

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TARSO JOSÉ TULIO

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DA MUDANÇA DE TECNOLOGIA NO
TRATAMENTO DOS RSU: UM ESTUDO PARA A ÁREA DO CONRESOL

CURITIBA

2020



TARSO JOSÉ TULIO

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DA MUDANÇA DE TECNOLOGIA NO
TRATAMENTO DOS RSU: UM ESTUDO PARA A ÁREA DO CONRESOL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Arno Paulo Schmitz

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

T917a

Tulio , Tarso José

Análise custo-benefício da mudança de tecnologia no tratamento dos RSU: um estudo para a área do CONRESOL [recurso eletrônico] / Tarso José Tulio . – Curitiba, 2020.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2020.

Orientador: Arno Paulo Schmitz

1. Resíduos sólidos. 2. Pirólise. 3. Reaproveitamento de resíduos. 4. Compostos orgânicos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Schmitz , Arno Paulo. III. Título.

CDD: 628.44

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **TARSO JOSÉ TULIO** intitulada: **ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DA MUDANÇA DE TECNOLOGIA NO TRATAMENTO DOS RSU: UM ESTUDO PARA A ÁREA DO CONRESOL**, sob orientação do Prof. Dr. ARNO PAULO SCHMITZ, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Novembro de 2020.



ARNO PAULO SCHMITZ

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



MÔNICA BEATRIZ KOLICHESKI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



ROGERIO ALLON DUENHAS

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Escrever uma dissertação de mestrado é uma experiência enriquecedora e de plena superação.

Gostaria de agradecer ao professor Arno Paulo Schmitz pela orientação, dedicação, incentivo e amizade dispensada durante todo o curso. Tenho certeza que sem a sua participação esta dissertação não seria possível.

Gostaria de agradecer também aos professores e Álvaro Luiz Mathias e Regina Weinschutz, participantes da banca de qualificação, que deram significativas contribuições ao trabalho. Aos demais professores e colegas do mestrado pelo companheirismo.

Ao CONRESOL – Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos que se prontificaram a fornecer as informações e dados para esta pesquisa.

A COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos pela liberdade e disponibilidade de tempo para minhas aulas e estudos.

À toda minha família, pelo apoio e companheirismo em todos os momentos da minha vida.

Aos amigos, cujos incentivos foram muito importantes, principalmente nos momentos mais difíceis.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço o apoio, estímulo e atenção.

RESUMO

O aumento constante da quantidade de resíduos produzidos pela sociedade torna urgente o desenvolvimento de novos e melhores métodos de tratamento dos “Resíduos Sólidos Urbanos” (RSU). Os métodos tradicionais de gestão de resíduos, tal como os aterros sanitários, estão em desuso e podem ser substituídos por soluções mais atualizadas, eficazes e ambientalmente mais eficientes. Neste aspecto, outros métodos com tecnologias ambientalmente amigáveis são a pirólise (decomposição em altas temperaturas), a compostagem (para materiais orgânicos) e a reciclagem de materiais. A utilização de aterros sanitários é sabidamente uma solução insatisfatória para o destino dos RSU, dadas as suas consequências. Dentre estas consequências pode-se elencar: desperdício de materiais que poderiam ser reciclados e reaproveitados; mau cheiro nas redondezas do aterro; depreciação dos ativos imobiliários próximos aos aterros; contaminação do solo e lençol freático; transporte dos resíduos para aterros cada vez mais distantes, dado o crescimento das cidades; dentre outros problemas. O objetivo geral deste trabalho foi de avaliar a viabilidade econômica, para a região do CONRESOL, da mudança de tecnologia de tratamento dos RSU. Para tanto, foi necessário estimar a viabilidade econômica de uma nova tecnologia no gerenciamento dos RSU da região atendida pelo Consórcio. Sendo assim, este trabalho se propôs a executar um estudo, para a região do CONRESOL, que analisa economicamente a implantação de um sistema de tratamento de RSU, composto por unidades de pirólise, separação de recicláveis e compostagem de materiais orgânicos, utilizando-se de cenários com soluções que combinam estes sistemas. Nos três cenários propostos, aqueles que se mostraram economicamente interessantes foram os cenários que consideraram a implantação do processo de pirólise unicamente, e o processo combinado de pirólise, reciclagem e compostagem. Dentre esses o que possui maior ganho ambiental é o cenário 02 (pirólise, reciclagem e compostagem), pois este contempla uma finalidade mais nobre aos produtos. Mas, o cenário 03 (somente pirólise) também é viável e mais seguro pois comercializa energia elétrica que é um mercado mais estável e seguro. Ainda, alguns cenários se mostraram inviáveis quando não considerada a DAP (o aumento do valor pago pela população). Isso foi revelado na análise dos três cenários propostos com a Alternativa 03, com VPLs negativos e cuja TIR calculada ficou abaixo da taxa SELIC (7,8%), mesmo com a venda dos subprodutos gerados do tratamento (Energia, Recicláveis e Composto orgânico).

Palavras-chaves: Resíduos sólidos urbanos. Pirólise. Reciclagem. Compostagem. Análise econômica.

ABSTRACT

The constant increase in the amount of waste produced by society makes it urgent to develop new and better ways of treating the "Urban Solid Waste" (USW). The traditional methods of waste management, such as landfills, are out of work and can be changed by more up-to-date, effective and environmentally efficient solutions. Therefore, other methods with environmentally friendly technologies are pyrolysis (decomposition at high temperatures), composting of organic materials and material recycling. The use of landfills is known to be an unsatisfactory solution for the destination of USW, given its consequences. Among these consequences we can list waste of materials that could be recycled and reused; bad smell around the landfill; depreciation of real estate assets close to landfills; contamination of soil and groundwater; transport of waste to increasingly distant landfills, given the growth of cities; among other problems. The general objective of this work was to evaluate the economic viability, for the CONRESOL region, of the change in the technology of treatment of USW. Therefore, it was necessary to estimate the economic viability of a new technology in the management of USW in the region served by the Consortium. Therefore, this work proposed to carry out a study for the CONRESOL region, which economically analyzes the implementation of a USW treatment system, composed of pyrolysis units, separation of recyclables and composting of organic materials, using scenarios with solutions that combine these systems. In the three proposed scenarios, those that proved to be economically interesting were the scenarios that considered the implementation of the pyrolysis process only, and the combined pyrolysis, recycling and composting process. Among these, the one that has the greatest environmental gain is scenario 02 (pyrolysis, recycling and composting), as this contemplates a more noble purpose for products. However, scenario 03 (pyrolysis only) is also feasible and safer as it sells electricity which is a more stable and secure market. Still, some scenarios proved to be unfeasible when WTP was not considered (the increase in the amount paid by the population). This was revealed in the analysis of the three scenarios proposed with Alternative 03, with negative NPVs and whose calculated IRR was below the SELIC rate (7.8%), even with the sale of by-products generated from the treatment (Energy, Recyclables and Organic Compound).

Keywords: Urban solid waste. Pyrolysis. Recycling. Composting. Economic analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama operacional da compostagem	42
Figura 2 – Ilustração custo X complexidade dos métodos de compostagem	42
Figura 3 – Ilustração do sistema DANO de compostagem de resíduos orgânicos ...	45
Figura 4 – Área de abrangência do consórcio CONRESOL.....	52
Figura 5 – Proporção dos RSU produzidos nos municípios do CONRESOL - 2017.	55
Figura 6 – Diagrama do processo de pirólise dos RSU	82
Figura 7 – Diagrama do processo de separação de recicláveis	87
Figura 8 – Fluxo de caixa acumulado, segundo Alternativas, Cenário 01	125
Figura 9 – Fluxo de caixa acumulado, segundo Alternativas, Cenário 02	128
Figura 10 – Fluxo de caixa acumulado, segundo Alternativas, Cenário 03.....	130
Figura 11 – Diagrama do processo de pirólise anaeróbica	184
Figura 12 – Diagrama do processo de pirólise	186
Figura 13 – Equipamentos e componentes do processo de pirólise.....	187
Figura 14 – Alimentação da planta de reciclagem	188
Figura 15 – Triagem Manual e Peneira Rotativa	189
Figura 16 – Tratamento orgânico.....	190
Figura 17 – Área de Rasga Sacos e Balísticos.....	191
Figura 18 – Área de Trituração	192
Figura 19 – Área de Trituração	193
Figura 20 – Descarga automática dos finos nos containers	194
Figura 21 – Linha de finos	195
Figura 22 – Separador ótico	197
Figura 23 – Linha de planares 2D	198
Figura 24 – Separador ótico de rolantes	203
Figura 25 – Baias manuais e prensagem	203
Figura 26 – Planta Geral da separação de recicláveis	204
Figura 27 – Perspectiva Geral da separação em 3D	205

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comportamentos e produtos de pirólise sob diferentes condições de reação	152
Quadro 2 - Principais unidades e tecnologias utilizadas em plantas com processo de pirólise no mundo.....	160
Quadro 3 - Matriz de legislação aplicável no Brasil e Estado do Paraná.....	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de geração de RSU per capita por faixa populacional, Paraná - 2017	26
Tabela 2 – Forma de cobrança dos serviços de gerenciamento dos RSU nos municípios, Paraná - 2017.....	26
Tabela 3 – Valores arrecadados com a taxa de gerenciamento dos RSU e Custos de gerenciamento dos RSU nos municípios por faixa de habitantes, Paraná - 2017.....	27
Tabela 4 – Proporções da composição dos gases obtidos com diferentes granulometrias.....	36
Tabela 5 – Empreendimentos <i>WTE</i> em implantação, Brasil - 2019.....	39
Tabela 6 – Volume de RSU por aterro sanitário – Área do CONRESOL – 2010/2017 (em toneladas).....	53
Tabela 7 – Quantitativo, proporção e acumulado de RSU dos Municípios do CONRESOL - 2017	54
Tabela 8 – Quantidade mensal de RSU gerados pelos municípios do CONRESOL - 2017	56
Tabela 9 – Composição gravimétrica dos RSU dispostos no aterro da empresa Estre - 2016.....	57
Tabela 10 – Classificação dos RSU quanto à finalidade conforme especificações dos fabricantes dos equipamentos.....	58
Tabela 11 – Quantidade de funcionários para cinco reatores pirolíticos, por turno... 84	
Tabela 12 – Quantidade de reatores pirolíticos e parâmetros de processamento, por cenário.....	84
Tabela 13 – Estimativas dos resultados do processamento via pirólise dos Cenários 01, 02 e 03, para os anos 2020, 2030, 2040 e 2050	85
Tabela 14 – Área necessária para implantação das unidades de separação de recicláveis.....	88
Tabela 15 – Eficiência do separador de recicláveis por material reciclável - 2019 ...	88
Tabela 16 – Materiais recicláveis separados em relação ao total de resíduos - anos 2020, 2030, 2040 e 2050	89
Tabela 17 – Quantidade de funcionários para operação do separador de recicláveis mecanizado, por turno.....	90

Tabela 18 – Estimativa das características do processo de compostagem no Cenário 02, para os anos 2020, 2030, 2040 e 2050	91
Tabela 19 – Características e estimativa da área de pátio para a compostagem - Cenário 02 - anos 2020, 2030, 2040 e 2050	92
Tabela 20 – Quantidade de funcionários para as plantas de compostagem, segundo funções para dois turnos de trabalho - 1ª e 2ª etapas de implantação.....	93
Tabela 21 – Custos dos equipamentos para os reatores pirolíticos, segundo cenários, em milhões de Reais (R\$), 2019	93
Tabela 22 – Características e custos das obras civis e equipamentos de pirólise, segundo cenários.....	94
Tabela 23 – Estimativa dos custos das obras civis e equipamentos de pirólise, fase de implantação, segundo cenários - em Milhões de R\$.....	94
Tabela 24 – Massa salarial anual com encargos trabalhistas da equipe de pirólise, segundo funções - 2020	95
Tabela 25 – Quantidade e custo com veículos necessários ao processo de pirólise em Milhões de R\$ - 2020	95
Tabela 26 – Custos operacionais de manutenção da pirólise - em Milhões de R\$... 96	
Tabela 27 – Custo total da pirólise, segundo cenários - em Milhões de R\$.....	97
Tabela 28 – Custo e características das obras civis e dos equipamentos separadores de recicláveis, segundo cenários	98
Tabela 29 – Custos com obras civis e equipamentos separadores de recicláveis, segundo cenários 01 e 02, período de implantação - em Milhões de R\$.....	99
Tabela 30 – Custos com salários e encargos trabalhistas da equipe de reciclagem 99	
Tabela 31 – Custos de operação do separador de recicláveis, segundo cenários 01 e 02 - em Milhões de R\$.....	100
Tabela 32 – Custo com obras civis e o custo operacional do separador de recicláveis, segundo cenários 01 e 02 - em Milhões de R\$.....	100
Tabela 33 – Custo e características das obras civis e equipamentos de compostagem, segundo cenário - em Milhões de R\$.....	101
Tabela 34 – Custos com obras civis e equipamentos de compostagem, cenário 02 (REC + COM + PIR) - em Milhões de R\$	102
Tabela 35 – Massa salarial anual com encargos trabalhistas da equipe de compostagem por função - em R\$.....	102

Tabela 36 – Custo de manutenção do sistema de compostagem, segundo cenário 02 (REC + COM + PIR) - em Milhões de R\$	103
Tabela 37 – Custo total do sistema de compostagem, segundo cenário 02 (REC+ COM + PIR) - em Milhões de R\$	103
Tabela 38 – Estimativa do custo operacional anual e por tonelada de RSU tratado no aterro sanitário – valores atualizados para 2020.....	104
Tabela 39 – Custo operacional total do aterro sanitário, segundo períodos do projeto - em Milhões de R\$.....	104
Tabela 40 – Custos operacionais do aterro sanitário e cenários propostos para o tratamento de RSU com novas tecnologias - em Milhões de R\$	105
Tabela 41 – Energia elétrica gerada e receita total da energia, segundo Cenários 01, 02 e 03	107
Tabela 42 – Preço dos materiais recicláveis, por tonelada, segundo material a ser reciclado - em R\$/tonelada.....	108
Tabela 43 – Receita total com a comercialização dos materiais recicláveis, segundo Cenários 01 e 02, e períodos do projeto, em Milhões de R\$	109
Tabela 44 – Receita total da comercialização do composto orgânico, Cenário 02 (REC + COM + PIR) - em Milhões de R\$	109
Tabela 45 – Tarifa e Receita atual do CONRESOL e estimada para os períodos do projeto - em Milhões de R\$	111
Tabela 46 – Receita anual dos municípios do CONRESOL com taxa de lixo, em R\$	112
Tabela 47 – Quantidade e proporção de respondentes por Gênero.....	114
Tabela 48 – Quantidade e proporção de respondentes por idade	114
Tabela 49 – Quantidade e proporção de respondentes por nível de escolaridade .	114
Tabela 50 – Quantidade e proporção de respondentes segundo situação da renda do respondente na família.....	115
Tabela 51 – Proporção e quantidade de respondentes em relação a quantidade de residentes por domicílio	115
Tabela 52 – Quantidade e proporção de respondentes segundo o interesse pessoal no tratamento dos RSU.....	116
Tabela 53 – Demais perguntas incluídas no questionário e suas respectivas proporções	116

Tabela 54 – Estratificação da amostra pesquisada e estimativa dos estratos de renda da população - PNAD (2018).....	117
Tabela 55 – Estimativa do modelo de probabilidade linear robusto – Função do lance para o tratamento dos RSU.....	118
Tabela 56 – Resultado da Estimativa do Modelo <i>Probit</i> para a Função do lance para o tratamento dos RSU	119
Tabela 57 – Estimativa da Disposição A Pagar (DAP) para a Função de lances para o tratamento dos RSU	120
Tabela 58 – Receitas do CONRESOL com acréscimo da DAP, segundo alternativas de imputação da DAP, e períodos do projeto, em Milhões de R\$.....	120
Tabela 59 – Receitas do CONRESOL com acréscimo da DAP, segundo alternativas de imputação da DAP, e períodos do projeto, em Milhões de R\$.....	121
Tabela 60 – Impostos considerados neste estudo, segundo tipo de produto.....	123
Tabela 61 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo alternativas para a DAP, Cenário 01, (em Milhões de R\$.....	124
Tabela 62 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo Alternativas para uso da DAP, Cenário 02, em Milhões de R\$	126
Tabela 63 – Fluxo de Caixa acumulado, segundo Alternativas para o uso da DAP, Cenário 03, em milhões de R\$	129
Tabela 64 – Valor Presente Líquido (VPL) para as alternativas e cenários projetados - em Milhões de R\$.....	131
Tabela 65 – Razão Benefício/Custo (B/C) para as alternativas e cenários projetados	131
Tabela 66 – Taxa Interna de Retorno (TIR) para as alternativas e cenários projetados	132
Tabela 67 – Valor da DAP para atingir uma TIR de 7,8% a. a.....	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos

ACB – Análise Custo Benefício

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BIOWARE BR – Empresa Especializada em Energias Renováveis

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CDR – Combustível derivado de Resíduos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONRESOL – Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira

DAP – Disponibilidade a Pagar

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

FGV – Fundação Getúlio Vargas

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGPM – Índice Geral dos Preços Médios

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social –

LAS – Licença Ambiental Simplificada

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

NINBY – Not in my back yard

ONU – Organização das Nações Unidas

PCI – Poder Calorífico Interno

PNAD – Plano Nacional de Amostras de Domicílios

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PRONAR – Programa Nacional de Qualidade do Ar

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RMC – Região Metropolitana de Curitiba

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEMA – Secretária de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TGA – Thermogravimetric analysis

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMB – Tratamento Mecânico Biológico

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

VPL – Valor Presente Líquido

WTE – Waste To Energy

SUMÁRIO

RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
SUMÁRIO	15
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa.....	19
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo Geral:.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 A produção de resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	23
2.2 A problemática dos RSU.....	24
2.3 Tratamento dos RSU via aterro sanitário com geração de energia.....	29
2.4 Tratamento térmico dos RSU via pirólise com geração de energia.....	33
2.5 Tratamento dos RSU via reciclagem.....	39
2.6 Tratamento dos RSU via compostagem.....	41
2.6.1 Compostagem em reatores biológicos.....	43
2.7 Aspectos legais do tratamento dos RSU.....	46
2.7.1 Aspectos legais do tratamento térmico dos RSU.....	47
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	51
3.1 Composição gravimétrica dos RSU.....	57
4 MATERIAIS E MÉTODOS	60
4.1 Classificação da pesquisa.....	60

4.2	O método da valoração contingente	61
4.3	Estimativas dos RSU e repasses financeiros.....	66
4.4	Unidades de tratamento dos RSU	70
4.5	Energia gerada nas unidades pirolíticas.....	71
4.6	Volumes dos demais produtos comercializáveis.....	72
4.7	Comercialização de energia, recicláveis e composto.....	73
4.8	Custos de implantação e operação do tratamento dos RSU	74
4.9	Metodologia análise custo-benefício (ACB).....	75
4.9.1	Seleção da Taxa de Juros	76
4.10	Definição dos cenários - projetos.....	77
4.10.1	Cenário 01 (REC+PIR).....	78
4.10.2	Cenário 02 (REC+COM+PIR).....	79
4.10.3	Cenário 03 (PIR).....	79
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
5.1	Estimativa dos equipamentos de pirólise.....	81
5.2	Estimativa dos equipamentos de separação de recicláveis.....	86
5.3	Estimativa dos equipamentos de compostagem.....	90
5.4	Custos de implantação e operação da pirólise.....	93
5.5	Custos de implantação e operação da reciclagem.....	98
5.6	Custos de implantação e operação da compostagem	101
5.7	Custos de operação do aterro sanitário.....	103
5.8	Receitas da pirólise.....	106
5.9	Receitas da reciclagem	108
5.10	Receitas da compostagem	109
5.11	Receitas provenientes do CONRESOL.....	110
5.12	Receitas atuais dos municípios.....	111

5.13 A valoração contingente.....	113
5.13.1 A Pesquisa sobre a disponibilidade a pagar (DAP).....	113
5.13.2 O Modelo de Probabilidade Linear e o Modelo <i>Probit</i>	117
5.14 Cálculo dos impostos.....	122
5.15 Cálculo dos fluxos de caixa e demais resultados	124
5.16 Análise Custo-Benefício (ACB).....	130
6 CONCLUSÕES	135
7 BIBLIOGRAFIA	141
8 ANEXO 01 – QUESTIONÁRIO ELETRÔNICO	147
9 APENDICE 01	152
10 APENDICE 02	160
11 APENDICE 03.....	168
12 APENDICE 04.....	184
12.1 Fases do processo de pirólise.....	184
12.2 Preparação do resíduo para pirólise	184
12.3 Alimentação do sistema de pirólise	185
12.4 Pirólise/Gaseificação.....	185
12.5 Tratamento do gás síntese da pirólise.....	185
12.6 Geração de energia via pirólise.....	186
12.7 Diagrama do processo de pirólise.....	186
12.8 Componentes do sistema de pirólise	187
13 APENDICE 05.....	188
13.1 Processamento na planta de reciclagem	188
13.2 Planos e desenhos na separação de recicláveis.....	204

1 INTRODUÇÃO

O aumento constante da quantidade de resíduos produzidos pela sociedade torna urgente o desenvolvimento de métodos novos e melhores para o tratamento dos “Resíduos Sólidos Urbanos” (RSU). Os métodos tradicionais de gestão de resíduos sólidos urbanos, tal como os aterros sanitários, estão em desuso nos países desenvolvidos e podem ser substituídos por soluções mais atualizadas, eficazes e ambientalmente mais eficientes.

Neste aspecto, dentre outros métodos cujas tecnologias são ambientalmente amigáveis estão a pirólise (decomposição em altas temperaturas), a compostagem (de materiais orgânicos) e a reciclagem de materiais tais como plásticos, vidros e metais. Entre estas tecnologias, a pirólise é a mais recente e por muitos anos os mecanismos desse processo foram estudados em laboratórios ao redor do mundo, de forma que pirólises lentas, rápidas e intermediárias já estão se tornando usuais. Diversas usinas de resíduos industriais ao redor do mundo se utilizam deste processo com sucesso. Portanto, na atualidade esta tecnologia tem se revelado uma alternativa aos processos de incineração usualmente empregados.

No entanto, ainda há é um desafio para tornar a pirólise economicamente viável em certas circunstâncias, dadas as condições de volume e características dos resíduos (umidade, volume, características, etc.), para processos de tratamento de resíduos industriais e resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, os esforços atuais da comunidade científica se concentram na tentativa de viabilizar o processo para diversas situações de tratamento de resíduos.

A matéria prima para o processo de pirólise é basicamente qualquer material, desde que este possua carbono orgânico. Esta é uma grande vantagem da pirólise comparativamente aos métodos convencionais de gerenciamento de resíduos sólidos biológicos. Isto porque não requer uma separação rigorosa de resíduos tais como: biomassa; restos de alimentos; madeira; ou ainda materiais um pouco mais complexos tais como: papel e fibras naturais. A pirólise também se aplica a materiais não decomponíveis, como por exemplo: plásticos, têxteis artificiais e borrachas.

Em termos de geração de receitas financeiras, a pirólise torna possível converter os resíduos em energia elétrica. Esta energia é utilizada parcialmente no próprio processo de pirólise, bem como o seu excedente pode ser comercializado. Em uma escala maior, como no gerenciamento de resíduos urbanos municipais, as plantas pirolíticas podem se transformar em usinas de energia.

Além disso, pode-se agregar ao sistema pirolítico as unidades de separação e tratamento de materiais recicláveis e plantas de compostagem de matéria orgânica, o que aumenta a eficiência produtiva e o conteúdo ecológico do processo. Neste caso, ter-se-ia uma unidade complexa de tratamento dos RSU. Após a separação dos materiais recicláveis, estes podem ser comercializados com as empresas de reciclagem. Paralelamente, as plantas de compostagem de orgânicos produzem o “composto” que pode ser comercializado com empresas que suprem a demanda por esse material (adubação do solo).

Por fim, existe ainda a possibilidade de comercialização do resíduo da planta de pirólise, que é um material inerte. Este material pode ser comercializado para aterramento em locais diversos ou disposto em qualquer área existente. Com essas medidas objetiva-se o maior uso e reuso possível dos RSU.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o CONRESOL (Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos) gerencia a destinação dos resíduos sólidos de 23 municípios da Região Metropolitana de Curitiba. Este consórcio destina os materiais coletados pelas municipalidades para dois locais onde se encontram aterros sanitários privados: Aterro Sanitário Estre Ambiental SA, localizado no Município de Fazenda Rio Grande e Aterro Sanitário Essencis Soluções Ambientais SA, localizado em Curitiba.

A Região Metropolitana de Curitiba sempre enfrentou problemas em relação ao destino dos RSU, especialmente com a disposição dos RSU em aterros sanitários. Em um passado recente, a região se deparou com o impasse do esgotamento do aterro sanitário da “Caximba”, que foi desativado após anos de utilização além do seu limite.

Na maioria dos países desenvolvidos, a solução para o destino dos RSU envolve a educação ambiental das famílias e empresas, que se reflete principalmente na separação dos recicláveis e no destino correto destes materiais. Além disso, a ideia de “consumo consciente” é crescente entre estas populações, isso engloba a redução do uso de embalagens e a geração de resíduos em geral.

Paralelamente, os governos destes países destinam os RSU das comunidades para soluções que são diferentes de aterros sanitários, pois geralmente utilizam plantas de incineração. Estas plantas de incineração produzem um certo volume de gases tóxicos. Em oposição, as plantas de pirólise possuem o objetivo de executar a mesma função das plantas de incineração, porém com redução da emissão desses gases. Sendo assim, muitos países, estados e municípios estão substituindo as plantas de incineração por plantas de pirólise.

Para a região do CONRESOL, assim como em qualquer sociedade, a mudança da tecnologia de tratamento dos RSU é possível, mas envolve investimentos. Para tanto, é necessário estimar a viabilidade econômica de uma nova tecnologia para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos da região atendida pelo Consórcio. As boas práticas tecnológicas e ambientais preveem: a geração e comercialização de energia elétrica obtida pelo processo de pirólise; a separação e comercialização de recicláveis que são obtidos na planta de separação; a produção e comercialização do produto de uma planta de compostagem de orgânicos (o “composto”) a partir de matéria orgânica. Portanto, esta nova tecnologia implica em retornos financeiros inerentes à operação da tecnologia e ganhos ambientais derivados da eliminação da disposição final no aterro sanitário.

Sendo assim, este trabalho se propôs a executar um estudo, para a região do CONRESOL, que analisa economicamente a implantação de um sistema de tratamento de RSU, composto por unidades de pirólise, separação de recicláveis e compostagem de materiais orgânicos, utilizando-se de cenários cujas soluções tecnológicas combinam estes sistemas. Isto foi feito empregando-se a análise custo-benefício (ACB), que é uma metodologia usualmente empregada para este tipo de problema socioeconômico e ambiental.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral:

Avaliar economicamente, utilizando a Análise Custo-Benefício (ACB), a mudança da tecnologia no tratamento dos resíduos sólidos urbanos, na região do CONRESOL.

1.2.2 objetivos específicos:

- Estimar a população futura dos municípios abrangidos pelo projeto, bem como o volume de RSU recebido para tratamento e os repasses atuais e futuros de recursos monetários ao CONRESOL e empresas de tratamento dos RSU;
- Estimar os custos de: a) tratamento atual dos resíduos sólidos nos aterros sanitários que recebem RSU dos municípios abrangidos, para o tempo do projeto; b) implantação e operacionalização do tratamento dos resíduos sólidos via processo de pirólise, seleção de recicláveis e compostagem, para os municípios abrangidos e período de amortização do projeto;
- Estimar a quantidade de: a) equipamentos de pirólise, seleção de recicláveis e de compostagem, para os municípios abrangidos pelo projeto em consonância com o volume de RSU dos mesmos; b) quantidade de energia gerada na planta de pirólise, bem como de materiais recicláveis após processo de separação e de “composto” e as suas respectivas receitas com a comercialização, no período de amortização do projeto;
- Estimar os benefícios ambientais da substituição da tecnologia de aterro sanitário pelo processo de pirólise, seleção de recicláveis e compostagem.

Este trabalho está dividido em 6 (seis) capítulos, um anexo e quatro apêndices. Além desta introdução; no Capítulo 2 é realizada uma revisão da literatura quanto a produção de RSU no Brasil e no Paraná, e aborda-se os diversos

tratamentos de RSU e seus aspectos legais; no Capítulo 3 caracteriza-se a área de estudo e a destinação atual dos RSU na área do CONRESOL; no Capítulo 4 é descrito o referencial metodológico; no Capítulo 5 são apresentados os resultados e suas referidas discussões, o que engloba a estimativa dos equipamentos e unidades a serem instaladas, os custos de implantação/operacionais e receitas geradas ao longo do período de projeto, o cálculo da DAP e, por fim a estimativa da ACB; no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do estudo e, por fim, a seção 7 exhibe as referências utilizadas. O Anexo 01 se refere ao questionário eletrônico utilizado para a obtenção de dados para estimativa da DAP. Os Apêndices 01 e 02 trazem quadros resumo com diversos estudos realizados com reatores pirolíticos. O Apêndice 03 se refere a uma matriz de legislação aplicável ao Brasil e ao Estado do Paraná com respeito aos RSU. Por fim, os Apêndices 04 e 05 apresentam as características dos equipamentos de pirólise e separador de recicláveis, respectivamente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão de literatura está estruturada de forma a apresentar os conceitos, características e outros elementos necessários ao entendimento dos itens elencados nos objetivos específicos.

Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangendo a temática dos resíduos sólidos urbanos, que compreende: i) a definição, classificação, composição, e produção destes resíduos; ii) a coleta seletiva de recicláveis e compostagem de matéria orgânica; iii) os processos de tratamento térmico de resíduos, com foco na tecnologia da pirólise; iv) revisão sobre os aspectos legais que permeiam a produção de energia com o uso dos RSU.

2.1 A PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

Os RSU são considerados um problema mundial que foi agravado a partir da revolução industrial, devido à mudança no padrão de consumo da sociedade. O padrão de consumo atual envolve a produção de diversos tipos de embalagens e produtos de diferentes materiais, que são consumidos. Além disso, esses produtos são rapidamente substituídos e descartados em função da inovação tecnológica. Consequentemente, gera-se um volume elevado de resíduos a ser disposto no meio ambiente, o que afeta a qualidade ambiental. Isto acontece principalmente nos países em desenvolvimento, onde as restrições legais são menos rigorosas do que em países desenvolvidos. (SISINNO; OLIVEIRA, 2003).

O termo “resíduo” é mais utilizado por pesquisadores, já que este pode se tornar matéria prima para a fabricação de outro produto ou geração de energia. Dessa forma, os resíduos não são considerados inúteis, recebendo a denominação de “resíduos últimos” apenas quando não puderem mais ser reaproveitados ou reutilizados. Os resíduos sólidos urbanos receberam esta denominação no início da década de 1990, até então eram chamados de lixo (FRITSCH, 2000).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10.004, os resíduos sólidos são definidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, 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.” (ABNT, 2004).

Portanto, esta definição abrange todo tipo de resíduo sólido gerado por diferentes atividades, tais como industrial, de serviço de saúde e doméstico. Além disso, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos classifica, de acordo com sua origem, os RSU como os resíduos sólidos domiciliares (resultantes de atividades domésticas) e os resíduos originários da limpeza pública, das atividades de varrição e limpeza urbana, bem como das vias públicas. (BRASIL, 2010). Deve-se mencionar que, segundo as especificações da ABNT, os resíduos sólidos urbanos são considerados Classe II A.

2.2 A PROBLEMÁTICA DOS RSU

O ser humano, em suas atividades para viver, trabalhar e se divertir, produz resíduos sólidos diretamente ou utiliza produtos que geram resíduos para sua fabricação. A produção de resíduos não pode ser evitada (TAMMEMAGI, 1999).

Ainda para Tammemagi (1999), mesmo com todos os esforços para a redução da quantidade de resíduos utilizando a reciclagem e incineração, os aterros sanitários continuam sendo a base do gerenciamento de resíduos urbanos no mundo. Além disso, mesmo os aterros modernos, que empregam tecnologias para impermeabilização e sistemas de coleta e tratamento de lixiviado¹, são um problema.

¹ Resíduo líquido poluente de cor escura e odor nauseante, originado na decomposição de resíduos orgânicos, também chamado por líquido percolado ou chorume.

Em outras palavras, se estes aterros não contaminam o meio ambiente quando são depositados, eles provavelmente vão contaminá-lo dentro de poucas décadas após o fechamento do aterro. O uso de tecnologias mais modernas em aterros sanitários simplesmente adia o inevitável. Mesmo sendo atualmente considerada uma disposição regularizada, a disposição final em aterros sanitários implica na decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos e conseqüentemente a formação do gás metano.

A existência de contaminantes no aterro impossibilita o uso de áreas próximas para a agricultura. Dessa forma, o uso improdutivo da área sobre e próximas ao aterro é contrário aos princípios de desenvolvimento sustentável e, portanto, novas e diferentes formas de disposição final devem ser utilizadas (TAMMEMAGI, 1999).

Desde meados do Século XX a problemática da disposição final do RSU em aterros sanitários era discutida em países desenvolvidos. Atualmente, essa prática ainda persiste especialmente em países subdesenvolvidos e pobres, apesar da recomendação pelos órgãos e legislações ambientais em muitos destes países, como é o caso do Brasil. Portanto, é necessária uma mudança de mentalidade, na qual é preciso exceder do mundo das possibilidades e partir para transforma-las em realidade.

No que se refere ao Brasil, a população cresceu 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração per capita de RSU apresentou acréscimo de 0,48%. A geração total de RSU atingiu aproximadamente 215 toneladas diárias, em termos anuais computa-se um total de 78,4 milhões de toneladas (ABRELPE, 2017).

Ainda conforme ABRELPE (2017), o índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil é de 91,2%, o que evidencia que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. Dos resíduos sólidos urbanos coletados, apenas 59,1% são dispostos em aterros sanitários, sendo o restante dispostos em lixões e aterros controlados, em desacordo com a legislação. A região Sul do Brasil, por sua vez, é responsável por 10,9% de todo o resíduo coletado no país.

Conforme o “Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná (PERSPR-2017) Relatório 08 – Produto 04 – Relatório Contendo a Situação dos Resíduos Sólidos”, estimou-se a seguinte geração de resíduos per capita municipal, conforme faixa de população atendida.

Tabela 1 – Taxa de geração de RSU per capita por faixa populacional, Paraná - 2017

Faixa Populacional	Taxa de Geração (kg/hab.dia)
Menos de 50 mil	0,65
de 50 mil a 500 mil	0,80
De 500 mil a 1 milhão	1,15
Mais de 1 milhão	1,40

FONTE: PERSPR, 2017

No estado do Paraná, trezentos e vinte e três (323) municípios realizam a cobrança pelos serviços de gerenciamento de RSU, enquanto quarenta e cinco (45) não cobram pelos serviços, nos demais trinta e um (31) municípios não existe informação. Todos os municípios que não realizam cobrança de taxa possuem população inferior a 50.000 habitantes (PERSPR,2017). A tabela 2 apresenta a forma de cobrança pelos serviços de RSU, nos municípios do Paraná.

