétrica de municípios de até 50.000 habitantes



Fonte: PERS/RS (2014).

### 5.1.2 Custos com coleta convencional e disposição final em aterro sanitário

Os custos com coleta e disposição final de resíduos foram informados pela SMAURB. O custo da coleta possui um valor fixo mensal apresentado na

. A partir do valor por tonelada foi possível calcular o custo anual da disposição final de RSU do município em estudo, descontando-se a massa de resíduo triada na Unidade de Transbordo. A Tabela 11 apresenta os valores calculados.

Tabela 10 - Custo total com a coleta de RSU

Período	Custo com Coleta Convencional (R\$/mês)	Custo com Coleta Convencional (R\$/ano)	Custo Anual (R\$/ano)
Inverno (Mar a Nov)	121.890,00	1.097.010,00	<b>12.017.790,00</b>
Verão (Dez a Fev)	238.300,00	714.900,00	

Tabela 11 - Custos de disposição final em aterro sanitário

Período	Geração Mensal (ton/mês)	Triado na Unidade de Transbordo (ton/mês)	Custo de disposição final (R\$/ton)	Custo Mensal (R\$/mês)	Custo Anual (R\$/ano)
Inverno	870	200	151,00	101.170,00	<b>1.563.840,00</b>
Verão	2.130	300	119,00	217.770,00	

O custo total com a gestão de resíduos sólidos de Torres está apresentado na Tabela 12. O sistema de arrecadação envolvendo manejo de resíduos no município ocorre através da cobrança de taxa inclusa no IPTU, instituída pela Lei nº 3.724/2002 que institui o Código Tributário do município. O valor da taxa é de R\$ 55,00 por unidade habitacional, e de acordo com a SAMURB o valor arrecadado no último ano foi de aproximadamente R\$ 1.300.00,00.

Tabela 12 - Custo Total da Gestão de RSU

Etapa	Custo Anual (R\$)
Coleta Convencional	12.017.790,00
Disposição Final	1.563.840,00
<b>Custo Total</b>	<b>R\$ 13.581.630,00</b>

## 5.2 USINA DE COMPOSTAGEM DE RSU PARA TORRES, RS

### 5.2.1 Análise técnica

Os dados de entrada para o dimensionamento da Usina de Compostagem estão apresentados na Tabela 13 e na Tabela 14 estão descritos os resultados referentes à geração de matéria orgânica, que foram utilizados para dimensionamento das leiras e do pátio de compostagem.

Tabela 13 – Dados de entrada para cálculos da geração de matéria orgânica

Descrição	Valor
Geração per capita de RSU (kg/hab.dia)	0,749
População estimada para 2037 (hab)	55.769
Fração de matéria orgânica (%)	65
Densidade Matéria Orgânica (kg/m³)	500

Tabela 14 – Dados de entrada para dimensionamento da UC

Descrição	Valor
Produção total de RSU (t/dia)	41,8
Produção de Matéria Orgânica (t/dia)	27,2
Quantidade de MO após triagem (t/dia)	17,6
Volume de MO após triagem (m <sup>3</sup> /dia)	35,3

A área de seção da leira com, base igual a 2,5 m e altura de 1,6 m, é igual a 2 m<sup>2</sup>. O comprimento, resultado da multiplicação da área de seção pelo volume de matéria orgânica após a triagem, é igual a 18m. Inicialmente foi proposta a quantidade de leiras, multiplicando o número de leiras montadas a cada dia, que seria uma pelo tempo de 90 dias de maturação do composto, totalizando 90 leiras. A partir disso, os resultados obtidos foram: 44,1m<sup>2</sup> de área de superfície de cada leira; 88,2m<sup>2</sup> de área total ocupada por cada leira; 7.941,71 m<sup>2</sup> da área útil e com o acréscimo de 10%, a área total do pátio de compostagem resultou em 8.736m<sup>2</sup>. Para fins de cálculo foi considerado o valor arredondado para 8.745m<sup>2</sup>.

Para impermeabilização do pátio de compostagem foi determinado o uso de concreto com aditivo impermeabilizante com 15cm de espessura. Para o dimensionamento do sistema de coleta de lixiviado, foi determinada a construção de canaletas para que o efluente seja direcionado a um tanque. O valor de geração de lixiviado foi estimado seguindo o proposto por Inácio & Miller (2009), resultando em um tanque de 10 m<sup>3</sup>, prevendo a reutilização do material como fertilizante, podendo até ser comercializado, evitando custos com tratamento.

As dimensões estimadas para o galpão de triagem, bloco administrativo, refeitório, vestiário e sanitários foi de respectivamente: 441m<sup>2</sup>; 16m<sup>2</sup>, 62m<sup>2</sup> e 57m<sup>2</sup>. O *layout*, indicando uma planta baixa da Usina de Compostagem proposta está representado no Anexo 1 deste trabalho. A área total do empreendimento é de 19.600m<sup>2</sup>, com potencial para aumento do pátio de compostagem e das instalações de apoio para futuros investimentos.

