

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FERNANDO HENRIQUE TSUNEO GOMES

**Diagnóstico da recuperação de recicláveis a partir da triagem em uma
empresa de gerenciamento de resíduos sólidos do estado de São Paulo**

São Carlos

2021

FERNANDO HENRIQUE TSUNEO GOMES

Diagnóstico da recuperação de recicláveis a partir da triagem em uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos do estado de São Paulo

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2021

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

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

G633d Gomes, Fernando Henrique Tsuneo
Diagnóstico da recuperação de recicláveis a
partir da triagem em uma empresa de gerenciamento de
resíduos sólidos do estado de São Paulo / Fernando
Henrique Tsuneo Gomes; orientador Valdir Schalch. São
Carlos, 2021.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2021.

1. Triagem. 2. Resíduos sólidos. 3. Reciclagem.
4. Covid-19. 5. Gerenciamento. 6. Destinação final. 7.
Coprocessoamento. 8. Aterro. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Fernando Henrique Tsuneo Gomes**

Data da Defesa: 25/11/2021

Comissão Julgadora:

Resultado:

Valdir Schalch (Orientador(a))

APROVADO

Ana Maria Rodrigues Costa de Castro

APROVADO

Gabriela Albino Marafão

APROVADO



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

FOLHA DE AVALIAÇÃO OU APROVAÇÃO

Elemento obrigatório. Deixe esta folha em branco, pois a folha de aprovação será entregue no dia da defesa.

RESUMO

GOMES, F. H. T. **Diagnóstico da recuperação de recicláveis a partir da triagem em uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos do estado de São Paulo**. 2021. 42 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Os debates sobre questões ambientais estão cada vez mais frequentes no Brasil e, por isso, indústrias procuram por alternativas no gerenciamento de seus resíduos sólidos que se adequem à legislação ambiental. Sendo assim, as empresas que trabalham com o gerenciamento desses resíduos precisam buscar continuamente estratégias de melhoria em seus processos a fim de atender as demandas dos clientes, oferecendo seus serviços a um preço atrativo e com o mínimo de impactos ao meio ambiente. Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar um diagnóstico da recuperação de recicláveis antes da destinação final dos resíduos sólidos a partir de um estudo de caso em uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos. Os resíduos coletados são, em sua maioria, provenientes de grandes indústrias, mas também são coletados resíduos de órgãos públicos, como escolas e prefeituras. Foi realizado um acompanhamento mensal da quantidade de resíduos sólidos destinados pela empresa no ano de 2020, por tipo de destinação, e a porcentagem de material triado. Observou-se que 65% dos resíduos foram encaminhados para coprocessamento, 18% para reciclagem, 16% para aterro e 1% para incineração. No diagnóstico foi possível identificar a importância e os benefícios da triagem, sendo possível observar uma média de 15% de resíduos recuperados pela triagem e que deixaram de ser encaminhados para outras formas de destinação que gerariam gastos para a empresa como o coprocessamento e aterro. Já na análise mensal dos dados coletados, verificou-se que a etapa de triagem foi afetada pela pandemia da Covid-19, principalmente no primeiro semestre, onde seu percentual foi abaixo da média de 15% em todos os meses. Portanto, verificou-se que a triagem, apesar de sua baixa eficiência, é uma etapa importante do gerenciamento de resíduos sólidos da empresa, porém foi prejudicada pela pandemia da Covid-19.

Palavras-chave: Aterro de resíduos. Covid-19. Coprocessamento. Gerenciamento de resíduos sólidos. Incineração. Reciclagem. Destinação final de resíduos. Triagem de recicláveis.

ABSTRACT

GOMES, F. H. T. **Diagnosis of recyclables recovery from screening in a solid waste management company in the state of São Paulo.** 2021. 42 f. Monography (Bachelor Final Thesis). São Carlos School of Engineering, st University of São Paulo, São Carlos, 2021.

Debates on environmental issues are increasingly frequent in Brazil and, therefore, industries are looking for alternatives in the management of their solid waste that comply with environmental legislation. Therefore, companies that work with the management of this waste need to continually seek improvement strategies in their processes in order to meet customer demands, offering their services at an attractive price and with minimal impact on the environment. Therefore, this work aims to carry out a diagnosis of the recovery of recyclables before the final destination of solid waste from a case study in a solid waste management company. Most of the waste collected comes from large industries, but waste is also collected from public bodies, such as schools and city halls. A monthly monitoring of the amount of solid waste destined by the company in 2020 was carried out, by type of destination, and the percentage of material sorted. It was observed that 65% of the waste was sent for co-processing, 18% for recycling, 16% for landfill and 1% for incineration. In the diagnosis, it was possible to identify the importance and benefits of sorting, being possible to observe an average of 15% of waste recovered by sorting and that are no longer sent to other forms of destination that would generate expenses for the company such as co-processing and landfill. In the monthly analysis of the data collected, it was found that the screening stage was affected by the Covid-19 pandemic, especially in the first semester, where its percentage was below the average of 15% in all months. Therefore, it was found that sorting, despite its low efficiency, is an important step in the company's solid waste management, but it was hampered by the Covid-19 pandemic.

Keywords: Waste landfill. Covid-19. Co-processing. Solid waste management. Incineration. Recycling. Final disposal of waste. Sorting recyclables.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à sua origem.....	20
Figura 2 - Classificação e caracterização dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.....	21
Figura 3 - Cronograma para a elaboração da pesquisa.....	29
Figura 4 - Fluxograma do gerenciamento de resíduos sólidos.....	32
Figura 5 - Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para reciclagem.....	33
Figura 6 - Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para coprocessamento.....	34
Figura 7 - Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para incineração.....	34
Figura 8 - Quantidade de resíduos sólidos em toneladas encaminhados para aterro.....	35
Figura 9 - Porcentagem de resíduos sólidos por tipo de destinação final.....	35
Figura 10 - Percentual de cada tipo de destinação em 2020.....	36
Figura 11 - Porcentagem de resíduos triada em 2020.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Questionário para entrevista com os gestores da empresa.....	30
-------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios econômicos da reciclagem.....	23
-----------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNI	–	Confederação Nacional da Indústria
EC	–	Economia circular
EL	–	Economia linear
EMF	–	Ellen MacArthur Foundation
IBAM	–	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
PNRS	–	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	–	Resíduos da Construção Civil
SINIR	–	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SISNAMA	–	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	–	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos	16
3.2 Caracterização e classificação dos resíduos sólidos	18
3.3 Tipos de destinação final de resíduos sólidos	22
3.3.1 Reciclagem	22
3.3.3 Aterro	25
3.4 Economia circular	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Coleta de dados	29
4.1.1 Entrevista	29
4.1.2 Pesquisa documental	30
4.1.3 Observação participante	30
4.2 Análise dos dados	31
4.2.1 Análise qualitativa	31
4.2.2 Análise quantitativa	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Etapas do gerenciamento de resíduos	32
5.2 Quantificação dos resíduos sólidos	33
5.3 Análise da triagem	38
6 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

As estratégias gerenciamento dos resíduos sólidos gerados no processo de produção e no momento do descarte desses bens de consumo após o fim de sua vida útil, são um dos grandes desafios para a sustentabilidade das atividades industriais (AMARAL, 2016).

Segundo a PNRS (2010), as obrigações e sanções legais brasileiras para o gerenciamento de resíduos são de responsabilidade dos produtores, distribuidores, comerciantes e usuários para que seja realizada a destinação adequada. Além disso, devido aos fatores econômicos em conjunto com a pressão exercida pela sociedade para que haja o melhor aproveitamento dos recursos naturais, as indústrias têm buscado adotar práticas que minimizem a demanda por recursos naturais, potencializando o reaproveitamento de resíduos e a recuperação de matérias-primas.

Este trabalho é um estudo de caso realizado em uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos do estado de São Paulo. Os resíduos coletados são, em sua maioria, provenientes de grandes indústrias e usinas, mas também são coletados resíduos de órgãos públicos, como escolas e prefeituras. Após a coleta, os resíduos passam por uma triagem para separação de materiais que possuem valor agregado e podem ser encaminhados para a reciclagem.