Tabela 2 – Forma de cobrança dos serviços de gerenciamento dos RSU nos municípios, Paraná - 2017

Forma de Cobrança	Quantidade de Municípios	Proporção (%)
IPTU	209	65
Conta de Água - SANEPAR	97	30
Demais sistemas – Autarquias/Cobranças Diretas	17	5

FONTE: PERSPR, 2017

Conforme o PERSPR (2017), apenas 5% dos municípios do Estado do Paraná declararam que o valor arrecadado com taxas é suficiente para cobrir o custo total com gerenciamento de resíduos no município.

A tabela 3 apresenta a relação entre valores arrecadados para gestão dos RSU, bem como os custos deste gerenciamento por habitante e faixas populacionais dos municípios do Estado do Paraná. Observa-se que os valores gastos por habitante

com serviços de RSU são cerca de duas vezes superiores aos valores arrecadados para municípios com população acima de 30.000 habitantes (PERSPR, 2017).

Tabela 3 – Valores arrecadados com a taxa de gerenciamento dos RSU e Custos de gerenciamento dos RSU nos municípios por faixa de habitantes, Paraná - 2017

Faixa	Valores arrecadados (R\$/hab.ano)	Custos (R\$/hab.ano)
Até 5 mil	10,52	74,21
5 a 10 mil	14,94	58,85
10 a 30 mil	17,43	53,16
30 a 50 mil	34,35	64,31
50 a 100 mil	37,24	59,91
100 a 300 mil	40,32	82,24
Acima de 300 mil	57,72	102,67

FONTE: PERSPR, 2017 - Modificado pelo Autor

A ABRELPE (2017) destacou que os recursos aplicados nos serviços de coleta e demais serviços de limpeza urbana, para a região Sul do Brasil, no ano de 2017, foram de R\$ 2,9 bilhões, sendo de R\$ 8,20 Per Capita (R\$/mês), ou seja, R\$ 98,00 per capita (R\$/ano). Este valor corrobora os valores apresentados no PERSPR, 2017, para municípios com mais de 100 mil habitantes.

Com relação à coleta seletiva, o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS (2009), salienta que este é um conjunto de procedimentos inerentes ao recolhimento diferenciado de resíduos recicláveis (papéis, plásticos, metais, vidros, dentre outros). Além disso, a coleta seletiva engloba também os resíduos orgânicos que possam ser “compostados”, desde que tenham sido previamente separados dos demais resíduos considerados não reaproveitáveis, nos próprios locais em que tenha ocorrido sua geração.

Em vista disso, se faz necessário incentivar e conscientizar a população residente e as indústrias para a separação do material reciclável na sua fonte geradora. Conforme ABRELPE (2017), aproximadamente 90% dos municípios da Região Sul do Brasil possuem algum tipo de coleta seletiva.

As atividades organizadas de separação e reaproveitamento dos resíduos sólidos em larga escala são relativamente recentes e têm sido incentivadas nos

últimos anos. Isto, principalmente pela preocupação crescente com a preservação do meio ambiente e o esgotamento de recursos naturais não-renováveis (JACOBI, 2006).

Porém, mesmo assim, os indicadores de resíduos reciclados, desde a sua geração até sua recuperação, apresentam um cenário ruim. Para o ano de 2017, apenas 8,5% do plástico, 52,3% do papelão e 87,2% do alumínio foram reciclados (ABRELPE, 2017). Percebe-se que a reciclagem de materiais plásticos continua sendo um grande problema para a sociedade.

Conforme o PERSPR (2017), em 63% dos municípios do Paraná se realiza alguma triagem e separação de resíduos recicláveis. A Região Metropolitana de Curitiba concentra noventa e nove (99) recicladoras, representando 55% do total de empresas deste nicho identificadas no Estado.

Portanto, verifica-se que gerenciar adequadamente os resíduos sólidos tem sido um grande desafio ao poder público nos âmbitos municipal e estadual. A maioria dos municípios brasileiros ainda não possui mecanismos de gerenciamento adequado dos RSU.

Por outro lado, a respeito do aproveitamento energético do RSU em aterros sanitários, Peddott (2014) destaca a existência de usinas comerciais produzindo energia a partir do biogás resultante da decomposição da matéria orgânica depositada nos aterros sanitários. Neste sentido, pode-se citar os exemplos das usinas instaladas em São Paulo nos aterros Bandeirantes e São João. A primeira tem capacidade de produção de 20 MW e a segunda de 26,64 MW. O principal objetivo destas usinas é a obtenção de receita com a venda de créditos de carbono pela queima de biogás. Essa queima transforma o Metano (CH_4), considerado altamente poluente, em Dióxido de Carbono (CO_2) e vapor d'água.

Este conceito de geração de energia a partir de resíduos sólidos (*Waste To Energy - WTE*) é uma alternativa de investimento que traz benefícios tanto para a gestão dos RSU, pela mitigação de impactos ambientais, quanto para o setor elétrico brasileiro, que garante uma forma de geração de energia. Esta nova tecnologia, além de propiciar um incremento à geração de energia, também diminui as emissões de gases de efeito estufa. No caso de tecnologias que geram energia a partir do

tratamento térmico dos RSU, outro ganho importante é a redução do uso do solo para disposições de resíduos.

2.3 TRATAMENTO DOS RSU VIA ATERRO SANITÁRIO COM GERAÇÃO DE ENERGIA

A disposição final é a última etapa do gerenciamento do RSU, apesar da coleta dos resíduos ser a operação visível aos olhos da população, que é o fiscal natural da qualidade do serviço. Entretanto, após a coleta ainda existe a destinação final dos resíduos. Esta destinação, por ser realizada normalmente em locais distantes dos centros urbanos, se for inadequada pode incomodar poucas pessoas. Então, esta fase importante de destinação gera um certo desinteresse por parte da população, por ser normalmente distante dos olhos da maioria.

Por isso, diante de um orçamento restrito de muitas prefeituras, fato recorrente em grande parte dos municípios brasileiros, o sistema de limpeza e tratamento dos resíduos sólidos urbanos coloca a “disposição final” em segundo plano (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Atualmente, no Brasil, existem três formas de disposição final dos RSU que são largamente adotadas: vazadouros a céu aberto; aterros controlados; e aterros sanitários. Para o IBGE (2002), a forma de disposição vazadouro a céu aberto (ou lixão) consiste na disposição final dos RSU feita a partir do lançamento dos resíduos na forma bruta sobre o terreno sem qualquer cuidado ou técnica especial, inclusive em áreas alagadas. Claramente, esta forma de disposição final é, sob todos os aspectos, a pior forma de tratar o resíduo, muito embora seja bastante usual no Brasil.

Por sua vez, Boscov (2008) destaca que a prática de aterros controlados consiste na cobertura do resíduo sólido com material inerte, na conclusão de cada jornada de trabalho. Eventualmente compacta-se este material, porém sem impermeabilização da base, drenagem e tratamento do lixiviado e gases gerados no processo. Esta forma de tratamento de resíduos gera contaminação do subsolo, porém a poluição pode ser minimizada com a restrição do acesso de catadores à área

de disposição. A vantagem da cobertura é a redução da proliferação de vetores² e o espalhamento do material pelo entorno do aterro, diferentemente do que ocorre nos vazadouros a céu aberto.

A forma de disposição final dos RSU que a atual legislação brasileira considera ecologicamente viável, é o aterro sanitário. Para o IBGE (2002), o aterro sanitário consiste em uma técnica de disposição dos RSU fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas. Segundo a legislação, esta forma permite uma confinamento segura em termos de controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública.

O aterro sanitário, além de permitir o aproveitamento da energia contida nas matérias orgânicas, proporciona dentre outras vantagens socioambientais, a possibilidade da obtenção de biogás a partir da decomposição da massa orgânica bruta (LOPES, 2017). Em contraponto, Braga *et al.* (2002) evidenciam algumas desvantagens e riscos do aterro sanitário ao apresentar alguns pontos fracos que requerem melhor reflexão, são eles:

- Exige extensões de terreno relativamente amplas;
- A população do entorno e o ecossistema podem ser prejudicados por inconvenientes ambientais e paisagísticos que a operação deste modelo pode trazer;
- Existência da possibilidade de contaminação pelo lixiviado no subsolo e no lençol freático;
- Existência de proliferação do odor em decorrência do tráfego de caminhões de lixo;
- Péssimo aspecto visual das unidades de depósito de resíduos, dada a sua exposição até seu cobrimento;
- Depreciação imobiliária da área do entorno; e
- Os aterros sanitários de pequeno porte tendem a ser economicamente inviáveis.

² Vetores são certos animais (pernilongos, pulgas, mosquitos, ratos, etc) que transmitem algumas doenças. Doenças transmitidas por vetores são aquelas que precisam de um intermediário para passar de um animal para outro.

Apesar destas desvantagens e riscos, Lopes (2017) lembra que, mesmo reconhecido como um tipo de manejo antigo e ultrapassado para as exigências sanitárias e econômicas atuais, este ainda continua a fazer parte dos modelos tecnológicos indicados para a gestão do RSU. Tanto que se encontra expresso no art. 157, seção IV, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, segundo a qual, os aterros sanitários devem fazer parte do sistema de gerenciamento de resíduos urbanos.

Moraes (2004) destaca ainda que as técnicas de impermeabilização, drenagem e contenção das células³ devem ser adequadamente aplicadas. Além disso, deve-se atentar para técnicas de redução de risco de acidentes ou planejamento inadequado do aterro. Caso as técnicas não sejam obedecidas e o planejamento do aterro sanitário seja feito equivocadamente, o lixiviado in natura alcançará as águas subterrâneas ou superficiais.

Estas ocorrências não são incomuns em aterros situados no Brasil. Nestes casos, ocorrem sérios problemas de caráter sanitário e ambiental com a contaminação das águas. Esta contaminação pode ser direta, pelo contato primário, ou indiretamente, por contaminação do lençol freático devido à percolação⁴ no solo. Cabe destacar que no entorno das unidades de depósito dos RSU (lixões, aterros controlados ou aterros sanitários) ocorre contaminação hidrogeológica ao longo do tempo, e de difícil detecção (MORAES, 2004).

Conforme Dias (2012), que analisou o gerenciamento de RSU no estado de São Paulo, existe na população a síndrome chamada de NIMBY - *Not In My Backyard*. Esta expressão significa que existe a aprovação dos residentes das cidades quanto à solução dos aterros sanitários ou outros tipos de manejo simplificados e tecnicamente viáveis, contanto que não sejam próximos de suas casas. Isto porque ninguém deseja perto da sua casa a existência de uma paisagem precária, o mau cheiro, o trânsito de caminhões de transporte de resíduos, poluição atmosférica por emissão de poluentes por fonte móvel e a desvalorização imobiliária.

³ Local isolado destinado para a disposição do resíduo. Pode haver células específicas para determinado tipo de resíduo a ser disposto.

⁴ Movimento subterrâneo de líquidos através do solo, especialmente em solos saturados ou próximos da saturação.

No entanto, Dias (2012) destaca que é crescente a dificuldade para encontrar áreas próximas para novos aterros sanitários. Isto resulta em um aumento das distâncias de transporte dos RSU. No âmbito financeiro, o aumento das distâncias pode encarecer demasiadamente a disposição dos RSU.

Com o intuito de viabilizar economicamente as plantas de gerenciamento de RSU, muito se tem estudado quanto à possibilidade do aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários durante sua decomposição. A decomposição da matéria orgânica ocorre por dois processos, sendo o primeiro a decomposição aeróbia e o segundo a decomposição anaeróbia. Para Boscov (2008), a decomposição aeróbia é geralmente curta, de poucas horas até uma semana. O oxigênio e o nitrogênio são consumidos, o que gera gás carbônico, água e calor, chegando a atingir 60°C. Nessa fase, ocorre a degradação de 5 a 10% da matéria possível de ser degradada.

Uma vez consumido todo o oxigênio livre, o processo de degradação passa a ser anaeróbio. Nesta fase, são gerados subprodutos mais complexos, como o gás metano e gás sulfídrico, que é conhecido como gás de aterro. Esta fase pode durar alguns dias até milhares de anos (BOSCOV, 2008).

A captura do biogás pode se tornar uma forma das empresas públicas e privadas, no gerenciamento dos aterros sanitários, obterem receitas financeiras de duas maneiras. A primeira é a partir da comercialização do excedente do gás para transformação em energia elétrica, que serve ao consumo final. A segunda maneira é com a venda de créditos de carbono, que são emitidos a partir da redução da emissão de gases de efeito estufa (PARO *et al*, 2008).

Em relação ao aproveitamento energético, estes mesmos autores realizaram uma comparação entre aterros sanitários e tratamento térmico dos RSU, o primeiro pela queima do gás metano e o segundo pela queima da massa. O resultado é que o aproveitamento energético do tratamento térmico é quatro vezes maior quando se transforma a massa em energia elétrica, além da geração de CO₂ dez vezes menor que a queima do metano dos aterros sanitários.

2.4 TRATAMENTO TÉRMICO DOS RSU VIA PIRÓLISE COM GERAÇÃO DE ENERGIA

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE em 2008 (IBGE; 2010), revelou que atualmente no Brasil, apenas o resíduo hospitalar é destinado ao tratamento térmico. Isto porque existe risco de contaminação da população por este material. Estes resíduos devem passar pelo processo de incineração, o qual objetiva reduzir a sua quantidade e esterilização antes da sua destinação final. Mas, outros materiais podem ser utilizados no tratamento térmico, tais como os RSU.

Apesar das vantagens associadas ao processo de incineração de RSU, tais como recuperação de calor dos resíduos e redução considerável do volume, esse processo apresenta algumas desvantagens. Dentre elas pode-se destacar: a) a produção de volumes importantes de gases tóxicos e corrosivos (CO, CO₂, NO_x, SO_x, derivados halogenados, dioxinas e furanos); b) fluxo de resíduos perigosos associados com as cinzas produzidas durante o tratamento térmico e; c) depreciação da imagem pública (WILLIAMS, 2005).

Outros obstáculos na utilização da incineração são os custos operacionais elevados devido a frequente manutenção e substituição de peças e tubulações. Além disso, tem-se elevados investimentos iniciais, tanto com relação às instalações das usinas, quanto em outras instalações de proteção ambiental. Estas outras instalações são imprescindíveis, devido à necessidade de tratamento para a emissão dos gases à atmosfera.

Dentre os processos térmicos existentes, a incineração tem sido a principal tecnologia utilizada para tratamento de resíduos perigosos. Entretanto, a pirólise oferece maior eficiência na produção de energia e maior flexibilidade na utilização dos produtos combustíveis gerados pelo processo (PHAN *et al.*, 2008).

Algumas alternativas inovadoras têm sido desenvolvidas para o aproveitamento do potencial energético dos RSU, como a aplicação do processo de pirólise combinado com a geração de energia elétrica (BAGGIO *et al.*, 2008).

A pirólise é, em linhas gerais, uma reação de degradação térmica caracterizada principalmente pela ausência total de oxigênio, ou uma quantidade limitada deste gás. Os resíduos gerados a partir deste tratamento térmico são: carvão, óleo e gases combustíveis. Mesmo assim, considerando a geração destes resíduos, pode-se destacar esta tecnologia como uma alternativa ecologicamente mais limpa quando comparada ao tratamento convencional de incineração e aterros. Isto porque a pirólise produz menores quantidades de NO_x e SO_x, além da possibilidade de lavagem do gás de síntese durante o processo pirolítico (CHEN *et al.*, 2014).

A reação pirolítica pode se dar em dois tipos de processos: o convencional (chamado de *slow pyrolysis*); e a pirólise rápida. Estes se diferenciam entre si pela taxa de aquecimento, bem como pela temperatura do processo, tempo de residência das fases sólida e gasosa, e subprodutos gerados.

O processo de pirólise convencional (pirólise lenta) resulta na produção de carvão. Já a pirólise rápida é um processo mais avançado, no qual, controlando-se os parâmetros do processo, podem ser obtidas quantidades consideráveis de bio-óleo e gás síntese (VIEIRA *et al.*, 2011).

Ainda, segundo Vieira *et al.* (2011), o processo de pirólise rápida conduzido no sentido de obter elevadas quantidades de óleo combustível, caracteriza-se por:

- Taxas muito elevadas de aquecimento, variando de 600 a 1.200°C/min;
- Temperatura de reação em torno de 500°C;
- Tempo de residência dos vapores menor que 2 segundos;
- Rápida transferência de massa do interior da partícula para a superfície e rápido resfriamento de vapores; e
- Biomassa com diâmetro de partícula de até 2 mm e umidade ideal em torno de 10%.

Os processos de pirólise rápida ou lenta devem ser implementados com a trituração prévia dos resíduos sólidos e com a seleção anterior de recicláveis, especialmente na coleta seletiva. Os resíduos também podem ser manipulados para a redução de sua umidade visando uma maior eficiência do processo.

Após esta etapa, os resíduos são introduzidos no reator pirolítico onde, por meio de reação endotérmica, ocorre a separação dos subprodutos, em cada etapa, em substâncias tais como: gases, líquidos e sólidos. Isto ocorre gradualmente, à medida que os resíduos passam pelas diversas zonas de calor do reator.

As principais variáveis que controlam os processos térmicos são: taxa de aquecimento; temperatura; tempo de residência das fases sólida e gasosa e; diâmetro da partícula do sólido. De acordo com estas variáveis inerentes ao processo, os tipos de pirólise podem ser subdivididos em: carbonização; convencional; rápida; flash-líquido; flash-gás; ultra; vácuo; hidro-pirólise; e metano-pirólise. (VIEIRA *et al.*, 2011).

Portanto, a pirólise representa uma alternativa interessante à incineração de RSU, pois permite a sua conversão do insumo em energia. No entanto, ainda se encontra em fase de difusão tecnológica, pois depende da compreensão, especialmente do poder público, acerca dos resíduos da pirólise bem como do produto final (CHEN *et al.*, 2014).

Em 1967, E. R. Kaisers e S. B. Friedman apresentaram diversos resultados de pesquisas com reatores pirolíticos cujos insumos usados eram os RSU. Eles comprovaram que o processo de pirólise é uma alternativa energeticamente autossustentável, pois não necessita de energia externa. Em outras palavras, as partes combustíveis dos RSU dispõem de energia suficiente para movimentar o próprio sistema de pirólise. Além disso, o processo pirolítico gera energia excedente que pode ser utilizada em outros processos e até mesmo comercializada.

Diversas pesquisas indicam que os parâmetros importantes que afetam a eficiência da pirólise dos RSU são: temperatura, taxa de aquecimento, tempo de permanência na zona de reação e tamanho dos materiais. O efeito destes parâmetros no processo de pirólise pode ser visto em CHEN *et al.* (2014), que compilou diversos estudos experimentais distribuídos pelo mundo, conforme Apêndice 01.

Nestes estudos a temperatura de pirólise relatada variou de 300°C a 900°C, mas a temperatura de funcionamento típica é de cerca de 500°C a 550°C, cujo resultado é principalmente líquido. Em temperaturas superiores a 700°C, o gás síntese

é o subproduto mais produzido. A maioria das pesquisas se dedicou a entender a produção do combustível síntese (CHEN *et al*, 2014).

Avenell *et al.* (1996) estudaram o processo de pirólise com o uso de diferentes tipos de resíduos sólidos e em variadas temperaturas, taxas de umidade relativa dos insumos e tempos de reação. Os pesquisadores concluíram que, em diversas situações, os gases formados apresentaram baixa concentração de NO_x e SO_x, mesmo na pirólise de materiais com alto teor de enxofre. Isto é muito importante, pois estes gases geram poluição significativa ao meio ambiente. Logo, este é um destaque da pirólise pois esses gases são normalmente gerados em elevada quantidade nos processos de incineração convencionais.

Todas essas tecnologias de pirólise de RSU necessitam de insumos pré-tratados ao invés de materiais não processados minimamente, ou seja, em seu estado original. A pesquisa relevante de Luo *et al* (2010) avaliou a influência da granulometria do RSU no desempenho do processo de pirólise rápida a 900°C. A conclusão é de que com a redução do tamanho dos materiais no abastecimento do reator, existe um incremento do poder calorífico do gás síntese, em função das maiores concentrações de CO e H₂ encontradas. A tabela 4 apresenta os dados conclusivos deste estudo.

Tabela 4 – Proporções da composição dos gases obtidos com diferentes granulometrias

Composição de gases	D < 5 (mm) (%)	5<d<10 (mm) (%)	10<d<20 (mm) (%)
H ₂	22,4	20,6	18,3
CO	26,5	24,7	22,0
CO ₂	34,2	37,1	43,2
CH ₄	10,1	12,6	11,5
C ₂ H ₄	5,3	3,3	4,3
C ₂ H ₆	1,5	1,7	0,7
Total	100	100	100

FONTE: Adaptado de Luo *et al*, (2010)

Outro estudo relevante é creditado a Buah *et al.* (2007) que reportaram a análise da pirólise de resíduos sólidos urbanos em um reator de leito fixo⁵. O resultado do processo apresentou um produto carbonizado, óleo/cera e gases combustíveis, sendo estes produtos de grande potencial para o uso como combustíveis em outros processos industriais.

Baggio *et al.* (2008) concluíram que o processo de pirólise, juntamente com o processo de geração de energia com turbinas, garante uma eficiência de conversão de RSU em energia de cerca de 28 a 30%. Este valor é significativamente maior em comparação com as plantas de incineração.

Todos estes estudos são resultados de experimentos que visaram um melhor entendimento do processo de pirólise de RSU e seus resultados. Estes experimentos são importantes para validação de processos em escala industrial. Neste aspecto, Chen *et al.* (2014) realizaram a análise de diversos processos de unidades e tecnologias utilizadas em plantas piloto, industriais e de gerenciamento municipal de resíduos em todo mundo, conforme pode ser observado no Apêndice 02.

Dentre esses estudos, cabe destaque a plantas com capacidade entre 50.000 a 80.000 t/ano, correspondente ao volume de RSU gerado por uma população entre 200.000 a 300.000 habitantes, reafirmando a possibilidade de seu uso não somente em pequenas cidades. O Japão possui algumas usinas implantadas com sucesso, tais como Yame, Seibu e Mutsu, cujas capacidades são de 80.000 e 50.000 t/ano respectivamente (CHEN *et al.*; 2014).

Nestas experiências de plantas de pirólise para processamento dos RSU observa-se que, em todas essas plantas, é realizado o pré-tratamento do RSU, na entrada no reator pirolítico. Além disso, em algumas delas, o processamento de lodo de esgoto também é realizado. Essa informação é muito importante, pois em grande parte das metrópoles brasileiras, o descarte de lodo de esgoto é um problema de solução difícil e onerosa.

⁵ Reator de leito fixo consiste em um tubo cilíndrico preenchido de forma compacta e imóvel por partículas de catalisador e o reagente em fase gasosa escoam através deste meio poroso. São equipamentos utilizados em indústrias químicas e petroquímicas, nas quais ocorrem reações fortemente exotérmicas e endotérmicas, que elevam rapidamente a temperatura do reator em direção a um máximo.

Portanto, a pirólise é um processo que também pode ser empregado para o aproveitamento do lodo de esgoto como biomassa. Nesse processo térmico, são gerados produtos tais como bio-óleo, gases e carvão. Os quais podem ser utilizados como combustível ou destinados a outros usos na indústria (VIEIRA *et al.*, 2011).

O bio-óleo pode ser utilizado também como substituto do óleo diesel em caldeiras, como ligante na fabricação de briquetes siderúrgicos, emulsões para asfalto, aditivos de gasolina e óleo diesel. Os gases obtidos têm alto poder calorífico e são compostos por hidrocarbonetos de até seis carbonos, hidrogênio, CO e CO₂. O gás síntese (CO e H₂) é importante na mistura e pode ser empregado em processos químicos (síntese do metanol, da amônia e reações do Tipo *Fischer-Tropsch* para obtenção de gasolina ou diesel) (VIEIRA *et al.*, 2011).

O carvão também pode ser usado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial. Além disso, este carvão pode ser aproveitado em caldeiras e fornos tubulares, fornos comerciais (pizzaria, padaria, dentre outros) e uso doméstico (lareiras e churrasqueiras) (VIEIRA *et al.*, 2011).

O Brasil possui 10 plantas *WTE* de pequeno porte, de 1 a 5 MW de potência instalada. Estas plantas são de tecnologias nacionais e importadas, cujo processo é de pirólise para tratar os RSU e resíduos industriais perigosos. As tecnologias nacionais são desenvolvidas pela WEG e ZEG para tratamento de RSU e outros resíduos (ABREN, 2019).

No município de Boa Esperança uma nova usina será interligada à rede da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), a fim de garantir o fornecimento de energia elétrica às instalações públicas da cidade. Segundo Furnas, o empreendimento tem capacidade para gerar 1 MW de eletricidade/mês e pode suprir até 25% da demanda energética do município, caso se utilize de toda quantidade de RSU gerada no município (G1 Sul de Minas, 2018).

A Prefeitura Municipal de Bento Gonçalves se programou para lançar o edital para a construção de uma usina de pirólise em 2020, o investimento será de aproximadamente R\$ 500 milhões. Com a energia gerada, o município será capaz de

produzir eletricidade suficiente para abastecer duas mil casas por dia. Contudo, a energia será direcionada aos prédios e serviços municipais, uma vez que as residências são atendidas por concessionária de eletrificação (BIO3 Consultoria, 2019).

Ainda com relação ao mercado de *WTE*, o Brasil possui diversas plantas de captura de biogás em aterro sanitário para geração de eletricidade ou biometano. Entretanto, não possui nenhuma planta *WTE mass burning* de grande porte em operação (ABREN, 2019). Mas, existem ao menos quatro empreendimentos de grande porte em fase de implantação para transformação térmica de RSU em energia, conforme tabela 5:

Tabela 5 – Empreendimentos *WTE* em implantação, Brasil - 2019

Local	Capacidade RSU (t/dia)	Potência Instalada (MW)
Barueri/SP	825	20
Rio de Janeiro/RJ	1.200	30
Mauá/SP	4.000	80
Brasília/DF	500	30

FONTE: Adaptado de ABREN, (2019)

2.5 TRATAMENTO DOS RSU VIA RECICLAGEM

A reciclagem é uma atividade econômica que deve ser vista como uma fase pertencente ao conjunto de atividades integradas no gerenciamento dos resíduos. Sendo assim, não se traduz em uma solução definitiva para os RSU, já que nem todos os materiais são economicamente vantajosos ou tecnicamente recicláveis (SCHALCH *et al*, 2002).

A reciclagem é o uso dos resíduos como uma fonte de insumos e os insere novamente na cadeia produtiva. O reaproveitamento destes materiais implica na redução da extração de recursos naturais, além da diminuição da quantidade de rejeitos enviados à destinação final.

De acordo com Lima (2012), a maior vantagem da reciclagem é a diminuição da quantidade de RSU destinados aos aterros sanitários, o que aumenta a vida útil

dessas áreas. Além disso, existe a produção econômica de valor originada pela reinserção dos recicláveis na cadeia produtiva, o que gera emprego e renda.

Adicionalmente, Lima (2012) destaca a preservação dos recursos naturais, em virtude da redução do consumo de matérias primas, energia e a diminuição da prospecção de matérias primas. Contudo, a reciclagem não pode ser entendida como a principal fase do gerenciamento de RSU, mas sim como uma alternativa no escopo das soluções para os resíduos.

O sucesso do processo de separação dos recicláveis depende fundamentalmente do tipo de coleta urbana realizada, ou seja, se a coleta é seletiva ou não. O processo de triagem dos materiais pode ser acoplado a diversas etapas do sistema de gestão de RSU empregado. Este processo pode estar incorporado à separação de resíduos inorgânicos que é realizada pela coleta não seletiva, ou à separação de resíduos diferenciada (TEIXEIRA, 2004).

A existência de coleta diferenciada é uma evolução no processo, pois os materiais são direcionados às unidades consorciadas de compostagem e triagem em separado. Isto requer, portanto, o Tratamento Mecânico Biológico. (FADE/BNDES, 2013 apud MELO, 2015).

De maneira geral, a triagem pode ser do tipo manual ou mecanizada. As estruturas de triagem necessitam ser instaladas em local isolado e abrigadas em um galpão coberto. Nestes galpões devem ser instaladas as esteiras de separação, que são acionadas por motores elétricos cujas velocidades são configuradas em um painel de controle. Na separação mecanizada ainda existe a identificação ótica (2D e 3D) dos materiais e a separação destes a partir de automatização via software. Em unidades de triagem manual, os resíduos são depositados sobre esteiras mecanizadas e separados manualmente (FADE/BNDES, 2013 apud MELO, 2015).

A implementação do processo de triagem gera: diminuição na quantidade de resíduos destinada ao tratamento ou disposição final em aterros sanitários; redução na geração de lixiviados; redução do lançamento de gases na atmosfera e; diminuição do consumo de energia e matéria prima.

Entretanto, este processo apresenta algumas desvantagens, dentre elas está o custo financeiro desta tecnologia. Uma vez que a atividade geralmente implica em saldos negativos, ao longo de certo período, no balanço entre as receitas e despesas. Isto acontece porque o valor agregado dos produtos a serem comercializados é considerado baixo. Além disso, os custos inerentes à mão de obra necessária são elevados (FADE/BNDES, 2013 apud MELO, 2015).

2.6 TRATAMENTO DOS RSU VIA COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo de biodegradação considerado como uma alternativa no tratamento da matéria orgânica presente nos RSU. Este processo é oxidativo, biológico, aeróbio e controlado que provoca a transformação de resíduos orgânicos em produto estabilizado. As propriedades deste produto e suas características são completamente diferentes do material de origem (BIDONE, 1999).

O processo de compostagem necessita de condições especiais para ser realizado, tais como: temperatura; umidade; aeração; pH; e a relação Carbono/Nitrogênio. A temperatura é um fator importante a ser observado, pois diz respeito à rapidez da biodegradação e eliminação dos patogênicos (REIS, 2005).

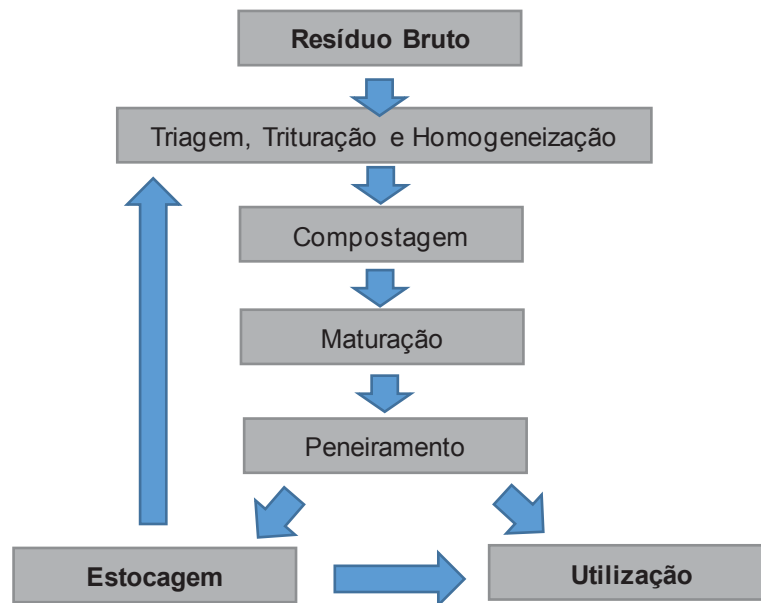
Conforme Reis (2005) a compostagem significa a transformação de resíduos orgânicos pela ação de microrganismos a qual resulta em um composto que pode ser utilizado como insumo agrícola. Este produto possui odor que não pode ser considerado incômodo aos seres humanos, bem como é de fácil manipulação e livre de organismos patogênicos. Ademais, como é um processo biológico aeróbio, necessita de aeração, umidade e nutrientes.

Kiehl (1998) denomina o produto da compostagem como húmus, que é considerado um condicionador e melhorador das propriedades físico-químicas e biológicas do solo. A legislação brasileira o classifica como fertilizante orgânico.

No processo de compostagem, os componentes biodegradáveis passam por sucessivas etapas de transformação. Nestas etapas, a matéria orgânica é submetida à ação de diversos microrganismos, o que configura a tecnologia como um processo bioquímico altamente complexo (ANDREOLI, 2001).

Para tanto, a compostagem deve ser realizada em ambiente aeróbio. Pois, neste ambiente ela ocorre de maneira mais rápida e eficiente, sem a emissão de odor incômodo tampouco a proliferação de vetores. A aeração do material orgânico pode ocorrer por revolvimento manual ou mecânico e com insuflamento de ar (BIDONE, 1999).

Figura 1 – Diagrama operacional da compostagem



FONTE: Adaptado Shaub e Leonard (1996)

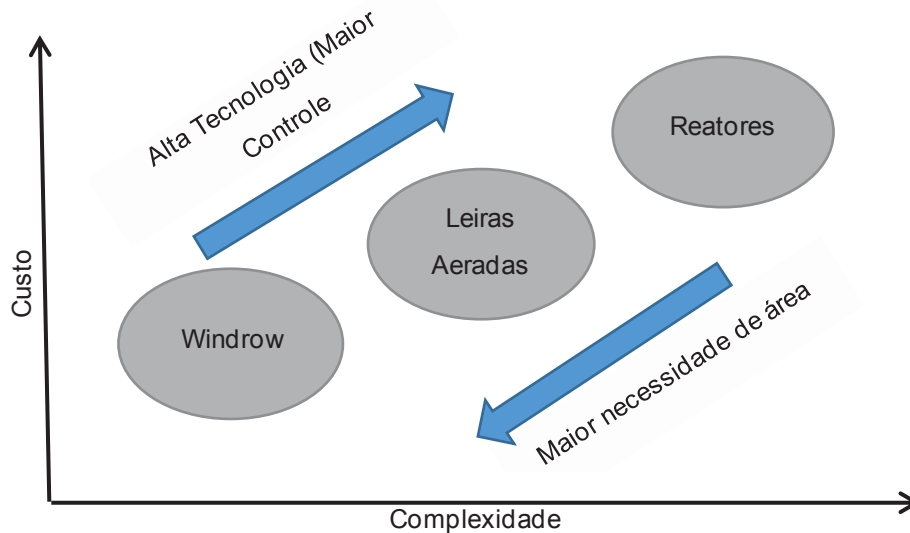
A figura 1 apresenta o diagrama operacional da compostagem de RSU, embora o peneiramento possa ser uma etapa opcional. As tipologias metodológicas de maturação podem ser diferentes, tais como a aeração, que pode ser natural ou forçada. Os principais métodos de compostagem são: Windrow⁶; Leiras Aeradas⁷; e reatores.