### 5.2.2 Análise econômica

A elaboração do fluxo de caixa serviu como base para a avaliação da viabilidade econômica. Com base nos dados pesquisados serão apresentados os custos relacionados à implantação e operação da atividade, ressalta-se que não foi elaborado cálculo de depreciação.

Os custos com as construções iniciais estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 - Custos total das construções

Item	Quantidade	Unid	Custo Unid (R\$)	Custo Total (R\$)
Galpão de triagem	441	m <sup>2</sup>	400,00	176.400,00
Bloco administrativo	16,00	m <sup>2</sup>	850,00	13.600,00
Refeitório	62	m <sup>2</sup>	850,00	52.700,00
Vestiário e Sanitários	57	m <sup>2</sup>	750,00	42.750,00
Impermeabilização do pátio	1.311,75	m <sup>3</sup>	360,00	472.230,00
Tanque para coleta de lixiviado	10	m <sup>3</sup>	360,00	3.600,00
			<b>Subtotal</b>	<b>R\$ 761.280,00</b>

Na Tabela 16 estão descritos os equipamentos necessários para operação dos sistemas de compostagem e o custo de acordo com as pesquisas realizadas.

Tabela 16 – Custo de equipamentos operacionais

Equipamentos	Quant.	Custo Un. (R\$)	Custo Total (R\$)	
Balança (até 10kg)	1	75,00	75,00	
Esteira de Triagem	1	2.500,00	2.500,00	
Carrinho de mão - Fisher	1	102,00	102,00	
Pá Tramontina	2	36,50	73,00	
Enxada Forjada Tramontina	2	38,00	76,00	
Termômetro Digital	1	230,00	230,00	
Máquina Seladora	1	350,00	350,00	
Peneira Rotativa	1	20.000,00	20.000,00	
Picador Rotativo	1	22.000,00	22.000,00	
			<b>Subtotal</b>	<b>45.406,00</b>

O investimento inicial calculado resultou da soma dos custos referentes às construções e dos equipamentos operacionais, totalizando R\$ 806.686,00 reais.

A Tabela 17 e a

Tabela 18 indicam os custos fixos operacionais mensais, relacionando o salário dos funcionários e o custo total de equipamentos de proteção individual, resultando em R\$116.362,80.

Tabela 17 – Custo fixo com funcionários

<b>Funcionários</b>	<b>Quant</b>	<b>Salário Unit (R\$)</b>	<b>Salário Total (R\$)</b>	<b>Total Anual (R\$)</b>
Auxiliar Administrativo	1	1.322,00	1.322,00	15.864,00
Motoristas	1	1.521,90	1.521,90	18.262,80
Operadores de máquina	1	1.550,00	1.550,00	18.600,00
Mão de obra	5	1.045,00	5.225,00	62.700,00
			<b>Subtotal</b>	<b>115.426,80</b>

Tabela 18 – Custos fixos com EPI's

<b>Descrição</b>	<b>Quant.</b>	<b>Custo Un. (R\$)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
Bota Borracha	6	30,00	180,00
Uniforme	6	48,00	288,00
Capa de Chuva	6	12,00	72,00
Luvras PCV	6	10,00	60,00
Protetor Auricular	6	12,00	72,00
Óculos de Proteção	6	44,00	264,00
		<b>Subtotal</b>	<b>936,00</b>

Os custos variáveis, assim como as despesas fixas de operação, foram brevemente estimados e podem sofrer variações significativas. Os custos unitários e totais estão representados nas tabelas Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 19 – Custos variáveis

<b>Descrição</b>	<b>Custo Mensal (R\$)</b>	<b>Custo Anual (R\$)</b>
Energia	2.500,00	30.000,00
Água	2.000,00	24.000,00
Embalagens	1.400,00	16.800,00
Combustível	610,00	7.320,00
	<b>Subtotal</b>	<b>78.120,00</b>

Tabela 20 – Despesas fixas

<b>Descrição</b>	<b>Custo Mensal (R\$)</b>	<b>Custo Anual (R\$)</b>
Material de Escritório	100,00	1.200,00
Material de Limpeza	200,00	2.400,00
Telefone	200,00	2.400,00
	<b>Subtotal</b>	<b>6.000,00</b>

Os dados de tributação levantados foram os mesmos propostos por Pires (2015), de acordo com o estimado para a cadeia de reciclagem, sendo: 18% de ICMS; 2% de PIS/FINSOCIAL e 10% de IPI. Para a estimativa de receitas foram determinados os dados de entrada, descritos na Tabela 21, sem considerar a incidência de impostos. O programa de vendas foi definido para dois tipos de produtos, 1 e 2, e está representado na Tabela 22. A programação de vendas adotada foi realizada para um período de 17 anos, sendo que a produção no ano 1 corresponde a 80% da capacidade total e nos anos 2 a 17 a 100%. O preço de venda foi estimado a partir de resultados médios obtidos durante a pesquisa.