Foi escolhida a etapa de triagem dos resíduos sólidos para análise, pois é uma etapa de interesse econômico para a empresa, pois reduz os custos com destinação e gera receita. Além disso, de acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (2010), a triagem de resíduos também traz benefícios ao meio ambiente através da reciclagem como: a diminuição da quantidade de resíduos a ser aterrada, manutenção dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais.

Inicialmente, foi realizado um levantamento das principais tecnologias de tratamento oferecidas pela empresa para os resíduos destinados em 2020, analisando se estas estão de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e com os conceitos da economia circular e qual a participação de cada tipo de tratamento ao longo dos meses.

Em seguida, foi realizado um diagnóstico da recuperação de recicláveis através da triagem e quais seus benefícios para a empresa, avaliando a quantidade mensal de resíduos que foi triada em cada mês. Além disso, também foi avaliado os impactos da pandemia da Covid-19 no processo de triagem e como isso afetou a empresa durante o ano de 2020.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Diagnosticar a recuperação de recicláveis em uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos do estado de São Paulo.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar e classificar os resíduos sólidos coletados pela empresa em 2020;
- Identificar as etapas do gerenciamento desses resíduos sólidos;
- Comparar a porcentagem de resíduos sólidos encaminhada mensalmente para a reciclagem a partir da triagem;
- Avaliar como a pandemia da Covid-19 impactou o processo de triagem.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos foi instituída pela Lei 12.305, sancionada no dia 02 de agosto de 2010. As diretrizes para gestão e gerenciamento adequado estão dispostas na lei de forma a atribuir as responsabilidades ao poder público e aos geradores, apresentando instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Os onze princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos estão listados abaixo:

- I “a prevenção e precaução;
- II o poluidor-pagador e protetor-recebedor;
- III a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- IV desenvolvimento sustentável;
- V a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;
- VI cooperação entre as esferas do poder público, empresariado e demais segmentos da sociedade;
- VII a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- VIII reconhecimento do resíduo sólido reciclável como um bem de valor econômico e social;
- IX respeito às diversidades locais e regionais;
- X direito da sociedade à informação e ao controle social;
- XI a razoabilidade e a proporcionalidade” (BRASIL, 2010b).

Além disso, a PNRS possui 15 objetivos listados a seguir:

- I “proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- II não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos;
- III adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- IV desenvolvimento de tecnologias limpas;

- V redução do volume e periculosidade dos resíduos perigosos;
- VI incentivo à indústria de reciclagem;
- VII gestão integrada de resíduos sólidos;
- VIII articulação das esferas do poder público, destas com o empresariado com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
- IX capacitação técnica continuada na área resíduos sólidos;
- X regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação de serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- XI aquisições e contratações governamentais para produtos reciclados e recicláveis e bens, serviços e obras com critério compatíveis aos padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- XII integração dos catadores de materiais recicláveis a ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XIII estímulo a implementação da avaliação do ciclo de vida dos produtos;
- XIV melhoramento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para os processos produtivos, aproveitamento energético e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos;
- XV estímulo a rotulagem ambiental e consumo sustentável” (BRASIL, 2010b).

Por fim, os instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos são:

- I “planos de resíduos sólidos;
- II inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;
- III a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas sobre a gestão compartilhada do ciclo de vida dos produtos;
- IV incentivo a criação das cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- V monitoramento e fiscalização;
- VI cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para desenvolver novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização e tratamento de resíduos e disposição final adequada;
- VII pesquisa científica e tecnológica;
- VIII educação ambiental;
- IX incentivos fiscais, financeiros e de crédito;
- X Fundo Nacional do Meio Ambiente e Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;

- XI Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);
- XII Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);
- XIII conselhos de meio ambiente;
- XIV órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;
- XV Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;
- XVI acordos setoriais;
- XVII instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente;
- XVIII termos de compromisso e de ajustamento de conduta;
- XIX incentivo à adoção de consórcios entre federados, com vista à elevação de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos” (BRASIL, 2010b).

O Art. 9º da PNRS estabelece a seguinte ordem de prioridade como diretriz para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Portanto, a ideia central da Lei 12.305/10 é a redução da quantidade de resíduos sólidos encaminhados para a disposição final, invertendo assim a lógica de manejo de resíduos sólidos (FARIA, 2012).

3.2 Caracterização e classificação dos resíduos sólidos

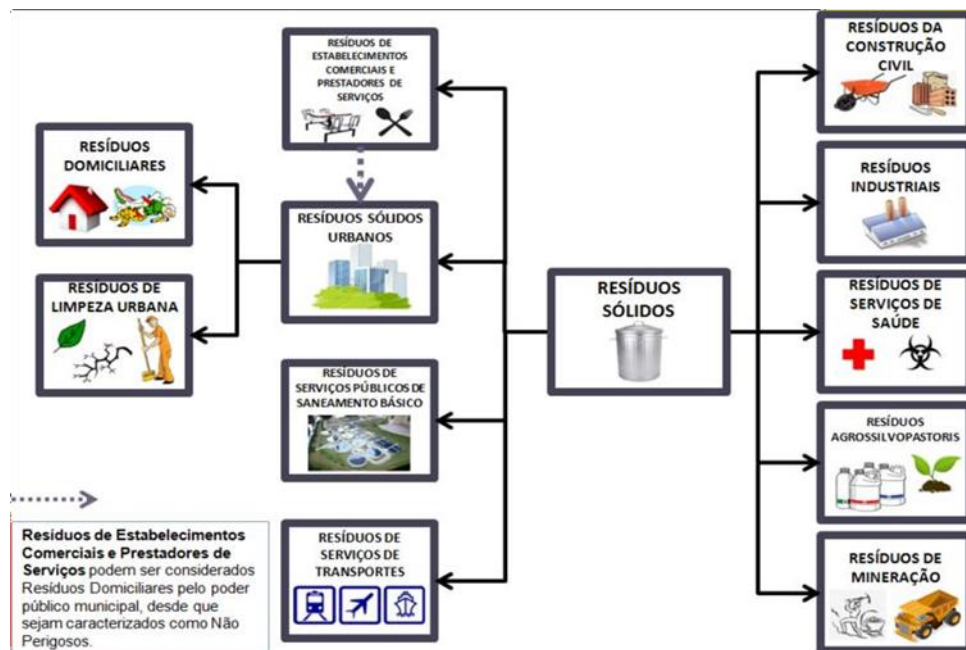
Segundo o artigo 3 inciso XVI da PNRS, a definição de resíduos sólidos é:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010b).

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com a PNRS quanto à origem e quanto à periculosidade. Em relação a origem, os resíduos podem ser classificados de acordo com a Figura 1:

- a) “resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “c”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agropecuários: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.”

Figura 1: Classificação dos resíduos sólidos quanto à sua origem.