A comparação qualitativa destes três métodos é apresentada na figura 2.

Figura 2 – Ilustração custo X complexidade dos métodos de compostagem

⁶ É o método que se utiliza do procedimento em pilhas de material, sem aeração, conhecido como leiras.

⁷ É o método de compostagem de resíduos orgânicos em pilhas, com inserção de ar, o qual acelera o processo e reduz a mão de obra, devido à redução de tempo do procedimento.



FONTE: Adaptado Shaub e Leonard (1996)

Os sistemas de alta tecnologia necessitam de maior investimento inicial e operacional, porém apresentam como resultado: a) melhores condições de controle; b) menores áreas requeridas e; c) maiores taxas de oxidação. No entanto, a seleção do método a ser utilizado depende da natureza do resíduo, da localização da unidade de processamento (especialmente com respeito ao clima) e dos recursos financeiros disponíveis (Shaub e Leonard, 1996).

Para este estudo, no tratamento dos RSU dos municípios pertencentes ao CONRESOL, utilizou-se o método com maior controle e eficiência, que é o sistema de reator biológico.

2.6.1 Compostagem em Reatores Biológicos

A compostagem realizada em reatores biológicos (*In-vessel*), é um processo com sistema fechado, no qual permite-se controlar todos os parâmetros importantes do processo. Fernandes e Silva (1999) concluíram que este tipo de processo é vantajoso devido ao período reduzido da etapa termofílica, o que caracteriza a compostagem em reatores como uma “compostagem acelerada”. Outro fator importante deste tipo de tratamento é o melhor controle de odores, pois o sistema é fechado com controle da aeração.

De acordo com as características do equipamento utilizado e do resíduo, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 7 a 20 dias. Portanto requer

menor espaço para implantação. A aeração é realizada sob pressão, nestas condições a sua taxa é facilmente controlável pela verificação do O₂. Após a etapa termófila rápida e intensa, o composto necessita repousar por um período de maturação, em torno de 60 dias antes de ser utilizado. Quando comparado ao sistema de leiras, este tipo de sistema é dependente, principalmente, de equipamentos mecânicos (FERNANDES, SILVA; 1999).

Existem diversos modelos e formatos de reatores biológicos, uma vez que estes podem se moldar à disponibilidade de área, mas se definem em três grandes categorias:

- Reator de leito fluidizado: Constituído como um sistema semelhante aos silos verticais em que os resíduos geralmente são depositados pela face superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior do reator;
- Reator de fluxo horizontal: Geralmente construído na forma cilíndrica e dispostos horizontalmente (pode também ser conhecido como túnel). Os resíduos entram por uma extremidade do reator e saem por outra, com tempo de detenção suficiente para realização da etapa termófila. Uma variante deste tipo de equipamento é conhecida como reator de túnel fechado, no qual o ar é injetado sob pressão ao longo do trajeto;
- Reator de batelada: Difere dos outros reatores pelo fato do composto ficar confinado no mesmo local, sem se deslocar. Este reator geralmente é dotado de um sistema de agitação da massa de resíduos, que pode ser por rotação lenta em torno do próprio eixo do reator, ou por um sistema misturador interno. O revolvimento é necessário para introduzir caminhos de passagem do ar. No entanto, alguns reatores, não realizam esta operação.

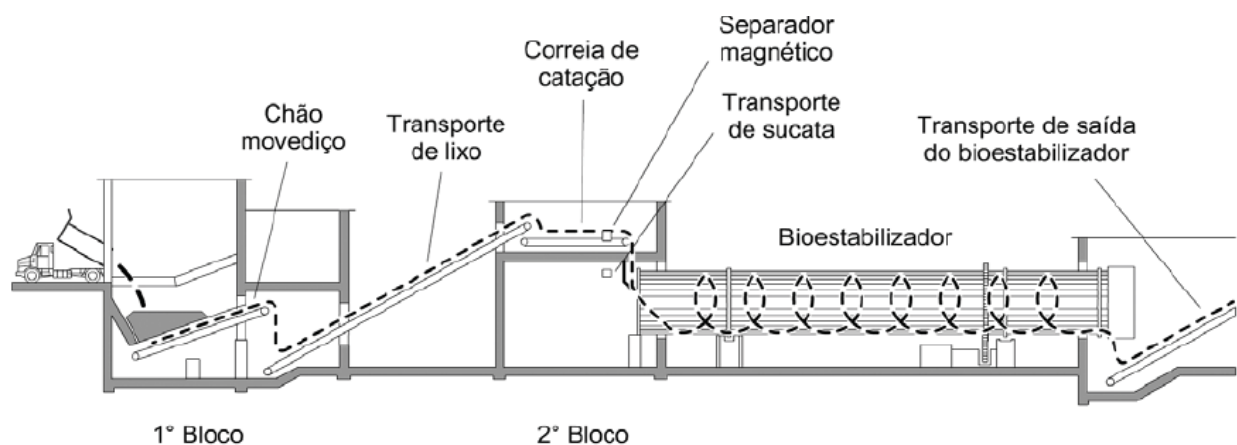
Nas duas primeiras categorias, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo. Nestes casos, o período de detenção é definido pela velocidade com que os resíduos percorrem o trajeto de entrada até a saída do reator.

Conforme Reis (2005), o reator mais utilizado é aquele cujo sistema é horizontal (sistema “DANO”). Dentre as características deste equipamento estão incluídos grandes cilindros com aproximadamente 3 metros de diâmetro e 35 metros de comprimento. Para estes cilindros, a capacidade de processamento de matéria orgânica é de 50 toneladas com período de detenção de 3 dias.

De acordo com Da Silva *et al* (2005), o sistema DANO utiliza um cilindro rotativo para acelerar a taxa de compostagem. Este tipo de sistema é utilizado atualmente nas cidades de São José dos Campos e de São Paulo (bairro de Vila Leopoldina). Em ambos processos os resíduos permanecem dentro dos bioestabilizadores entre dois e três dias e são movimentados com velocidade de rotação superior a 1,0 rpm. O produto resultante é chamado de pré-composto e não possui qualidade suficiente para uso agrícola “*in natura*”. Isto devido a sua maturação incompleta e à carga patogênica elevada. Portanto, torna-se necessário terminar a compostagem em leiras, mantendo esses materiais nos pátios para atingir o nível de maturação aceitável para fins agrícolas.

A figura 3 apresenta um esquema de funcionamento padrão do sistema DANO. Percebe-se que neste esquema existe uma correia de catação e um separador magnético para interceptar materiais não orgânicos. O material de saída do bioestabilizador pode ser disposto em leiras para finalizar a maturação, caso ainda não esteja dentro dos parâmetros necessários para uso agrícola.

Figura 3 – Ilustração do sistema DANO de compostagem de resíduos orgânicos



FONTE: Da Silva *et al*, (2005)

Geralmente, para que o composto esteja pronto para o uso agrícola, existe a necessidade de terminar a compostagem nos pátios de maturação por no mínimo 50 dias, com revolvimentos quinzenais. Existe ainda a necessidade de peneirar esse material após essa fase de permanência. Após este processo, o composto produzido possui as características necessárias para aplicação agrícola (DA SILVA, *et al* 2005).

2.7 ASPECTOS LEGAIS DO TRATAMENTO DOS RSU

Tendo em vista a necessidade de investimentos e regulamentação na área de resíduos sólidos, em 02 de agosto de 2010, foi implementada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída por meio da Lei Federal nº 12.305 (BRASIL PNRS; 2010). Esta política estabelece a gestão integrada dos resíduos sólidos e reúne os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas pelo Governo Federal isoladamente ou em conjunto com os Estados e Municípios.

Essa política estabelece também os conceitos de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento uma vez que existe a necessidade de disposição final dos resíduos sólidos. Estes conceitos subsidiam o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de tratamento de resíduos e aproveitamento máximo dos respectivos subprodutos. Isto porque se deseja reduzir a necessidade de recursos naturais, a partir da transformação dos resíduos em insumo para processos industriais e do aproveitamento do potencial energético do processo de transformação.

Em seu Art. 6º a legislação reconhece o resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. O inciso VI incentiva a indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados. Além disso, encontra-se explícito o estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto e o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial. Estes sistemas devem estar voltados para a melhoria dos processos produtivos e o reaproveitamento dos resíduos sólidos, inclusive com recuperação e aproveitamento energético.

Esta abordagem quanto ao aproveitamento do RSU, com a reciclagem e compostagem é destacada em diversos estudos, os quais apresentam muitos argumentos que justificam o reuso, reciclagem e valorização energética dos resíduos gerados pela população. Com isto procura-se estimular estas práticas no país.

No estado do Paraná, a Lei Nº 19.261 de 2017 criou o Programa Estadual de Resíduos Sólidos – Paraná Resíduos (PARANÁ, 2017), a qual visa, principalmente, eliminar 100% dos lixões do Estado e a redução de 30% dos resíduos gerados. Portanto, incentiva de forma similar a Lei 12.305, a reutilização e o reaproveitamento dos materiais potencialmente recicláveis pela reciclagem e compostagem.

O Programa Paraná Resíduos em seu Art. 4º expõe como princípios e fundamentos, o reconhecimento dos resíduos sólidos reutilizáveis, recicláveis como um bem econômico gerador de trabalho e renda. Percebe-se com isso, que o Governo Federal e o Estado do Paraná estão alinhados quanto à necessidade do aproveitamento dos RSU, no intuito de sua reciclagem e compostagem. Porém, não é clara a abordagem Estadual quanto ao tratamento térmico deste material.

A próxima seção apresenta de forma detalhada a legislação referente ao tratamento térmico dos materiais, uma vez que este tipo de gerenciamento de RSU gera alguma polêmica e que ainda não possui aceitação total pelo poder público e pela sociedade.

2.7.1 Aspectos legais do tratamento térmico dos RSU

O tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos é regulamentado, no Brasil, pela Resolução CONAMA n.º 316, de 29 de outubro de 2002. Esta Resolução disciplina os processos de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, e estabelece procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de resíduos resultantes destas atividades. Essa Resolução considera “tratamento térmico” como todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800° C (BRASIL, 2002).

Os artigos 22, 23 e 24 desta Resolução referem-se ao tratamento dos resíduos de origem urbana e determinam algumas condicionantes: estar em área coberta para o recebimento de resíduos; possuir sistema de coleta e tratamento adequado do chorume; ter registro das informações relativas à área de origem e quantidade; operar à temperatura mínima de 800°C; tempo de residência do resíduo em seu interior não poderá ser inferior a um segundo e ser precedida de segregação de resíduos.

A segregação a qual a norma se refere consiste em uma ação integrada entre os responsáveis pelo sistema de coleta e de tratamento térmico, cuja finalidade é a reciclagem ou reaproveitamento. Essa segregação deve estar de acordo com os planos municipais de gerenciamento de resíduos.

Existe a exigência de estudos, tanto para a análise de alternativas tecnológicas, a partir do conceito de melhor técnica disponível (art.4), quanto para o processo de licenciamento das unidades de tratamento térmico de resíduos. Esses estudos consistem em: Estudo de Impacto Ambiental; Relatório de Impacto Ambiental (EIA/Rima); Análise de Risco; e outros necessários (BRASIL, 2002).

O Estado do Paraná, via Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA, estabeleceu a Resolução SEMA 43, de 16 de julho de 2008, a qual dispõe sobre o licenciamento ambiental. Esta norma estabelece as condições e critérios para Empreendimentos de incineração de resíduos sólidos e dá outras providências (PARANÁ, 2008).

A Lei Federal nº 12.305/2010 que instituiu a PNRS, autoriza, em seu artigo 9º, a produção de energia a partir dos resíduos sólidos. Entretanto, a viabilidade técnica e ambiental do projeto deve ter comprovação, inclusive com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2010).

Conforme o Decreto nº 7.404/2010 que regulamenta a PNRS, a utilização de resíduos sólidos nos processos de recuperação energética deve obedecer às normas vigentes. Estas normas englobam as legislações de órgãos competentes estaduais e

municipais em conjunto com os Ministérios do Meio Ambiente, de Minas e Energia e das Cidades (BRASIL, 2010(a)).

A Resolução n.º 316/02 (BRASIL, 2002) estabelece parâmetros para o projeto, procedimentos operacionais, sistemas de monitoramento e limites máximos de emissão para os poluentes atmosféricos. Com relação aos efluentes líquidos esta normativa remete à Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

As cinzas e escórias provenientes do processo térmico, para fins de disposição final, devem ser classificadas como resíduos Classe I- Perigoso (art. 43, parágrafo primeiro). No entanto, o órgão ambiental poderá autorizar a disposição das cinzas e escórias como resíduos Classe II-A (não perigoso, não inerte) e Classe II-B (não perigoso, inerte), se comprovada sua inertização pelo operador (BRASIL, 2002).

Outro dispositivo legal relacionado ao tratamento térmico de resíduos, é a Resolução CONAMA n.º 264, de 26 de agosto de 1999. Esta resolução dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer⁸ para atividade de coprocessamento de resíduos na fabricação de cimento (BRASIL, 1999).

A Resolução CONAMA n.º 283, de 12 de julho de 2001, dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde e faz menção ao processo de incineração (BRASIL, 2001).

Além dessas Resoluções, torna-se necessário citar a Resolução CONAMA n.º 05/89 (BRASIL, 1989) que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e instituiu o Programa Nacional de Qualidade do Ar – PRONAR e deu diretrizes para a rede de monitoramento e inventário das fontes emissoras e poluentes atmosféricos. Ainda com relação à qualidade do ar, a Resolução CONAMA n.º 03/90 definiu os padrões primários e secundários para SO₂ (dióxido de enxofre), CO (monóxido de carbono), O₃ (ozônio), NO₂ (dióxido de nitrogênio), partículas em suspensão, partículas inaláveis e fumaça (BRASIL, 1990).

⁸ Clínquer é considerado um pó homogêneo, de diferentes matérias-primas moídas e misturadas que, quando submetido a altíssimas temperaturas, se transforma em rocha. É obtido a partir da queima de matérias-primas moídas em um forno rotativo a temperaturas de até 1450°C.

Deboni (2017) desenvolveu uma matriz informativa, com a relação de leis, decretos, resoluções, instruções normativas, portarias e demais instrumentos legais aplicáveis às plantas de biodigestão no estado do Paraná, a qual grande parte se aplica também ao tratamento de resíduos sólidos. O amplo e profundo levantamento da base legal aplicável permitiu a elaboração desta matriz, que reúne 62 normas legais, entre Leis Federais e Estaduais, Portarias, Instruções Normativas, Decretos, Resoluções e Normas Técnicas (DEBONI, 2017). Esta matriz de legislações encontra-se no Apêndice 03.

Apesar do Estado do Paraná ainda não possuir legislação específica para o licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos sólidos, os Estados de Santa Catarina, Bahia e Minas Gerais, já possuem alguns decretos e resoluções neste aspecto (DEBONI, 2017).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Até a data de 30 de outubro de 2010, os resíduos gerados em Curitiba e outros 14 municípios da Região Metropolitana eram dispostos no Aterro Sanitário de Curitiba. Este aterro era localizado na região sul do Município, a 23 km do centro, no bairro da Caximba, entre os municípios de Araucária e Fazenda Rio Grande.

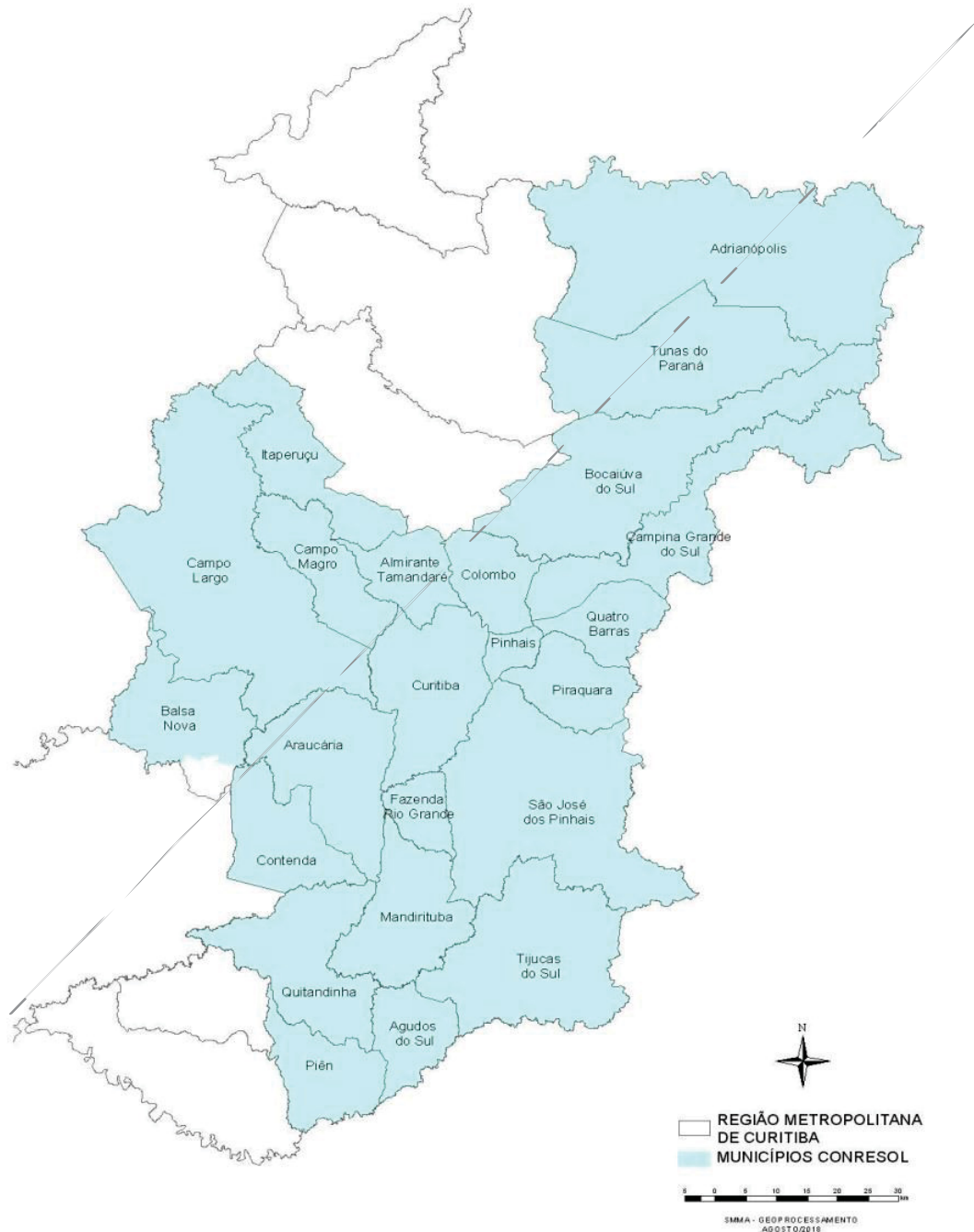
Em 2001 foi instituído o CONRESOL (Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos) que é um Consórcio Público com Personalidade Jurídica de Direito Privado, amparado pela Lei Complementar Estadual 82/98, vigente na ocasião. Atualmente, rege-se sob a forma jurídica de Associação Pública, sem fins lucrativos, de acordo com as normas da Lei nº 11.107/2005, da Lei nº 11.445/2007 e do Decreto nº 6.017/2007, bem como demais legislações pertinentes. Na prática o CONRESOL é um consórcio que agrupa a maioria dos municípios da região metropolitana de Curitiba e que visa implementar a política pública de tratamento dos RSU gerados nestes municípios.

Com o encerramento das atividades do Aterro Sanitário da Caximba, o CONRESOL lançou edital para o processo de credenciamento de novos aterros sanitários na região. Deste edital, resultou a elegibilidade de dois aterros sanitários privados para prestar serviço de disposição final dos RSU para os municípios pertencentes ao consórcio. O primeiro deles pertence à Estre Ambiental SA, localizada no Município de Fazenda Rio Grande e o segundo pertence a Essencis Soluções Ambientais SA, em Curitiba.

O serviço de tratamento dos RSU é remunerado mensalmente pelo CONRESOL, e rateado entre Municípios, de acordo com a quantidade total de resíduos encaminhados para disposição final, no período de um mês. Atualmente, os aterros credenciados recebem, por meio do contrato firmado com o CONRESOL, os resíduos dos seguintes municípios: Adrianópolis; Agudos do Sul; Almirante Tamandaré; Araucária; Balsa Nova; Bocaiúva do Sul; Campina Grande do Sul; Campo Largo; Campo Magro; Colombo; Contenda; Curitiba; Fazenda Rio Grande; Itaperuçu; Mandirituba; Piên; Pinhais; Piraquara; Quatro Barras; Quitandinha; São José dos Pinhais; Tijuca do Sul e; Tunas do Paraná.

A área de abrangência do Consórcio corresponde à área territorial dos municípios que o integram, totalizando 7.013 km², conforme Figura 4.

Figura 4 – Área de abrangência do consórcio CONRESOL



Fonte: CONRESOL (2018)

As quantidades de RSU dos municípios do CONRESOL encaminhadas para disposição final nos aterros sanitários, no período de 2010 a 2017, podem ser visualizadas na tabela 6.

Tabela 6 – Volume de RSU por aterro sanitário – Área do CONRESOL – 2010/2017 (em toneladas)

ANO	ESSENCIS (t)	ESTRE (t)	TOTAL (t)
(nov/dez) 2010	3.413	132.240	135.652
2011	35.240	779.334	814.574
2012	25.117	803.599	828.716
2013	20.174	821.701	841.875
2014	21.948	836.013	857.960
2015	13.972	841.718	855.690
2016	-	827.153	827.153
2017	4.436	812.780	817.216
TOTAL	124.300	5.854.538	5.978.838

Fonte: CONRESOL (2018)

Cabe ressaltar que não participaram do CONRESOL:

- O Município de Agudos do Sul, no período de nov/dez de 2010 a 2017;
- O Município de Balsa Nova no período de nov/dez de 2010 a 2017 e;
- O Município de Fazenda Rio Grande, a partir de agosto de 2015 a 2017.

Portanto, a partir dos dados da tabela 6, é possível concluir que aproximadamente 97,9% do RSU coletado na área de abrangência do estudo é destinado ao aterro sanitário da empresa Estre Ambiental, localizado no município de Fazenda Rio Grande, sendo o restante destinado, 2,1% à empresa Essencis.

Conforme EIA/RIMA realizado para análise de viabilidade ambiental do empreendimento, o Aterro Sanitário da empresa Estre está implantado a noroeste do município de Fazenda Rio Grande. A área total utilizada é de 267,5 hectares, sendo destes 62ha ocupados pelo empreendimento, 123ha destinados à Área de Proteção Ambiental e 54ha destinados à Área de Reserva Legal. As atividades estão previstas, conforme EIA/RIMA elaborado, para 20 anos.

O Aterro Sanitário da empresa Estre Ambiental conta com os seguintes elementos para a sua operação: a) Isolamento e sinalização; b) Sistema de

impermeabilização; c) Drenagem superficial e de gases; d) Acesso compatível com o tráfego de veículos pesados; e) Sistema de controle do recebimento e aceite de resíduos; f) Sistema de drenagem de águas pluviais; g) Sistema de drenagem de líquidos percolados; h) Tanque de armazenamento de chorume; i) Sistema de monitoramento de águas subterrâneas e superficiais; e j) Sistema de geração de energia a partir do gás gerado.

Conforme informações disponibilizadas no sitio eletrônico da empresa Essencis Soluções Ambientais (ESSENCIS, 2019), a Unidade Curitiba, está localizada no bairro Cidade Industrial de Curitiba, na Rua Palmenses, 4.005, com uma área total utilizada de 22,5 hectares. Nesta unidade são implementadas diversas tecnologias de gerenciamento de RSU, sendo: a) Aterro Classe I; b) Aterro Classe II; c) Coprocessamento (Compostagem, produção de CDR⁹); d) Tratamento de Efluentes Industriais; e) Logística Reversa; e f) Laboratório para monitoramento dos processos realizados na unidade.

Na tabela 7 é possível observar os volumes de RSU recebidos pelos aterros, ou seja, o quantitativo de resíduos sólidos urbanos gerados por Município integrante do Consórcio para o ano de 2017.

Na figura 5 é possível verificar que Curitiba é o município que contribui com a maior proporção de RSU. Pode-se perceber ainda que se somados a Curitiba, os municípios de São José dos Pinhais e Colombo, estes representam aproximadamente 80% de todo RSU a ser tratado.

Além disso, conclui-se que os 9 (nove) maiores municípios da região do CONRESOL (Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo, Pinhais, Araucária, Fazenda Rio Grande, Campo Largo, Almirante Tamandaré e Piraquara) representam aproximadamente 96% de todo o RSU disposto no aterro Estre Ambiental em Fazenda Rio Grande.

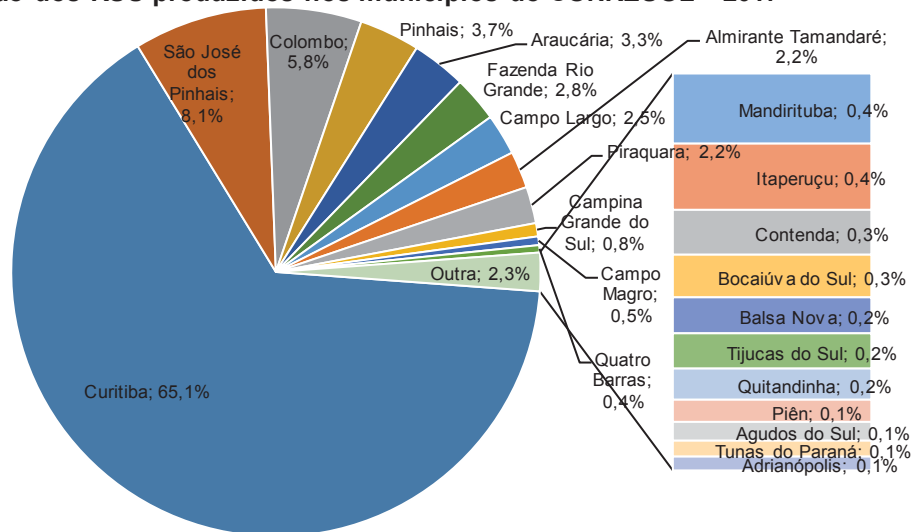
Tabela 7 – Quantitativo, proporção e acumulado de RSU dos Municípios do CONRESOL - 2017

⁹ CDR – Combustível Derivado de Resíduos. É um termo que se aplica a materiais com alto poder calorífico (geralmente em torno de 18 MJ/kg) que são removidos dos fluxos de resíduos. Os beneficiários desse material são os fornos de cimento e usinas de energia.

MUNICÍPIO	T/ANO	% do Total	Acumulado (%)
Curitiba	548.979	65,1%	65,1%
São José dos Pinhais	68.634	8,1%	73,2%
Colombo	49.269	5,8%	79,1%
Pinhais	31.168	3,7%	82,8%
Araucária	28.086	3,3%	86,1%
Fazenda Rio Grande	23.472	2,8%	88,9%
Campo Largo	21.171	2,5%	91,4%
Almirante Tamandaré	18.963	2,2%	93,6%
Piraquara	18.829	2,2%	95,9%
Campina Grande do Sul	6.873	0,8%	96,7%
Campo Magro	4.453	0,5%	97,2%
Quatro Barras	3.785	0,4%	97,7%
Mandirituba	3.486	0,4%	98,1%
Itaperuçu	3.292	0,4%	98,5%
Contenda	2.229	0,3%	98,7%
Bocaiúva do Sul	2.120	0,3%	99,0%
Balsa Nova	1.788	0,2%	99,2%
Tijucas do Sul	1.752	0,2%	99,4%
Quitandinha	1.549	0,2%	99,6%
Piên	1.102	0,1%	99,7%
Agudos do Sul	934	0,1%	99,8%
Tunas do Paraná	791	0,1%	99,9%
Adrianópolis	686	0,1%	100,0%
TOTAL	843.411		100%

FONTE: CONRESOL (2018) - Modificado pelo Autor

Figura 5 – Proporção dos RSU produzidos nos municípios do CONRESOL - 2017



Fonte: Autor, baseado CONRESOL (2018)

A tabela 8 apresenta os quantitativos mensais de RSU no ano de 2017, tratados pelo Consórcio. Percebe-se que existe uma certa sazonalidade na geração de RSU nos meses de dezembro e janeiro, tradicionais meses de férias de verão, cujo consumo domiciliar de alimentos e bebidas aumenta, além dos presentes de natal cujas embalagens geralmente vão para o “lixo”.

Tabela 8 – Quantidade mensal de RSU gerados pelos municípios do CONRESOL - 2017

Mês	Quantidade de Resíduos (t)
Janeiro	72.788
Fevereiro	65.202
Março	69.078
Abril	60.510
Maio	71.236
Junho	68.052
Julho	65.163
Agosto	69.455
Setembro	63.871
Outubro	70.331
Novembro	68.996
Dezembro	72.534
Total	817.216

FONTE: CONRESOL (2018)

Ainda, na tabela 8 pode-se perceber que maio é um mês cujo volume dos RSU é significativamente maior entre os meses de fevereiro e novembro. Isto talvez está associado ao consumo de presentes e festas do dia das mães. Outro fator de impacto pode estar associado ao fator de maio ser considerado mês das noivas, no qual ocorrem muitos casamentos e festas, aumentando assim o volume dos RSU.

A mesma dinâmica se repete no mês de outubro, resultante dos feriados e festas religiosas e o dia das crianças. Pode-se dizer então que existe algum impacto significativo das festividades na população na produção de RSU.

Pode-se observar uma diferença entre os números absolutos apresentados nas tabelas anteriores para o ano de 2017, pois os resíduos de Agudos do Sul, Balsa Nova e Fazenda Rio Grande não foram dispostos nos aterros sob responsabilidade

do CONRESOL. Porém neste estudo, será contabilizado o valor como coletado, pois estes municípios atualmente encontram-se inclusos no Consórcio.

A tabela 8 permite afirmar que a média mensal recebida pelo Consórcio é de 68.101 t/mês com desvio padrão de 3.565 t/mês (5,2% da média anual), destes 97,9%, são destinados ao aterro da empresa Estre no município de Fazenda Rio Grande.

3.1 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RSU

Nesta seção são apresentados os resultados da composição gravimétrica dos RSU da área de estudo. A tabela 9 expõe a proporção dos RSU por tipo de material para o ano de 2016, pela empresa Estre Ambiental. O aterro da empresa Essencis, não mantém divulgação rotineira da análise gravimétrica dos materiais enviados pelo CONRESOL.

Os resultados representam os RSU provenientes da coleta convencional domiciliar e comercial para os municípios do Consórcio. Cabe salientar que não estão inseridos nesta análise gravimétrica os resíduos sólidos provenientes da coleta de recicláveis, ou seja, apenas o resíduo úmido, que é destinado ao aterro sanitário.

Segundo dados apresentados na Tabela 9, percebe-se que se somadas as proporções de “Orgânicos”, “Fraldas” e “Higiênicos”, tem-se o total de aproximadamente 66% do total dos RSU. Portanto, estes 3 itens são responsáveis por grande parte do problema do destino dos RSU. Por outro lado, aproximadamente 42% de orgânicos representa um volume potencial importante para uma planta de compostagem.

Tabela 9 – Composição gravimétrica dos RSU dispostos no aterro da empresa Estre - 2016

Material	Proporção (%)
Orgânicos	42,18%
Fraldas	12,57%
Higiênicos	11,00%
PEAD Flexível	6,38%
Trapo	5,59%
PEBD Flexível	3,70%
Kraft	3,49%

Material	Proporção (%)
PP Recipiente	1,75%
Embalagem cartonada Longa Vida	1,46%
Vidro	1,41%
PP Aparas	1,39%
Jornais e Revistas	1,30%
Ondulado 1	1,05%
Sulfite	0,85%
PET Cristal	0,75%
Ferrosos	0,68%
Pedra	0,68%
Eletrônicos	0,68%
Alumínio	0,63%
PEBD Rígido	0,57%
PS Expandido	0,55%
Ondulado 2	0,42%
PS Rígido	0,41%
Madeira	0,13%
PVC Rígido (Civil)	0,11%
PET Colorida	0,09%
PS Copos	0,08%
Borracha	0,07%
PVC Flexível	0,03%
Não ferrosos	0,00%
Cobre encapado	0,00%

FONTES: CONRESOL, (2019)

A tabela 10 apresenta a classificação dos materiais identificados na gravimetria entre: orgânicos; não orgânicos; recicláveis; não recicláveis; pirolisáveis; ou não pirolisáveis. Esta classificação foi realizada conforme as configurações e funcionamento dos equipamentos das empresas Stadler do Brasil (separador de recicláveis) e IPK Piroflex (equipamento de pirólise).

Tabela 10 – Classificação dos RSU quanto à finalidade conforme especificações dos fabricantes dos equipamentos

Material	Classificação (Stadler e IPK Piroflex)	
Orgânicos	Orgânicos	Pirolisável
Fralda		
Higiênicos		
Madeira		
Pedra		Não pirolisável

Material	Classificação (Stadler e IPK Piroflex)	
PEAD Flexível	PEAD	Recicláveis
Kraft	Papelão	
Ondulado 1		
Ondulado 2		
Jornais e Revistas	Papel	
Sulfite		
Embalagem cartonada Longa Vida	TetraPAK	
PET Cristal	PET cristal	
PET Colorida	PET Mix	
Ferrosos	Metais Ferrosos	
Alumínio	Metais Não Ferrosos	
PEBD Flexível	Plástico Filme	
PP Recipiente	Polipropileno	
PP Aparas		
Vidro	Vidro	
Panos e Trapos	Panos e Trapos	Não Orgânico/Não Reciclável/Pirolisável
PEBD Rígido	Plástico Misto	
PS Expandido		
PS Rígido		
PVC Rígido (Civil)		
PS Copos		
Borracha		
PVC Flexível		
Eletrônicos		

FONTE: baseado em Stadler do Brasil (2019) e IPK Piroflex (2019)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos, dados e informações utilizadas neste estudo.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é classificada como aplicada, quantitativa e descritiva, pois objetiva gerar resultados para um estudo empírico e dirigido à solução de um problema particular (GIL, 2008). Em outras palavras, objetiva gerar informações sobre a viabilidade econômica e socioambiental de um sistema de tratamento de RSU. Com isso, essa pesquisa pretende auxiliar os gestores públicos na tomada de decisão em relação à destinação dos RSU gerados pelos residentes da região do CONRESOL.

A implantação de um novo sistema de tratamento do RSU a partir da pirólise, separação de recicláveis e compostagem de matérias orgânicas, com cogeração de energia, gera diversos impactos de ordem econômica, social e ambiental. Uma resultante ambiental significativa é a eliminação do volume de resíduos dispostos em aterros sanitários. Esses impactos são importantes, tanto para as empresas gestoras dos atuais aterros sanitários quanto para a sociedade.