Tabela 21 – Dados de entrada para estimativa de receitas

Descrição	Quantidade (kg/ano)	Quantidade (t/ano)	Preço de venda (R\$/kg)	Total de Receitas (R\$/ano)
Varejo	342.104,33	342,10	0,70	239.473,03
Atacado	1.938.591,23	1.938,59	145	281.095,73
<b>Total (ano):</b>				<b>R\$ 520.568,76</b>

Tabela 22 – Programa de vendas

	Produto	Ano 1	Ano 2 a 17
Quantidade Vendida	1	273.683,47	342.104,33
	2	1.550,87	1.938,59
Preço	1	0,70	0,70
	2	145,00	145,00
Receitas de Venda	1	191.578,43	239.473,03
	2	224.876,58	281.095,73
Receita sem IPI		416.455,01	520.568,76
IPI	1	19.157,84	23.947,30
	2	22.487,66	28.109,57
<b>Receita Bruta</b>		<b>R\$ 374.809,51</b>	<b>R\$ 468.511,89</b>

O fluxo financeiro do empreendimento foi definido de acordo com o tempo de dimensionamento do projeto, 17 anos. Para elaboração relacionou-se a receita bruta e cada ano, com o valor do imposto sendo subtraído da receita bruta foi obtida assim a receita líquida. Além disso, foram subtraídos os custos fixos, variáveis e as despesas de operação, para obtenção do lucro líquido. Após relacionar o investimento inicial, o tempo de vida útil e o lucro líquido foi determinado o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Anual Uniforme (VA), assim como o tempo de retorno do investimento. A Taxa Mínima de

Atratividade (TMA) considerada foi de 6%. O fluxo de caixa obtido está representado no Anexo 2 deste trabalho.

A Taxa interna de retorno para implantação da usina em estudo é de 11%, quase o dobro da TMA estabelecida, confirmando que o investimento pode ser considerado atrativo. O Valor Presente Líquido (VPL) obtido foi de R\$ 301.828,15 mostrando-se positivo, o que significa que há expectativa de que todos os custos operacionais do projeto sejam pagos e de que o investimento inicial seja recuperado. O Valor Anual Uniforme (VA) foi de R\$ 28.807,93/ano, valor aceitável para validar o empreendimento. O período de recuperação de capital (*payback*) obtido foi de 7,4 anos, menos da metade do tempo projetado para o empreendimento, sendo considerado positivo.

Portanto, diante das análises realizadas, pela elaboração do fluxo de caixa, verifica-se que a implantação do sistema de compostagem com aeração mecanizada para a geração de matéria orgânica, prevista no município de Torres, é um negócio viável do ponto de vista econômico.

### 5.2.3 Análise locacional

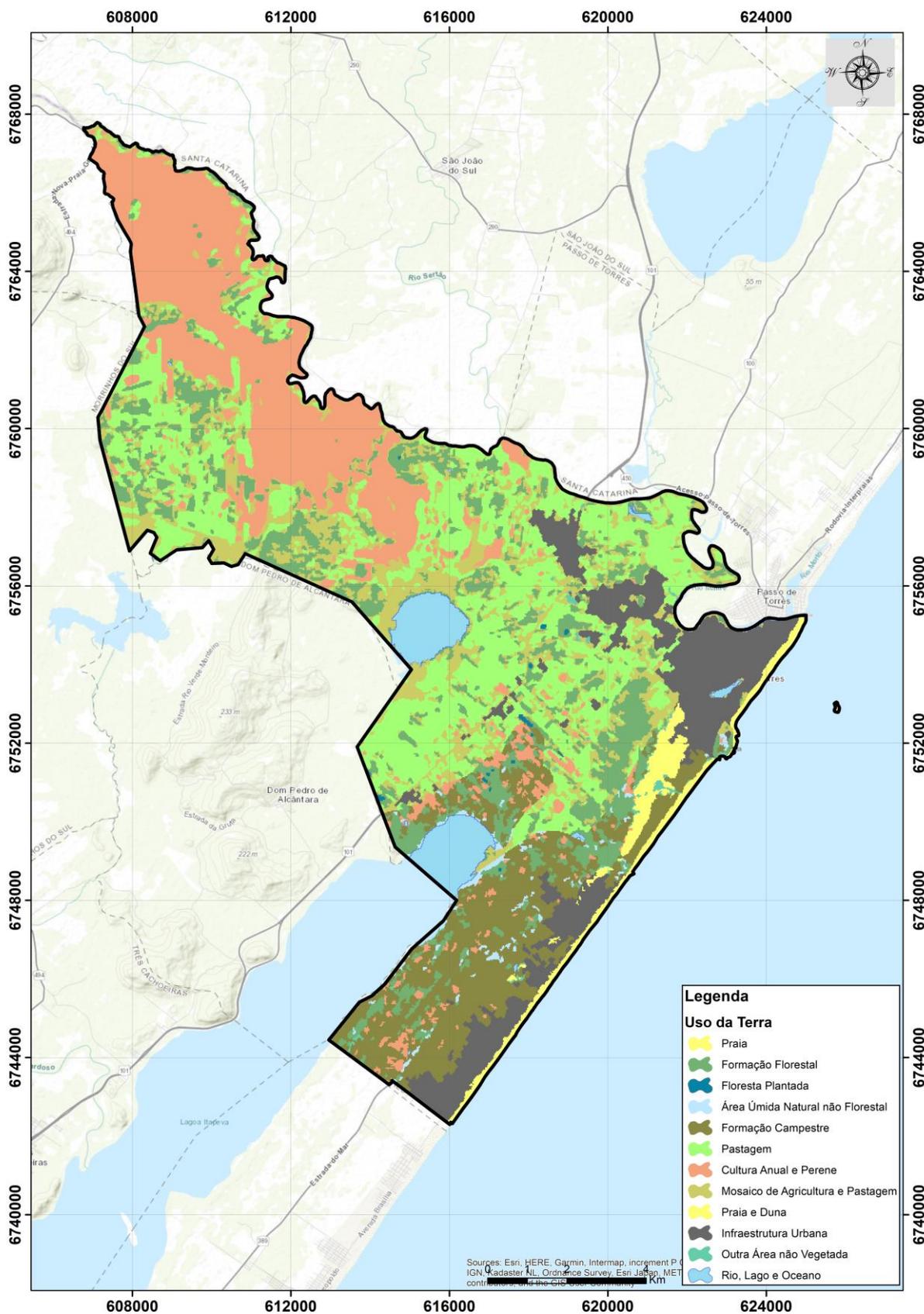
Através do processamento dos dados, foi obtido um mapa de uso de terra do município de Torres representado pela Figura 7.