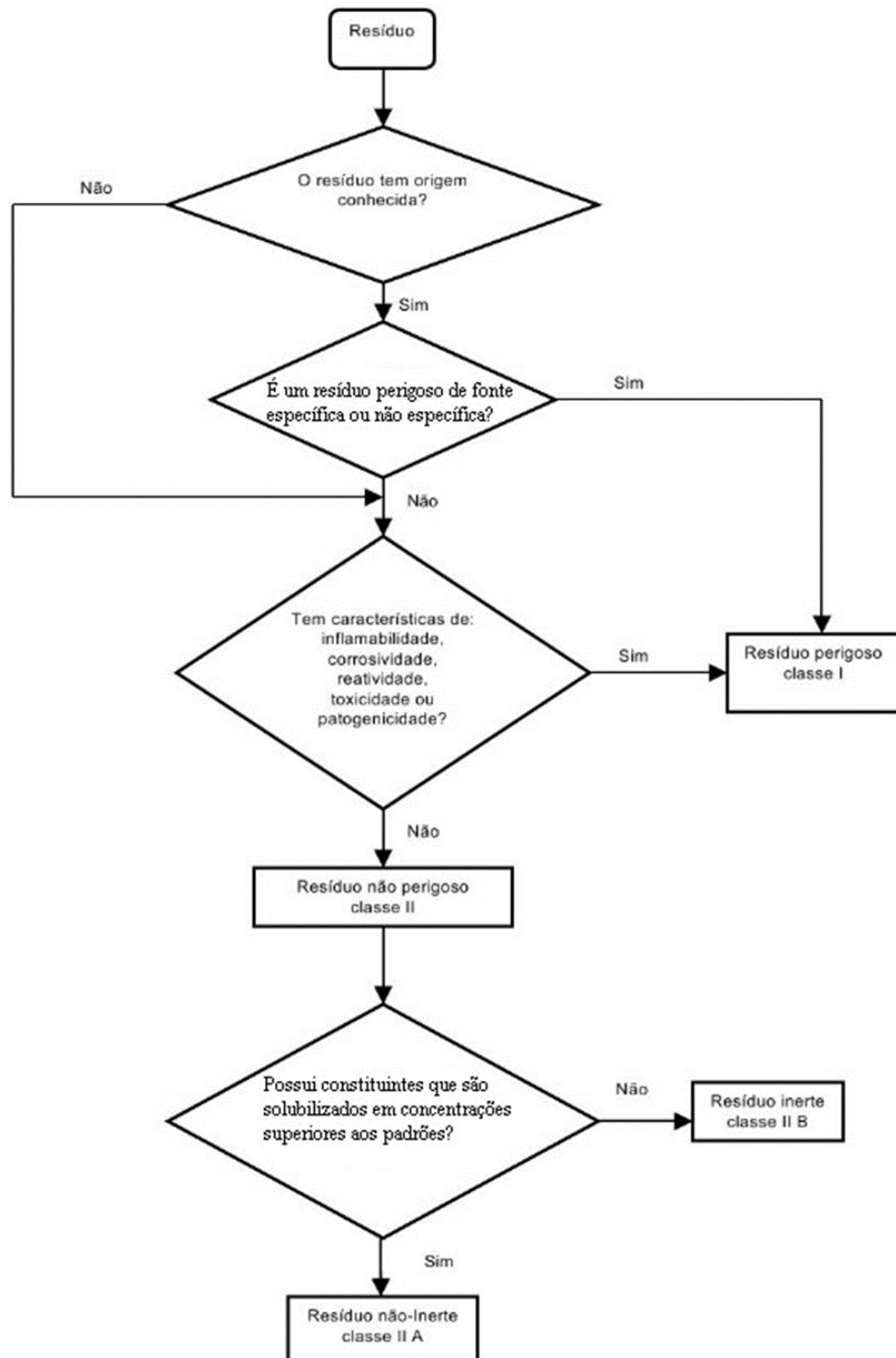
Fonte: Schalch, Castro e Córdoba. (2015).

Já em relação à periculosidade, a PNRS define resíduos perigosos como aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade ou mutagenicidade (BRASIL, 2010). Ainda segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004a), pela NBR 10.004 os resíduos sólidos são classificados como:

- a) “Resíduos classe I – Perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade ou outras características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos: que não apresentam periculosidade e são divididos em:
 - a. Classe IIA – Não inertes: que tem propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - b. Classe IIB – Inertes: quaisquer resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações maiores que as consideradas para água potável, exceto pela cor, turbidez, dureza e sabor. A Figura 2 apresenta um esquema com a classificação e caracterização dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.”

A Figura 2 apresenta um esquema simplificado com um passo a passo para que possa ser realizada a classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.

Figura 2: Classificação e caracterização dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004a)

3.3 Tipos de destinação final de resíduos sólidos

O tratamento de resíduos é definido pelo IBAM (2001) como uma série de procedimentos que visam a redução da quantidade ou do potencial poluidor dos resíduos sólidos, podendo ser realizado através da redução do descarte de em ambiente ou local inadequado, ou também transformando-o em material inerte ou biologicamente estável. Apenas quando todas as estratégias de gerenciamento não são mais aplicáveis, deve-se encaminhar os rejeitos para disposição final ambientalmente correta. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a destinação final ambientalmente adequada inclui tecnologias como a compostagem e o aproveitamento energético, considerando então o tratamento de resíduos como uma forma de destinação final (Brasil 2010). Já a disposição final é definida pela PNRS como a distribuição de rejeitos em aterros, de acordo com as operacionais específicas, visando evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, reduzindo os impactos ambientais (Brasil 2010).

3.3.1 Reciclagem

A Política Nacional de Resíduos Sólidos define reciclagem como “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (...)” (BRASIL, 2010). É um processo diferente da reutilização, pois envolve a transformação dos resíduos sólidos visando reaproveitá-los.

3.3.1.1 Coleta seletiva

A coleta seletiva pode ser definida como a coleta de resíduos sólidos que são previamente separados de acordo com sua constituição ou composição (Brasil 2010). De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (2010), os benefícios de reciclar são: a diminuição da quantidade de resíduos a ser aterrada, manutenção dos recursos naturais, economia energética, redução dos impactos ambientais, fomento de novos negócios e geração de empregos. A Tabela 1 apresenta os benefícios econômicos da reciclagem.

Tabela 1 - Benefícios econômicos da reciclagem

Material	Reciclagem incremental (ton/dia)	Insumos (R\$)	Ambiental (CO₂, energia e biodiversidade) (R\$)	Custos adicional da reciclagem (R\$/ton)	Benefício total (R\$/dia)
Aço	253	32.164	18.741	113	22.287
Alumínio	61	164.496	20.539	113	178.189
Celulose	1.397	460.854	33.517	113	336.563
Plástico	554	644.545	31.009	113	612.982
Vidro	246	29.572	2.711	113	4.436
Total	2.511	1.331.632	106.517		1.154.457

Fonte: COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (2013)

É importante ressaltar que para que esses benefícios realmente ocorram, é essencial a participação da população. Segundo Monteiro *et al.* (2001), a reciclagem ideal deve partir da separação dos resíduos em casa. Isso ocorre, pois a eficiência da reciclagem dos resíduos domiciliares quando já estão misturados é muito baixa, dependendo da tecnologia utilizada na usina. Sendo assim, de acordo com Tierno (2017) a segregação dos resíduos deve ser realizada na etapa de acondicionamento, facilitando assim o processo de reciclagem e aumentando o potencial de reaproveitamento dos resíduos coletados.

3.3.1.2 Compostagem

A compostagem é uma forma de reciclagem dos resíduos orgânicos e é definida como processo um natural de decomposição biológica dos materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de microrganismos, sem a adição de qualquer componente físico ou químico. A compostagem anaeróbia é realizada por microrganismos sem a presença de oxigênio e demanda um tempo maior para que a matéria orgânica se estabilize. Já na a aeróbia, a estabilização é mais rápida e ocorre com microrganismos na presença de oxigênio, sendo a mais adequada para o tratamento de resíduos domésticos (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Segundo Massukado (2004), alguns fatores interferem na eficiência do processo de compostagem. Esses fatores são: a umidade, oxigenação, temperatura, relação carbono/nitrogênio, pH e a granulometria das partículas de matéria orgânica. As vantagens

dessa tecnologia de tratamento são a redução da quantidade de resíduo encaminhada para aterros, eliminação de patógenos, economia no tratamento de efluentes e a possibilidade de diminuição da necessidade de fertilizantes industrializados, uma vez que esse processo gera um composto que pode melhorar a estrutura do solo.

3.3.2 Tratamento térmico

Os resíduos que não são passíveis de reciclagem devem ser encaminhados para outros tipos de tratamento. Dentre eles, destaca-se o tratamento térmico, definido como “todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800 graus Celsius” (BRASIL, 2002b). O tratamento térmico envolve métodos de decomposição térmica dos resíduos sólidos. Devido à possibilidade de recuperação energética de alguns tipos de tratamento térmico, que pode ser convertida em energia térmica ou elétrica, esta tecnologia vem sido amplamente discutida como uma forma de solucionar problemas relacionados a construção de aterros sanitários e o risco de passivos ambientais associados às práticas de disposição final (TABASOVÁ et al., 2012).

3.3.2.1 Incineração

A incineração é uma oxidação térmica, com excesso de oxigênio que gera calor, vapor de água, nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado. Dependendo da composição do resíduo, também pode ser gerado ácido clorídrico e fluorídrico, óxido de nitrogênio e outras substâncias (D’ALOIA, 2011).