Em referência aos procedimentos metodológicos, este trabalho caracteriza-se pela coleta, registro de informações e estimativas, em que foram avaliados os custos e benefícios da implantação de uma planta de pirólise, a seleção de recicláveis e compostagem, em cenários distintos, para o tratamento de resíduos sólidos urbanos.

A descrição do procedimento metodológico detalha as atividades realizadas para o desenvolvimento deste estudo, estruturado em cinco etapas distintas, de forma a atender os objetivos específicos da pesquisa.

- Estimativa do crescimento no volume de RSU durante o período de amortização dos investimentos na nova solução tecnológica;
- Detalhamento, dimensionamento das novas soluções técnicas (reator pirolítico, planta de compostagem e separador de recicláveis);

- Estimativa dos custos e receitas do atual sistema, aterro sanitário;
- Estimativa dos benefícios ambientais com o novo tratamento dos RSU proposto; e
- Análise de custo-benefício.

Existem outros impactos ambientais e socioeconômicos identificados, que não serão considerados neste estudo, porém podem ser levados em consideração pelos tomadores de decisão:

- Redução no uso matéria-prima, devido ao maior volume de produto reciclado. Deste modo, ao reduzir a utilização de matéria prima “nova”, existe também a redução dos custos com estes materiais e o subsequente benefício para as indústrias e para a sociedade.
- Redução do uso de fertilizantes químicos, dada a maior disponibilidade de composto ou húmus nas áreas de plantio da região;
- Impactos nos Empregos: As novas tecnologias dispõem de uma equipe de trabalho necessária, não equivalente a equipe utilizada nos aterros sanitários; e
- Valorização imobiliária no entorno das plantas de tratamento, devido ao incremento de emprego especializado na região e erradicação dos malefícios inerentes ao aterro sanitário (cheiro, paisagem, etc.).

4.2 O MÉTODO DA VALORAÇÃO CONTINGENTE

Nos estudos relacionados à avaliação econômica da alteração do tratamento na disposição final dos RSU, destaca-se o Método de Valoração Contingente. Este método tem sido amplamente utilizado para avaliação de bens e serviços relacionados aos recursos ambientais e bens públicos, em que se especifica o valor de disposição a pagar (DAP) do consumidor, em um mercado hipotético (MOTTA, 1998). Isto é necessário para produtos que não possuem mercados econômicos específicos e valor para os produtos. Trata-se de casos comuns em análises ambientais (PONTES, 2014).

A simulação destes mercados hipotéticos é realizada em pesquisa via questionários que indagam ao entrevistado sua valoração contingente, ou seja, a disposição a pagar (DAP), em relação à alguma alteração na disponibilidade de recursos ambientais (MOTTA, 1998).

Este método tem sido utilizado em vários locais, no mundo e no Brasil. Na Grécia, a respeito do serviço de Gerenciamento de RSU, Damigos, Kaliampakos e Menegaki (2016) estimaram a disposição a pagar por melhorias nesse serviço, tendo como resultado uma DAP de R\$88,40 domicílio/ano.

No Brasil, foram realizados estudos com referência a gestão de resíduos sólidos, mais especificadamente na coleta seletiva. Gullo e Gregori (2011) utilizaram este método da valoração contingente para identificar a DAP no município de Caxias do Sul/RS, enquanto Rodrigues e Santana (2012) realizaram estudo similar no município de Palmas/TO.

Conforme Motta (1998), para a aplicação deste método existem alguns procedimentos requeridos. Os passos a seguir apresentam as etapas utilizadas neste estudo, a partir da metodologia de referência.

Passo 01: Definindo a Pesquisa e o Questionário:

- Objeto de Valoração – São valorados os benefícios ambientais e sociais da alteração da tecnologia de tratamento dos resíduos sólidos;
- A Medida de Valoração - A forma de valoração é a disposição a pagar (DAP), ou seja, R\$/mês;
- Definição da Forma de Determinação do Valor pelo Entrevistado - Método de lances (ou ofertas) livres;
- O Instrumento de Pagamento – Reajuste na taxa de coleta de lixo existente;
- A Forma de Entrevista – Entrevistas via questionário eletrônico;

Passo 02: Cálculo e Estimação:

- Elaboração e execução do questionário (modelo executado apresentado no Anexo 01);

- Cálculo da Medida Monetária – utilizando-se do método de lances livres, é oferecida uma melhoria ambiental (eliminação dos aterros sanitários e as externalidades negativas dele resultantes, bem como melhoria na tecnologia de tratamento do RSU) aos entrevistados em troca de um acréscimo da taxa de cobrança.

Na aplicação dos questionários, busca-se obter uma aleatoriedade amostral. Sendo assim, foi definida a utilização de questionário/formulário eletrônico e sua divulgação por diversas pessoas em diversos segmentos da sociedade alvo. Além disso, para evitar o viés de seleção, o perfil dos respondentes (domicílios) obedece a distribuição dos estratos de renda identificados na PNAD contínua do ano de 2018 (até 2 salários mínimos, 18,8% da população; de 2,01 até 4 salários mínimos, 29,6% da população; de 4,01 salários mínimos até 6 salários mínimos, 20,0% da população; de 6,01 até 8 salários mínimos, 11,3% da população; de 8,01 até 10 salários mínimos, 5,7% da população e; acima de 10,01 salários mínimos, 14,5% da população).

Para determinação do tamanho da amostra, utilizou-se a seguinte expressão para populações infinitas – amostra menor que 5% do tamanho da população - (NEDER, 2008):

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma_x}{d} \right)^2$$

E para o erro amostral absoluto admitido:

$$d = z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

em que:

- n = tamanho da amostra;
- $z_{\alpha/2}$ = Nível de confiança escolhido (95% = 1,96);
- σ_x = Desvio padrão populacional da variável “x” (valor da DAP); e
- d = Erro amostral absoluto admitido;

Como o desvio padrão populacional da variável “x” é desconhecido, optou-se por realizar sua estimativa por experimento, durante o processo de amostragem. Este experimento iniciou com os valores das primeiras 50 observações amostrais selecionadas aleatoriamente, eliminados os “outliers” pela técnica de Bonferroni. Efetuou-se o cálculo do desvio-padrão amostral ($Sx^- = s/\sqrt{n}$) e utilizou-se este valor em substituição ao valor de “ σ ”. Este método foi repetido com o crescimento da amostra para verificar a variação do valor da média e a suficiência do tamanho da amostra, conforme orienta Shimakura (2005).

Nas informações extraídas diretamente do indivíduo (i), quando aplicado o questionário de avaliação, foi utilizado modelo de escolha dicotômica (Probit), em que $y_i=0$ se o indivíduo responder que não concorda em pagar e $y_i=1$ se a resposta for sim – o indivíduo concorda em pagar, dada a pergunta sobre a possibilidade de pagamento superior a uma quantia já cobrada (t_i). A quantia a ser paga é um aumento na “taxa de lixo” cobrada no IPTU. Segundo Lopez-Feldman (2012) é possível estimar a DAP assumindo que ela pode ser modelada como a seguinte função linear:

$$DAP_{(z_i, u_i)} = Z_i\beta + u_i \quad (1)$$

em que:

- Z_i = uma matriz de variáveis explicativas;
- β = uma matriz de parâmetros; e
- u_i = termo de erro.

Espera-se que o indivíduo responda sim quando sua DAP for maior que o valor sugerido, ou seja, quando $DAP > t_i$. Nesse caso, a probabilidade de observar uma resposta positiva é muito alta, tendendo a 100%.

Para a realização dos cálculos do modelo *Probit* foi utilizado o software STATA. O modelo *Probit* assume uma variação igual a um, pois no caso tradicional (zero) não há informações suficientes disponíveis para estimar os parâmetros.

Contudo, essa suposição não é necessária, pois tem-se a variável adicional (t_i). Portanto, pode-se usar o modelo *Probit*, incluindo t_i como uma explicação

adicional. A estimativa dos parâmetros do modelo é valiosa, no entanto, o que realmente se deseja é uma estimativa da disposição de pagar.

Inicialmente, supoe-se a normalidade dos resíduos e usando a Equação (2), tem-se que o valor da disposição a pagar esperado é dado por:

$$DAP_{(z',\beta)} = z_i' \beta \quad (2)$$

Embora não se saiba o verdadeiro valor de β pode-se obter uma constante consistente para este vetor usando α e γ (estimado no modelo *Probit*). Diante disso, existem diferentes maneiras as quais se pode estimar a DAP, dependendo dos valores atribuídos ao vetor (ou matriz) z (Z). Algumas opções são: estimar a DAP para cada indivíduo; a DAP para indivíduos com determinadas características; e a DAP usando a média das variáveis explicativas (LOPEZ-FELDMAN, 2012). Em geral, o que se tem é:

$$DAP_{(z',\beta)} = z' \left[-\frac{\alpha}{\gamma} \right] \quad (3)$$

Em que:

- z' = vetor (ou matriz Z) com os valores de interesse para as variáveis explicativas (ou seja, o valor para cada indivíduo, o valor para um determinado grupo ou a média);
- α = vetor de coeficientes associados a cada uma das variáveis explicativas; e
- γ = coeficiente para a variável que captura o valor do lance;

Neste modelo utilizou-se variáveis explicativas tais como a renda e outras variáveis de interesse, inclusive variáveis qualitativas binárias (que recebem valores 0, se a qualidade não está presente, e 1 se a qualidade está presente). Para tanto, o modelo de estimativa estatística da DAP para o caso de RSU contém as seguintes variáveis:

- RF = Renda familiar mensal, *dummy*¹⁰ para extratos de renda (até R\$2.000,00, de R\$2.001,00 a R\$4.000,00, de R\$4.001,00 a R\$6.000,00, de R\$6.001,00 a R\$8.000,00, de R\$8.001,00 a R\$10.000,00, acima de R\$10.000,00);
- TF = Tamanho da família, quantidade de indivíduos que residem no domicílio (1, 2, 3, 4, 5 e mais) – até 3 indivíduos = 1; (4, 5 ou mais indivíduos) = 0;
- GE = Gênero (1 = Homem; 0 = caso contrário);
- NI = Nível de interesse em relação ao tratamento adequado dos RSU, *dummy* do nível de interesse (alto interesse, médio interesse, baixo ou nenhum interesse);
- I = Idade do respondente, *dummy* para extratos de idade (menos de 15 anos de idade, de 15 a 25 anos de idade, de 26 a 40 anos de idade) = 0; (41 a 60 anos de idade, acima de 60 anos de idade) = 1;
- Q = Prioridade quanto ao tratamento do RSU (1 = deve ser prioridade; 0 = caso contrário);
- TR = Situação ocupacional, *dummy* para emprego (1 = Empregado; 0 = caso contrário).
- AE = Escolaridade, *dummy* para extratos de escolaridade (Ensino Médio Incompleto e menos, Ensino Médio Completo, Ensino Superior Incompleto; Ensino Superior Completo e Pós-graduação) (1 = se possui ensino superior completo ou pós-graduação e 0 = caso contrário);
- LT = Conhecimento de como o lixo é tratado, *dummy* se conhece como o RSU é tratado (1 = sim, 0 = caso contrário); e
- SF = Situação do respondente na família, *dummy* para situação do respondente no âmbito familiar (1 = Maior renda da casa e chefe de família, 0 = auxilia nas contas da casa, Dependente maior, Dependente menor e outro);

4.3 ESTIMATIVAS DOS RSU E REPASSES FINANCEIROS

O volume de RSU gerado em qualquer sociedade depende do tamanho da sua população, pois via de regra, quem gera os RSU a serem tratados em

¹⁰ Variáveis *dummy* são variáveis binárias (0 ou 1) criadas para representar uma variável com duas ou mais categorias.

determinada localidade é a população daquela própria sociedade/localidade. Existem casos, no mundo, em que se observa a exportação de RSU para serem tratados em outras localidades. Este é o exemplo da Suécia que recebe RSU de outros países, cujo destino é a incineração. Mas também existem exemplos de RSU gerados em determinadas localidades e que são transportados para destinação em outros locais de um mesmo país.

No Brasil, dado que a disposição final dos RSU ocorre geralmente em aterros, estes resíduos são normalmente tratados em locais próximos a suas fontes geradoras, as áreas urbanas. Isto porque é necessário otimizar os custos de transporte destes materiais. Sendo assim, excetuando-se determinadas situações específicas, o resíduo a ser tratado é aquele gerado pela população circunvizinha. Neste estudo, trata-se da população dos municípios integrantes do CONRESOL.

O volume per capita de RSU gerado, bem como a população de determinada localidade, pode ser variável no tempo. Este fenômeno está estreitamente ligado à perspectiva de crescimento da população, aos seus hábitos de consumo, à conscientização e políticas ambientais, bem como o nível de educação ambiental naquela localidade. Contudo, para o presente estudo, manteve-se o volume per capita de RSU constante. Em outras palavras, considera-se que o volume de RSU gerado é uma função da sua população. Entretanto, o tamanho da população varia com o tempo, ou seja, quanto maior a população, maior será o volume de RSU gerado.

Primeiramente, para estimar o crescimento populacional no período do projeto, utilizou-se, conforme Leite, Silva e Souza (2011), a seguinte função exponencial:

$$P_t = P_0 \cdot e^{rt} \quad (3)$$

em que:

- P_t = População no tempo t ;
- P_0 = População inicial (atual);
- r = Taxa de crescimento populacional;

- t = Período analisado.

Os dados utilizados para este cálculo foram extraídos do censo demográfico do IBGE (2019) e dados do IPARDES (2018), órgãos que mantêm pesquisas ininterruptas sobre a população. Isto inclui projeções da taxa de crescimento da população.

Para estimar o parâmetro gerador de resíduos (proporção de geração de resíduos, em função da população) tem-se:

$$\alpha_z = \frac{W_z}{P_0} \quad (4)$$

em que:

- α_z = Parâmetro gerador de resíduos (proporção do resíduo z , gerado pela população P_0);
- W_z = Volume total do resíduo (z) gerado pela população P_0 ;
- P_0 = População inicial (atual);

Para a estimativa deste parâmetro utilizou-se a tabela de composição gravimétrica do aterro sanitário de propriedade da empresa Estre. Para estimar o volume de RSU, para cada tipo de resíduo (recicláveis, matéria orgânica para compostagem e material para pirólise), em cada período do projeto, utilizou-se a seguinte função linear:

$$R_{z,t} = P_t \cdot \alpha_z \quad (5)$$

em que:

- $R_{z,t}$ = Quantidade do resíduo z , a ser processado no período t (com t variando de 0 até n);
- P_t = População no período t (com t variando de 0 até n);
- α_z = Parâmetro gerador de resíduos (proporção do resíduo z , gerado pela população P_0);

Paralelamente, as Prefeituras Municipais participantes do CONRESOL remuneram a empresa de tratamento de RSU para tratar os resíduos gerados. Atualmente, os resíduos são coletados nos municípios e transportados até os aterros sanitários, onde são tratados. Parte-se do princípio que esta prática não se alterará. Portanto, tem-se que:

$$C_t = W_t \cdot S_t \cdot I_t \quad (6)$$

em que:

- C_t = Valor total de recursos financeiros repassados pelo CONRESOL, para o projeto de destinação dos RSU, no período t ;
- W_t = Volume total de RSU recebido pelo projeto de tratamento dos RSU, no período t ;
- S_t = Valor recebido pelas prefeituras a título de “taxa de lixo” ou Valor da tarifa de remuneração do CONRESOL para o tratamento de RSU (por tonelada de RSU encaminhado ao projeto) acrescido do valor da Disposição a Pagar - DAP, no período t ;
- I_t = Taxa de atualização da tarifa, no período t (o contrato do CONRESOL estabelece o IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo médio dos últimos 15 anos);

A estimativa destes valores considera o volume de resíduos do ano base e as suas projeções (considerando a tabela gravimétrica da empresa ESTRE), bem como a taxa praticada, e disponível, pelo CONRESOL e considerando a DAP.

A atualização monetária foi realizada utilizando-se o indicador de expectativa de inflação divulgado pelo Banco Central para o período 2020 a 2022. Conforme apresentado no Relatório de Inflação de Março/2020, que apresenta na **tabela 2.3 - Projeções centrais de inflação em diferentes cenários**, a meta de inflação de 4,0%, 3,75% e 3,5% para os anos 2020, 2021 e 2022, respectivamente. Sendo assim, este estudo irá considerar as metas de inflação propostas para 2022 ao longo do estudo (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020).

4.4 UNIDADES DE TRATAMENTO DOS RSU

Para efetuar uma estimativa do número de plantas de pirólise e a eficiência esperada para um sistema de pirólise de RSU foram utilizados dados fornecidos pela IPK PYROFLEX (fabricante de reatores de pirólise).

Para a estimativa do número de plantas de separação de recicláveis e sua eficiência esperada na separação mecanizada do RSU foram utilizados dados fornecidos pela empresa STADLER DO BRASIL LTDA, fabricante e operadora de equipamentos para separação mecanizada de rejeitos.

Para fins de dimensionamento da planta de compostagem, foi utilizado o “Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos (BRASIL, 2010(b))” e sistema DANO, de reatores de sistema fechado para redução do tempo de maturação e finalização em leiras sobre pátio aberto.

Para identificar a quantidade de reatores pirolíticos, de separação de recicláveis e de compostagem torna-se necessário considerar a quantidade de resíduos sólidos recebidos, conforme cenários de processamento dos resíduos definidos na seção 5.10. Para tanto, a estimativa é dada por:

$$Y_{z,t} = \sum_{z=1}^n \frac{R_{z,t}}{\varphi} \quad (7)$$

em que:

- $Y_{z,t}$ = Quantidade de reatores pirolíticos, de separador de recicláveis e de compostagem necessárias para processar os (z) resíduos, com os resíduos variando de 1 até n (tipos de resíduos), no período t ;
- $R_{z,t}$ = Quantidade do resíduo z , a ser processado no período t (com t variando de 0 até n);

- φ = Para a capacidade de processamento de um reator pirolítico, considerou-se o funcionamento por 24 horas diárias, em 30 dias por mês, a cada 12 meses, cujo valor é 12.485 t/ano/reator; Para a capacidade de seleção de uma planta de separação de recicláveis, considera-se o funcionamento por 16 horas diárias, em 26 dias por mês, em 12 meses, cujo valor é 900.000 t/ano; Para a capacidade de processamento de um reator de compostagem (de resíduos do tipo matéria orgânica), considera-se o uso de mão de obra por 16 horas diárias, em 12 meses, sendo cada cilindro DANO com capacidade de 6 t/dia. O regime de trabalho da mão de obra para a planta de pirólise é de três turnos de 8hrs e uma equipe folguista, e para as plantas de compostagem é de segunda-feira a sábado em dois turnos de 8 horas.

Para estimar este valor das capacidades de processamento, foram utilizados dados da tabela gravimétrica divulgada pela empresa Estre.

Cabe salientar que os processos selecionados (funções de produção de tratamento dos RSU) possuem proporções fixas entre insumos, mão de obra operacional e geração de subprodutos. Sendo assim, não existe ganho de escala para os processos do porte dimensionado.

4.5 ENERGIA GERADA NAS UNIDADES PIROLÍTICAS

O reator pirolítico tem por característica a geração de energia elétrica, dada pelo próprio processo de funcionamento deste reator. Contudo, parte da energia elétrica gerada é direcionada para a retroalimentação do reator e estimativa do consumo das demais instalações da central de tratamento de RSU. Portanto, a quantidade de energia que pode ser comercializada, ou seja, transferida para a empresa de distribuição de energia elétrica, é dada por:

$$G_{z,t} = (E.M).\varepsilon - U \quad (8)$$

Em que:

- $G_{z,t}$ = Potência média elétrica gerada (MW), pelo RSU, no período t ;

- E = Energia do gás síntese gerada no processamento da pirólise;
- M = Eficiência do motogerador, preestabelecida tecnicamente em 0,32 (ou seja, 32%);
- ε = Coeficiente de proporção de energia gerada por tipo de resíduo;
- U = Quantidade de energia elétrica utilizada internamente pela própria empresa de tratamento de RSU.

4.6 VOLUMES DOS DEMAIS PRODUTOS COMERCIALIZÁVEIS

O processamento de RSU gera, além da energia elétrica, um volume de materiais recicláveis e composto orgânico. Os volumes destes materiais são dados por:

$$RU_t = R_{z,t} \cdot \theta \quad (10)$$

Em que:

- RU_t = Volume de materiais comercializáveis (recicláveis e composto orgânico), em toneladas, no período t ;
- $R_{z,t}$ = Quantidade do resíduo z , a ser processado no período t (com t variando de 0 até n);
- θ = Parâmetro de conversão entre o volume de resíduo a ser tratado (se situa entre 0 e 1) e os produtos a serem comercializados (recicláveis e composto orgânico) – por exemplo a porcentagem da quantidade de composto obtido dada uma certa quantidade de matéria orgânica tratada;

Para esta estimativa considerou-se os dados de RSU contidos na tabela gravimétrica, bem como suas projeções, e dados técnicos de eficiência dos equipamentos e processos, fornecidos pelos fabricantes e constante na bibliografia técnica dos processos.

4.7 COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA, RECICLÁVEIS E COMPOSTO

O valor monetário resultante da comercialização da energia elétrica, de recicláveis e do composto orgânico é dado por:

$$V_t = \sum_{z=1}^n G_{z,t} \cdot RU_t \cdot p_e \quad (11)$$

Em que:

- V_t = Valor da energia elétrica, dos recicláveis e do composto orgânico comercializados, em R\$, no período t ;
- $G_{z,t}$ = Potência elétrica gerada (MW) no processo da pirólise; por tipo de resíduo z tratado no período t (o valor de $G_{z,t}$ é igual a 1 quando se trata do cálculo do valor dos demais produtos que não são energia elétrica);
- RU_t = Quantidade de material inerte residual da pirólise (toneladas); Quantidade de resíduos separados de recicláveis (toneladas); e quantidade de composto orgânico produzido (toneladas); por tipo de resíduo tratado no período t (o valor de RU_t é igual a 1 quando se trata do cálculo do valor de comercialização da energia elétrica);
- p_e = Preço da energia (por MW); Preço dos recicláveis (por tonelada e tipo de produto); e preço do composto comercializados (por tonelada), em R\$.

A estimativa deste indicador foi feita com base nos dados técnicos disponibilizados pelos fabricantes dos equipamentos e composição gravimétrica do RSU. Além disso, utilizou-se os preços da energia estimados pela empresa Tradener Comercialização de Energia, empresa certificada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para esta finalidade. Os preços dos recicláveis foram obtidos no atacado conforme Tabela Nacional Média de Produtos Recicláveis (SUCATAS, 2020), desenvolvida pela empresa sucatas.com. O preço do composto orgânico foi obtido via oferta de mercado no portal Marketplace MF Rural (PORTAL MFRURAL, 2020).

4.8 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DO TRATAMENTO DOS RSU

Os custos de implantação e operação de qualquer atividade produtiva podem ser definidos economicamente a partir dos custos variáveis e dos custos fixos, conforme Gremaud *et al.* (2011).

Para tanto, entende-se como custos fixos todos aqueles custos que independem do nível de produção, tais como aluguéis e impostos fixos. Por outro lado, os custos variáveis são aqueles custos que dependem do volume de produção realizado, tais como: insumos, água, mão de obra e outros operacionais.

A somatória dos custos fixos e variáveis resultam nos custos totais, que pode ser expresso, conforme Gremaud *et al.* (2011), da seguinte forma:

$$\sum_{t=0}^n CT_{x,t} = \sum_{t=0}^n (CVT_{x,t} + CFT_{x,t}) \quad (12)$$

em que:

- $CT_{x,t}$ = Custo total da atividade x , no período t , estimados em valores presentes;
- $CVT_{x,t}$ = Custo variável total da atividade x , no período t , estimados em valores presentes;
- $CFT_{x,t}$ = Custo fixo total da atividade x , no período t , estimados em valores presentes;
- x = Atividades (pirólise, seleção de recicláveis, compostagem, aterro sanitário);
e
- t = tempo total de amortização ou execução do projeto;

Portanto, os custos de implantação são considerados custos fixos, uma vez que não existe atividade sendo realizada. Adicionalmente, durante a operação (funcionamento das atividades de pirólise, separação de recicláveis, compostagem e a operação dos aterros sanitários) existem custos fixos e variáveis, de acordo com as características de cada operação. Paralelamente, para apurar os custos inerentes a

atividade do aterro sanitário, foram estimados os custos fixos e variáveis da atividade que se encontra em funcionamento.

Os custos dos aterros sanitários foram estimados empregando os valores obtidos no estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV) sobre aterros sanitários no Brasil. No estudo, em parceria com a ABETRE (Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos), encontram-se disponíveis dados de viabilidade econômica, que incluem informações sobre custos em diversas plantas de aterros sanitários, com diversas capacidades de tratamentos de RSU (FGV, 2007).

4.9 METODOLOGIA ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO (ACB)

A ACB é uma técnica de análise econômica bastante utilizada para priorização de projetos na avaliação de alternativas de políticas públicas. Esta metodologia se baseia na comparação entre custos e benefícios associados aos impactos no meio ambiente em cenários propostos.

Segundo Motta (1998), os benefícios são aqueles bens e serviços ecológicos ou ambientais, cuja conservação acarretará na recuperação ou manutenção destes para a sociedade. Isto impacta positivamente o bem-estar das pessoas. Logo, estes benefícios ambientais devem ser bem definidos no início da pesquisa e quantificados segundo metodologia proposta, assim como os custos para sua implantação.

Para a definição dos valores dos custos e dos benefícios, utiliza-se uma análise com perspectiva ecológica, a qual considera a maximização do bem estar total, bem como minimiza custos de oportunidade e distributivos. Isto porque se utiliza dos custos mínimos necessários para o funcionamento do projeto e sua recorrente distribuição na sociedade. A ACB utiliza preços de mercado sem subsídios e outras distorções de mercado, ajustando estes com pesos distributivos para incorporar questões de equidade e incluindo a valoração monetária de externalidades ambientais.

Em uma ACB os valores são considerados em valor presente, ou seja, considerando os custos e benefícios futuros descontados a uma taxa de juros

apropriada, definida de acordo com uma estimativa das condições de mercado durante o período de projeto.

As seguintes equações são os indicadores de viabilidade econômica de interesse, utilizados em ACB:

- Valor presente líquido (VPL): o projeto é viável se $VPL \geq 0$

$$VPL = \sum b_t - c_t / (1 + d)^t \quad (13)$$

- Relação benefício-custo (B/C): o projeto é viável se $B/C \geq 1$

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum b_t / (1+d)^t}{\sum c_t / (1+d)^t} \quad (14)$$

- Taxa interna de retorno (TIR): o projeto é viável se $TIR \geq d$

$$\sum b_t - c_t / (1 + TIR)^t = 0 \quad (15)$$

Em que:

- (b_t) = benefícios ambientais gerados ao longo do tempo;
- (c_t) = custos do investimento e operação no tempo (receitas – despesas);
- (d) = taxa de juros aplicada (ou taxa de desconto) e;
- (t) = período escolhido.

4.9.1 Seleção da Taxa de Juros

A taxa de juros a ser utilizada tem por objetivo atualizar os valores monetários do projeto e representar o custo de oportunidade do capital e o fluxo de benefícios líquidos. Além disso, tem a função de auxiliar aos gestores na tomada de decisão.

O presente estudo considera a média da Taxa Selic dos últimos 24 meses, que é de 7,8%. Esta taxa tem sido largamente utilizada como balizador dos investimentos produtivos no Brasil. Isto porque tem a função de remunerar os títulos do governo e, portanto, representa uma aplicação financeira de elevada remuneração e, também, pode ser considerado um investimento seguro. Os investidores sempre comparam o retorno financeiro de um investimento em capital produtivo com um investimento financeiro de retorno elevado para tomar suas decisões de investimento. Logo, a Taxa Selic, como indicador da remuneração de um ativo financeiro, representa o custo de oportunidade do capital.

4.10 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS - PROJETOS

Para a definição dos cenários considerou-se a geração de resíduos entre janeiro e dezembro do ano 2017, conforme tabelas apresentadas no item 4. Caracterização da Área de Estudo. A quantidade de resíduos foi atualizada de acordo com o crescimento populacional no período de análise.

Considera-se adequado, para avaliação de aterros sanitários, um ciclo de vida de 42 anos: sendo dois para implantação, vinte de operação e mais vinte de monitoramento após encerramento. Considerando que os aterros sanitários da área de estudo foram iniciados em 2010, pode-se considerar que estes se encontram no ano 12, e assim ter-se-ia mais 30 anos de funcionamento, ou seja, até o ano de 2050. Esta mesma dimensão temporal foi utilizada para os cálculos da nova tecnologia, para efeitos de comparação.

Optou-se por aplicar coeficiente de crescimento populacional conforme projeção para a RMC (Região Metropolitana de Curitiba) apresentado pelo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES (2018). Este estudo apresenta um crescimento populacional em torno de 30% ao longo do período de 2017/2050 nesta região. O estudo mais recente do IBGE (2019) para Curitiba e RMC indica uma taxa anual de crescimento médio para Curitiba e RMC de 0,89% apresentando ao final do período valores muito aproximados. Este crescimento

populacional foi acrescentado proporcionalmente ao total de RSU (por categoria de resíduos) gerado durante o período analisado.

A localização das unidades de pirólise, seleção de recicláveis e compostagem foram consideradas na área do atual aterro sanitário da empresa Estre (de maior quantidade de recebimentos de RSU). Isto objetiva não alterar o atual sistema de coleta e transporte dos municípios participantes do CONRESOL, com o intuito de se obter o menor impacto possível no atual sistema.

Apesar da tecnologia prevista considerar crescente a demanda de resíduos, existe capacidade ociosa na planta instalada e a operação projetada, inicialmente prevista para 2 turnos na separação de reciclagem e compostagem e 3 turnos para a planta de pirólise. Adicionalmente, para o ano de 2030, o estudo considerou a implantação de mais equipamentos necessários de acordo com o crescimento do tratamento de resíduos do período de 2030 a 2050.

4.10.1 Cenário 01 (REC+PIR)

Este cenário consiste na implantação de unidades de triagem mecanizada com foco no aproveitamento de recicláveis cuja recuperação é de cerca de 12% dos resíduos na forma de recicláveis comercializáveis, conforme descritivo do fornecedor do equipamento. Na estimativa, estes materiais são comercializados com as empresas de reciclagem, ao preço de mercado atual.

O Combustível Derivado de Resíduos - CDR¹¹ representa cerca de 23% do volume total, e o restante dos materiais não recicláveis (rejeitos) serão encaminhados para o sistema de pirólise e geração de energia, totalizando 88% do volume total.

O rejeito gerado pelo sistema pirolítico, representa cerca de 5% do volume inicial de entrada no sistema de pirólise quando da utilização de RSU, conforme

¹¹ CDR – Combustível Derivado de Resíduos. É um termo que se aplica a materiais com alto poder calorífico (geralmente em torno de 18 MJ/kg) que são removidos dos fluxos de resíduos. Os beneficiários desse material são os fornos de cimento e usinas de energia.

apresentado pelo fabricante. Este volume, na simulação, é disposto no próprio aterro sanitário existente na atualidade.

Esta alternativa utiliza o aproveitamento da parcela orgânica e CDR com a implantação de uma unidade de pirólise e uma unidade de seleção de recicláveis ambas localizadas no aterro da empresa Estre. Além disso, tem-se a geração de energia elétrica para as unidades do sistema e comercialização do excedente no mercado. Portanto, assim como a comercialização dos materiais recicláveis nobres, tem-se ainda a comercialização de energia elétrica.

4.10.2 Cenário 02 (REC+COM+PIR)

Este cenário prevê a mesma unidade de triagem mecanizada apresentada no Cenário 01. O CDR (23% da massa inicial) é encaminhado para as unidades de pirólise para a produção de energia juntamente com o material não orgânico e não reciclável, totalizando 46% do total de RSU.

Diferentemente do cenário anterior, o restante dos materiais orgânicos é encaminhado para o sistema de compostagem. O composto gerado é comercializado a valores de mercado. O rejeito gerado pelo sistema pirolítico, representa cerca de 5% do volume inicial de entrada no sistema de pirólise é disposto no aterro sanitário existente na atualidade.

4.10.3 Cenário 03 (PIR)

Este cenário não contém a unidade de triagem mecanizada, tampouco a planta de compostagem apresentada no Cenário 02. Portanto, será considerado que todo RSU que é encaminhado ao aterro da empresa Estre é conduzido diretamente às unidades de pirólise, aumentando assim a capacidade de produção de energia.

Esta alternativa utiliza todo o material que é recebido na unidade de tratamento de RSU como insumo para a planta de pirólise. Adicionalmente, tem-se a

produção de energia elétrica para as unidades do sistema de pirólise e comercialização do excedente no mercado. Neste cenário não existe a separação dos materiais, em recicláveis, CDR e orgânicos. Porém, é realizada a separação magnética de materiais metálicos após pré-tratamento de trituração para aumento da eficiência na pirólise, para partículas com no máximo $D = 20\text{mm}$, conforme orientação do fabricante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTIMATIVA DOS EQUIPAMENTOS DE PIRÓLISE

Neste estudo foi adotado para implantação nos cenários do projeto de investimento, o equipamento da IPK PYROFLEX (Fabricante de reatores de pirólise) e W2e Bioenergia (Integradora de sistemas de pirólise), que desde o ano de 2007 vem desenvolvendo tecnologia totalmente brasileira.

O reator tem capacidade de processamento de 250 kg/hora e foi projetado em 2010. Os seus equipamentos periféricos, foram submetidos a vários testes, processando tipos diferentes de resíduos industriais, domiciliares, pneus e biomassas. As medições de rendimento energético e de emissões ambientais foram contratadas junto a empresas do setor.

Nesta solução tecnológica a temperatura é mantida entre 800° C e 900°C para que a matéria se volatilize formando assim o gás síntese. Existe produção de óleos (que são reaproveitados na pirólise), e a cinza resultante do processo é da ordem de 5% da massa inicial.

Para identificação da eficiência do processo, foi realizada pela empresa fabricante uma correlação entre a massa de RSU fornecida e sua quantidade equivalente em CDR. Existe uma correlação de que cada 100 kg de RSU resultam em média 62 kg de CDR, ou seja, $CDR = 62\% \text{ RSU}$.