Aplicando-se as restrições para instalação foi possível determinar as áreas aptas e inaptas para implantação da Usina de Compostagem. A abordagem realizada estabeleceu critérios utilizados para o estudo locacional de aterros sanitários, e para alguns atributos foram adotados valores de restrições menores, haja vista que o impacto causado por usinas de compostagem de pequeno porte é considerado menor que aterros sanitários.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** caracteriza o estudo realizado e indica as áreas passíveis de instalação.

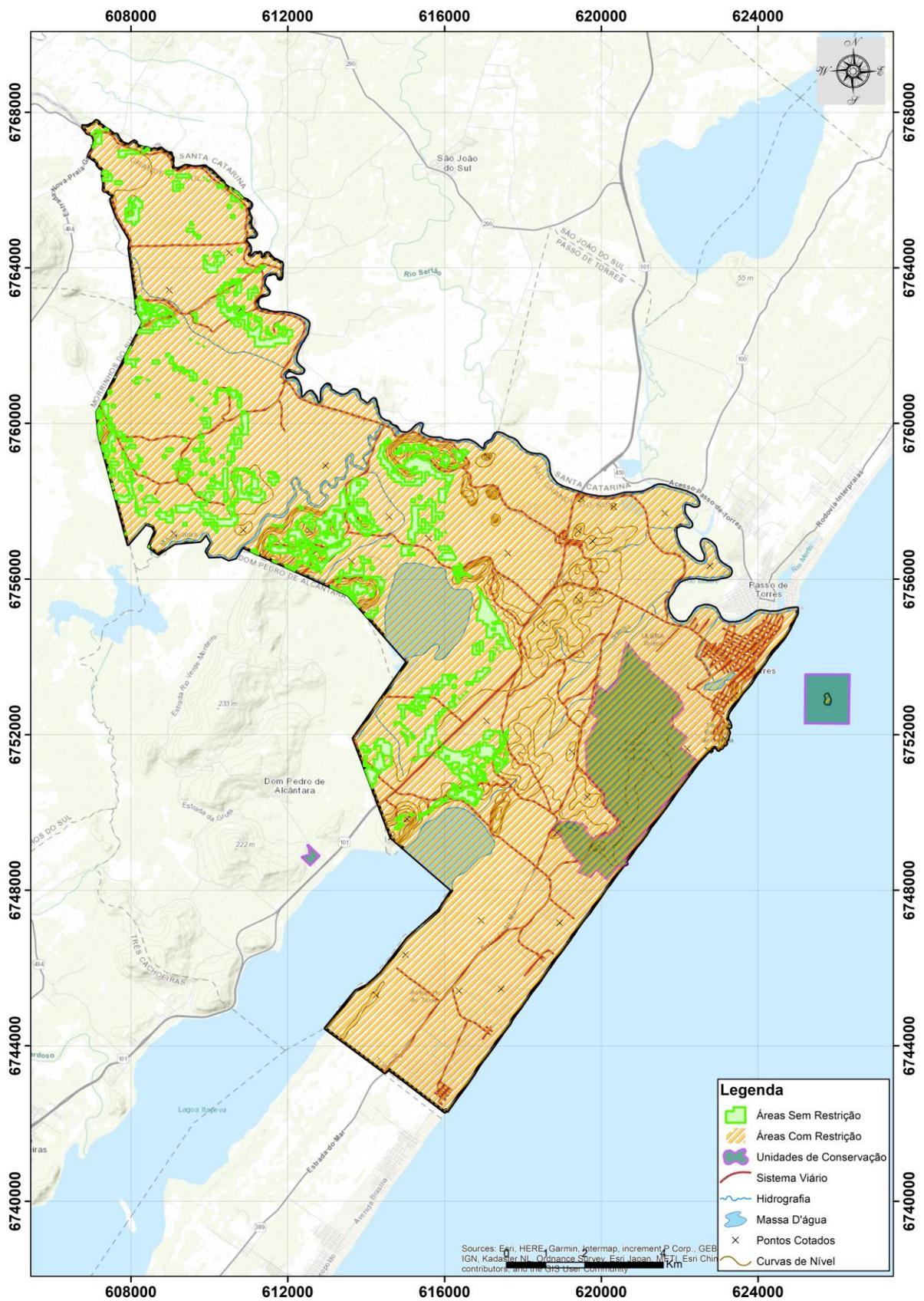
De acordo com o resultado obtido, pode-se observar que há uma quantidade considerável de locais sem restrições para a implantação do empreendimento, ou seja, a viabilidade locacional é possibilitada em respeito as condições que minimizam os riscos e os impactos ambientais. Observa-se também que a composição das áreas aptas está localizada em uma parcela afastada da área urbana e de unidades de proteção.