As vantagens dessa tecnologia de tratamento, segundo Monteiro *et al.* (2001) são a eficiência do tratamento e a redução do volume dos resíduos, que pode chegar a cerca de 95%. Entretanto, pode listar como desvantagens o custo elevado de operação, manutenção e tratamento dos efluentes gasosos e líquidos, que exige constante trabalho de limpeza para incineradores que não usam gás natural. Outra desvantagem é o elevado risco de contaminação do ar por emissão de materiais particulados e dioxinas.

Sendo assim, Massukado (2004) ressalta que ainda existe muita polêmica na utilização deste processo devido à questão de viabilidade do alto custo dessa tecnologia e as emissões de gases nocivos à saúde pública em troca do tratamento e da geração de energia e calor que podem ser aproveitados no processo.

3.3.2.2 Coprocessamento

O coprocessamento em fornos de indústria cimenteira é uma alternativa que permite a recuperação energética dos resíduos sólidos descartados. Ao aplicar essa tecnologia, a indústria evita o descarte em aterro sanitário e viabiliza o reaproveitamento dos mesmos para fins energéticos. A recuperação energética é mencionada como uma estratégia integrante do conceito de economia circular (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017; Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018; Potting et al., 2017). Entretanto, apesar dos benefícios apresentados, o coprocessamento consiste em uma alternativa que apresenta baixa circularidade, pois torna inviável a reinserção dos materiais gerados pela indústria em novas cadeias produtivas, não sendo possível a recuperação por mais de uma vez. Após a incineração, a reinserção dos materiais gerados pela indústria em novas cadeias produtivas torna-se inviável, impossibilitando assim a realização da recuperação por mais de uma vez, o que contribui para a geração de rejeitos e demanda de recursos naturais para fabricação de novos produtos.

3.3.3 Aterro

3.3.3.1 Aterro sanitário e industrial

Segundo Tierno (2017) existem três alternativas de disposição final de resíduos no Brasil. São elas: o lixão, aterro controlado e aterro sanitário. Entretanto, somente o aterro sanitário é considerado disposição ambientalmente adequada. De acordo com a PNRS, os lixões e aterros controlados deveriam estar extintos desde 2014 e, por isso, não são consideradas disposições finais adequadas.

Monteiro *et al.* (2001) definem o aterro controlado como uma forma de confinar tecnicamente os resíduos sólidos sem poluir o ambiente externo, porém sem promover a coleta e tratamento do lixiviado e reaproveitamento ou queima do gases gerados. Já o aterro sanitário, apesar de ser um método de confinamento, possui cobertura feita com camadas de material inerte, que drena o material lixiviado e os gases gerados para que possam ser encaminhados para tratamento e reaproveitamento. O aterro industrial, por sua vez tem como objetivo a disposição final de resíduos perigosos provenientes de indústrias e suas normas de projeto e operação são dadas pela NBR 10157.

Massukado (2004) cita como vantagens do aterro sanitário o controle na proliferação de vetores e o o baixo custo de operação. Porém, apesar de ser considerado ambientalmente

adequado, o aterro sanitário possui desvantagens, como: a necessidade de grandes áreas para implantação, longo período demandado para estabilização do aterro e a interferência causada pela infiltração da água pluvial, além de outros fatores climáticos.

3.3.3.2 Aterro de reservação

Os aterros de reservação, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 são áreas utilizadas para a triagem, armazenamento temporário dos materiais separados e remoção para disposição final dos rejeitos de forma adequada, respeitando normas específicas para evitar danos à saúde pública e minimizar os impactos ao meio ambiente.

A Resolução CONAMA nº307/02 define os resíduos da construção civil como aqueles gerados em obras de construção civil ou resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Alguns exemplos são: tijolos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas e madeiras.

Essa mesma resolução também classifica os RCC como:

“I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;

d) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

e) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;

f) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II – Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015). III – Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações

economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).

IV – Classe D – são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04)” (BRASIL, 2002).

3.4 Economia circular

A economia circular (EC) é um assunto abordado por diversos autores por diferentes perspectivas (BERTASSINI, 2018). Apesar de ter se tornado um tema bastante discutido na atualidade, ainda não há um consenso sobre sua definição. Isso ocorre, pois a EC fundamenta-se na integração de princípios de diversas disciplinas científicas, como *cradle-to-cradle*, ecologia industrial e simbiose industrial (HOMRICH et al., 2018).

Segundo Homrich et al. (2018) e CNI (2018b), a EC surge como uma estratégia econômica e não puramente ambiental. Apesar disso, acaba tornando-se um meio de promover a sustentabilidade nos negócios, pois engloba questões ambientais e sociais (GHISELLINI; ULGIATI, 2019; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016).

Diferente do modelo econômico linear que, segundo George, Lin e Chen (2015) é caracterizado por um sistema unidirecional, onde os recursos são extraídos, utilizados nos processos produtivos e descartados como resíduos, a EC tem como objetivo a restauração e regeneração dos materiais, produtos e componentes, substituindo a lógica do consumo pela lógica do uso (EMF, 2015). Para que isso seja possível, é necessária a criação de oportunidades que reflitam na valoração de materiais, componentes e produtos ao longo de todo seu ciclo de vida (BARDERI, 2017).

Segundo EMF (2015), os três princípios considerados fundamentos da abordagem de EC são:

“Princípio 1: preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis.

Princípio 2: otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico.

Princípio 3: estimular a efetividade do sistema, revelando e excluindo as externalidades desde o princípio” (EMF, 2015, 22 p.).

No presente trabalho, foram avaliados a reciclagem, coprocessamento e incineração como modelos de gerenciamento pertencentes à EC e a disposição final em aterro como modelo de economia linear.

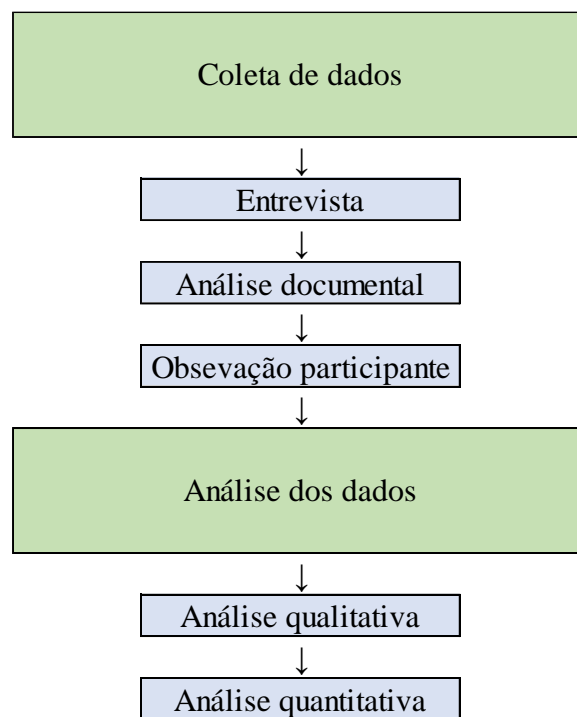
4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consiste em um estudo de caso, que segundo Gil (2002) é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, permitindo seu amplo e detalhado conhecimento.

Para isso, foi selecionada uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos localizada no interior de São Paulo. A escolha foi feita devido ao aluno ter realizado o estágio na empresa, participando ativamente no processo de coleta e avaliação dos dados. Por questões de sigilo, a razão social e outros detalhes da empresa não serão divulgados neste documento.

Trata-se de uma pesquisa de caráter exploratório, que segundo Gil (2002) proporciona maior familiaridade com o problema, visando torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. Para isso, foram seguidas as etapas mostradas na Figura 3.

Figura 3: Cronograma para a elaboração da pesquisa



Fonte: O autor

4.1 Coleta de dados

4.1.1 Entrevista

A entrevista, segundo Gil (2002) caracteriza-se por ser uma técnica que envolve duas pessoas numa situação “face a face”, em que uma delas formula as perguntas e a outra as

responde. Neste caso, a entrevista foi parcialmente estruturada, pois foi guiada a partir de pontos de interesse que o entrevistador explora ao longo de seu curso.