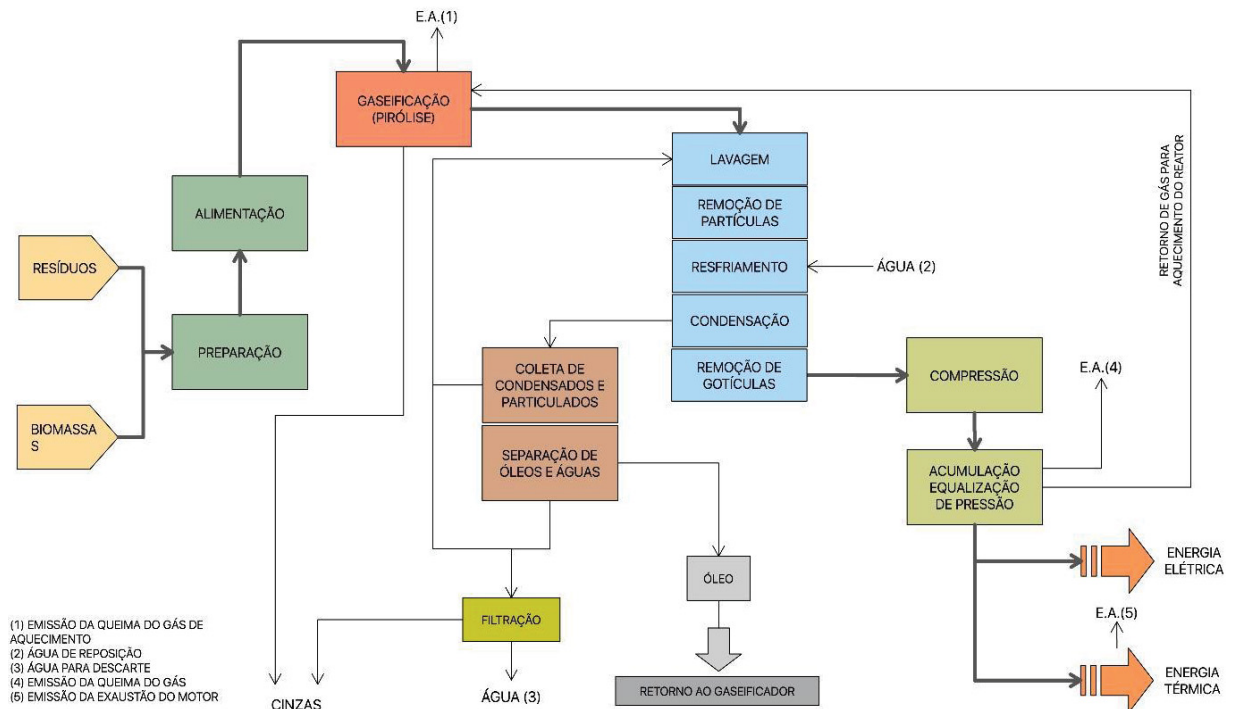
Para a produção deste CDR, é considerado o RSU triturado, expurgado de metais, e desidratado por fonte térmica disponível (gerada pelo próprio reator pirolítico), até atingir 15% de umidade, antes da alimentação no processo. A energia gasta para a redução do teor de umidade foi descontada do cálculo da geração de energia.

O CDR considerado tem Poder Calorífico Interno (PCI) de 3.500 kcal/kg, teor de umidade de 15% e teor de sólidos inertes de 5%. Conforme Li *et al* (1999), o poder calorífico do gás síntese apresentado em sua análise laboratorial, utilizando RSU pré-tratado tem entre 3.000 a 5.500 kJ/kg e densidade de 1,39 kg/m³. Sendo assim, as

características resultantes da planta do fabricante estão de acordo com o que foi identificado em análises laboratoriais. Conforme descrito pelo fabricante, o poder calorífico do CDR gerado é de 4.500 kcal S.M.S (sobre massa seca), umidade < 28% e granulometria < 50 mm.

O processo de pirólise é contínuo e totalmente automatizado, cujo Fluxograma de funcionamento pode ser observado na Figura 6. Uma descrição minuciosa das etapas do processo está apresentada no Apêndice 04.

Figura 6 – Diagrama do processo de Pirólise dos RSU



FONTE: IPK PIROFLEX (2019)

No processo de pirólise admite-se que a umidade não depende dos equipamentos instalados, mas sim da umidade relativa na área da instalação, da umidade do material de entrada (dos RSU), chuvas, conteúdo orgânico e renovações de ar na ventilação do galpão. Neste sentido, foi considerada uma média anual de umidade relativa do ar em Curitiba/PR de 80% e, também, que o material de entrada tem < 40% de umidade e uma densidade de 300 kg/m³.

As variáveis consideradas na formação do Gás Síntese, informadas pelo fabricante, são:

- 700 kg Gás Síntese por 1.000 kg de CDR;
- Densidade do gás síntese: 0,90 kg/m³; conservador comparando-se com Li *et al* (1999), que é de 1,39 kg/Nm³;
- Volume do gás síntese: 888 Nm³/kg;
- PCI do gás síntese: 3.500 kcal / Nm³;

A estimativa de produção de energia elétrica por hora, por reator, é de:

- Abastecimento = 1.052 kg/hora de CDR/hora = 1.700 kg/hora de RSU coletado;
- Energia de Entrada = Carga de CDR (kg/hora) x Poder Calorífico (kcal/m³) = 1.052 (kg/hora) x 3.500 (kcal / Nm³) = 3.682 Mcal/h
- Volume gás síntese total = Carga de CDR (kg/hora) x Volume gás síntese (Nm³/kg) = 1.052 (kg/hora) x 888 Nm³ / kg = 934 Nm³ / h
- Volume de resíduos inertes da pirólise 5% = Carde de RSU (kg/hora) 1.052 (kg/hora) x 5% = 85kg/hora
- Retorno gás síntese = 25%
- Volume gás síntese disponível = Volume do gás síntese Nm³/kg x 25% x Carga de CDR (kg/hora) = 700 Nm³/h
- Energia gás síntese = Volume gás síntese disponível (Nm³/h) x PCI do gás síntese kcal / Nm³ x Carga de CDR (kg/hora) = 2.758 Mcal/h
- Eficiência Motogerador = 32%
- Potência Elétrica = 2.758 x 0,32 x 4,2 / 3.600 = **1,03 MW**

Para efeito segurança, pelo nível de incerteza da eficiência real do equipamento, visando não superestimar os resultados da operação e evitar um elevado viés, foi considerado um fator de segurança (FS) de 15% quanto a capacidade nominal dos reatores pirolíticos.

Conforme informações do fabricante, a estimativa de funcionários para operar cinco reatores pirolíticos, ou seja, processamento de 8,5 t/hora de RSU, está apresentada na tabela 11. Foram incluídos dois gerentes gerais da planta devido a quantidade de reatores a serem utilizados. Os mecânicos atendem tanto à pirólise, quanto à operação de separação de reciclagem e compostagem. Esta mão de obra é terceirizada e este custo está incluso nos custos operacionais de manutenção.

Tabela 11 – Quantidade de funcionários para cinco reatores pirolíticos, por turno

Funções	Quantidade/turno
Gerente da planta	2 (Para toda a planta)
Engenheiro Eletricista	2
Técnicos operacionais	8
Auxiliares técnicos	8

FONTE: IPK PIROFLEX (2019)

O fabricante informou que o aumento do número de reatores não apresenta ganho de escala, ou seja, trata-se de uma tecnologia de coeficientes fixos de produção. Portanto, para efeito de uma investigação inicial, os cálculos para novas plantas, com vistas às ampliações de capacidade, podem ser tratados de forma proporcional aos valores apresentados na tabela 11. Para a estimativa de área dos galpões industriais, foi utilizada uma área específica de 150,0 m²/reator. Com base nas tabelas apresentadas no Item 4, o número de reatores pirolíticos necessários para cada cenário, está apresentado na tabela 12:

Tabela 12 – Quantidade de reatores pirolíticos e parâmetros de processamento, por cenário

Parâmetros	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Cenário 03 (PIR)
Três turnos (h/dia)	24	24	24
Capacidade RSU/reator FS=15% (t/hora)	1,45	1,45	1,45
Número de reatores 1º etapa 2020-2029	66	35	74
Número de reatores 2º etapa 2030-2050	78	42	88
Área galpões industriais (m ²)	11.700	6.300	13.200

FONTE: Autor (2020)

A partir da tabela 12 nota-se que para os cenários 01 e 03, sem a compostagem, o número de reatores é maior. Isto porque os reatores devem processar as matérias orgânicas, que no cenário 02 são encaminhadas para a planta de compostagem. Em termos financeiros, isso representa uma maior inversão de capital nos cenários 01 e 03, uma vez que os reatores de pirólise são mais caros que a planta de compostagem.

Da operação dos equipamentos de pirólise tem-se a estimativa dos resultados apresentados na tabela 13. Isto é, com respeito a quantidade de resíduos pirolisados, energia comercializável e os resíduos inertes gerados para os anos base e cenários adotados.

Tabela 13 – Estimativas dos resultados do processamento via pirólise dos Cenários 01, 02 e 03, para os anos 2020, 2030, 2040 e 2050

Resultados dos processamentos	2020	2030	2040	2050
Cenário 01 - (REC+PIR)				
Resíduos Pirolisados (t/ano)	733.149	796.325	864.944	939.476
Energia Comercializada (MW/H)	53	58	63	68
Resíduo de pirólise (t/ano)	42.036	45.658	49.592	53.866
Cenário 02 - (REC+ COM + PIR)				
Resíduos Pirolisados (t/ano)	381.975	414.890	450.641	489.472
Energia Comercializada (MW/H)	28	30	33	36
Resíduo de pirólise (t/ano)	24.760	26.894	29.211	31.728
Cenário 03 - (PIR)				
Resíduos Pirolisados (t/ano)	832.549	904.290	982.212	1.066.849
Energia Comercializada (MW/H)	61	66	72	78
Resíduo de pirólise (t/ano)	47.006	51.364	55.790	60.597

FONTE: Autor, (2020)

Pode-se observar que nos cenários 01 e 03, por haver uma maior quantidade de reatores pirolíticos, existe uma maior quantidade de energia gerada. Isto decorre do maior volume de resíduos pirolisados, o que se reflete em um maior montante de resíduos da pirólise.

No cenário 02 parte importante dos resíduos (a parte orgânica) é tratada pela compostagem. Logo, para este cenário 02 tem-se uma menor quantidade de resíduos da pirólise pois a quantidade de resíduos pirolisados é menor. A vantagem aparente

do cenário 02 é de que parte importante dos resíduos se transforma em fonte de receita com a comercialização do “composto”, em substituição à comercialização da energia. Contudo, somente o balanço de custos e receitas pode demonstrar qual é a opção economicamente mais rentável.

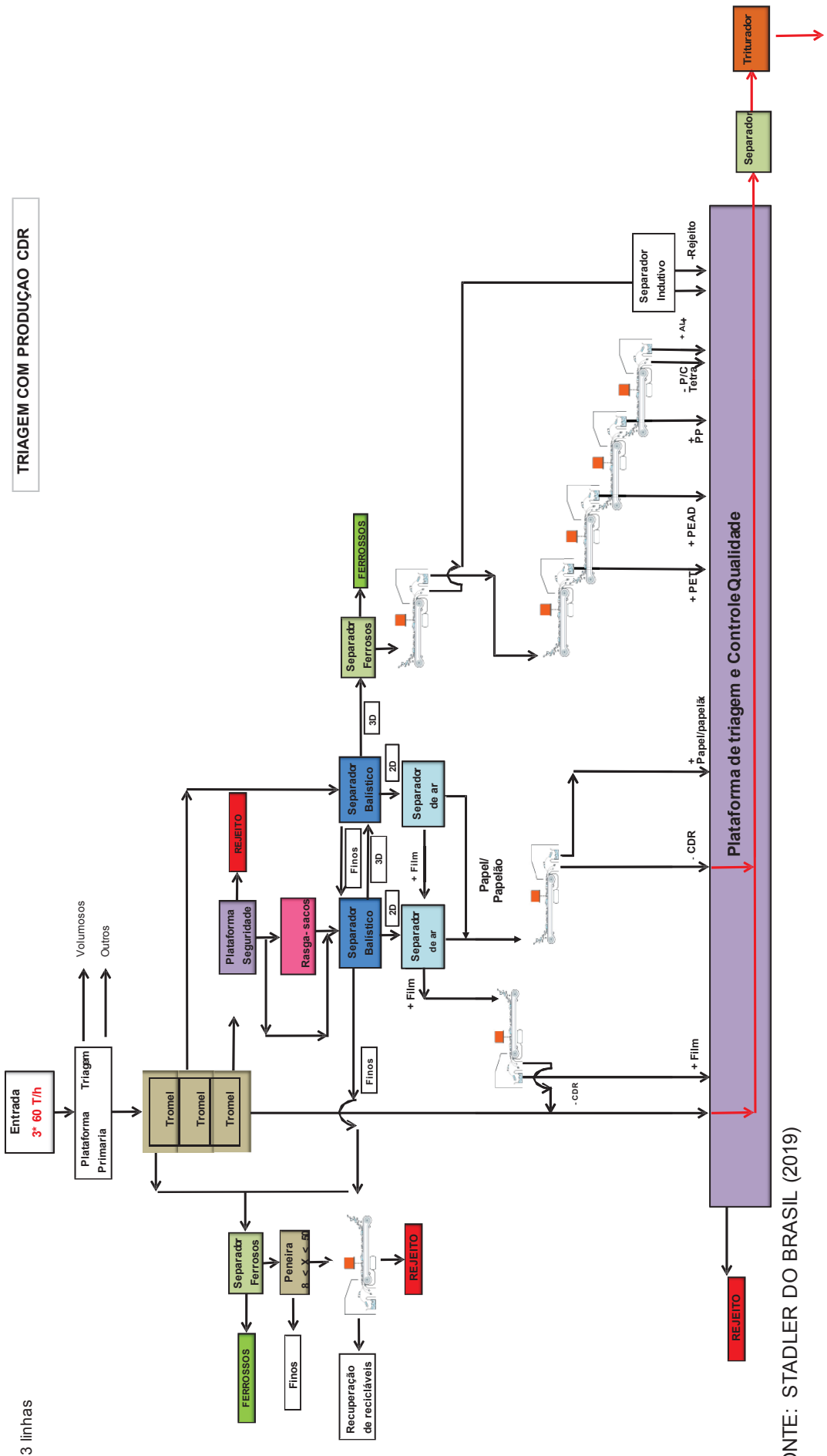
5.2 ESTIMATIVA DOS EQUIPAMENTOS DE SEPARAÇÃO DE RECICLÁVEIS

Para a análise realizada neste estudo, foi adotado equipamento proposto pela STADLER DO BRASIL (2019), filial da STADLER *Anlagenbau GmbH*, empresa alemã fabricante de equipamentos para classificação de Resíduos Sólidos. Este processo atinge a separação de produtos recicláveis de aproximadamente 12% do material de entrada (os RSU). Para tanto, prevê etapas de catação que visa aumentar o índice de recuperação.

A figura 7 apresenta o processo adotado para classificação do material e elenca as seguintes etapas de processamento: Entrada/Alimentação, triagem de volumosos, peneiramento de finos, peneiramento de embalagens, abertura de sacos, peneiramento de volumosos, separação balística, separação de metais ferrosos, separação ótica de recicláveis 3D, separação indutiva de metais, separação ótica de recicláveis 2D, separação por ar 2D, controle de qualidade (negativa), recuperação de finos, trituração para CDR, prensagem de material e análise do CDR. Uma descrição minuciosa das etapas do processo está apresentada no Apêndice 03.

A capacidade de instalação foi dimensionada de acordo com a quantidade de material a ser processada, definida pelos dados fornecidos na tabela gravimétrica. Foram planejadas três linhas de processo de separação e acréscimo de mais uma linha no ano de 2030.

Figura 7 – Diagrama do processo de separação de recicláveis



FONTE: STADLER DO BRASIL (2019)

Conforme sugerido pelo fabricante, a área necessária para implantação desta unidade é de aproximadamente 1,5ha, composta por:

Tabela 14 – Área necessária para implantação das unidades de separação de recicláveis

Descrição da área	Área (m ²)
Área coberta (total)	9.130
Área de entrada	1.950
Área de tratamento	5.700
Área de trituração	520
Área de estocagem CDR	960
Área de terreno total estimada	15.065

FONTE: STADLER DO BRASIL (2019)

A área coberta total refere-se apenas as necessidades do processamento de separação de recicláveis. Cabe informar que existe área disponível no terreno de propriedade da empresa Estre Ambiental.

A potência instalada dos equipamentos é de 2.330 kW, ressalta-se que o consumo elétrico é de aproximadamente da 70 a 75% da potência instalada. A eficiência de recuperação de materiais esperada para a solução adotada, de acordo com a gravimetria apresentada (tabela 09), está exposta na tabela 15.

Tabela 15 – Eficiência do separador de recicláveis por material reciclável - 2019

Material	Eficiência
PET	75%
PEAD	70%
PP	50%
Tetrapak	60%
Papel/Papelão	17,8%
Filmes	50%
Ferrosos	90%
Alumínio	40%
Vidro	40%

FONTE: STADLER DO BRASIL (2019)

Percebe-se na tabela 15, que a eficiência esperada para a separação do papel e papelão é baixa. Ou seja, apenas 17,8% do total deste material recebido para processamento é efetivamente separado como reciclável. Esta projeção considerou que grande parte do RSU virá contaminado, pois existe coleta seletiva nos municípios

que é destinada à empresa Essencis. Por outro lado, o material encaminhado para tratamento pela empresa Estre deveria ser apenas material úmido e/ou orgânico. Mas, via de regra, sempre existem materiais possíveis de reciclagem encontrados misturados aos resíduos úmidos.

Se analisada a separação de materiais PET, a eficiência é elevada (75%) e superior aos demais materiais recicláveis. Isto representa uma quantidade importante de recicláveis que deixa de poluir o meio ambiente e é encaminhado para a reciclagem.

A partir da eficiência esperada para todos os materiais pode-se obter as porcentagens e quantidades de material reciclável separado, em relação ao total de resíduos recebido pela empresa Estre, conforme gravimetria. A tabela 16 apresenta os volumes e porcentagens dos materiais recicláveis separados nos anos base considerados na pesquisa.

Tabela 16 – Materiais recicláveis separados em relação ao total de resíduos - anos 2020, 2030, 2040 e 2050

Material	% do total	2020	2030	2040	2050
Filme	1,85%	1.839	1.997	2.170	2.356
PET cristal	0,56%	559	607	660	717
PET mix	0,07%	67	73	79	86
PEAD	4,47%	4.439	4.822	5.237	5.689
PP	1,57%	1.561	1.695	1.841	2.000
Tetrapak	0,73%	726	788	856	930
Papel	0,38%	380	413	449	487
Papelão	0,88%	878	953	1.035	1.125
metais FE	0,61%	608	661	718	780
metais Não FE	0,25%	250	272	296	321
Vidro	0,56%	561	609	661	718
Total	12%	13.888	14.921	16.042	17.258

FONTE: Autor (2020)

Em resumo, apenas cerca de 12% do material entregue no aterro é passível de separação e venda como recicláveis. O restante destes materiais terá processamento diferenciado, entre compostagem e pirólise.

Conforme informação do fabricante dos equipamentos, a tabela 17 apresenta a estimativa da quantidade de funcionários para o sistema de separação de recicláveis com capacidade de 2.880 t/dia, compatível o volume hoje processado pela empresa Estre.

Tabela 17 – Quantidade de funcionários para operação do separador de recicláveis mecanizado, por turno

Funções	Quantidade (1º Etapa)	Quantidade (2º Etapa)
Gerente da Planta	1	1
Supervisor de Produção	2	2
Ajudante Voluminosos (Plataforma Primaria)	15	19
Ajudante Seleção	50	60
Operador Sistema PLC	4	6
Operador Prensa	9	11
Ajudante de Carga p/ Carretas	9	13
Operador de Empilhadeira	6	8
Operador de Alimentação	4	6
Ajudante de Limpeza e Conservação	12	14

FONTE: STADLER DO BRASIL (2019)

Como pode ser observado, a maior quantidade de mão de obra destina-se ao segmento de seleção dos materiais, apesar do elevado nível de automatização do processo. Na realidade, se todo processo fosse manual a quantidade de funcionários seria muito maior, isto porque a seleção ótica com sensores e software faz grande parte do trabalho.

5.3 ESTIMATIVA DOS EQUIPAMENTOS DE COMPOSTAGEM

Para os cenários de investimento foi considerada a implantação do sistema de compostagem “DANO”, que utiliza um cilindro rotativo metálico para acelerar a taxa de compostagem. Este equipamento é utilizado com sucesso nos municípios de São José dos Campos/SP e São Paulo - Vila Leopoldina, conforme exposto por (DA SILVA *et al*, 2005).

Cabe lembrar que o produto resultante do processamento de matéria orgânica no sistema DANO é chamado de pré-composto. Isto porque não possui qualidade

suficiente para uso agrícola “*in natura*”, uma vez que a sua maturação é incompleta e a carga patogênica é elevada. Portanto, torna-se necessário finalizar a compostagem em leiras no pátio para atingir o nível de maturação aceitável para fins agrícolas.

Cada reator cilíndrico adotado em São José dos Campos/SP possui 3 metros de diâmetro e 35 metros de comprimento, com capacidade diária de 50 t/dia. Devido ao tamanho fora de padrão dos cilindros metálicos disponíveis no mercado foi definido neste estudo o uso de cilindros com 1,8 metros de diâmetro e 15 metros de comprimento com capacidade de 6 t/dia. Para efeitos de segurança desta análise, a eficiência foi reduzida em 25% devido à mudança das dimensões do equipamento.

Conforme apresentado no Item 4, a parcela de matéria orgânica passível de compostagem é de aproximadamente 42% do volume total de RSU. De acordo com Reis (2005), no balanço de massa apresentado no seu estudo, verificou-se que na compostagem de resíduos sólidos urbanos, o percentual médio de húmus obtido, ao final da maturação é equivalente a 26% dos resíduos orgânicos totais.

Sendo assim, a tabela 18 apresenta a quantidade de resíduos destinados para a compostagem, o número de reatores DANO e o material composto comercializável resultante, para os anos base do Cenário 02.

Tabela 18 – Estimativa das características do processo de compostagem no Cenário 02, para os anos 2020, 2030, 2040 e 2050

Características	2020	2030	2040	2050
Resíduos Compostados (t/ano)	351.171	381.431	414.299	449.999
Número de Reatores DANO	175	210	210	210
Composto comercializável (t/ano)	91.304	99.172	107.718	117.000

FONTE: Autor (2020)

Como a compostagem se estende por mais 60 dias após passar pelo sistema de cilindros “DANO”, torna-se necessário um grande pátio para a compostagem de matéria orgânica em leiras, visando finalizar o processo de compostagem. Segundo o Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos (MMA, 2010), essa quantidade de resíduo geraria o seguinte dimensionamento do pátio e leiras:

$$A_{\text{seção}} = (1,5 \times 1,5) / 2 = 1,13 \text{ m}^2$$

Admitindo-se que a densidade dos resíduos a serem submetidos à compostagem é da ordem de 550 kg/m³, o volume para 1.000 kg de resíduos é igual a 1,82 m³. Então, considerando a seção de leiras (linearmente) e este volume, a estimativa de pátio de maturação está apresentado na tabela 19.

Tabela 19 – Características e estimativa da área de pátio para a compostagem - Cenário 02 - anos 2020, 2030, 2040 e 2050

Características	2020	2030	2040	2050
Tratamento composto - (t/dia)	962	1.045	1.135	1.233
Volume leiras maturação (60 dias) – (m ³)	57.727	62.701	68.104	73.972
Extensão leiras de 1,5 m de largura - (m)	86.590	94.051	102.156	110.959
Número de leiras 500 metros - (uni)	173	188	204	222
Área de pátio (3 metros entre leiras) – (m ²)	389.655	423.232	459.701	499.314

FONTE: Autor (2020)

A taxa recomendada pelo MMA (2010), para o pátio de pequenas localidades é de 750 m²/t de composto. Aqui, para os cenários, propõe-se uma taxa 405 m²/t, devido a inserção do processo “DANO” de aceleração de maturação, o qual diminui de 120 dias para 60 dias o tempo de maturação nas leiras em média, consequentemente reduzindo a área necessária. Mesmo assim, percebe-se que a área necessária cresce aproximadamente 28% entre 2020 e 2050.

Conforme MMA (2010), área destinada ao pátio de compostagem deve ser impermeabilizada, com declividade de 2% em relação ao ponto de captação de efluentes eventualmente gerados no processo (lixiviado). As canaletas de drenagem em concreto instaladas em torno do pátio conduzem os líquidos até um ponto de tratamento. Alguns órgãos ambientais exigem que a impermeabilização do pátio seja feita em concreto ou asfalto.

Os líquidos percolados devem ser encaminhados para tratamento na unidade de tratamento de percolados do aterro sanitário existente, ou no caso de unidades de compostagem isoladas para fossas sépticas com sumidouro ou lagoas. Neste estudo será considerado o sistema atualmente implantado no Aterro Sanitário da empresa Estre, sendo assim não serão incluídos custos para esse processo.

O MMA (2010) estima que para o processamento 30 t/dia são necessários 21 trabalhadores, entre operadores de máquinas e técnicos, porém considerando 120 dias de maturação. O estudo aqui proposto considera a metade do número de funcionários devido ao sistema “DANO” operar em 60 dias. Sendo assim, foram estimados 202 funcionários/turno para esta operação na segunda etapa.

Tabela 20 – Quantidade de funcionários para as plantas de compostagem, segundo funções para dois turnos de trabalho - 1ª e 2ª etapas de implantação

Funções	Quantidade 1ª Etapa	Quantidade 2ª Etapa
Gerente da Planta	1	1
Supervisor de Produção	5	8
Técnico	15	20
Operadores máquinas	53	60
Ajudante de Limpeza e Conservação	108	113

FONTE: Autor (2020)

5.4 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DA PIRÓLISE

Conforme cotação realizada no ano de 2019, os preços dos equipamentos pirolíticos e geradores de energia, com capacidade e eficiência descritas anteriormente, estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21 – Custos dos equipamentos para os reatores pirolíticos, segundo cenários, em milhões de Reais (R\$), 2019

Equipamentos	Cenário 01 (REC+PIR) e Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Cenário 03 (PIR)
Módulo de Trituração / Secagem (*)	-	0,30
Módulo de Alimentação (*)	-	0,20
Módulo de Pirólise	1,20	1,20
Módulo Lavagem Gás	0,60	0,60
Módulos Instrumentação	0,30	0,30
Serviços de Instalação	0,60	0,60
Indiretos, Licenças e Margens	1,00	1,00
Geradores de Energia	4,50	4,50
Total Unitário	8,20	8,70

FONTE: IPK PIROFLEX (2019) (*) Inclusos no separador recicláveis

Conforme sugerido pelo fabricante, a área coberta necessária para cada reator pirolítico é em média de 150 m². Sendo assim, a área total de barracão, considerando as instalações para os funcionários e escritórios está apresentada na tabela 22. Para a estimativa dos custos de Galpões industriais foi utilizado o valor do Custo Unitário Básico para Galpões Industriais (CUB-GI) de abril/2020 cujo valor é R\$ 875,44/m². Este valor é baseado em pesquisa setorial da construção civil e divulgado pelo SINDUSCON/PR. Para os cenários estabelecidos, foi considerado um acréscimo de 20% para fundações e acessos, totalizando R\$1.050,53/m².

Tabela 22 – Características e custos das obras civis e equipamentos de pirólise, segundo cenários

Características/Custos	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Cenário 03 (PIR)
Número de reatores	78	42	88
Custo Total Reatores (em milhões de R\$)	639,60	344,40	765,60
Área Total barracões (m ²)	11.700	6.300	13.200
Custo Barracão Pirólise (em milhões de R\$)	12,29	6,62	13,87
Custo Total (em milhões de R\$)	651,89	351,02	779,47

FONTE: Autor (2020)

Para financiar os custos de implantação ao longo do tempo, foi considerado financiamento junto ao BNDES - *Crédito Direto Médias Empresas TFB:120.30: 8,35% a.a.* base julho/20, considerando pagamento em 10 anos. Portanto, o custo de investimento para o sistema de pirólise, para cada cenário proposto, ao longo do período de dispêndio, está apresentado na tabela 23.

Tabela 23 – Estimativa dos custos das obras civis e equipamentos de pirólise, fase de implantação, segundo cenários - em Milhões de R\$

Período	Custos no Cenário 01 (REC+PIR)	Custos no Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Custos no Cenário 03 (PIR)
0	55,35	29,36	65,77
1	59,97	31,81	71,26
2	64,98	34,47	77,21
3	70,40	37,35	83,65
4	76,28	40,47	90,64
5	82,65	43,84	98,21
6	89,55	47,50	106,40
7	97,03	51,47	115,29
8	105,13	55,77	124,91
9	113,90	60,42	135,34
10	13,41	7,82	16,60

Período	Custos no Cenário 01 (REC+PIR)	Custos no Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Custos no Cenário 03 (PIR)
11	14,53	8,48	17,99
12	15,74	9,18	19,49
13	17,06	9,95	21,11
14	18,48	10,78	22,88
15	20,03	11,68	24,79
16	21,70	12,66	26,86
17	23,51	13,71	29,10
18	25,47	14,86	31,53
19	27,60	16,10	34,16
Total	1.012,77	547,70	1.213,18

FONTE: Autor (2020)

As estimativas dos custos de operação com mão de obra, ao longo do tempo, estão expostas na tabela 24. Além dos salários anuais, considerou-se os demais encargos trabalhistas e sociais de 95,22% (empresa não optante do simples). Para o turno noturno foi adicionado 20% ao valor do salário (adicional noturno). Além disso, foram consideradas duas equipes de folguistas.

Tabela 24 – Massa salarial anual com encargos trabalhistas da equipe de pirólise, segundo funções - 2020

Funções	Massa salarial anual com encargos - Turnos normais	Massa salarial anual com encargos - Turnos noturno	Massa salarial anual com encargos - Folguista
Gerente da planta	R\$ 351.396,00	R\$ 421.675,20	R\$ 210.837,60
Engenheiro Eletricista	R\$ 175.698,00	R\$ 210.837,60	R\$ 105.418,80
Técnicos operacionais	R\$ 70.279,20	R\$ 84.335,04	R\$ 42.167,52
Auxiliares técnicos	R\$ 31.625,64	R\$ 37.950,77	R\$ 18.975,38

FONTE: Autor (2020)

Outros custos necessários são inerentes à locação de veículos operacionais para transporte de material (RSU) internamente à unidade de compostagem. Estes custos foram considerados em todos os cenários (Tabela 25).

Tabela 25 – Quantidade e custo com veículos necessários ao processo de pirólise em Milhões de R\$ - 2020

Tipos de Veículos	Quantidade	Valor/h	Total horas/ano	Total/ano
Caminhão Basculante	10	R\$ 90,00	4.224	3,80
Pá carregadeira	6	R\$ 170,00	4.224	4,31
Empilhadeira	6	R\$ 170,00	4.224	4,31

FONTE: STADLER DO BRASIL (2019)

Com relação aos gastos com manutenção (mão de obra e peças), conforme o fornecedor, estes custos são aproximadamente R\$ 66.000,00/reator/ano. Sendo assim, os gastos com manutenção em cada cenário estão expostos na tabela 26.

Tabela 26 – Custos operacionais de manutenção da pirólise - em Milhões de R\$

Período	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Cenário 03 (PIR)
0	109,69	63,53	120,64
1	113,53	65,75	124,87
2	117,51	68,05	129,24
3	121,62	70,43	133,76
4	125,88	72,90	138,44
5	130,28	75,45	143,29
6	134,84	78,09	148,30
7	139,56	80,82	153,49
8	144,45	83,65	158,87
9	149,50	86,58	164,43
10	147,91	82,51	148,53
11	153,09	85,40	153,73
12	158,44	88,38	159,11
13	163,99	91,48	164,68
14	169,73	94,68	170,44
15	175,67	97,99	176,41
16	181,82	101,42	182,58
17	188,18	104,97	188,97
18	194,77	108,65	195,58
19	201,59	112,45	202,43
20	208,64	116,38	209,51
21	215,94	120,46	216,85
22	223,50	124,67	224,44
23	231,32	129,04	232,29
24	239,42	133,55	240,42
25	247,80	138,23	248,84
26	256,47	143,07	257,55
27	265,45	148,07	266,56
28	274,74	153,26	275,89
29	284,36	158,62	285,55
30	294,31	164,17	295,54
Total	5.764,02	3.242,72	5.911,22

FONTE: Autor (2020)

A partir da soma dos custos de implantação e de operação do sistema de pirólise têm-se os custos totais, que estão apresentados na tabela 27. Estes custos são importantes para a análise custo-benefício.

Tabela 27 – Custo total da pirólise, segundo cenários - em Milhões de R\$

Ano	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Cenário 03 (PIR)
0	165,04	92,89	186,41
1	173,50	97,56	196,13
2	182,48	102,52	206,44
3	192,02	107,78	217,41
4	202,16	113,36	229,08
5	212,93	119,29	241,49
6	224,39	125,60	254,71
7	236,59	132,30	268,78
8	249,57	139,42	283,78
9	263,41	147,01	299,77
10	161,32	90,33	165,13
11	167,62	93,87	171,71
12	174,19	97,57	178,60
13	181,05	101,43	185,79
14	188,21	105,46	193,32
15	195,70	109,67	201,19
16	203,52	114,08	209,44
17	211,69	118,69	218,07
18	220,24	123,51	227,11
19	229,18	128,55	236,59
20	208,64	116,38	209,51
21	215,94	120,46	216,85
22	223,50	124,67	224,44
23	231,32	129,04	232,29
24	239,42	133,55	240,42
25	247,80	138,23	248,84
26	256,47	143,07	257,55
27	265,45	148,07	266,56
28	274,74	153,26	275,89
29	284,36	158,62	285,55
30	294,31	164,17	295,54
Total	6.776,79	3.790,42	7.124,40

FONTE: Autor (2020)

Ao analisar os custos totais da pirólise em todos os cenários, fica claro que o cenário 03 é o mais custoso em termos de investimento, isto porque requer maiores quantidades de unidades de pirólise. Contudo, os valores são próximos daqueles apurados para o cenário 01. Este investimento só é significativamente menor no cenário 2, pois tem-se menor custo com unidades de pirólise e o custo com as unidades de compostagem, cujo custo é menor.

5.5 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DA RECICLAGEM

De acordo com a cotação realizada pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba (SMMA) em 2018 e disponibilizada ao público, o preço de um equipamento separador de recicláveis, conforme dimensionado anteriormente exposto, é de €35.225.000,00, para a primeira etapa, e de €11.741.667,00 para a segunda etapa (a partir de 2030). Para a valoração em moeda nacional, foi considerada a cotação média do Euro no mês de janeiro/2020 (R\$ 4,60).

Da mesma forma que os reatores pirolíticos, foi considerado financiamento junto ao BNDES com prazo de 10 anos para os custos com equipamentos e obras civis, os quais consideraram os mesmos valores do sistema de pirólise.