Figura 7 – Mapa de uso da terra do município de Torres



Fonte: autora (2020).

Figura 8 – Áreas com e sem restrições para implantação do empreendimento



Fonte: autora (2020).

## 6 CONCLUSÃO

O processo de gerenciamento no município em estudo não abrange o potencial de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente. O PMGIRS de Torres está desatualizado, e não pode servir como instrumento para aplicação das diretrizes da PNRS. Para estabelecer um sistema de gerenciamento eficaz, deve-se priorizar a elaboração de estudo de composição gravimétrica e controle de geração diária de resíduos, para que os dados a serem utilizados na tomada de decisão da melhor rota tecnológica estejam em coerência com o contexto municipal.

A partir da revisão bibliográfica dos conceitos relacionados às técnicas de tratamento e disposição final de resíduos, foi identificada que a melhor rota tecnológica a ser adotada no município em estudo é a que envolve a separação na fonte em três frações, sendo: a coleta seletiva de material orgânico, coleta seletiva de resíduos secos passíveis de reciclagem e rejeitos. Seguido de tratamento de resíduos orgânicos e dos resíduos recicláveis, e disposição final de rejeitos em aterro sanitário.

A implantação desse tipo de gerenciamento trará benefícios sociais, ambientais e econômicos caso realizado de forma correta, com embasamento técnico e aplicação de educação ambiental, com o intuito de educar e conscientizar a população acerca da importância de participar ativamente dos processos determinados.

De acordo com os objetivos que nortearam esse trabalho, através da metodologia adotada foi possível determinar a viabilidade locacional, técnica e econômica da implantação de uma Usina de Compostagem natural com leiras revolvidas no município de Torres.

Com o dimensionamento da usina foi possível identificar que quase metade da fração total de resíduos gerados diariamente tem potencial de ser compostado e comercializado, gerando uma redução do custo com disposição em aterro, além de contribuir com o meio ambiente. Através do estudo locacional foi possível identificar as áreas sem restrições para implantação, comprovando a viabilidade locacional. Por fim, a análise econômica realizada a partir da elaboração de um fluxo de caixa conclui que o projeto é atrativo economicamente.

## 7 REFERÊNCIAS

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos & FGV-Fundação Getúlio Vargas. Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários. São Paulo, 2009.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama de resíduos Sólidos no Brasil em 2017. São Paulo, 2018. Disponível em:

<[http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2020.

ALMEIDA, C., TEIXEIRA, F., & SILVA, M. Centro de demonstração de compostagem: educação para o tratamento de resíduos orgânicos in loco. In Anais... Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 7, 2003.

ANDREOLI, C. V. *et al.* Resíduos Sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada. Coleção Agrinho. Brasil, 2012.

ANDREOLI, C. V.; *et al.* Higienização do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. Resíduos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

ANDREOLI, Cleverson V. *et al.* Resíduos Sólidos: Origem, classificação e soluções para destinação final adequada. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em:

<[https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/32\\_Residuos-solidos.pdf](https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/32_Residuos-solidos.pdf)>. Acesso em: 7 out. 2019.

ANEEL (2017). Tarifas ao Consumidor. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil. <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores> Bendito BPC, De Souza PA, Picanço AP, Da Silva RR, Siebeneichler SC (2017) Diagnóstico da degradação ambiental na área de depósito inadequado de resíduos sólidos de Porto Nacional - TO. Gaia Scient. 11: 129-151.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.157 – Aterro de resíduos perigosos – Critério para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.896 – Aterros de Resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos. Rio de Janeiro, 1992.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos. 1ª Edição. Belo Horizonte: Ed. Tessitura, 2012.

BIDONE, F. R. A; POVINELLI, J (1999). Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EDUSP, 1999.

BNDES. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Disponível em: < <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13076>>. Acesso em: 5 jun 2020.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõem sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Disponível: < [http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/brazil/brazil\\_6938.pdf](http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/brazil/brazil_6938.pdf)>. Acesso em: 28 de maio de 2018.