Para nortear a pesquisa, foi elaborado o roteiro de entrevista (Quadro 1), que foi utilizado na reunião com um dos gestores da empresa. As respostas e comentários foram anotados, para que fosse elaborado um relatório com as informações fornecidas.

Quadro 1: Questionário para entrevista com os gestores da empresa.

1. Quais os tipos de resíduos sólidos coletados pela empresa?
2. Como os resíduos sólidos são armazenados?
3. Quais as formas de destinação final oferecidas para cada tipo de resíduo?
4. Quando foi iniciado o processo de triagem?
5. Quais os benefícios observados no processo de triagem?
6. Existe um banco de dados utilizado para organizar e sistematizar a quantidade de resíduos sólidos coletados e destinados?
7. Os funcionários recebem algum tipo de treinamento para manipular os resíduos sólidos? Se sim, quais os treinamentos e periodicidade com que são aplicados?
8. Como a pandemia da Covid-19 afetou a empresa?
9. Como a pandemia da Covid-19 afetou o processo de triagem?

Fonte: O autor

4.1.2 Pesquisa documental

Os dados relacionados a quantidade, tipologia e destinação final dos resíduos sólidos em 2020 foram fornecidas pelos responsáveis do setor. A seguir, foi realizada uma pesquisa documental com estes materiais, que segundo Gil (2002) é desenvolvida a partir de materiais já elaborados, porém que ainda não receberam um tratamento analítico, ou que podem ser modificados de acordo com os objetivos da pesquisa.

4.1.3 Observação participante

Além disso, foi realizada observação participante das operações realizadas pela empresa, para elaborar um diagnóstico da recuperação de recicláveis a partir da triagem. A observação participante, segundo Gil (2002) é caracterizada pela interação entre o autor da pesquisa e os membros do cenário investigado. Como o pesquisador estagiava no local, ele estava inserido na empresa, participando dos processos, permitindo anotações, além de participar ativamente na coleta e tratamento dos dados levantados.

4.2 Análise dos dados

4.2.1 Análise qualitativa

A partir dos dados coletados durante a entrevista e observação participante, foi possível realizar o mapeamento dos processos da empresa desde a coleta até a destinação final dos resíduos sólidos, além de auxiliar no diagnóstico da separação de recicláveis e os impactos causados pela pandemia da Covid-19 no processo de triagem.

4.2.2 Análise quantitativa

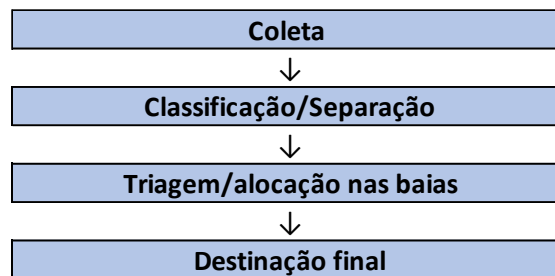
Por fim, os relatórios obtidos na pesquisa documental foram utilizados para realizar o acompanhamento mensal durante o ano de 2020 dos resíduos sólidos coletados, classificando-os conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004a) pela NBR 10.004 e pelo tipo de destinação final. Foi realizada também uma análise mensal da quantidade de resíduo triada mensalmente nesse período.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapas do gerenciamento de resíduos

A Figura 4 apresenta o fluxograma do gerenciamento dos resíduos sólidos realizado pela empresa estudada, desde a coleta até a destinação final.

Figura 4: Fluxograma do gerenciamento de resíduos sólidos.



Fonte: O autor

Os resíduos sólidos são coletados nos clientes e enviados até o setor de gerenciamento onde são pesados, classificados e separados de acordo com sua tipologia e destinação final solicitada pelo cliente. Este trabalho teve como foco a análise dos resíduos sólidos encaminhados para aterro, coprocessamento, incineração e reciclagem.

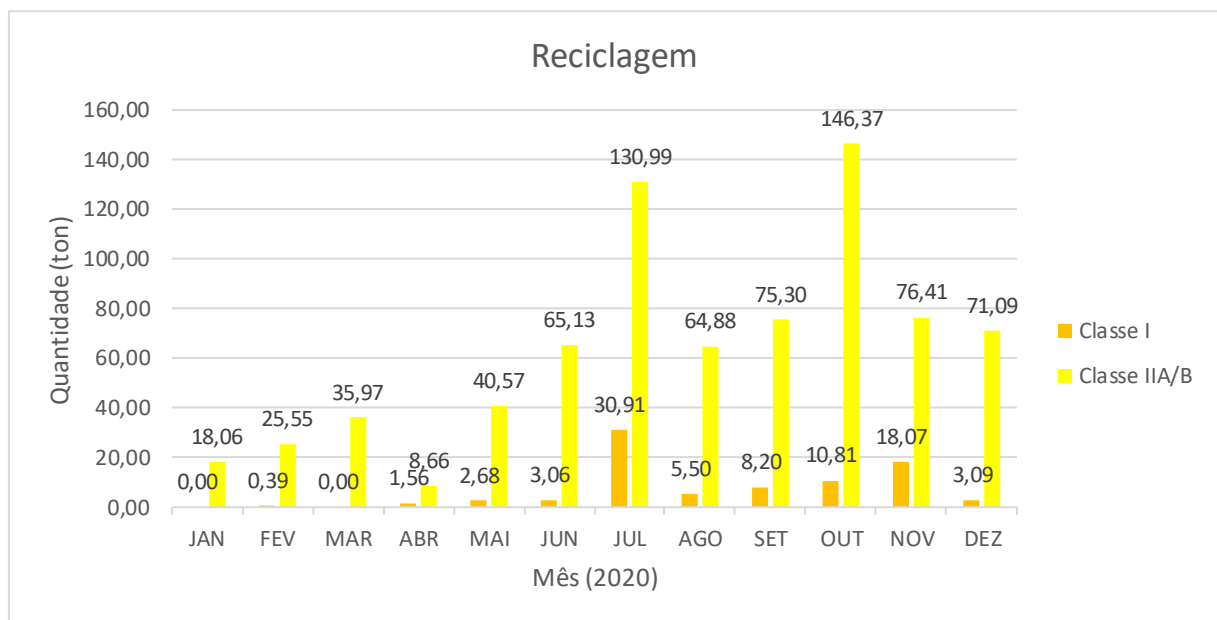
Em seguida ocorre o processo de triagem antes de serem alocados em suas respectivas baias. Este processo serve não apenas para a separação de recicláveis, mas também para garantir que não haja nenhum material não conforme misturado indevidamente pelo cliente que não possa ser encaminhado para a destinação final solicitada. Um exemplo comum de resíduo não conforme são produtos químicos misturados com os resíduos para coprocessamento. Isso ocorre por falta de informação dos clientes ou por conta do custo de incineração, que seria o adequado para os químicos serem muito maiores que o do coprocessamento. Caso a conferência dos matérias não seja feita corretamente há o risco de acidentes como reações químicas indesejadas ao fazer a blendagem do material para coprocessamento. Para evitar esse tipo de problema, o setor operacional precisa verificar se os resíduos coletados conferem com a coleta solicitada pelo cliente através da ordem de serviço gerada pelo setor de logística da empresa.

Antes de serem encaminhados para a destinação final, os resíduos sólidos são novamente pesados para que seja realizado o controle da quantidade enviada para cada tipo de destinação final, bem como a quantidade triada desses resíduos.