Tabela 28 – Custo e características das obras civis e dos equipamentos separadores de recicláveis, segundo cenários

Características/Custos	Cenários 01 e 02
Número de linhas	4
Custo Total Linhas de processo (milhões de R\$)	216,05
Área Total barracões (m ²)	11.869
Custo Galpões Industriais Recicláveis (milhões de R\$)	12,46
Custo total obras civis e Equipamentos (em milhões de R\$/a vista)	228,53

FONTE: Autor (2020)

A partir destes valores, estimou-se os gastos com implantação dos equipamentos e obras civis estimados para a linha separadora de reciclagem ao longo do período, para os Cenários 01 e 02 (tabela 29). O horizonte de investimentos é de 20 anos a partir do início da operação. Tem-se uma ruptura no processo de investimentos no ano 10 do projeto, com a aquisição de novos equipamentos de

reciclagem necessários e com a amortização total do saldo devedor dos equipamentos instalados no início da operação.

Tabela 29 – Custos com obras civis e equipamentos separadores de recicláveis, segundo cenários 01 e 02, período de implantação - em Milhões de R\$

Período	Custos	Período	Custos
0	17,45	11	7,98
1	18,91	12	8,64
2	20,49	13	9,36
3	22,20	14	10,15
4	24,05	15	10,99
5	26,06	16	11,91
6	28,23	17	12,90
7	30,59	18	13,98
8	33,14	19	15,15
9	35,91	Total	365,45
10	7,36		

FONTE: Autor (2020)

Para a estimativa dos custos operacionais ao longo do período do projeto, foi considerada a equipe de funcionários apresentada anteriormente com os seguintes salários anuais expostos na tabela 30, neste valor está considerado um acréscimo inerente aos encargos trabalhistas e sociais da ordem de 95,22% (empresa não optante do simples).

Tabela 30 – Custos com salários e encargos trabalhistas da equipe de reciclagem

Funções	Salário Anual com LS
Gerente da Planta	R\$ 351.396,00
Supervisor de Produção	R\$ 175.698,00
Ajudante Voluminosos (Plataforma Primaria)	R\$ 31.625,64
Ajudante Seleção	R\$ 31.625,64
Operador Sistema PLC	R\$ 81.992,40
Operador Prensa	R\$ 81.992,40
Ajudante de Carga p/ Carretas	R\$ 31.625,64
Operador de Empilhadeira	R\$ 81.992,40
Operador de Alimentação	R\$ 81.992,40
Ajudante de Limpeza e Conservação	R\$ 31.625,64

FONTE: Autor (2020)

Deve-se destacar que a operação de reciclagem exige uma quantidade elevada de funções, dada a complexidade do processo. Apesar de automatizado, o processo ainda necessita de quantidades elevadas de funcionários, se comparada com a pirólise. Isto resulta em uma maior massa salarial e conseqüentemente maiores custos da operação.

Com relação aos gastos de manutenção operacional (incluído mão de obra) e peças, conforme informado pelo fornecedor, este custo anual é aproximadamente 7% dos custos de implantação. Sendo assim, estimou-se esses gastos ao longo do período, para os Cenários 01 e 02, conforme exposto na tabela 31.

Tabela 31 – Custos de operação do separador de recicláveis, segundo cenários 01 e 02 - em Milhões de R\$

Período	Custos	Período	Custos	Período	Custos
0	22,83	11	35,84	22	52,33
1	23,63	12	37,10	23	54,16
2	24,46	13	38,39	24	56,06
3	25,31	14	39,74	25	58,02
4	26,20	15	41,13	26	60,05
5	27,12	16	42,57	27	62,15
6	28,07	17	44,06	28	64,32
7	29,05	18	45,60	29	66,58
8	30,07	19	47,20	30	68,91
9	31,12	20	48,85	Total	1.316,08
10	34,63	21	50,56		

FONTE: Autor (2020)

A partir dos custos parciais pode-se obter os custos totais de implantação e operação do sistema de recicláveis. Estes custos estão apresentados na tabela 32.

Tabela 32 – Custo com obras civis e o custo operacional do separador de recicláveis, segundo cenários 01 e 02 - em Milhões de R\$

Períodos	Custos	Períodos	Custos	Períodos	Custos
0	40,28	11	43,82	22	52,33
1	42,54	12	45,74	23	54,16
2	44,94	13	47,76	24	56,06
3	47,51	14	49,88	25	58,02
4	50,25	15	52,12	26	60,05
5	53,17	16	54,48	27	62,15
6	56,30	17	56,96	28	64,32

Períodos	Custos	Períodos	Custos	Períodos	Custos
7	59,64	18	59,58	29	66,58
8	63,21	19	62,35	30	68,91
9	67,03	20	48,85	Total	1.681,53
10	41,99	21	50,56		

FONTE: Autor (2020)

5.6 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DA COMPOSTAGEM

Devido aos equipamentos de compostagem não serem produzidos a partir de um processo industrializado e comercializável de grande porte, foi utilizado nos cenários de investimento o sistema “DANO”, com maturação em leiras, descrito anteriormente.

Para a estimativa de valores dos cilindros metálicos empregados na planta de operação, foram utilizadas cotações de reservatórios metálicos, os quais servem para armazenamento de cal e outros materiais agressivos. A capacidade destes reservatórios é de 35 m³. Conforme cotação realizada com o fabricante deste tanque WAM DO BRASIL EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS no ano de 2020, o valor aproximado é de R\$ 150.000,00 (considerando suportes, eixos de rotação, motores e engrenagens necessárias).

Da mesma forma que na pirólise, foi considerado financiamento junto ao BNDES com prazo de 10 anos para os custos com equipamentos e obras civis, os quais consideraram os mesmos parâmetros de pagamentos do sistema de pirólise. Os custos e características da planta de operação estão descritos na tabela 33.

Tabela 33 – Custo e características das obras civis e equipamentos de compostagem, segundo cenário - em Milhões de R\$

Características/Custos	Cenário 02 (REC+ COM + PIR)
Número total de tanques DANO	210
Custo Total Tanques (em milhões de R\$)	34,65
Piso de concreto sob leiras com drenos para chorume (m ²)	202.000
Obra de terraplenagem estimada (m ²)	404.000
Custo Terraplenagem e piso de concreto (em milhões de R\$)	20,00
Custo Total obras civis e Equipamentos (em milhões de R\$)	54,65

FONTE: Autor (2020)

Sendo assim, dadas as características dos equipamentos e seus custos, pode-se estimar os gastos com implantação dos equipamentos e obras civis estimados para o sistema de compostagem ao longo dos primeiros 20 períodos do projeto. A compostagem é inerente ao cenário 02 e os valores estão relatados na tabela 34.

Tabela 34 – Custos com obras civis e equipamentos de compostagem, cenário 02 (REC + COM + PIR) - em Milhões de R\$

Período	Custo	Período	Custo
0	4,89	11	0,85
1	5,30	12	0,92
2	5,74	13	1,00
3	6,22	14	1,08
4	6,74	15	1,18
5	7,30	16	1,27
6	7,91	17	1,38
7	8,57	18	1,49
8	9,28	19	1,62
9	10,06	Total	83,58
10	0,79		

FONTE: Autor (2020)

Para a estimativa dos custos operacionais ao longo do tempo do projeto, foi considerada a equipe de funcionários apresentada anteriormente com os salários anuais relacionados na tabela 35. Deve-se destacar que foi considerado um adicional de 95,22% sobre a massa salarial inerentes aos encargos e obrigações trabalhistas e sociais (empresa não optante do simples).

Tabela 35 – Massa salarial anual com encargos trabalhistas da equipe de compostagem por função - em R\$

Funções	Massa salarial com encargos trabalhistas
Gerente da Planta	R\$ 351.396,00
Supervisor de Produção	R\$ 175.698,00
Técnico	R\$ 175.698,00
Operadores máquinas	R\$ 81.992,40
Ajudante de Limpeza e Conservação	R\$ 31.625,64

FONTE: Autor (2020)

Com relação aos gastos com manutenção operacional (mão de obra e peças), foi considerado um custo anual de aproximadamente 7% dos custos de implantação,

a exemplo do que foi estimado para a planta de pirólise. Sendo assim, os gastos com funcionários e manutenção dos equipamentos do processo de compostagem ao longo do período, para o Cenário 02 está apresentado na tabela 36.

Tabela 36 – Custo de manutenção do sistema de compostagem, segundo cenário 02 (REC + COM + PIR) - em Milhões de R\$

Período	Custo	Período	Custo	Período	Custo
0	26,67	11	43,66	22	63,74
1	27,61	12	45,19	23	65,97
2	28,57	13	46,77	24	68,28
3	29,57	14	48,40	25	70,67
4	30,61	15	50,10	26	73,14
5	31,68	16	51,85	27	75,70
6	32,79	17	53,67	28	78,35
7	33,94	18	55,54	29	81,09
8	35,12	19	57,49	30	83,93
9	36,35	20	59,50	Total	1.589,72
10	42,18	21	61,58		

FONTE: Autor (2020)

Quando somados os custos de implantação e de operação do sistema de compostagem, tem-se o custo total do processo de compostagem. Estes valores encontram-se expostos na tabela 37.

Tabela 37 – Custo total do sistema de compostagem, segundo cenário 02 (REC+ COM + PIR) - em Milhões de R\$

Período	Custo	Período	Custo	Período	Custo
0	31,56	11	44,51	22	63,74
1	32,90	12	46,11	23	65,97
2	34,31	13	47,77	24	68,28
3	35,79	14	49,49	25	70,67
4	37,34	15	51,27	26	73,14
5	38,98	16	53,12	27	75,70
6	40,70	17	55,05	28	78,35
7	42,50	18	57,04	29	81,09
8	44,41	19	59,11	30	83,93
9	46,41	20	59,50	Total	1.673,30
10	42,97	21	61,58		

FONTE: Autor (2020)

5.7 CUSTOS DE OPERAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Os custos do aterro sanitário foram estimados utilizando os valores contidos no estudo da FGV, realizado no ano de 2007 (FGV, 2007). Para a atualização dos valores foi utilizado o Índice Geral dos Preços Médios (IGPM) acumulado entre os anos de 2007 e 2019. Foram deduzidas as despesas com impostos e taxas pois estes incidem no momento do cálculo dos resultados e fluxos de caixa. Também foram deduzidos os custos de encerramento do aterro sanitário pois estes aconteceriam após o período de análise deste estudo. A tabela 38 apresenta os custos totais e reporta um custo/tonelada para um aterro sanitário com capacidade de 2.000 t/dia, com valores corrigidos pelo IGPM para 2020.

Tabela 38 – Estimativa do custo operacional anual e por tonelada de RSU tratado no aterro sanitário – valores atualizados para 2020

	Custo Anual médio (R\$/ano)	Custo por tonelada (R\$/t)
Custo operacional Atualizado, para Aterro de 2000 t/dia	R\$ 28.493.650,99	R\$ 39,03

FONTE: FGV (2007), atualizado Autor

Definido o custo por tonelada, este valor foi extrapolado para as projeções de geração de resíduos nos cenários propostos. Isto considerando a situação atual do tratamento de resíduos. Os valores constam da tabela 39.

Tabela 39 – Custo operacional total do aterro sanitário, segundo períodos do projeto - em Milhões de R\$

Períodos	Custo	Períodos	Custo	Períodos	Custo
0	32,50	11	51,96	22	83,08
1	33,91	12	54,22	23	86,70
2	35,39	13	56,59	24	90,48
3	36,93	14	59,06	25	94,43
4	38,54	15	61,63	26	98,54
5	40,22	16	64,32	27	102,84
6	41,98	17	67,12	28	107,32
7	43,81	18	70,05	29	112,00
8	45,72	19	73,10	30	116,88
9	47,71	20	76,29	Total	2.052,70
10	49,79	21	79,61		

FONTE: Autor (2020)

Para efeito de comparação, a tabela 40 apresenta os custos anuais operacionais estimados para os três cenários propostos e para o atual sistema de aterro sanitário. Portanto, pode-se verificar que os cenários propostos são mais onerosos do que o atual sistema de aterro sanitário.

Tabela 40 – Custo operacionais do aterro sanitário e cenários propostos para o tratamento de RSU com novas tecnologias - em Milhões de R\$

Períodos	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Cenário 03 (PIR)	Aterro Sanitário
0	132,53	113,03	120,64	32,50
1	137,16	116,99	124,87	33,91
2	141,97	121,08	129,24	35,39
3	146,93	125,32	133,76	36,93
4	152,08	129,71	138,44	38,54
5	157,40	134,25	143,29	40,22
6	162,91	138,95	148,30	41,98
7	168,61	143,81	153,49	43,81
8	174,51	148,84	158,87	45,72
9	180,62	154,05	164,43	47,71
10	182,54	159,32	148,53	49,79
11	188,93	164,89	153,73	51,96
12	195,54	170,67	159,11	54,22
13	202,39	176,64	164,68	56,59
14	209,47	182,82	170,44	59,06
15	216,80	189,22	176,41	61,63
16	224,39	195,84	182,58	64,32
17	232,24	202,70	188,97	67,12
18	240,37	209,79	195,58	70,05
19	248,78	217,13	202,43	73,10
20	257,49	224,73	209,51	76,29
21	266,50	232,60	216,85	79,61
22	275,83	240,74	224,44	83,08
23	285,48	249,17	232,29	86,70
24	295,48	257,89	240,42	90,48
25	305,82	266,91	248,84	94,43
26	316,52	276,26	257,55	98,54
27	327,60	285,92	266,56	102,84
28	339,07	295,93	275,89	107,32
29	350,93	306,29	285,55	112,00
30	363,22	317,01	295,54	116,88
Total	7.080,10	6.148,52	5.911,22	2.052,70

FONTE: Autor (2020)

Pode-se observar na tabela 40 que os custos operacionais do tratamento do RSU com as novas tecnologias propostas, são mais onerosos (entre 290% a 345%) que o processo utilizado atualmente, no aterro sanitário, conforme estimativas realizadas. Logo, conclui-se preliminarmente que em termos operacionais o aterro sanitário seria uma alternativa preferida.

No entanto, esta tecnologia não possui as premissas ambientais de reuso e reciclagem que compõe os cenários propostos. Além disso, no aterro sanitário, tem-se problemas de cheiro, paisagem, desvalorização imobiliária do entorno, dentre outros, que nas novas tecnologias são evitados.

5.8 RECEITAS DA PIRÓLISE

Na estimativa das receitas advindas do processo de pirólise (venda de energia) se utilizou dos dados técnicos de geração de energia disponibilizados pelos fabricantes dos equipamentos e da composição gravimétrica dos RSU. Além disso, as receitas foram obtidas a partir dos preços da energia estimados pela empresa *Tradener - Comercialização de Energia*. Esta empresa é certificada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para a finalidade de comercialização de energia.

Os valores da comercialização de energia são aqueles obtidos pela venda no mercado livre de energia garantida. A premissa sobre a fonte geradora de energia é de que a Usina em questão é uma fonte renovável. Sendo assim, é garantido o desconto de 50% na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Além disso, torna-se possível a venda da energia no Ambiente de Contratação Livre (ACL). O ACL é um segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica. Esta comercialização é objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos (ANEEL, 2020).

Conforme informações obtidas frente a empresa Tradener, a estimativa do preço de venda é de aproximadamente 140 R\$/MWh para um contrato de longo prazo

a partir do ano 1. Com isso, a quantidade de energia gerada, bem como a estimativa de receita com a venda desta energia, para cada cenário proposto, está apresentada na tabela 41.

Tabela 41 – Energia elétrica gerada e receita total da energia, segundo Cenários 01, 02 e 03

Períodos	Cenário 01 (REC+PIR)		Cenário 02 (REC+ COM + PIR)		Cenário 03 (PIR)	
	Energia Gerada (MW/ANO)	Receita (em milhões de R\$)	Energia Gerada (MW/ANO)	Receita (em milhões de R\$)	Energia Gerada (MW/ANO)	Receita (em milhões de R\$)
0	-	-	-	-	-	-
1	472.075	68,40	245.954	35,64	536.079	77,68
2	475.993	71,39	247.995	37,19	540.528	81,06
3	479.944	74,50	250.054	38,81	545.015	84,60
4	483.928	77,74	252.129	40,51	549.538	88,29
5	487.944	81,13	254.222	42,27	554.099	92,13
6	491.994	84,67	256.332	44,11	558.698	96,15
7	496.078	88,36	258.459	46,04	563.336	100,34
8	500.195	92,21	260.605	48,04	568.011	104,71
9	504.347	96,23	262.768	50,14	572.726	109,28
10	508.533	100,43	264.949	52,32	577.479	114,04
11	512.754	104,80	267.148	54,60	582.272	119,01
12	517.010	109,37	269.365	56,98	587.105	124,20
13	521.301	114,14	271.601	59,47	591.978	129,62
14	525.628	119,12	273.855	62,06	596.892	135,27
15	529.990	124,31	276.128	64,77	601.846	141,16
16	534.389	129,73	278.420	67,59	606.841	147,32
17	538.825	135,38	280.731	70,53	611.878	153,74
18	543.297	141,28	283.061	73,61	616.957	160,44
19	547.806	147,44	285.410	76,82	622.077	167,43
20	552.353	153,87	287.779	80,17	627.241	174,73
21	556.938	160,58	290.168	83,66	632.447	182,35
22	561.560	167,58	292.576	87,31	637.696	190,30
23	566.221	174,88	295.005	91,11	642.989	198,59
24	570.921	182,50	297.453	95,09	648.326	207,25
25	575.659	190,46	299.922	99,23	653.707	216,28
26	580.437	198,76	302.411	103,56	659.133	225,71
27	585.255	207,43	304.921	108,07	664.603	235,55
28	590.113	216,47	307.452	112,78	670.120	245,82
29	595.011	225,90	310.004	117,70	675.682	256,53
30	599.949	235,75	312.577	122,83	681.290	267,71
Total		4.074,82		2.123,01		4.627,28

FONTE: Autor (2020)

A partir da tabela 41, pode-se observar que o cenário 03 (no qual todo RSU é destinado à pirólise) é gerada a maior quantidade de energia e conseqüentemente uma maior receita com este produto. O cenário 02 por sua vez, é aquele em que a geração de energia é menor por destinar os resíduos orgânicos para a compostagem. Contudo, estes materiais orgânicos correspondem a parte úmida dos RSU e se enviados para a pirólise podem reduzir a eficiência do processo pirolítico. Além disso, o destino dos orgânicos para a compostagem é aquele de maior conteúdo ecológico de reuso de materiais orgânicos.

5.9 RECEITAS DA RECICLAGEM

A estimativa das receitas da reciclagem foi realizada com base nos dados técnicos disponibilizados pelos fabricantes dos equipamentos e composição gravimétrica do RSU. Além disso, obteve-se os preços dos recicláveis no atacado conforme *Tabela Nacional Média de Produtos Recicláveis*, elaborada pela empresa *Sucatas.com*. O preço de comercialização por tonelada de cada item reciclável encontra-se na tabela 42.

Tabela 42 – Preço dos materiais recicláveis, por tonelada, segundo material a ser reciclado - em R\$/tonelada

Material	R\$/Tonelada limpo
Filme	R\$ 1.120,00
PET cristal	R\$ 2.000,00
PET mix	R\$ 2.000,00
PEAD	R\$ 1.300,00
PP	R\$ 1.250,00
Tetrapak	R\$ 200,00
Papel	R\$ 450,00
Papelão	R\$ 450,00
Metais Ferrosos	R\$ 250,00
Metais não ferrosos (Alumínio)	R\$ 3.500,00
Vidro	R\$ 200,00

FONTE: Tabela Nacional Média de Produtos Recicláveis (2020)

A partir destes valores foi possível estimar a receita da comercialização de materiais recicláveis para os Cenários 01 e 02 propostos, durante o período do projeto. Os valores estão reportados na tabela 43.

Tabela 43 – Receita total com a comercialização dos materiais recicláveis, segundo Cenários 01 e 02, e períodos do projeto, em Milhões de R\$

Períodos	Receita Total	Períodos	Receita Total	Períodos	Receita Total
0	-	11	19,07	22	26,84
1	13,45	12	19,73	23	27,60
2	13,58	13	20,39	24	28,38
3	14,15	14	21,07	25	29,17
4	14,73	15	21,75	26	29,97
5	15,33	16	22,45	27	30,79
6	15,93	17	23,15	28	31,61
7	16,54	18	23,87	29	32,45
8	17,16	19	24,59	30	33,29
9	17,79	20	25,33	Total	674,65
10	18,42	21	26,08		

FONTE: Autor (2020)

5.10 RECEITAS DA COMPOSTAGEM

Na estimativa das receitas de vendas do produto gerado no processo de compostagem (o “composto orgânico”) foram utilizados os dados técnicos de operação da planta e a composição gravimétrica do RSU. A estimativa da receita com a comercialização do composto orgânico produzido no Cenário 02 proposto, está apresentado na tabela 44.

Tabela 44 – Receita total da comercialização do composto orgânico, Cenário 02 (REC + COM + PIR) - em Milhões de R\$

Períodos	Receita	Períodos	Receita	Períodos	Receita
0	-	11	17,06	22	27,27
1	11,13	12	17,80	23	28,46
2	11,62	13	18,57	24	29,70
3	12,12	14	19,38	25	30,99
4	12,65	15	20,23	26	32,35
5	13,20	16	21,11	27	33,76
6	13,78	17	22,03	28	35,23
7	14,38	18	22,99	29	36,76
8	15,01	19	23,99	30	38,37
9	15,66	20	25,04	Total	663,12
10	16,34	21	26,13		

FONTE: Autor (2020)

Para esta estimativa foram considerados os preços do composto orgânico no atacado conforme dados do *Marketplace MF Rural (MMFR)*. O MMFR é um portal nacional de negócios agrícolas, no qual foi obtida, para a região de Curitiba/PR, a oferta de compostos orgânicos, varreduras e organominerais a granel ao valor de R\$ 150,00/tonelada. Para a estimativa foi utilizado um valor 25% menor (ad hoc) devido a menor demanda regional (PORTAL MFRURAL, 2020).

5.11 RECEITAS PROVENIENTES DO CONRESOL

As Prefeituras Municipais participantes do CONRESOL remuneram o Consórcio para que este cuide da disposição final e tratamento de RSU gerado. Os dados desta remuneração estão disponíveis no portal da transparência e indicam que o CONRESOL transferiu R\$ 74.345.367,00 (ano de 2019) para as empresas Essencis e Estre. Isto resulta em um valor pago pelas consorciadas de R\$ 89,30/tonelada e conseqüentemente R\$ 22,11/hab/ano para 2020, considerando os valores da projeção populacional.

A taxa de atualização da tarifa, estabelecida no contrato do CONRESOL com as empresas de tratamento dos RSU, é o IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo. Nos cenários propostos, para as projeções da remuneração, utilizou-se o valor médio do IPCA dos últimos 15 anos, o que resultou numa correção de 5,2% a.a.

A tabela 45 apresenta as estimativas baseadas no crescimento populacional projetado, considerando que todos os municípios se manterão no CONRESOL no período estudado. Pode-se perceber ainda que os valores corrigidos da tarifa do CONRESOL, para o período do projeto (30 anos), se elevam em aproximadamente 359%. Por outro lado, os valores da receita anual dos municípios se elevam em torno de 488%. Neste sentido, pode-se perceber uma maior elevação da receita dos municípios, inerente a tendência de crescimento populacional. Contudo, deve-se considerar que os municípios podem implementar políticas de isenção tarifária ou “congelamento” da tarifa durante o período do projeto, o que pode alterar a dinâmica das receitas.

Tabela 45 – Tarifa e Receita atual do CONRESOL e estimada para os períodos do projeto - em Milhões de R\$

Períodos	Tarifa CONRESOL corrigida (R\$/t)	Valor Receita Anual (R\$)
0	R\$ 93,95	78,22
1	R\$ 98,85	82,98
2	R\$ 104,00	88,02
3	R\$ 109,41	93,38
4	R\$ 115,11	99,06
5	R\$ 121,11	105,09
6	R\$ 127,42	111,48
7	R\$ 134,06	118,26
8	R\$ 141,04	125,45
9	R\$ 148,39	133,09
10	R\$ 156,12	141,18
11	R\$ 164,26	149,77
12	R\$ 172,82	158,88
13	R\$ 181,82	168,55
14	R\$ 191,29	178,80
15	R\$ 201,26	189,68
16	R\$ 211,74	201,21
17	R\$ 222,78	213,46
18	R\$ 234,38	226,44
19	R\$ 246,59	240,22
20	R\$ 259,44	254,83
21	R\$ 272,96	270,33
22	R\$ 287,18	286,77
23	R\$ 302,14	304,22
24	R\$ 317,88	322,73
25	R\$ 334,45	342,36
26	R\$ 351,87	363,18
27	R\$ 370,20	385,28
28	R\$ 389,49	408,72
29	R\$ 409,78	433,58
30	R\$ 431,13	459,95
	Total	6.735,16

FONTE: Autor (2020)

5.12 RECEITAS ATUAIS DOS MUNICÍPIOS

Para a estimativa das receitas atuais dos municípios com a cobrança de taxa de lixo, baseou-se nos valores registrados no SNIS – Sistema Nacional de Informação

do Saneamento (SNIS, 2020). O objetivo foi identificar os valores arrecadados atualmente pelos municípios pertencentes ao CONRESOL, destinados à gestão dos resíduos sólidos urbanos. A tabela 46 expõe os valores do ano de 2018, ano mais recente disponível no SNIS.

Tabela 46 – Receita anual dos municípios do CONRESOL com taxa de lixo, em R\$

MUNICÍPIO	Valor Receita (R\$)
Adrianópolis	12.000,00
Agudos do Sul	187.563,00
Almirante Tamandaré	6.634.193,44
Araucária	8.540.000,00
Balsa Nova	270.000,00
Bocaiúva do Sul (*)	270.062,59
Campina Grande do Sul	2.936.536,96
Campo Largo	8.280.544,34
Campo Magro	154.800,00
Colombo	15.486.000,00
Contenda	214.983,07
Curitiba	178.438.694,00
Fazenda Rio Grande	3.500.988,06
Itaperuçu (*)	1.000.382,12
Mandirituba	570.258,61
Piên	186.803,94
Pinhais	11.195.268,60
Piraquara	7.848.551,10
Quatro Barras	1.632.968,00
Quitandinha	460.909,14
São José dos Pinhais	27.300.000,00
Tijucas do Sul	270.696,19
Tunas do Paraná	66.978,37
Total	275.459.181,53

FONTE: SNIS (2018) * Sem informação, estimativa per capita utilizando municípios de porte similar.

Portanto, considerando que a população atual dos municípios é de 3.508.900 habitantes (Projeção IBGE 2018) e o valor total arrecadado pelos municípios pertencentes ao CONRESOL, pode-se deduzir que o valor pago é de R\$ 78,50 habitante/ano. Considerando uma taxa de ocupação de 3,3 hab/domicílio, estima-se

o valor pago por domicílio em R\$ 259,06/ano. Este valor é muito próximo do valor base estipulado de cobrança residencial em Curitiba que é de R\$ 275,40/ano/domicílio.

Entretanto, sabe-se que diversas residências não pagam a taxa de lixo, seja por motivação legal ou outras razões (não possui IPTU, isenção por renda mínima, isenção por aposentadoria, falta de cobrança do município, dentre outros motivos). Por outro lado, o montante total pago desta taxa inclui comércios e indústrias.

Se comparado o valor pago por habitante por ano com os valores de contribuição por habitante apresentados no item 6.11, bem como o valor pago pelo CONRESOL para o tratamento do RSU em 2019, percebe-se que aproximadamente 70% da taxa de lixo paga é destinada para os demais serviços da gestão do RSU, como varrição, coleta e transporte do RSU ao destino final.

5.13 A VALORAÇÃO CONTINGENTE

Para pesquisar uma amostra da população da área do CONRESOL, utilizou-se de um questionário eletrônico (Anexo 01), que foi enviado digitalmente para indivíduos residentes na referida área, via contatos com empresas, associações de bairros, condomínios na região do CONRESOL. A pesquisa obteve respostas de 553 indivíduos entre fevereiro e julho de 2019, e após o tratamento dos dados, restaram 421 respostas válidas. No tratamento dos dados da amostra excluiu-se os respondentes residentes fora da região do CONRESOL e questionários incompletos/inconsistentes.

5.13.1 A Pesquisa sobre a Disponibilidade a Pagar (DAP)

Primeiramente é necessário analisar a estrutura das respostas ao questionário. Uma questão inicial se refere ao gênero dos respondentes. Para fins do modelo econométrico proposto, e para a utilização desta característica como variável binária (“1” para masculino e “0” caso contrário), agregou-se os demais gêneros ao feminino. Sendo assim, conforme tabela 51 o gênero “Feminino e outros” compõe a

maioria dos respondentes (58,2%), enquanto o gênero “Masculino” é composto por 41,8% dos respondentes.

Tabela 47 – Quantidade e proporção de respondentes por Gênero

Gênero	Quantidade de Respondentes	Proporção (%)
Feminino e outros	245	58,2
Masculino	176	41,8
Total	421	100

FONTE: Autor (2020)

Em relação à idade dos respondentes, segundo a tabela 48, a maioria tem idade entre 26 e 40 anos, com 42,8%. A faixa entre 41 a 60 anos também tem quantidade elevada de respondentes (32,3%). A menor proporção é entre os respondentes menores de 15 anos com 1,2%.

Tabela 48 – Quantidade e proporção de respondentes por idade

Idade	Quantidade de Respondentes	Proporção (%)
Menos de 15 anos	5	1,2
15 a 25 anos	59	14,0
26 a 40 anos	180	42,8
41 a 60 anos	136	32,3
Acima de 60 anos	41	9,7
Total	421	100

FONTE: Autor (2020)

Quanto ao nível de escolaridade, segundo dados da tabela 49, a maior proporção da amostra possui ensino superior completo ou pós-graduação, 60,3% da amostra. Isto contrasta com a renda das famílias, exposta na estratificação da amostra (tabela 54). Em outras palavras, existe uma proporção elevada de pessoas com curso superior completo ou pós-graduação, que não se reflete na distribuição dos extratos mais elevados de renda.

Tabela 49 – Quantidade e proporção de respondentes por nível de escolaridade

Escolaridade	Quantidade de Respondentes	Proporção
Ensino Médio Incompleto e menos	35	8,3
Ensino Médio Completo	52	12,4
Ensino Superior Incompleto	80	19,0
Ensino Superior Completo e Pós-graduação	254	60,3
Total	421	100

FONTE: Autor (2020)

Quanto a situação do respondente em relação a sua família, 49,2% se declara dependente menor ou outro (Tabela 50). Isto é corroborado pelo nível de desemprego observado na sociedade na atualidade, o número de entrevistados com menos de 40 anos e a elevada escolaridade, o que também explica o grande número de dependentes maiores, os quais possivelmente residam com os pais.

Em relação a situação da renda do respondente na composição da renda da família, uma pequena proporção se declarou com maior renda da casa ou chefe de família, bem como pode-se observar uma grande proporção de dependentes. Em contraste com essa informação, 79,6% dos entrevistados alegam ter algum trabalho remunerado (Tabela 53), sendo assim, parece que este trabalho, para muitos, não é suficiente para contribuir com o orçamento familiar (auxiliar nas contas).

Tabela 50 – Quantidade e proporção de respondentes segundo situação da renda do respondente na família

Situação renda	Quantidade de Respondentes	Proporção (%)
Maior Renda da casa e chefe de família	17	4,0
Auxilia nas contas	42	10,0
Dependente Maior	155	36,8
Dependente menor e outro	207	49,2
Total	421	100

FONTE: Autor (2020)

Em relação ao número de habitantes por residência (tabela 51) a grande maioria dos domicílios se situa na faixa de entre 2 a 4 moradores (80,6%). Esta informação corrobora o valor estimado no último censo demográfico (2010), o qual estimou a média de 3,3 habitantes/domicílio.

Tabela 51 – Proporção e quantidade de respondentes em relação a quantidade de residentes por domicílio

Número de Residentes	Quantidade de Respondentes	Proporção (%)
1	54	12,8
2	108	25,6
3	125	29,8
4	106	25,2
5 ou mais	28	6,6
Total	421	100

FONTE: Autor (2020)

Em relação ao interesse da população quanto ao processo de tratamento e disposição final do RSU, a maioria dos questionados (64%) respondeu ter baixo ou nenhum interesse pessoal quanto à disposição dos RSU. Como exposto em capítulos anteriores, parece que a população não possui conhecimento ambiental suficiente para entender os danos causados por uma má gestão de seus resíduos. Isto significa que parte importante da população se preocupa apenas que o tratamento dos RSU não esteja próximo a sua moradia, fenômeno chamado NIMBY (*not in my backyard*).

Tabela 52 – Quantidade e proporção de respondentes segundo o interesse pessoal no tratamento dos RSU

Interesse	Quantidade de Respondentes	Proporção (%)
Alto interesse	50	11,9
Médio Interesse	101	24,0
Baixo ou nenhum interesse	270	64,1
Total	421	100

FONTE: Autor (2020)

Porém, contrastando com esta questão, a grande maioria (90%) dos entrevistados afirma que o tratamento do RSU deve ser prioridade da administração municipal (Tabela 53). Em outras palavras, pode-se concluir que as pessoas sabem que este é um problema importante, porém não querem ter envolvimento pessoal com o assunto, e responsabilizam os governos municipais por esse serviço. Contudo, o dilema que envolve esta questão é de que o poder público municipal utiliza recursos dos contribuintes para efetivamente implementar soluções para os RSU. Ou seja, cobra-se uma “taxa de lixo” da população para pagar empresas que tratam os RSU.

Tabela 53 – Demais perguntas incluídas no questionário e suas respectivas proporções

Pergunta	Sim (%)	Não (%)
Conhece como é o tratamento dos RSU	53,4	46,6
O tratamento dos RSU deve ser prioridade no município	90,3	9,7
Exerce algum trabalho remunerado	79,6	20,4

FONTE: Autor (2020)

Para evitar o viés de seleção da amostra, o perfil dos respondentes (indivíduos) foi monitorado durante a pesquisa e a amostra foi saneada de tal forma que houvesse uma aproximação com a distribuição dos estratos de renda

identificados na PNAD contínua do 2018 (até 2 salários mínimos, 18,8% da população; de 2,01 até 4 salários mínimos, 29,6% da população; de 4,01 salários mínimos até 6 salários mínimos, 20,0% da população; de 6,01 até 8 salários mínimos, 11,3% da população; de 8,01 até 10 salários mínimos, 5,8% da população e; acima de 10,01 salários mínimos, 14,5% da população).

Tabela 54 – Estratificação da amostra pesquisada e estimativa dos estratos de renda da população - PNAD (2018)

Renda Familiar	Número de Respondentes	Proporção na Amostra (%)	Proporção PNAD (%)
Até R\$ 2.000,00	76	18,0	18,8
R\$ 2.001,00 a R\$ 4.000,00	125	29,7	29,6
R\$ 4.001,00 a R\$ 6.000,00	86	20,4	20,0
R\$ 6.001,00 a R\$ 8.000,00	47	11,2	11,3
R\$ 8.001,00 a R\$ 10.000,00	24	5,7	5,8
Acima de R\$ 10.000,00	63	15,0	14,5
Total	421	100	100

FONTE: Autor (2020)

5.13.2 O Modelo de Probabilidade Linear e o Modelo *Probit*

Inicialmente estimou-se um modelo de probabilidade linear robusto, cujos resultados encontram-se na tabela 55. Este modelo visa identificar quais são as variáveis que explicam o comportamento do lance (valor que cada respondente está disposto a pagar) dado para a mudança de tecnologia no tratamento dos RSU.