BRASIL. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.. Diário Oficial da União. Brasília, BRASIL: DOU, 02 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em -----.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>. Acesso em: 13 jun 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Manual Para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos - nos Estados de Alagoas, Sergipe e Rio Grande do Norte. Elaboração pela consultora técnica Maria Stella Magalhães Gomes. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001 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) 2010 Acesso em: 13 jun de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. (Versão Preliminar) Brasília, 2012. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/versao\\_preliminar\\_pnrs\\_wm.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/versao_preliminar_pnrs_wm.pdf) . Brasília, setembro de 2011 Acesso em: 10 jun. 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União. Brasília, BRASIL: DOU, 17 fev. 1986 Disponível em: [http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1986\\_001.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf). Acesso em: 25 de maio de 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 316 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Diário Oficial da União. Brasília, BRASIL: DOU, 20 nov. 2002 Disponível em: < [http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/resolucao\\_316\\_de\\_2002.pdf](http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/resolucao_316_de_2002.pdf)>. Acesso em: 24 de jun de 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 481 de 03 de outubro de 2017 - Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. - Data da legislação: 09/10/2017 - Diário Oficial da União. Brasília, BRASIL

Edição: 194, Seção: 1, p. 93 de 09 out 2017, Disponível em [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19344546/do1-2017-10-09-resolucao-n-481-de-3-de-outubro-de-2017-19344458](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19344546/do1-2017-10-09-resolucao-n-481-de-3-de-outubro-de-2017-19344458)

BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos. Ed. Elsevier, São Paulo, 28° reimpressão, 2004.

CASTILHOS JUNIOR, A. B de et al. Alternativas de disposição de resíduos sólidos para pequenas comunidades: PROSAB – rede cooperativa de pesquisas. Florianópolis: Abes, 2003.

CEMPRE. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Aterro Sanitário. São Paulo, CETESB, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/aterro-sanitario/>. Acesso em: 24 jun 2020.

COHEN, E.; FRANCO, R. Avaliação de projetos sociais. Petrópolis, RJ: Vozes, 4° ed, 2000.

CUNHA, V. S. Aterro Sanitário do Município de Gandu-BA: Estudo para elaboração do projeto de implantação. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana-BA, 2010. Disponível em <http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/VAGNER%20SOUZA%20CUNHA.pdf>

DIAS, C. O. *et al.* Estudo da implantação de um aterro sanitário para atender o município de Ijuí: Técnica e Custo. Anais... XXV Seminário de Iniciação Científica. Seminário de Iniciação Científica, UNIJUÍ: Ijuí, 2017. Disponível em <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/8176/6904>

NUNES, Maria Urbana Corrêa. - Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo orgânico na pequena propriedade. CIRCULAR TÉCNICA EMBRAPA: Aracaju, SE Dezembro, 2009 Disponível em: <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2010/ct\\_59.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf)>. Acesso: 17 jun 2020.

SILVA, Berenice Martins da et al. de pátios de compostagem de pequeno porte. Florianópolis: FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina. Critérios Técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento 46 f. Disponível em: <<http://www.fapesc.sc.gov.br/boletim-tecnico-apresenta-propostas-de-reciclagem-organica/>>. Acesso em: 17 jun 2020.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Diretriz Técnica nº 004 de 2017 - Diretriz técnica para o licenciamento ambiental da atividade de disposição final de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DT-004-2017.PDF>>. Acesso em: 17 jun 2020.

FERNANDES, F.; DA SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. PROSAB/FINEP, Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 1996.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002.

- FUÃO, 2015. Manual de como construir e reformar um galpão de triagem. Disponível em: < <http://inscritosnolixo.blogspot.com/2018/11/manual-como-construir-e-reformar-um.html>>. Acesso em: 27 jun 2020.
- GADELHA, A.J.F; ROCHA, C. O; RIBEIRO, G. N; BARROS, D. F. Modelos de gestão e tratamento de resíduos sólidos. Revista brasileira de gestão ambiental. Mossoró, RN – Brasil. v. 2, n.1, p 06-10, jan./dez. 2008.
- GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. Decisões de investimentos da empresa. São Paulo: Atlas, 1999.
- GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo, 2008.
- GIRAÇOL J, PASSARINI KC, SILVA FILHO SC, CALARGE FA, TAMBOURGI EB, SANTANA JCC. Reduction in ecological cost through biofuel production from cooking oils: an ecological solution for the city of Campinas, Brazil. J. Clean. Prod. 19: 1324-1329, 2011.
- GRIPP, W. G. Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo. São Carlos: 1998. 208 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- GUADAGNIN, M. R, et al. Classificação, determinação e análise da composição gravimétrica dos resíduos urbanos dos municípios de Criciúma, Içara e Nova Veneza, do Estado de Santa Catarina, Brasil. Ver. Tecnologia e Ambiente, Universidade do Extremo Sul Catarinense, v.7, n.2, 2001.
- GUERRA, Sidney. Resíduos sólidos: comentários à Lei 12.305/2010. Rio de Janeiro: Forense, 2012.
- HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).
- HELFERT, E. A. Técnicas de análise financeira.9.ed.Porto Alegre: Bookman, 2000.
- HENRIQUES, R. M. Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- INÁCIO, C. T. & MILLER, P. R. M. Compostagem: ciência e prática para a estação de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 1ª edição.
- IPEA – Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf). Acesso em: 10 jun 2020.
- KASSAI, J. R.; KASSAI, S. A.; NETO, A. A. Retorno de Investimento: Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. São Paulo: Atlas, 2000.
- KIEHL, E.J. Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto. 4ª ed. Piracicaba, SP, 2004
- LIMA, J. D. de; JUCÁ, J. F. T.; REICHERT, G. A.; FIRMO, A. L. B. (2014). Uso de modelo de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região Sul do Brasil. . *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2014, vol.19, n.1, pp.33-42. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413->