5.2 Quantificação dos resíduos sólidos

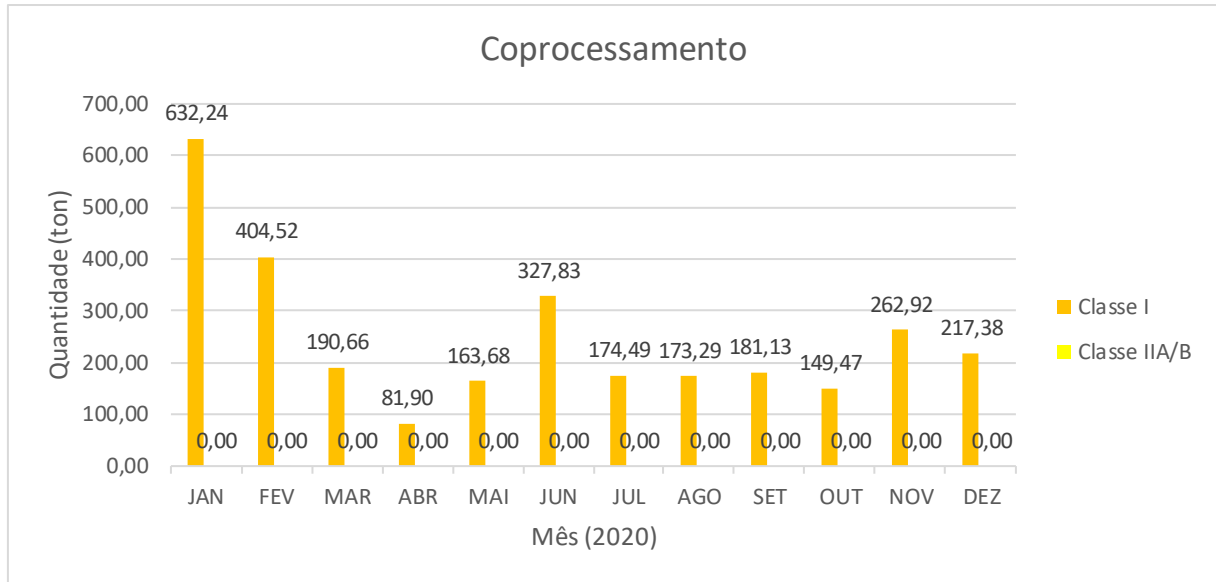
As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam a quantidade em toneladas de resíduos sólidos enviada mensalmente para destinação final de acordo com a NBR 10.004, enquanto a Figura 9 apresenta o percentual de cada tipo de destinação desses resíduos sólidos. Além disso, a Figura 10 apresenta a porcentagem anual de cada tipo de destinação.

Figura 5: Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para reciclagem



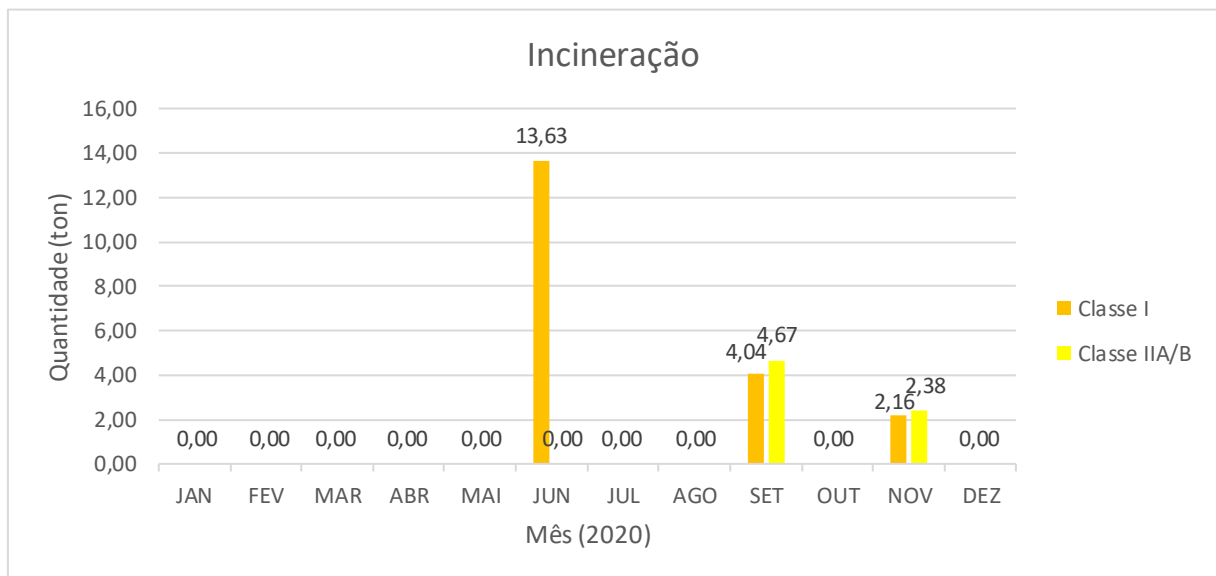
Fonte: O autor

Figura 6: Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para coprocessamento