Pode-se verificar que as variáveis gênero (masculino), renda familiar e interesse quanto ao tratamento dado aos RSU foram significativas e explicam aproximadamente 56% (R-quadrado ajust.) das variações ocorridas nos valores dos lances. Portanto, pode-se inferir que restam ainda fatores que influenciam os lances e que não se encontram especificados no modelo, tal como o desconhecimento da nova tecnologia ou a realidade do atual tratamento dos RSU (aterro sanitário) por parte dos indivíduos amostrados.

O coeficiente estimado para a variável “Gênero” foi negativo, o que significa que quando o pesquisado é homem, este tende a dar lances mais baixos para a mudança da tecnologia. Em outras palavras, comparando com todos os gêneros os

homens não desejam contribuir de forma tão benevolente para solucionar o problema dos RSU.

Tabela 55 – Estimativa do modelo de probabilidade linear robusto – Função do lance para o tratamento dos RSU

Variável dependente = Lance	Coefficiente	t	P>t
Gênero	-2,681 (1,184)	-2,26	0,024
Idade	-1,202 (0,736)	-1,63	0,103
Nível Escolaridade	0,389 (0,726)	0,54	0,592
Trabalho Remunerado	-1,630 (1,616)	-1,01	0,314
Situação econômica na família	0,764 (0,894)	0,85	0,393
Número de residentes	0,628 (0,509)	1,23	0,218
Renda Familiar	1,306 (0,417)	3,13	0,002
Prioridade	0,579 (2,113)	0,27	0,784
Interesse no tratamento	3,022 (0,945)	3,20	0,001
Conhecimento sobre o tratamento	-0,262 (1,209)	-0,22	0,829
Resposta positiva lance (RP)	29,723*** (1,119)	26,54	0,000
Constante	-9,165* (3,687)	-2,49	0,013
R-Quadrado	0,57		
R-Quadrado Ajust.	0,56		
Tamanho da amostra	421		

FONTE: Autor (2020)

O coeficiente da “Renda Familiar” mostrou-se positivo, o que significa que quanto maior a renda familiar, maior é o lance para a mudança da tecnologia de tratamento dos RSU. O sinal deste coeficiente demonstra uma tendência de que quem tem maior renda pode então se sentir mais a vontade para dar lances mais elevados (contribuir mais para o tratamento mais adequado dos RSU).

O coeficiente da variável “Interesse no Tratamento” também foi positivo. Isso significa que indivíduos que têm elevado interesse (preocupação) na questão do tratamento dos RSU tem disposição para dar lances mais elevados. Ou seja, quanto

maior o interesse dos indivíduos nessa temática, maior a contribuição para um tratamento ecologicamente mais amigável dos RSU.

O modelo *Probit* com todas as variáveis não apresentou um bom ajustamento, uma vez que somente a variável lance foi significativa, o que impossibilitaria a estimativa segura de um valor para DAP. Isto porque o termo “*constant*” (intercepto da função) necessita ser significativo para estimar um valor para a DAP significativo.

A estimativa de um modelo *Probit* com as variáveis significativas no modelo de probabilidade linear também não se mostrou satisfatório. Isto porque somente as variáveis “lance” e “interesse no tratamento” dos RSU foram significativas.

Então, estabeleceu-se a estratégia de empregar o método de “*backward stepwise*” (passo a passo retroativo) para selecionar o modelo ideal. Para aplicação desta estratégia, inicia-se a elaboração do modelo com todas as variáveis independentes, testando a eliminação de cada uma delas do modelo.

Para tanto, utiliza-se como critério de escolha para eliminar as variáveis, aquelas que menos contribuem para o modelo, e repete-se este procedimento até não restar variáveis não significativas a excluir. O resultado desta estratégia aplicada encontra-se descrito na tabela 56.

Tabela 56 – Resultado da Estimativa do Modelo *Probit* para a Função do lance para o tratamento dos RSU

Variável binária de resposta = RP	Coefficiente	z	P>z
Lance	0.074*** (0,005)	13.31	0.000
constante	-1,762*** (0,116)	-10,09	0,000
Pseudo R2	0.49		
LR test	288,25		
Tamanho da amostra	421		

FONTE: Autor (2020)

O termo “*LR test*” é a abreviação “*Likelihood-Ratio test*”, em tradução é a teste de razão de verossimilhança, cujo resultado altamente positivo do teste implica na validação da estimativa. Sendo assim, foi possível estimar a Disposição A Pagar (DAP) da amostra, como inferência da população da região amostrada (Tabela 57).

Tabela 57 – Estimativa da Disposição A Pagar (DAP) para a Função de lances para o tratamento dos RSU

Answer	Coefficiente	z	P>z
DAP	15, 78*** (1.101)	14.33	0.000

FONTE: Autor (2020)

Portanto, a DAP é significativa a 99,9% de confiança e tem o valor de R\$15,78 mensais/domicílio para mudança de tecnologia. Este valor é uma inferência significativa para a população.

Logo, se somado o valor de R\$ 22,95/mês (já cobrado na taxa de lixo incluso no IPTU), o benefício da população para o novo tratamento dos RSU na área do CONRESOL é de R\$38,73 por mês/domicílio. Dito de outra forma, são R\$ 464,76 anuais por residência, ou ainda pode-se dizer que representa um acréscimo de 69% na atual taxa de lixo.

Com isso, este estudo considerou três alternativas de como o benefício ambiental da DAP poderá ser implementado a partir do terceiro ano do projeto (prazo para ajuste na tarifa):

- a) A primeira alternativa é considerar o acréscimo de 69% ao valor atual das receitas dos municípios;
- b) A segunda alternativa considera o valor integral da DAP ao pagamento da destinação final do RSU acrescido do valor atual pago ao CONRESOL e;
- c) A terceira alternativa desconsidera a DAP e utiliza apenas os valores pagos atualmente ao CONRESOL e transferido às empresas de Tratamento dos RSU (situação atual – tabela 45).

A tabela 58 apresenta os valores das Alternativas 01 e 02.

Tabela 58 – Receitas do CONRESOL com acréscimo da DAP, segundo alternativas de imputação da DAP, e períodos do projeto, em Milhões de R\$

Períodos	Receita Anual – Alternativa 01	Receita Anual – Alternativa 02
0	78,22	78,22
1	82,98	82,98
2	148,55	290,92

Períodos	Receita Anual – Alternativa 01	Receita Anual – Alternativa 02
3	157,59	303,37
4	167,17	316,40
5	177,34	330,03
6	188,13	344,30
7	199,57	359,23
8	211,71	374,86
9	224,59	391,22
10	238,26	408,35
11	252,75	426,29
12	268,13	445,08
13	284,44	464,76
14	301,74	485,38
15	320,09	506,99
16	339,57	529,63
17	360,22	553,37
18	382,14	578,25
19	405,38	604,34
20	430,04	631,70
21	456,20	660,39
22	483,96	690,48
23	513,40	722,06
24	544,63	755,19
25	577,76	789,96
26	612,90	826,45
27	650,19	864,76
28	689,74	904,98
29	731,70	947,21
30	776,21	991,56
Total	11.255,29	16.658,71

FONTE: Autor (2020)

A tabela 59 apresenta a estimativa total das receitas, antes de computar os impostos, considerando a venda dos subprodutos para cada cenário e a projeção do valor recebido pelo CONRESOL e pago às empresas de tratamento dos RSU conforme Alternativas 01, 02 e 03.

Tabela 59 – Receitas do CONRESOL com acréscimo da DAP, segundo alternativas de imputação da DAP, e períodos do projeto, em Milhões de R\$

Alternativas	Receita - Cenário 01 (REC+PIR)	Receita - Cenário 02 (REC+ COM + PIR)	Receita - Cenário 03 (PIR)
---------------------	---	--	---------------------------------------

1 (Atual + 69%DAP)	16.004,77	14.716,07	15.882,57
2 (Atual + 100%DAP)	21.408,18	20.119,49	21.285,99
3 (Atual)	11.484,63	10.195,94	11.362,44

FONTE: Autor (2020)

Comparativamente, observa-se que o Cenário 02 (REC+COM+PIR) é aquele que tem menores receitas em todas as alternativas variando de 5,8% a 12,6% em relação aos demais cenários e alternativas. Isto se deve ao menor valor agregado e preço de venda do composto orgânico quando comparado à energia elétrica e materiais recicláveis.

5.14 CÁLCULO DOS IMPOSTOS

Para determinar os valores finais dos custos, foram considerados os impostos sobre a comercialização de produtos, serviços prestados e lucro real obtido entre a operação do sistema, sendo eles:

- Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL): tributo federal usado para custear a Seguridade Social do país, formada pela Previdência Social, Saúde e Assistência Social.
- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS): imposto federal utilizado para financiar a Seguridade Social.
- Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP): programa federal que custeia o pagamento do seguro desemprego e abono anual pago a empregados do setor privado.
- Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ): recolhido trimestralmente pelas empresas e sofre variação de acordo com o regime tributário.
- Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS): imposto municipal que deve ser recolhido por todas as empresas que prestam serviços.
- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS): imposto estadual recolhido sempre que existe circulação de mercadorias e serviços, o que inclui diversos segmentos, como varejo, serviços de transporte e empresas de comunicação, por exemplo.

O imposto sobre produtos industrializados (IPI), como o próprio nome revela, incide somente sobre produtos industrializados, nacionais e estrangeiros. A sua incidência encontra-se regulamentada pelo Decreto 7.212/2010. De acordo com o este Decreto a energia elétrica é considerada isenta da incidência do IPI, assim como fertilizantes e recicláveis, de acordo com a Tabela de Incidência do IPI.

Os impostos PIS/PASEP e COFINS - são tributos federais regulamentados pela Lei nº 11.196, de 2005, artigos 28 a 30 e Decreto nº 5.602, de 2005, os quais tem alíquotas zero, incidentes na importação e na comercialização de adubos e fertilizantes agrícolas e materiais recicláveis.

Com a vigência da Lei 10.637/2002, a partir de 01.12.2002, com algumas exceções, foi instituído o regime não cumulativo do PIS para as empresas optantes pelo lucro real. A alíquota geral do PIS não cumulativo é de 1,65% e a alíquota geral da COFINS não cumulativa é de 7,6% incidentes sobre a receita bruta da venda de energia elétrica. Com essas considerações, os impostos devidos, suas alíquotas e incidências estão apresentados na tabela 60.

Tabela 60 – Impostos considerados neste estudo, segundo tipo de produto

Imposto	Alíquotas (%)		Incidência
	Energia Elétrica	Recicláveis e Composto/ Fertilizantes	
IPI	0%	0%	Faturamento
ICMS	17,0%		Faturamento
COFINS	7,60%	0%	Faturamento
PIS/PASEP	1,65%	0%	Faturamento
CSLL	9%		Lucro REAL
IRPJ	15% + 10% adicional acima R\$ 20.000,00/mês		Lucro REAL

FONTE: Receita Federal (2020)

Os impostos que possuem incidência sobre o faturamento são aplicados sobre os valores da comercialização da energia, dos materiais recicláveis e do composto. Os impostos que possuem incidência sobre o lucro são imputados quando, no fluxo de caixa dos cenários, for apresentado lucro real no período anual.

5.15 CÁLCULO DOS FLUXOS DE CAIXA E DEMAIS RESULTADOS

Nesta seção encontram-se apresentados os fluxos financeiros dos cenários segundo alternativas de remuneração pelo CONRESOL no período de 30 anos. Ou seja, são três cenários e 03 alternativas de cada cenário, totalizando nove resultados.

Para a determinação do fluxo financeiro utilizou-se a receita bruta de cada ano e deduzida do valor dos impostos, com as alíquotas apresentadas na tabela 59, o que resulta na receita líquida. Após este cálculo, subtraiu-se os custos de implantação (financiamento) e operação, obtendo-se o lucro líquido tributável. Finalmente, após a dedução do imposto de renda e da contribuição social sobre o lucro líquido, obtém-se o resultado (lucro real) do empreendimento ao ano.

As tabelas e gráficos a seguir tem como objetivo apresentar os fluxos de caixa anuais acumulados e atualizados monetariamente, visando apresentar o ano de fluxo positivo e em qual ano será dado o retorno do investimento.

No Cenário 01 (REC+PIR), que considera a implantação de um sistema de tratamento de RSU com separação mecanizada de recicláveis e reatores de pirólise pode-se observar que, caso se mantenham as remunerações atuais (Alternativa 03), em 30 anos, não haverá o “*payback*”¹² do empreendimento, ou seja, não se terá o retorno do investimento realizado.

Tabela 61 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo alternativas para a DAP, Cenário 01, (em Milhões de R\$)

Ano	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
0	-131,02	-131,02	-131,02
1	-206,62	-206,62	-206,62
2	-229,01	-132,14	-286,51
3	-252,15	-56,00	-370,65
4	-276,18	21,71	-459,38
5	-301,26	100,90	-553,10
6	-327,56	181,45	-652,22

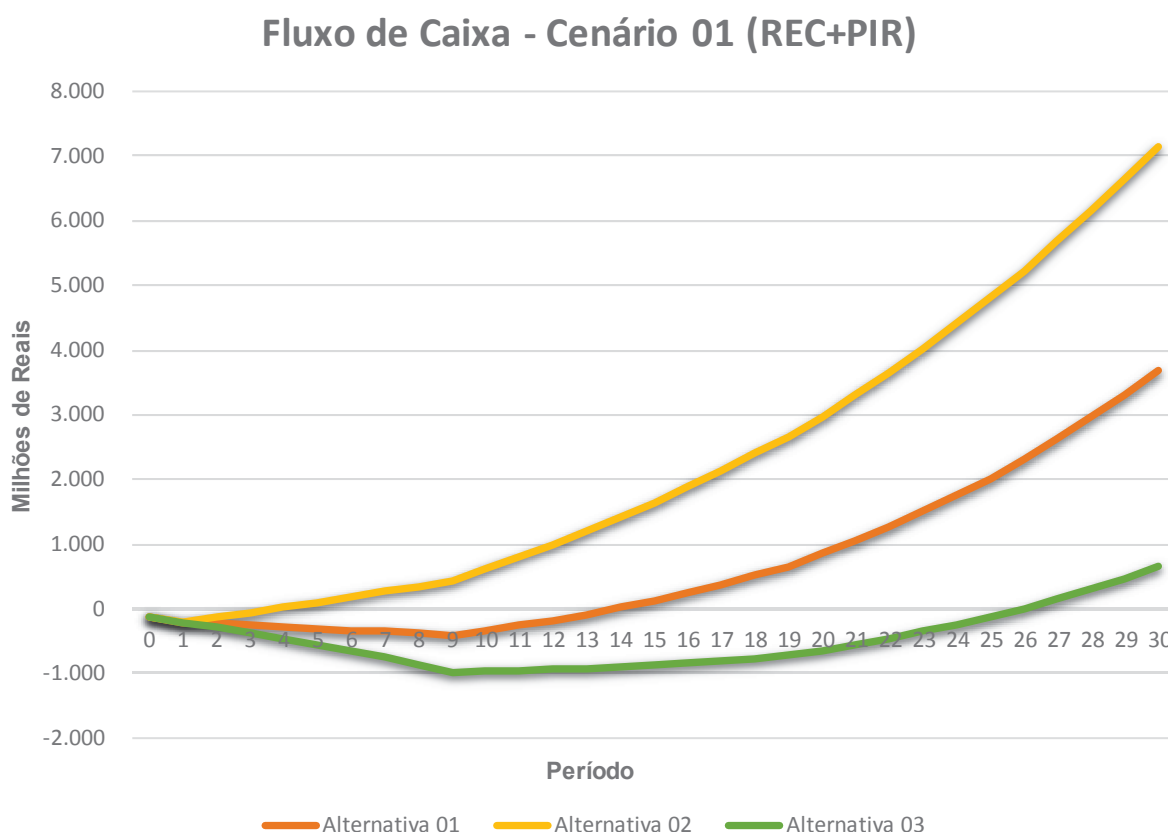
¹² O *payback* simples (ou período de *payback*), é o método mais simples para se analisar a viabilidade de um investimento. É definido como o número de períodos (anos, meses, semanas etc.) para se recuperar o investimento inicial. Para se calcular o período de *payback* de um projeto basta somar os valores dos fluxos de caixa auferidos, período a período, até que essa soma se iguale ao valor do investimento inicial. Foi utilizado o *Payback* simples por haver outras ferramentas como VPL e TIR que irão considerar os valores descontados.

Ano	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
7	-355,30	263,25	-757,21
8	-384,71	346,13	-868,56
9	-416,05	429,93	-986,83
10	-341,87	610,75	-973,52
11	-261,48	799,95	-957,71
12	-174,48	997,90	-939,20
13	-80,42	1.205,02	-917,80
14	21,15	1.421,73	-893,32
15	130,71	1.648,48	-865,53
16	248,78	1.885,72	-834,20
17	375,91	2.133,95	-799,09
18	512,67	2.393,68	-759,96
19	659,68	2.665,43	-716,51
20	848,14	2.980,33	-637,90
21	1.050,74	3.310,95	-551,85
22	1.268,40	3.658,10	-457,83
23	1.502,12	4.022,66	-355,25
24	1.752,97	4.405,53	-243,54
25	2.022,07	4.807,68	-122,03
26	2.310,62	5.230,13	9,95
27	2.619,91	5.673,95	153,13
28	2.951,27	6.140,27	308,29
29	3.306,16	6.630,28	476,26
30	3.686,12	7.145,26	657,92

FONTE: Autor (2020)  Valor máximo dispendido  Início Fluxo Positivo  Ano Payback

Já para as Alternativas 01 e 02 deste cenário, este retorno será no 18º e 7º ano respectivamente, com destaque na Alternativa 02, que logo no seu 4º ano apresentou fluxo de caixa positivo. Isto pode ser visto também na Figura 8.

Figura 8 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo Alternativas, Cenário 01



FONTE: Autor (2020)

No Cenário 02, que considera a implantação de um sistema de tratamento de RSU com separação mecanizada de recicláveis, compostagem e reatores de pirólise. Pode-se observar que haverá o “payback” do empreendimento em quaisquer alternativas.

Porém, existem grandes diferenças entre os fluxos de caixa, apenas no ano 28 haverá o retorno para a Alternativa 03 e já no ano 4 para a Alternativa 02. Ressalta-se que a Alternativa 02 considera o valor da DAP integral para o tratamento do RSU.

Quanto à diferenciação entre o Cenário 2 (REC+COM+PIR) e o Cenário 01 (REC+PIR), percebe-se uma melhoria no fluxo de caixa, em todas as alternativas. Isto se dá inclusive com a contribuição financeira da inserção do processo de compostagem.

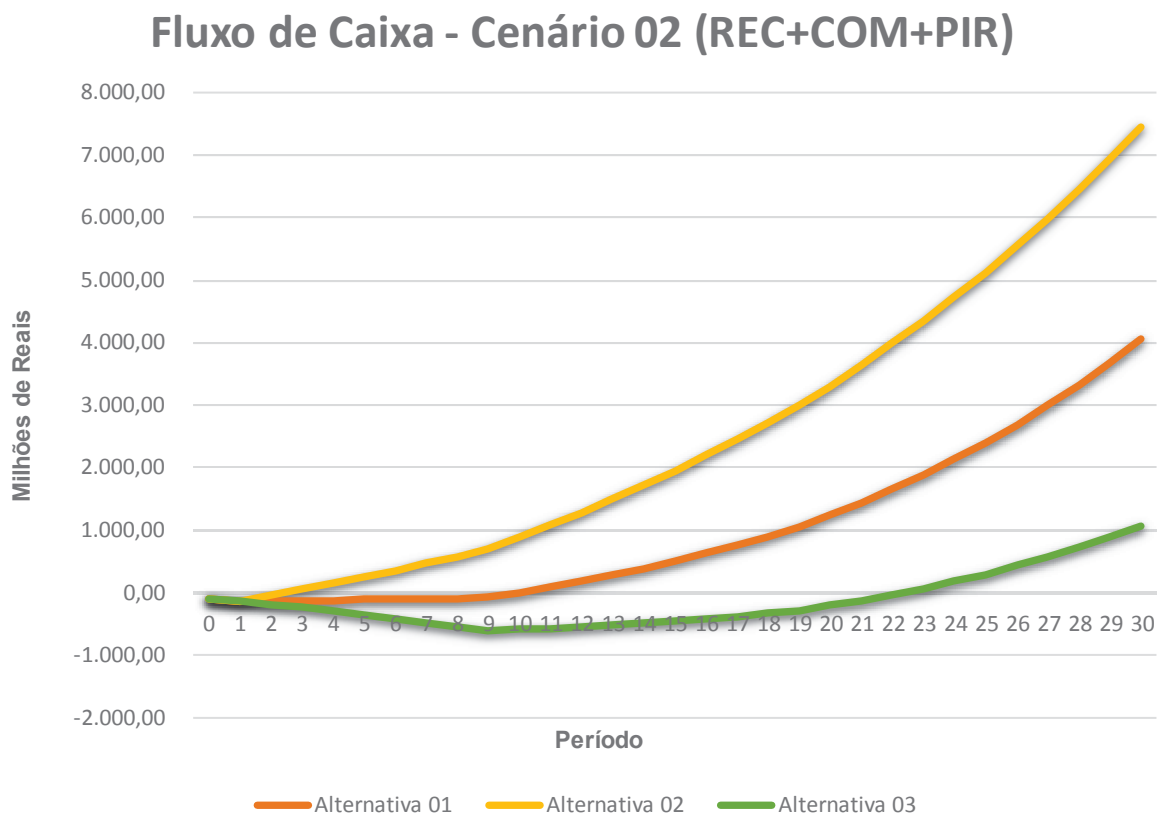
Tabela 62 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo Alternativas para uso da DAP, Cenário 02, em Milhões de R\$

Ano	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
0	-90,43	-90,43	-90,43
1	-137,92	-137,92	-137,92
2	-132,85	-43,58	-187,73
3	-126,87	53,80	-239,67
4	-119,97	154,27	-293,92
5	-112,13	257,85	-350,68
6	-103,33	364,56	-410,18
7	-93,59	474,42	-472,66
8	-82,88	587,41	-538,39
9	-71,23	703,54	-607,67
10	6,98	888,39	-590,32
11	91,57	1.081,79	-570,30
12	182,96	1.284,14	-547,40
13	281,60	1.495,84	-521,42
14	387,97	1.717,36	-492,14
15	502,57	1.949,14	-459,31
16	625,93	2.191,67	-422,70
17	758,61	2.445,45	-382,04
18	901,23	2.711,03	-337,04
19	1.054,41	2.988,96	-287,42
20	1.242,34	3.303,32	-209,35
21	1.444,18	3.633,19	-124,05
22	1.660,87	3.979,37	-31,00
23	1.893,38	4.342,72	70,36
24	2.142,76	4.724,11	180,60
25	2.410,11	5.124,52	300,36
26	2.696,62	5.544,92	430,29
27	3.003,53	5.986,37	571,11
28	3.332,20	6.449,99	723,57
29	3.684,02	6.936,94	888,48
30	4.060,52	7.448,46	1.066,68

FONTE: Autor (2020) Valor máximo dispendido Início Fluxo Positivo Ano Payback

A dinâmica destes fluxos de caixa também pode ser analisada a partir da figura 9. A exemplo do exposto no Cenário 1, a figura 9 apresenta que todas as Alternativas são viáveis. Entretanto, a Alternativa 2 é aquela cujo retorno financeiro é mais rápido.

Figura 9 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo Alternativas, Cenário 02



FONTE: Autor (2020)




No Cenário 03 (PIR), que considera a implantação de um sistema de tratamento de RSU apenas com reatores de pirólise, pode-se observar que caso se mantenham as remunerações atuais (Alternativa 03), em 30 anos, o “payback” do empreendimento será no ano 27.

Já para as Alternativas 01 e 02 deste cenário, este retorno será no 13º e 5º anos respectivamente, com destaque para a Alternativa 02, que logo no seu 3º ano reporta fluxo de caixa positivo, similar ao cenário 01. Sendo assim, a Alternativa 02 tem se mostrado financeiramente bastante atrativa.

Por outro lado, deve-se considerar que como projeto de cunho social e ambiental, a escolha do melhor projeto não se dá unicamente pelo retorno financeiro mais rápido, ou seja, depende das escolhas da sociedade.

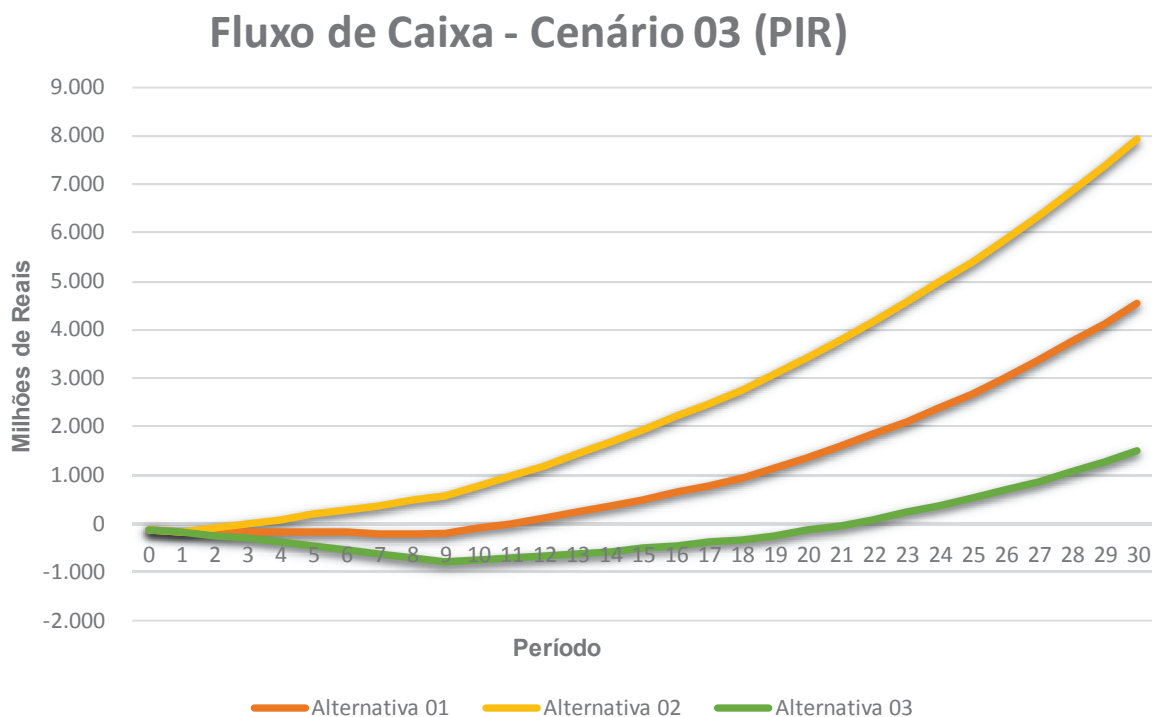
Tabela 63 – Fluxo de Caixa acumulado, segundo Alternativas para o uso da DAP, Cenário 03, em milhões de R\$

Ano	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
0	-112,10	-112,10	-112,10
1	-172,11	-172,11	-172,11
2	-175,77	-86,50	-235,15
3	-179,28	1,39	-301,46
4	-182,68	91,56	-371,33
5	-186,03	183,95	-445,04
6	-189,38	278,52	-522,93
7	-192,80	375,20	-605,37
8	-196,38	473,91	-692,74
9	-200,22	574,55	-785,48
10	-104,30	777,11	-750,43
11	-1,23	989,00	-711,93
12	109,47	1.210,64	-669,73
13	228,28	1.442,52	-623,58
14	355,72	1.685,10	-573,22
15	492,34	1.938,90	-518,37
16	638,72	2.204,46	-458,74
17	795,49	2.482,33	-393,99
18	963,29	2.773,09	-323,82
19	1.142,81	3.077,36	-247,85
20	1.359,22	3.420,20	-141,31
21	1.590,89	3.779,90	-26,17
22	1.838,83	4.157,33	98,13
23	2.104,08	4.553,42	232,23
24	2.387,76	4.969,12	376,78
25	2.691,06	5.405,47	532,48
26	3.015,23	5.863,53	700,08
27	3.361,62	6.344,46	880,37
28	3.731,65	6.849,44	1.074,20
29	4.126,84	7.379,75	1.282,46
30	4.548,77	7.936,71	1.506,10

FONTE: Autor (2020)  Valor máximo dispendido  Início Fluxo Positivo  Ano Payback

Graficamente pode-se verificar que, apesar da Alternativa 02 alcançar o retorno financeiro mais rapidamente, as demais alternativas também são viáveis. Isto pode ser visto na figura 10.

Figura 10 – Fluxo de Caixa Acumulado, segundo Alternativas, Cenário 03



FONTE: Autor (2020)

Percebe-se nos fluxos financeiros apresentados, que com referência aos valores máximos dispendidos dentre os três cenários, destaca-se a Alternativa 03, cujos valores são próximos a R\$ 1,0 bilhão para o Cenário 01, e R\$ 0,8 bilhão para o Cenário 03, os quais não possuem compostagem.

Por outro lado, o menor valor de investimento encontrado foi para o Cenário 02, nas Alternativa 01 e 02, que consideram valor de investimento próximo a R\$ 137 Milhões de reais. Portanto, estas soluções são menos custosas.

5.16 ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO (ACB)

No cálculo da ACB utilizou-se dados em valor presente, ou seja, considerou-se os custos e benefícios futuros descontados a uma taxa de juros apropriada. Para esta análise, foram utilizados três parâmetros: Valor presente Líquido (VPL → o projeto é viável se $VPL \geq 0$); relação Benefício-Custo (B/C → o projeto é viável se $B/C \geq 1$) e

a Taxa interna de retorno (TIR → o projeto é viável se $TIR \geq 7,8\%$, média SELIC últimos 24 meses). A tabela 64 apresenta o valor do VPL para os resultados de todos os cenários e Alternativas.

Tabela 64 – Valor Presente Líquido (VPL) para as alternativas e cenários projetados - em Milhões de R\$

Valor presente líquido (VPL)			
Alternativa/Cenário	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+COM+PIR)	Cenário 03 (PIR)
Alternativa 01	466,22	727,53	766,20
Alternativa 02	1.651,38	1.865,78	1.904,45
Alternativa 03	-424,34	-140,98	-134,05

FONTE: Autor (2020)

Observa-se que o maior retorno, utilizando-se o VPL como parâmetro, refere-se a Alternativa 02 para todos os cenários. Essa alternativa considera o valor integral da DAP para o tratamento dos RSU. Nesta perspectiva, o Cenário 03 (PIR) é o que apresenta um melhor resultado financeiro, pois o insumo comercializado (Energia) é o que possui maior valor agregado e preço. Porém, o Cenário 02 (REC+COM+PIR) apresenta um resultado muito próximo, devido aos menores custos com infraestrutura e equipamentos em relação aos demais cenários. Este valor menor dos custos é de aproximadamente 9%. Além disso, têm-se também a isenção de impostos para os insumos de reciclagem e composto orgânico.

Por outro lado, avaliando o VPL em qualquer dos cenários e considerando os valores atuais da receita do CONRESOL (Alternativa 03), ou seja, sem aplicação da DAP, a mudança do sistema de tratamento dos RSU não se viabiliza financeiramente. Assim como na análise do VPL, avaliando os valores da Relação Benefício/Custo, a Alternativa 02 parece ser a mais vantajosa, pois é aquela que apresenta o maior valor (entre 1,50 a 1,59).

Tabela 65 – Razão Benefício/Custo (B/C) para as alternativas e cenários projetados

Razão Benefício/Custo			
Alternativa/Cenário	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+COM+PIR)	Cenário 03 (PIR)
Alternativa 01	1,30	1,38	1,40
Alternativa 02	1,50	1,59	1,59
Alternativa 03	1,06	1,12	1,15

FONTE: Autor (2020)

A Razão Benefício/Custo (B/C) para a Alternativa 03, em quaisquer cenários, é a menor. Em outras palavras, não reajustar o valor da “taxa de lixo” implica em uma relação Benefício/Custo maior do que 1 para qualquer cenário, mas menor que as demais alternativas.

Contudo, a Razão B/C na alternativa 02 para os Cenários 02 e 03 tem o mesmo valor (1,59). Isto quer dizer que, em termos desse indicador seria indiferente a escolha entre o Cenário 02 ou 03. Esta análise é semelhante ao resultado encontrado no VPL, porém com pequena vantagem financeira para o Cenário 03.

Assim como nos demais indicadores, a TIR indica que em quaisquer cenários a Alternativa 03 não é viável. Por outro lado, o Cenário 02 e Alternativa 02 apresentou a maior TIR (54,6%), isto significa maior retorno financeiro.

Tabela 66 – Taxa Interna de Retorno (TIR) para as alternativas e cenários projetados

Taxa Interna de Retorno (TIR)			
Alternativa/Cenário	Cenário 01 (REC+PIR)	Cenário 02 (REC+COM+PIR)	Cenário 03 (PIR)
Alternativa 01	13,3%	20,5%	18,2%
Alternativa 02	35,3%	54,6%	43,9%
Alternativa 03	2,7%	5,5%	6,1%

FONTE: Autor (2020)

Como se pode observar, na análise dos indicadores VPL, B/C e TIR, o valor da DAP é importante para gerar resultados financeiros positivos e benefícios mais elevados comparativamente aos custos dos projetos.

Portanto, quando se analisa o VPL e a razão B/C, os projetos que se apresentam como as melhores escolhas estão na Alternativa 02, Cenários 02 e 03. Quando se analisa, a TIR, percebe-se que o maior retorno financeiro é aquele do Cenário 02 na Alternativa 02 com um percentual de 54,6%. Se comparada esta TIR com o cenário 03 na Alternativa 02, existe uma diferença de 10,7 pontos percentuais, o que é uma diferença elevada em qualquer investimento. Deve-se ressaltar que a taxa de retorno mínima esperada é de 7,8 ao ano, que representa o custo de

oportunidade do capital. Logo, como 54,6% é maior que 7,8%, significa que o Cenário 02 e Alternativa 02 é uma alternativa de investimento cujo retorno é bastante atrativo.

Mas, sob o aspecto socioambiental (Razão B/C) existe uma certa indiferença entre os Cenários 02 e 03 na Alternativa 02. Se a maior ênfase na análise for o componente ecológico, certamente o Cenário 02 é aquele ecologicamente mais amigável. Isto porque este cenário emprega reciclagem de materiais, compostagem de orgânicos e pirólise para aqueles RSU que não se enquadram como reciclável ou orgânico. Dito de outra forma, este cenário é aquele que emprega da melhor maneira os preceitos do reuso e reciclagem dos RSU, trata-se das melhores práticas ecológicas.