41522014000100004.Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 33-42

LIMA, J. D. Modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil. 435 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em [https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Jose final tese final 12 04 2013.pdf](https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Jose%20final%20tese%20final%2012%2004%202013.pdf)

LINDEMEYER, R. M. Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. 105 f. Florianópolis, 2008. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/131678/Adm291179.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MACHADO, Camila Frankenfeld.. Incineração: Uma Análise dos Tratamentos Térmicos dos Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru-SP. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro,.97 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil, 2015. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013010.pdf>

MASSUKADO, L.M. Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares. 2008.204 f. . Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-18112008-084858/publico/TeseLucianaMiyokoMassukado.pdf>

MENEZES, R.; MENEZES, M.; GERLACH REAL, J. “Estágio Atual da Incineração no Brasil. Grupo Kompac Energia e Meio Ambiente”. Anais... Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, VII, ABLP - Associação Brasileira de Limpeza Pública. São Paulo, São Paulo, 2000.

PASSARINI KC, PEREIRA MA, FARIAS TMB, CALARGE FA, SANTANA JCC. Assessment of the viability and sustainability of an integrated waste management system for the city of Campinas (Brazil), by means of ecological cost accounting. J. Clean. Prod. 65: 479-488, 2014.

PEREIRA NETO, J,T. Manual de compostagem processo de baixo custo. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

PIRES, A. B. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema da Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos. (TCC) - Curso de Engenharia Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil, 2011.

POPE, Catherine; MAYS, Nick. Reaching the parts pther methods cannot reach; na introduction to qualitative methods in helath and health servisse research, In British Medical Journal, nº 311, 1995.

RAC, 2020. RAC Saneamento – A empresa. Disponível em: <<https://www.racsaneamento.com.br/empresa#institucional>>. Acesso em: 17 jun 2020.

REIS, M.F.P. Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos. Tese (Doutorado). 2005. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2005. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7653>

RIO GRANDE DO SUL. Plano Estadual de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.pers.rs.gov.br/>>. Acesso em: 27 jun 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA nº 372 de 2017. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201909/17101650-372-2018-atividades-licenciaveis-compilada.pdf>>. Acesso: 05 jul 2020.

SAFFER M., DUARTE G. A. A., Estudo do Estado da Arte e Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Implantação de uma Usina de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica no Estado de Minas Gerais, Anais... 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

STECH, P.J., Resíduos Sólidos: Caracterização, Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final, São Paulo, CETESB, 1990.

THEMELIS NJ, KAUFMAN SM State of garbage in America: data and methodology assessment. *BioCycle* 45(4): 22-26, 2004.

THEMELIS NJ, KAUFMAN SM. Waste in a land of plenty – Solid waste generation and management in the US. *Waste Manag. World* (Sep-Oct): 23-28, 2004.