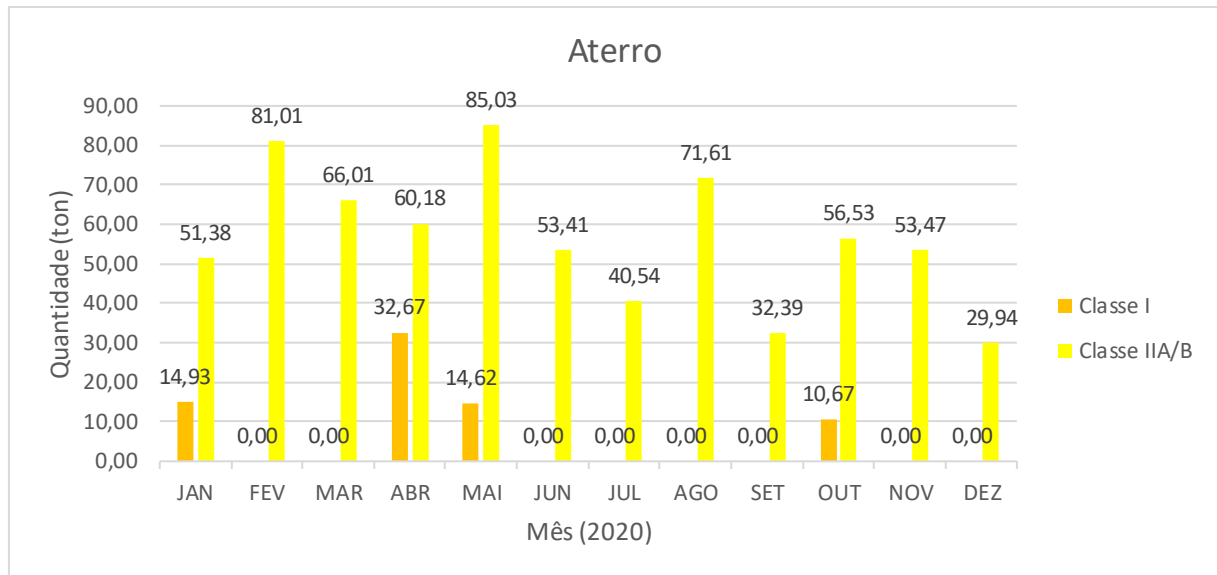
Fonte: O autor

Figura 7: Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para incineração



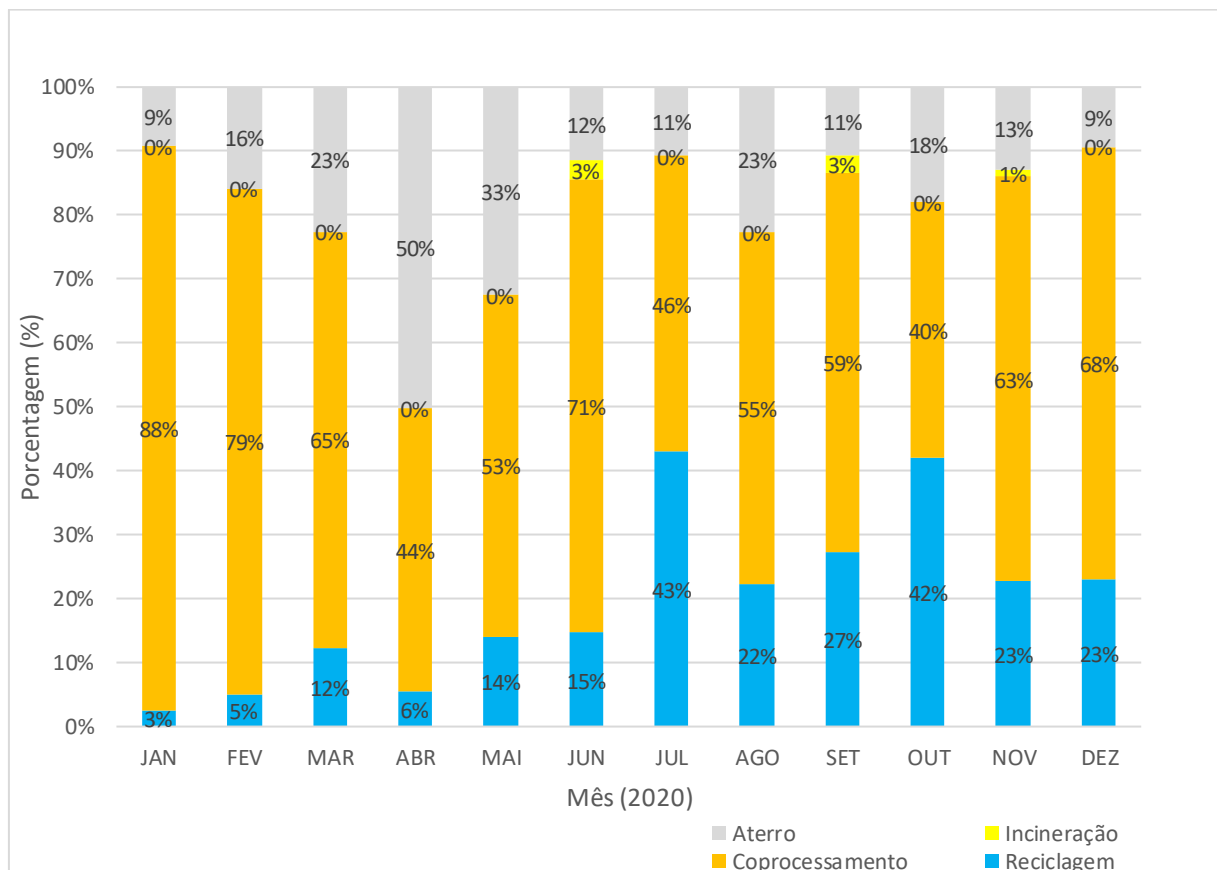
Fonte: O autor

Figura 8: Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para aterro



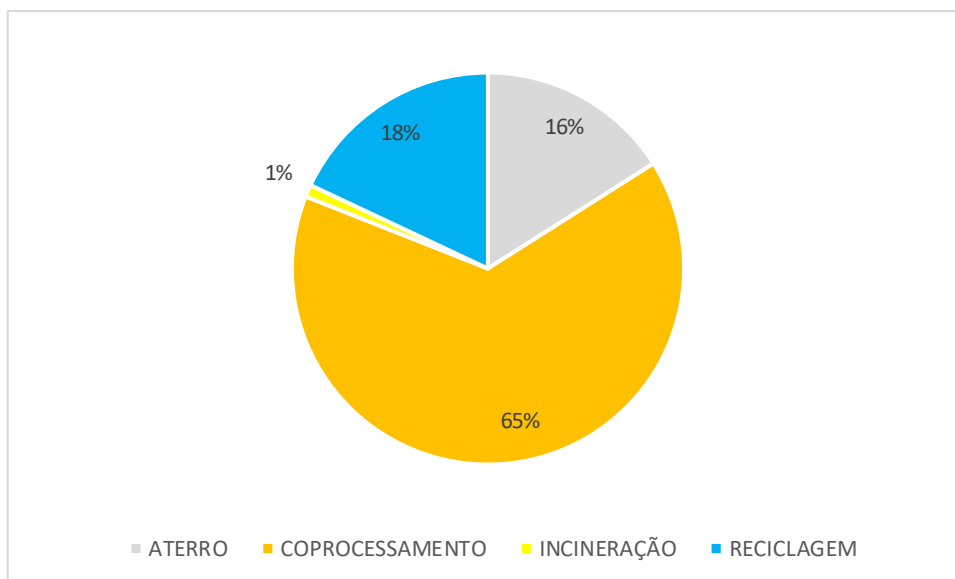
Fonte: O autor

Figura 9: Porcentagem de resíduos sólidos por tipo de destinação final.



Fonte: O autor

Figura 10: Percentual de cada tipo de destinação em 2020



Fonte: O autor

Os resíduos classe I encaminhados para reciclagem apresentados na Figura 5 são em sua maioria lâmpadas, resíduos eletrônicos, pilhas e baterias e óleo para re-refino. Já os classe II são constituídos principalmente por sucata metálica ferrosa ou não ferrosa, mas também são destinados outros materiais como papelão, plástico e borracha de pneus inservíveis. Observou-se um pico na quantidade destinada em julho e outubro. Esses picos costumam ocorrer quando há o descarte de algum tipo de maquinário das indústrias.

Na Figura 6 observa-se que há apenas a destinação de resíduo classe I. Isso ocorre, pois é feita a blendagem do material, triturando o resíduo sólido e misturando com a borra de óleo coletada para aumentar o poder calorífico. Esse blend é encaminhado para uma indústria cimenteira que queima o material como fonte de energia. As cinzas restantes podem então serem incorporadas na fabricação de asfalto. Como no final do ano há um aumento da demanda de coletas, já que as empresas buscam limpar seus barracões, é normal haver uma queda na destinação de resíduos para atender os clientes em dezembro seguido por um aumento em janeiro para destinar os resíduos sólidos excedentes.

Na Figura 7, é possível verificar que não há destinação de resíduos sólidos para incineração todos os meses. Isso ocorre, pois a quantidade coletada é muito baixa, sendo necessário armazenar uma quantidade que torne viável economicamente o envio desses resíduos para o tratamento térmico. Os resíduos classe I enviados para incineração são medicamentos e produtos químicos vencidos e resíduos ambulatoriais das empresas, como gases, ataduras e seringas. Já o classe II é composto apenas por lixo comum de banheiro.

Os resíduos sólidos na Figura 8 são aqueles dispostos em aterro. Os resíduos classe I são compostos por telhas de amianto. Já o classe II é composto por materiais diversos como pó de varrição e uniformes, além de outros resíduos que não podem ser reciclados e são enviados para aterro sanitário. A madeira, que também é um resíduo classe II, é encaminhada para aterro de reservação.

É possível verificar que a maior parte dos resíduos sólidos é destinada para coprocessamento (2959,51 ton), seguida por reciclagem (843,22 ton), aterro (754,39 ton) e incineração (26,88 ton). Considerando a hierarquia estabelecida pelo Art. 9º da PNRS, as três melhores estratégias para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos não são aplicáveis, visto que o presente trabalho faz um levantamento de resíduos coletados em terceiros e não os gerados na empresa estudada, apesar de que um incentivo para a não geração, redução e reutilização dos resíduos gerados pelos clientes possa ser uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental. Esses incentivos podem ser feitos pela empresa alvo deste estudo através de planos de consultoria e acompanhamento dos resíduos gerados pelos clientes.

Entre as demais estratégias citadas na PNRS, o tratamento dos resíduos sólidos foi a mais aplicada, com 66% dos resíduos sendo encaminhados anualmente. Já a disposição final foi a estratégia menos utilizada, com apenas 16%, o que é um bom indicador, já que esta é a última estratégia que deve ser adotada segundo a ordem de prioridades anteriormente mencionada.

Do ponto de vista da EC, apesar de 84% dos resíduos serem encaminhados para tratamento ou disposição final apenas 16% são encaminhados para reciclagem. O restante é destinado para recuperação energética, que é considerado de baixa circularidade, pois torna inviável a reinserção dos materiais gerados no processo, não sendo possível a recuperação por mais de uma vez. A recuperação energética é a estratégia utilizada principalmente para os resíduos classe I através do coprocessamento (2.959,51 toneladas anualmente), enquanto os resíduos classe II são enviados em sua maioria para reciclagem e aterro (758,96 toneladas anualmente). Entretanto, apesar de ser enviado para uma forma de tratamento que promove maior circularidade, boa parte dos resíduos classe II também são encaminhadas para aterro, sendo responsável por 681,50 toneladas dos resíduos destinados em 2020.