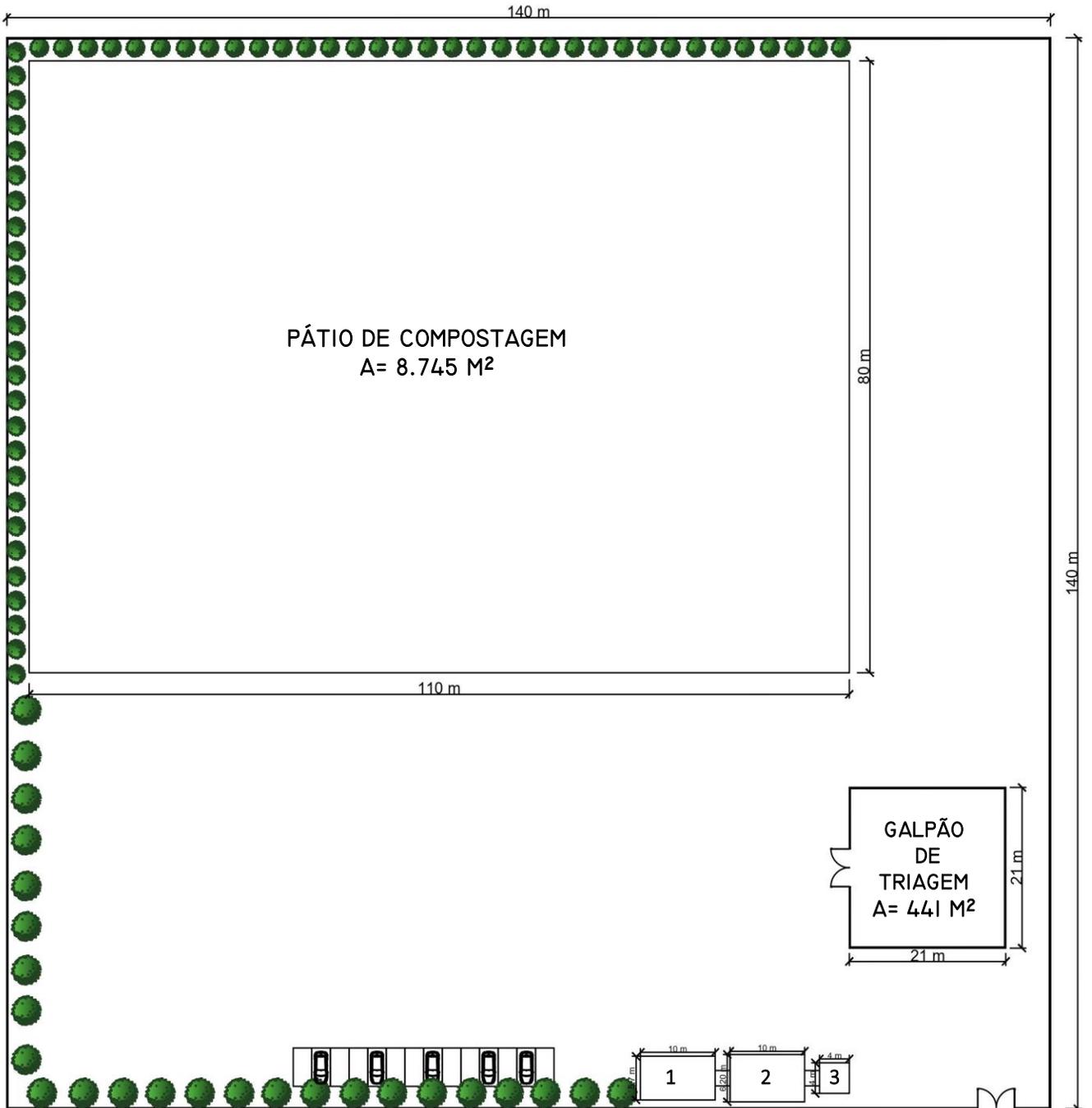
TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

PUNA, J. F. B.; BAPTISTA, B. dos S. A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectiva ambiental econômica-energética. *Quimica Nova*, v. 31, n. 3, p. 645–654, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n3/a32v31n3.pdf>>

**ANEXO(S)**

**ANEXO 1**

**LAYOUT DA USINA DE COMPOSTAGEM**



**PLANTA BAIXA USINA DE COMPOSTAGEM**  
**ESC: 1/750**

- LEGENDA:**
- 1. Vestiário
  - 2. Refeitório
  - 3. Administrativo

**ANEXO 2**  
**FLUXO DE CAIXA**

Descrição	FLUXO DE CAIXA ANUAL							
	0	1	2	3...	...14	15	16	17
<b>Receita Bruta</b>		374.809,51	468.511,89	468.511,89	468.511,89	468.511,89	468.511,89	468.511,89
(-) Impostos Prop s/ Vendas		97.450,47	121.813,09	121.813,09	121.813,09	121.813,09	121.813,09	121.813,09
<b>(=) Receita Líquida</b>		277.359,04	346.698,80	346.698,80	346.698,80	346.698,80	346.698,80	346.698,80
(-) Custo Variável de Produção		62.496,00	78.120,00	78.120,00	78.120,00	78.120,00	78.120,00	78.120,00
(-) Custo Fixo de Produção		116.362,80	116.362,80	116.362,80	116.362,80	116.362,80	116.362,80	116.362,80
<b>(=) Lucro Bruto</b>		98.500,24	152.216,00	152.216,00	152.216,00	152.216,00	152.216,00	152.216,00
(-) Despesas Fixas		4.800,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00
<b>(=) Lucro Líquido antes do IR</b>		93.700,24	146.216,00	146.216,00	146.216,00	146.216,00	146.216,00	146.216,00
(-) Depreciação		0,00	0,00	1,00	12,00	13,00	14,00	15,00
<b>(=) Lucro Tributável</b>		93.700,24	146.216,00	146.216,00	146.216,00	146.216,00	146.216,00	146.216,00
IR/CSLL		22.488,06	35.091,84	35.091,84	35.091,84	35.091,84	35.091,84	35.091,84
<b>Lucro Líquido após IR</b>		71.212,18	111.124,16	111.124,16	111.124,16	111.124,16	111.124,16	111.124,16
(-) Investimentos	806.686,00							
Fluxo de Caixa	-806.686,00	71.212,18	111.124,16	111.124,16	111.124,16	111.124,16	111.124,16	111.124,16
<b>TIR do Empreendimento =</b>	<b>11%</b>		<b>TMA =</b>	<b>6,00%</b>				
<b>VPL do Empreendimento =</b>	<b>R\$ 301.828,15</b>		<b>IR/CSLL =</b>					
<b>Valor Anual Uniforme (VA) =</b>	<b>R\$ 28.807,93</b>		<b>Média Fluxo =</b>	<b>108.776,39</b>				
<b>Tempo de Retorno (anos) =</b>	<b>7,416002457</b>							