Apesar da quantidade de resíduos sólidos encaminhados para reciclagem ser maior do que a encaminhada para aterros, isso só ocorreu a partir do final do primeiro semestre. As causas dessa mudança serão melhor discutidas na avaliação da triagem.

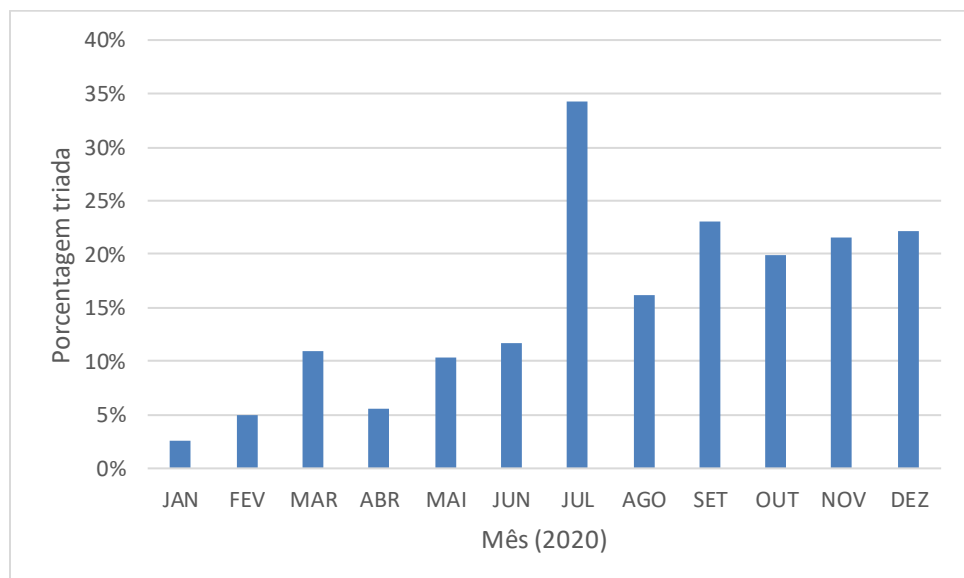
Além disso, não foi possível estabelecer uma relação entre a quantidade de resíduos sólidos coletada e a pandemia da Covid-19. De acordo com a entrevista, a empresa foi mais

afetada pela pandemia no primeiro semestre, onde ocorreu um período de férias coletivas e revezamento entre os funcionários, estratégias essas tomadas para tentar reduzir a propagação do vírus, fazendo com que a empresa operasse com cerca de um terço da sua capacidade, tanto no setor administrativo, quanto no operacional. Apenas os motoristas continuaram a trabalhar normalmente durante todo o período, ou seja, a frota da empresa operou com sua capacidade máxima. O que influenciou a quantidade de resíduos sólidos coletada foi a demanda dos clientes e como eles podem ter sido afetados pela pandemia ou outros fatores.

5.3 Análise da triagem

De acordo com o que foi constatado durante a observação participante e na entrevista, a triagem possui benefícios tanto ambiental quanto econômico. O processo de triagem dos resíduos sólidos diminui a quantidade encaminhada para aterros, coprocessamento e incineração, gerando receita para a empresa e diminuindo os custos com a destinação final. A Figura 11 apresenta a porcentagem de resíduos sólidos triada em 2020.

Figura 11: Porcentagem de resíduos triada em 2020



Fonte: O autor.

É possível verificar observando a Figura 11 que a quantidade de resíduos sólidos triada no primeiro semestre foi de menos de 15% ao mês, consideravelmente menor comparada ao segundo que teve todas as suas medições acima deste valor. Um dos fatores que contribuiu para isso foi o revezamento dos funcionários, mencionado anteriormente. Com a quantidade de

ajudantes gerais no pátio reduzida, havia menos mão de obra qualificada para realizar o processo de triagem. Com o retorno dos funcionários a partir do segundo semestre, a situação da empresa voltou a normalidade e a média da triagem em 2020 foi de cerca de 15%, o que explica o aumento da quantidade de resíduos sólidos destinada para reciclagem observada anteriormente.

Segundo Monteiro et al. (2001), a triagem dos resíduos misturados reduz a eficiência da reciclagem, sendo o ideal que essa separação seja feita no início do processo, no caso pelos clientes. Portanto, uma outra sugestão seria o incentivo a segregação dos resíduos na etapa de acondicionamento, conforme mencionado por Tierno (2017). Esse incentivo, apesar de apresentar vantagens como aumentar o potencial de reaproveitamento e reduzir a mão de obra alocada para a triagem na empresa estudada, pode gerar uma redução na receita, uma vez que a quantidade de resíduos enviadas pelos clientes para os outros tipos de destinação podem reduzir, sendo necessário um estudo de viabilidade antes de ser tomada qualquer medida.

6 CONCLUSÃO

A análise dos dados obtidos no presente trabalho permitiu concluir que apesar da triagem trazer benefícios para a empresa estudada, o aproveitamento da reciclagem é baixo devido à mistura dos resíduos, havendo espaço para o estudo de novas estratégias de abordagem dos clientes. Além disso, o processo de triagem foi claramente afetado pela pandemia da Covid-19. Isso ocorreu principalmente devido à redução no quadro de funcionários, e seus reflexos podem ser observados ao se comparar os dados do primeiro semestre com o segundo. A média da triagem em 2020 foi de cerca de 15%.

Em relação às formas de destinação dos resíduos sólidos, os resultados apresentados foram satisfatórios quando comparadas as estratégias de gestão e gerenciamento estabelecidas pelo Art. 9º da PNRS, já que apenas 16% dos resíduos foram destinados para aterro, considerado o último recurso a ser utilizado. Já do ponto de vista da EC, os dados também são promissores, porém as formas de tratamento mais utilizadas da EC são as que promovem a menor circularidade. A recuperação energética foi responsável por 66% das destinações, enquanto a reciclagem foi de 18%.

REFERÊNCIAS

- Amaral, M. C. **Reaproveitamento e Reciclagem Têxtil no Brasil: ações e prospecto de triagem de resíduos para pequenos geradores**. 2016. 123 p. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10157**: Aterro de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.
- BARDERI, M. T. **Aplicação dos princípios da economia circular em uma indústria de veículos comerciais**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário FEI, São Paulo, 2017.
- BERTASSINI, A. C. **Captura de valor em uma economia circular**: guia para identificação de oportunidades de valor circular. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
- BRASIL. **Lei 12.305, de 2 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. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 316**, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, DF, 2002b.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n.º 307**, de 05 de julho de 2002 (alterada pelas Resoluções nsº348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015). Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-96. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 8 out. 2021.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: [s.n.], 2010.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Cempre**: review 2013. São Paulo: CEMPRE, 2013.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular**: oportunidades e desafios para a indústria brasileira. Brasília, DF, 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Pesquisa sobre economia circular 2019**. Brasília, DF, 2020b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: business rationale for an accelerated transition. Isle of Wight: EMF, 2015.

GEORGE, D. A. R.; LIN, B. C.; CHEN, Y. A Circular economy model of economic growth. **Environmental Modelling and Software**, v. 73, p. 60-63, 2015.

Gil, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 Ed. São Paulo, 2002.

HOMRICH, A. S. et al. The Circular economy umbrella: trends and gaps on integrating pathways. **Journal Of Cleaner Production**, v. 175, p. 525-543, 2018.

MENDES, I. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação de economia circular**: um estudo de caso em São Carlos-SP. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

FARIA, C. R. S. M. **A política nacional de resíduos sólidos**. Brasília: Senado Federal, 2012. (Boletim Legislativo, n. 15).

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001.

MASSUKADO, L. M. **Sistema de apoio a decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. 2004. 272 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

SCHALCH, V.; CASTRO, M. A. S.; CÓRDOBA, R. E. Tratamento e disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos. São Carlos: EESC/USP, 2015.

TABASOVÁ, A. et al. Waste-to-energy technologies: Impact on environment. **Energy**, v. 44, n. 1, p. 146-155, Aug. 2012.

TIERNO, R. **Diagnóstico e sistematização de estratégias para a gestão dos resíduos domiciliares aplicáveis a políticas de planejamento urbano**. 2017. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.