Além disso, se analisada a TIR como um indicador puramente financeiro, esta apresentou o melhor resultado na Alternativa 02 e Cenário 02. Ou seja, este valor revela que além da melhor prática socioambiental, este mesmo cenário e alternativa também é aquele que traz o melhor retorno econômico-financeiro. Deve-se lembrar que quem faz o tratamento dos RSU é uma empresa privada que é contratada pelo CONRESOL para destinar os RSU. Portanto, esta empresa é como qualquer outra e procura pelo lucro.

A despeito do valor da DAP estimado a partir dos lances da população para a nova tecnologia de tratamento dos RSU. Pode-se analisar qual seria o valor mínimo da DAP (menor aumento da taxa de lixo à população) para a qual o investidor tivesse o retorno mínimo esperado de 7,8% a.a. (Selic). Para tanto, foi realizado um exercício matemático, de qual seria esse valor mínimo necessário a ser acrescido a atual taxa de lixo para cada Cenário/Alternativa. Os resultados deste exercício estão expostos na tabela 67:

Tabela 67 – Valor da DAP para atingir uma TIR de 7,8% a. a.

Acréscimo Mensal da Taxa de Lixo / Domicílio			
Alternativa/Cenário	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
Alternativa 01	R\$ 7,50	R\$ 2,50	R\$ 2,37
Alternativa 02	R\$ 2,94	R\$ 0,97	R\$ 0,95

FONTE: Autor (2020)

A tabela 67 apresenta alguns resultados relevantes, pois, quando analisado os Cenários 02 (REC+COM+PIR) e 03 (PIR), percebe-se que os acréscimos necessários à atual “taxa de lixo” seriam mais facilmente aceitos pela população, dado que os valores são menores. Os reajustes na referida tarifa seriam de 4% e 11% para os Cenários 02 e 03 respectivamente. Para a melhor alternativa, o valor de reajuste é pouco menor que R\$1 por mês, em contraste com o valor da DAP estimado de R\$15,78.

6 CONCLUSÕES

A gestão dos RSU, têm como objetivo propiciar a melhoria, ou a manutenção, do bem-estar da população e é extremamente importante para a sustentabilidade das cidades. Neste sentido, uma grande dificuldade é que as sociedades de maneira geral, desejam adquirir bens de consumo demasiadamente. Logo, a geração de resíduos dificilmente será eliminada e possivelmente não será reduzida.

Porém, a busca por formas de tratamento e disposição final dos resíduos ambientalmente adequados, com agregação de valor econômico ao resíduo sólido urbano, são possibilidades reais para solução deste problema. Nesta mesma perspectiva, a educação ambiental da população é importante para que se amplie a proporção de residências com seleção de recicláveis (coleta seletiva).

A solução do problema do destino dos RSU não deve considerar somente a destinação final dos resíduos sólidos, mas também a redução na sua geração. Ao mesmo tempo, devem-se levar em consideração as oportunidades de criar recursos para a melhoria do fluxo dos RSU em todo o sistema, empregando o conceito de economia circular, atualmente muito difundido.

A literatura sobre soluções em RSU permite o conhecimento de alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares e, portanto, a definição de possíveis soluções tecnológicas hierarquizadas. Cabe destacar que o sistema de Aterro Sanitário, mesmo reconhecido como um tipo de manejo antigo e ultrapassado para as exigências sanitárias e econômicas atuais, ainda continua a fazer parte dos modelos tecnológicos indicados para a gestão dos RSU. Tanto que se encontra expresso no art. 157, seção IV, da Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, segundo a qual, os aterros sanitários devem fazer parte do sistema de gerenciamento de resíduos urbanos.

O desenvolvimento desta pesquisa a partir da metodologia ACB possibilitou a avaliação de alguns cenários de viabilidade econômica de uma planta de pirólise, agregada a unidades de separação e tratamento de materiais recicláveis e plantas de compostagem. Todas essas tecnologias objetivam o aumento da eficiência produtiva e um maior cuidado ambiental no tratamento de resíduos sólidos urbanos para os

municípios atendidos pelo CONRESOL. Deve-se destacar que esta pesquisa teve como foco os RSU destinados ao aterro sanitário da empresa Estre Ambiental SA, localizado no Município de Fazenda Rio Grande.

Dentre os objetivos deste trabalho, foi estimada a população futura dos municípios abrangidos pelo CONRESOL utilizando-se as projeções do IBGE, com uma taxa de crescimento média de 0,83%a.a. em um período de 30 anos a partir de 2020. Assim, ao final do período estudado, a população residente estimada é da ordem de 4.533.710 habitantes.

Foram estimados os custos e receitas atuais do CONRESOL, para o tratamento com aterro sanitário. Concluiu-se que o valor pago em 2019 pelas consorciadas é R\$ 89,30/tonelada e conseqüentemente R\$ 22,11/hab/ano, para a disposição final do RSU.

O valor total arrecadado pelos municípios pertencentes ao CONRESOL é de aproximadamente R\$ 275,45 Milhões de reais por ano para todos os serviços de gestão dos RSU (limpeza urbana, coleta e tratamento do RSU). Considerando a população atual de 3.508.900 habitantes e o número de domicílio dos municípios de 975.536 (Projeção IBGE 2018), concluiu-se que o valor pago é de R\$ 78,50/hab/ano e R\$ 282,37/ano/domicílio.

Observa-se que o valor pago anualmente por habitante supera o valor apresentado no PERSPR/2017 (ver Tabela 03), para cidades acima de 300 mil habitantes, que é de R\$ 57,72 hab/ano (inferior ao do CONRESOL). Porém, os dispêndios estimados pelo mesmo Plano para esta mesma faixa de habitantes são de R\$102,67 hab/ano, superior ao atualmente arrecadado. Pode-se concluir que os valores de cobrança da taxa continuam defasados, porém estão lentamente se adequando aos custos reais. Isto pode não estar relacionado ao incremento do valor da taxa de lixo, mas sim pela legislação de cada município, nos quais a isenção de cobrança é diferenciada e por vezes favorece maiores proporções da população municipal. Contudo, ao que parece a proporção de isenções não tem crescido.

Por outro lado, o que pode explicar o crescimento da receita é que em muitos locais tem-se ocupações residenciais não regularizadas que paulatinamente vão

sendo inscritas nos cadastros das prefeituras e passam a pagar a “taxa de lixo”. Existe ainda o crescimento natural das cidades e o aumento da quantidade de residências oficialmente inscritas nas prefeituras e, sendo assim passam a pagar a referida taxa.

Considerando o valor total repassado pelos municípios pertencentes ao CONRESOL (R\$ 74,35 Milhões de reais) para a Estre Ambiental em 2019, pode-se concluir que o valor pago para a destinação final dos RSU é de apenas 27% do valor arrecadado pelas prefeituras, sendo o restante destinado aos demais serviços de gestão dos RSU, tais como coleta e transporte de lixo e limpeza pública.

Para avaliação dos bens e serviços relacionados aos recursos ambientais e bens públicos, bem como o valor do ganho ambiental na mudança do sistema de tratamento do RSU, utilizou-se a estimativa do valor da disposição a pagar (DAP) da população, que foi de R\$15,78 mês/domicílio. Este valor somado ao valor atual representa, portanto, uma “taxa de lixo” de R\$ 38,73 por mês/domicílio. Ou seja, um acréscimo de 69% ao valor pago atualmente.

Com relação ao principal objetivo deste estudo, analisar economicamente a mudança de tecnologia no tratamento dos RSU utilizando-se a metodologia análise custo-benefício (ACB), todos os cenários estabelecidos se mostraram inviáveis quando não realizado o aumento do valor pago pela população na “taxa de lixo”. Isso foi revelado na análise da Alternativa 03 (sem acréscimo da taxa de lixo) dos três cenários propostos. Nesta alternativa os VPLs foram negativos e a TIR calculada ficou abaixo da taxa mínima de atratividade (SELIC de 7,8%), mesmo computando a venda dos subprodutos gerados no tratamento dos RSU (Energia, Recicláveis e Composto orgânico).

Pode-se observar nesta mesma Alternativa 03, que a relação B/C se apresentou pouco acima de 1, o que indicaria uma possível viabilidade, porém com um elevado dispêndio inicial com a implantação das unidades de tratamento dos RSU, mesmo como financiamento. Na Alternativa 03 os valores do fluxo de caixa ao fim do período não conseguem suprir os gastos iniciais, a valor presente.

Observou-se que quando agregado o valor estimado da DAP, proporcional ou integral, todos os cenários e alternativas se tornam atrativos, com VPLs positivos e TIRs também favoráveis e com a relação B/C elevada.

Dentre os três cenários propostos, aquele que se mostrou mais atrativo foi o cenário que considerou a implantação do processo de reciclagem, pirólise e compostagem combinados (Cenário 02). Isto devido ao menor custo de implantação do sistema de compostagem em comparação ao elevado custo de maquinários e de mão de obra para os processos de reciclagem semi-automatizada e os reatores pirolíticos.

Cabe ressaltar que existe um grau de incerteza maior neste cenário devido a operacionalidade do processo de compostagem depender de diversos fatores externos (clima, qualidade do material base, mercado de venda) que podem na prática alterar tais resultados. Contudo, a venda de materiais recicláveis e principalmente energia, aparentemente não teriam problemas de comercialização.

Conforme apresentado na tabela 65, os Cenários 02 (REC+COM+PIR) e 03 (PIR) são os que possuem os maiores valores da relação B/C, e quando comparados com o Cenário 01 (REC+PIR), são superiores entre 3% e 6% entre as alternativas similares.

Na análise de qual seria o valor necessário de acréscimo mensal da tarifa paga por domicílio para que haja atratividade ao investidor, com o retorno esperado mínimo de 7,8% a.a., identificou-se valores interessantes, variando de R\$0,95 a R\$7,50, dependendo do cenário/alternativa. Ou seja, valores menores que os estimados na DAP (R\$15,78). Cabe lembrar que estes dados são para as Alternativas 01 e 02, pois a Alternativa 03 considera o valor R\$ 0,00 para a DAP, ou seja, o valor da taxa de lixo pago atualmente.

Portanto, os resultados deste trabalho permitem afirmar que o incremento da taxa de lixo, considerado como valor de ganho (benefício) ambiental é fator determinante para que um cenário qualquer obtivesse maior viabilidade. Isso mesmo com os custos de investimento sendo compensados com a venda da energia e dos subprodutos gerados no processo.

Desta maneira, pode-se concluir que realizar o cenário que contempla apenas o processo de pirólise, poderia ser uma solução financeira que é viável e que implicaria menos processos industriais e maior facilidade de administração do negócio. Porém, não é a melhor alternativa ambiental, pois cerca de 12% dos RSU passíveis de reciclagem seriam pirolisados. Além disso, cerca de 45% dos RSU que poderiam ser transformados em composto orgânico também seriam pirolisados. Portanto, não separar os recicláveis e não efetuar a compostagem reduz o ganho ambiental e social da mudança da tecnologia, algo relevante e que deve ser levado em consideração.

Paralelamente, sob o aspecto financeiro, este cenário que considera apenas a pirólise e incorporação completa do valor da DAP (Cenário 03 e Alternativa 02) apresenta uma TIR de 43,9%. Logo, superior a taxa mínima de atratividade de 7,8%, ou seja, é um cenário financeiramente viável. Por outro lado, o Cenário 02 e Alternativa 02, que representa a incorporação total do valor estimado da DAP e os processos de pirólise, separação de recicláveis e compostagem, apresenta uma TIR ainda maior de 54,6%. Isto significa, que este cenário mais trabalhoso e com várias atividades e funcionários implica em maiores ganhos financeiros.

Em outro aspecto, sob o prisma da segurança do investimento, pode-se verificar que os Cenários 02 (REC+COM+PIR) e 03 (PIR), possuem resultados próximos, quando analisados os índices de VPL, B/C. Nesse aspecto, pode-se concluir que o Cenário 03 possui uma vantagem sobre o Cenário 02. Isto porque existe uma maior certeza quanto a comercialização da energia, devido a frequente demanda por esse produto e a possibilidade de garantia contratual do valor. Pode-se dizer que isso é diferente quando analisados os mercados dos materiais recicláveis e compostos orgânicos, que são mercados menores e sujeitos a maior instabilidade.

Por fim, este estudo traz contribuições ao conhecimento do atual sistema de manejo dos resíduos sólidos urbanos na região circunvizinha de Curitiba. As informações obtidas com este estudo de análise de viabilidade econômica poderão subsidiar o planejamento de políticas públicas e a elaboração de um futuro Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.

Esta pesquisa não esgota o assunto, pois ainda há outras questões a serem discutidas e desenvolvidas para solucionar os problemas causados pelos RSU, o que

revela novas oportunidades de pesquisa. Sem esgotar o assunto, poderão ser estudados os seguintes temas de pesquisa:

- Redução no uso de matéria-prima, devido ao maior volume de produto reciclado. Deste modo, ao reduzir a utilização de matéria prima “nova”, auxiliando na economia circular;
- Redução do uso de fertilizantes químicos, dada a maior disponibilidade de composto ou húmus nas áreas de plantio da região;
- Impactos nos Empregos: As novas tecnologias exigem uma equipe de trabalho especializada, não equivalente a equipe utilizada nos aterros sanitários; e
- Valorização imobiliária no entorno das plantas de tratamento, devido ao incremento de trabalhos especializados na região.

7 BIBLIOGRAFIA

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE. 2017.

ABREN. Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. **Contribuição para Consulta Pública n. 25/2019**, 2019. Brasília: ABREN, UPSIDE. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=39240&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jsPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

ANEEL. **Ambiente de contratação livre**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/ambiente-de-contratacao-livre-acl-#:~:text=Segmento%20do%20mercado%20no%20qual,e%20procedimentos%20de%20comercializa%C3%A7%C3%A3o%20espec%C3%ADficos>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

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

AVENELL, C.S.; SAINZ-DIAZ, C.I.; GRIFFITHS, A.J. Solid waste pyrolysis in a pilot-scale batch pyrolyser. **Fuel**, V.75, n.10, p.1167-1174. Ago. 1996.

BAGGIO, P.; BARATIERE, M.; GASPARELLA A.; LONGO G.A. Energy and environmental analysis of an innovative system based on municipal solid waste (MSW) pyrolysis and combined cycle. **Applied Thermal Engineering**, v. 28, n.2-3, p. 136-144, fev. 2008.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório de Inflação**. V.22, n.1, Brasília-DF. mar. 2020.

BIDONE, F. R.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BIO3 CONSULTORIA. **Bento Gonçalves transformará resíduo orgânico coletado em energia**. Disponível em: <<https://www.bio3consultoria.com.br/residuo-organico-em-energia-2020/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRAGA, B. et al. **Introdução á Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

BRASIL PNRS. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União (DOU)**. Poder Legislativo, Brasília, DF. 03 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 05 de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 1989.

BRASIL. Resolução n. 03 de 1990. Dispõe sobre padrões primários e secundários de gases poluentes. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 316 de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 237 de 1997. Dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental e no exercício da competência legal, bem como as atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 264 de 1999. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 283 de 2001. Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 2001.

BRASIL. Decreto n. 7.404 de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União (DOU)**. Brasília, D.F., 2010(a).

BRASIL, MMA. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília, DF, 2010(b).

BUAH, W.K.; CUNLIFFE, A.M.; WILLIAMS, P.T. Characterization of products from the pyrolysis of municipal solid waste. **Process safety and Environmental Protection**, V. 85, n.5, p. 450-457. 2007.

CHEN, D., YIN, L., WANG, H., HE, P. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. **Waste Management**, V. 34, n.12, p. 2466-2486. 2014.

CONRESOL. **Plano de gerenciamento do tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos**. Curitiba: Conresol. 2018.

DA SILVA, F. C.; CHITOLINA, J.C., BALLESTERO, S.D., VOIGTEL, S.D.S; MELO, J.R.B. Processos de produção de compostos de lixo e a sua qualidade como fertilizante orgânico. **Holos Environment**, v.5, n.2, p.121-136. 2005.

DAMIGOS, D.; KALIAMPAKOS, D.; MENEGAKI, M.; How much are people willing to pay for efficient waste management schemes? A benefit transfer application. **Waste Management & Research**. V.34, n.4, p. 345-355. 2016.

DEBONI, F. V. **Licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos: critérios e diretrizes para o estado do Paraná**. 78f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

DIAS, S. G. O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos. **Revista Sociedade e gestão**. V. 11, n.1, p. 16-20. 2012.

ESSENCIS. **Essencis Soluções Ambientais**. Disponível em: <essencis.com.br/regional-sul>. Acesso em: 10 nov 2019.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para Compostagem de Biosólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FGV. **Estudo técnico sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: FGV Projetos/ABETRE. Relatório final. 2007.

FRITSCH, I. E. **Resíduos sólidos e seus aspectos legais, doutrinários e jurisprudenciais**. Porto Alegre: Secretaria Municipal da Cultura. 2000.

G1 Sul de Minas. **Processos de produção de compostos de lixo e a sua qualidade como fertilizante orgânico**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2018/09/01/primeiros-testes-com-usina-que-devera-produzir-energia-a-partir-do-lixo-comecam-em-2019-em-boja-esperanca-mg.ghtml>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GREMAUD, A. P. **Manual de Economia**. 6. ed. São Paulo: Saraiva. 2011.

GULLO, M. C. R.; GREGORI, L. Valoração dos recursos naturais: uma análise do método de valoração contingente aplicado à coleta de lixo seletivo na cidade de Caxias do Sul. In: **IX Encontro sobre os Aspectos Econômicos e Sociais da Região Nordeste do Rio Grande do Sul**, Caxias do Sul: EDUCS, 2010.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000** (PNSB, 2000). Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008** (PNSB, 2008). Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE. **Diretoria de Pesquisas - DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Projeção da população dos municípios do Paraná para o período 2018 a 2040**. Nota Técnica, Curitiba: IPARDES. 2018.

IPK PIROFLEX. **Documentos**. Disponível em:
<<http://w2ebioenergia.com.br/documentos/?lang=>>. Acesso em: 23 set. 2019.

JACOBI, P. R. **Gestão compartilhada dos resíduos sólidos no Brasil: inovação com inclusão social**. São Paulo: Annablume, 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**. Piracicaba: Editora Ceres, 1998.

LEITE, M. B. F.; SILVA, G. H. J. da; SOUZA, L. F. de. Modelos matemáticos para o crescimento da população do estado de São Paulo e a exploração de diferentes taxas de crescimento. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 927-940. 2011.

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) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.

LOPES, J. C. J. L. **Resíduos sólidos urbanos: consensos, conflitos e desafios na gestão institucional da Região Metropolitana de Curitiba – PR**. 252 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LOPEZ-FELDMAN, A. **Introduction to contingent valuation using STATA**. Munich: MPRA. 2012

LUO, S.; XIAO, B.; HU, Z.; LIU, S.; GUAN, Y.; CAI, L. Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixed bed reactor. **Bioresource Technology**. V.101, n.16, p.6517-6520. 2010.

MELO, F. H. F. A. **Caracterização e estudo do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em um consórcio municipal do Estado de Pernambuco**. 123 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru. 2015.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM)

e Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Curitiba: SEDU. 2001

MORAES, P.B. **Tratamento de chorume de aterro sanitário usando eletrólise foto-assistida.** 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MOTTA, R. S., **Manual de Valoração Econômica de Recursos Ambientais.** Brasília: MMA. 1998.

NEDER, H. D. **Amostragem em pesquisas socioeconômicas.** Campinas: Alínea. 2008.

PARANÁ. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS/PR - R8 – Relatório Final do Panorama dos Resíduos Sólidos,** Curitiba: SEMA. 2017.

PARANÁ. Lei nº 19.261 de 2017. Programa Estadual de Resíduos Sólidos Paraná Resíduos para atendimento às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Estado do Paraná e dá outras providências, **Diário Oficial do Estado do Paraná.** Curitiba, 2017.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Resolução SEMA n. 043 de 2008. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para Empreendimentos de incineração de resíduos sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Paraná,** Curitiba, 2008.

PARO, A. C.; COSTA, F. C.; COELHO, S. T. Estudo Comparativo para o Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Aterros Sanitários X Incineração. **Revista Brasileira de Energia,** v. 14, n. 2, p.113-125. 2008.

PEDOTT, J. G. J. **Avaliação de resultados e causas do insucesso na geração de créditos de carbono nos Aterros Bandeirantes e Sítio São João.** 167 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2014.

PHAN, A.N.; RYU, C.; SHARIFI, V.N.; SWITHENBANK, J. Characterization of slow pyrolysis products from segregated wastes for energy production. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,** v. 81, n. 1, p.65-71, 2008.

PONTES, P. H. de A. **Avaliação contingente para a melhoria do abastecimento de água em Cabo Frio – RJ.** 133 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Departamento de Economia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

PORTAL MFRURAL. **Busca.** Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/busca/adubo-organico-granel/estado/parana/cidade/curitiba>>. Acesso em: 21 ago 2020.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** 239 f. Tese (Doutorado em engenharia dos recursos hídricos e saneamento ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Recursos Hídricos e

Saneamento Ambiental, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RODRIGUES, W.; SANTANA, W. C. Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, vol.4, n.2, p.299-312. 2012.

SCHALCH, V.; LEITE, W. D. A.; FERNANDES JUNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos–Universidade de São Paulo. 2002.

SHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**. V.7, n.8, p. 263-268. 1996.

SHIMAKURA, S. **Dimensionamento da amostra**. 2005. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~silvia/CE701/node50.html>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2007**. Parte 1, Visão geral da prestação de serviços. Brasília: MCidades/SNSA, 2009.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/coleta-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

STADLER do BRASIL. Instalação de classificação de Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <https://www.w-stadler.de/pt/6Seiter_hausmuell_oliv_portugal_web.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.

SUCATAS. **Tabela Nacional Média de Produtos Recicláveis**. Disponível em: <<http://sucatas.com/portal/pages/internas/Tabela-Nacional-de-Precos-0>>. Acesso em: 10 fev. 2020.


VIEIRA, G. G., PEDROZA, M. M., DE SOUSA, J. F. O processo de pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto–uma revisão. **Revista Liberato**. V.12, n.17, p.81-96. 2011.

TAMMEMAGI, H. **The waste crisis. Landfills, incinerators, and the search for a sustainable future**. New York: Oxford University Press, 1999.

TEIXEIRA, S.C.M. **Estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos**. 319 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2004.

WILLIAMS, P. T. **Waste Treatment and Disposal**. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2005.

8 ANEXO 01 – QUESTIONÁRIO ELETRÔNICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR	
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL	UFPR
QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA ACADÊMICA	
	
<h1>MUDANÇA TRATAMENTO LIXO DOMICILIAR - CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA</h1>	
<p>Atualmente, o município de Curitiba e parte da região metropolitana, utilizam um aterro sanitário no município de Fazenda Rio Grande para tratamento do resíduo sólido urbano (lixo doméstico) gerado pelos moradores desta região. O aterro sanitário, mesmo de acordo com a legislação brasileira, se trata de um método arcaico e desatualizado de tratamento do lixo, que gera um grande passivo ambiental, inclusive com contaminação do solo e água subterrânea. Sabe-se que o ideal é substituí-lo por tecnologias mais atualizadas, eficazes e ambientalmente mais eficientes.</p>	
<p>Um método de tratamento do lixo que é utilizado atualmente em grande parte dos países desenvolvidos é a pirólise (processo similar a incineração, porém sem gerar os poluentes desta tecnologia). A pirólise pode ser combinada com reciclagem de materiais (plástico, vidro, metais, etc.) e compostagem de materiais orgânicos (resíduos de alimentos por exemplo). Isto reduz em até 90% o volume final do lixo. O material reciclado, o adubo gerado pela compostagem e a energia elétrica gerada pelo processo de pirólise, poderão ser vendidos e auxiliarão na manutenção do processo de tratamento do lixo e geração de renda. Os 10% restantes poderão ser destinados em aterros para construção civil, pois é inerte, sem odor e livre de poluição.</p>	
<p>A notícia da Globo.com de 23/08/2016, mostra exemplo do passivo gerado pelos aterros sanitários: “Moradores sentem reflexo do lixo, 6 anos após fechamento da Caximba. Quem mora na região reclama do cheiro e da desvalorização dos imóveis. Curitiba discute proposta para gestão do lixo”.</p>	
<p>http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2016/08/moradores-sentem-reflexo-do-lixo-6-anos-apos-fechamento-da-caximba.html</p>	
<p>*Obrigatório</p>	

Gênero *

- Feminino
- Masculino
- Outro: _____

Idade *

- Menos 15
- 15 a 25
- 26 a 40
- 41 a 60
- Acima de 60

Nível de Escolaridade: *

- Sem instrução formal
- Ensino Fundamental Incompleto
- Ensino Fundamental Completo
- Ensino Médio Incompleto
- Ensino Médio Completo
- Ensino Superior Incompleto
- Ensino Superior Completo
- Pós-graduação

Você realiza algum tipo de trabalho remunerado? *

Sim

Não

Qual sua profissão? *

Sua resposta _____

Em qual cidade você mora? *

Sua resposta _____

Você mora em qual bairro desta cidade? *

Sua resposta _____

Qual sua situação familiar? *

Maior renda da casa

Auxilia nas contas da casa

Dependente maior

Dependente menor

Outro: _____

Quantas pessoas moram na sua residência? *

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6 ou mais

Qual a renda mensal da sua família (soma dos salários e outras rendas)? *

- Até R\$ 2.000
- R\$ 2.001 a R\$ 4.000
- R\$ 4.001 a R\$ 6.000
- R\$ 6.001 a R\$ 8.000
- R\$ 8.001 a R\$ 10.000
- Acima de R\$ 10.000

Em sua opinião, o tratamento adequado do lixo deve ser uma prioridade num município? *

- Sim
- Não
- Não sei

Qual seu nível de interesse em relação a um tratamento de lixo de forma adequada na sua cidade? *

- Alto interesse
- Médio interesse
- Baixo interesse
- Nenhum interesse

Você sabe como o seu lixo domiciliar é tratado? *

- Sim
- Não

O VALOR MENSAL da taxa de coleta e tratamento do lixo domiciliar na Região Metropolitana de Curitiba é de R\$ 22,95 (VINTE E DOIS REAIS DE NOVENTA E CINCO CENTAVOS), se você fosse responsável pela família, quanto a sua família estaria disposta a pagar mensalmente em R\$ para ter um tratamento mais adequado do lixo com geração de energia elétrica para toda a sociedade? *

Sua resposta _____

Se você respondeu ZERO na questão anterior, qual o motivo de você não estar disposto a pagar?

- Motivos Financeiros
- Não me importo com o problema do lixo
- É uma obrigação do governo
- O valor já é alto, não estou disposto a pagar mais
- Outro: _____

Enviar

9 APENDICE 01

Quadro 1 - Comportamentos e produtos de pirólise sob diferentes condições de reação

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
<p>O RSU foi decomposto na faixa de temperatura de 500–900 °C, e a lignina foi decomposta na faixa de 600–900 °C</p> <p>A massa da amostra para o reator de leite fluidizado foi de 1 a 3 g (a temperaturas superiores a 700 °C) ou de 0 a 30 g nos demais casos. O tamanho de partícula de PE foi de 0,5 cm. Cascas de amêndoa tinham 0,297-0,500 mm em tamanho de partícula. A amostra de RSU foi de 0,8 a 5g e moída.</p> <p>Nenhuma informação sobre tempo de permanência e taxa de aquecimento (HR)</p>	<p>RSU, cascas de amêndoa, lignina e polietileno</p>	<p>Um aparelho analítico de piroprobe e um reator de leite fluidizado de areia</p>	<p>Quando investigamos a cinética da decomposição primária e do craqueamento em alcatrão, verificou-se que, quando não havia craqueamento em alcatrão, o aumento dos rendimentos é linear com o tempo; e essa fissuração do alcatrão ocorreu do topo do leite de areia até a cabeça do reator. Além disso, a amostra pode continuar em decomposição durante o período de resfriamento, caso a temperatura não estiver muito baixa. Os RSU geraram 47% do gás total com 4,2% de metano e 3,4% de etileno. A 800°C, o polietileno teve 95% de conversão total com 19% de metano, 4% de etano, 37% de etileno, 5% de propileno, 5,5% de butilenos, 5,0% de pentano, 25% de benzeno e 2,1% de tolueno. Usando o Pyroprobe e um reator secundário, os rendimentos para a lignina foram 9% de metano, 12% de aromáticos e 1,5% de etileno</p>	<p>Font et al. (1995a,b)</p>

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
<p>O reator estava funcionando em altas temperaturas nominais (700–850°C), lote por lote.</p> <p>A HR da amostra foi avaliada em aproximadamente 670°C/s quando a temperatura nominal foi de 850 °C e aproximadamente 425 ° C/s se a temperatura nominal for de 700 °C</p> <p>Massa da amostra: 0,8 a 5 g.</p> <p>Tempo de residência: aproximadamente 20 min</p>	<p>Pellets secos de RSU</p>	<p>Reator de leito fluidizado de areia</p>	<p>Os coeficientes de transferência de calor no reator de leito fluidizado de areia para pirólise de RSU foram relatados como 112–559 (J / s m² K)</p> <p>Cerca de 70 a 80% dos alcatrões primários podem ser rachados em gases de baixo peso molecular. Quando estudada a produção de gases da pirólise de RSU à altas temperaturas nominais (700-850 °C) explorando a influência da temperatura de pirólise e do tempo de permanência dos voláteis na zona quente do reator sobre os rendimentos dos compostos de pirólise, verificou-se que a decomposição da biomassa seguida por reações de craqueamento de alcatrão ocorreram dentro do reator. Os alcatrões primários evoluíram rachados a aproximadamente 70% a 800 °C, aumentando o rendimento de gás (de 23,8% (rendimento primário) para 48,0% (rendimento secundário))</p> <p>Na temperatura mais alta de operação (850 °C) e nos altos tempos de permanência, quando o craqueamento do alcatrão estava completo, os componentes do gás eram CH₄ 6,1%, C₂H₆ 0,32%, C₂H₄ 4,5%, C₃H₈ 0,001%, C₃H₆ 0,079%, C₂H₂0,19% , C₄H₈0,002%, CO 26,1%, CO₂15,7% e H₂ 2,4%</p>	<p>Garcia et al. (1995a,b)</p>

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
<p>A temperatura final no reator era de 850°C. Para pirólise rápida, o reator foi aquecido primeiramente a 850 °C e em seguida, a amostra foi adicionada. Para pirólise lenta, os componentes dos RSU foram aquecidos juntamente com a parede do reator</p> <p>HR: 5-60 °C min-1</p> <p>Massa da amostra: 1000 g por lote</p> <p>Tempo de residência: 7-15 min</p>	<p>Componentes em RSUs, pré-tratados</p>	<p>Forno rotativo aquecido externamente, funcionando a 3r min-1</p>	<p>Ao investigar o rendimento e o valor calórico do Syngas com os componentes individuais de RSU, o tamanho das matérias-primas e os modos de aquecimento, os autores descobriram que a conversão de energia contida nos RSU em syngas era muito maiores no modo de aquecimento rápido. O PE correspondeu ao maior rendimento de syngas de 720 L/kg e os vegetais o menor rendimento de syngas de 51 L/kg, mas este último correspondeu ao maior rendimento de alcatrão e água de 0,888 kg/ kg. O valor calórico das syngas estava na faixa de 13.000 a 23.000 kJ/kg.</p>	<p>Li et al. (1999a)</p>
<p>O reator foi aquecido após a adição dos materiais. A temperatura final foi alterada de 300 para 700°C</p> <p>HR: não mencionado</p> <p>Massa da amostra: 600 g por lote</p> <p>Tempo de residência: 55 a 180 min, dependendo da temperatura</p>	<p>Componentes em RSUs, triturados com D<10 mm e depois misturados</p>	<p>Um reator de leito fixo aquecido eletricamente com descarga de N2 no início</p>	<p>Ao investigar os rendimentos dos produtos de pirólise que variam com a temperatura final, os pesquisadores descobriram que o rendimento de carvão diminuiu com o aumento da temperatura, especialmente na faixa de temperatura de 300 a 550 °C, e que o rendimento líquido de pirólise aumentou com o aumento de temperatura até 550 °C, enquanto que depois começou a declinar. O rendimento do gás aumentou constantemente com o aumento da temperatura em toda a faixa de temperatura de teste</p>	<p>Wang et al. (2005a,b)</p>

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
<p>A temperatura do leito variou de 500 a 900 °C. Massa da amostra: 1000 g por lote Tamanho da amostra: menos de 5 cm HR: não mencionado Tempo de residência: até 50 min</p>	<p>Madeira, papel, resíduos urbanos de plásticos e resíduos sólidos urbanos</p>	<p>Um reator de leito fixo aquecido eletricamente</p>	<p>Ao investigar a distribuição da produção, as características do gás, a qualidade do gás de pirólise, as características dos líquidos e do carvão de pirólise, os pesquisadores descobriram que a temperatura de pirólise é o parâmetro principal que afeta a pirólise do RSU. Com o aumento da temperatura, o rendimento gasoso aumentou e o rendimento dos líquidos de pirólise e do rendimento de carvão diminuíram em conformidade. Os principais componentes do gás de pirólise foram CO, H₂, CH₄ e CO₂. O conteúdo de CO e H₂ aumentou no componente gasoso com o aumento da temperatura. Os produtos líquidos são ricos em umidade e voláteis, e o teor bruto de carbono e cinzas no líquido é inferior a 3%</p>	<p>Jiang, 2006</p>
<p>A temperatura de pirólise variou de 400 para 700 °C HR: 10 K/min Massa da amostra: 15 g por lote Tempo de residência: estimado em 40 a 70 minutos</p>	<p>RSU sob a forma de grânulos de combustível derivado de resíduos, com granulometria de</p>	<p>Um reator de leito fixo construído em aço inoxidável e aquecido externamente por um forno de anel elétrico</p>	<p>Verificou-se que o rendimento e a composição dos produtos de pirólise dependem da temperatura. O rendimento de carvão caiu quando a temperatura de pirólise aumentou de 400°C para 700°C, enquanto a de óleo / cera e produtos gasosos aumentaram. Os caracteres recuperados também foram encontrados para ter propriedades que dependiam da fração de tamanho analisada. Os produtos gasosos obtidos a partir da pirólise consistiram principalmente de CO₂, CO, H₂, CH₄, C₂H₆ e C₃H₈ com menores concentrações de outros gases de hidrocarbonetos. Tanto o valor calórico dos gases quanto as áreas de superfície dos caracteres</p>	<p>Buah et al., 2007</p>

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
	aproximadamente 8 mm		aumentaram com a temperatura da pirólise. Os ácidos carboxílicos e seus derivados, alcanos, alcenos, grupos aromáticos mono e policíclicos estavam presentes nos óleos. Os óleos exibiram um aumento nos grupos aromáticos e uma diminuição nos grupos alifáticos à medida que a temperatura subia. A área de superfície, umidade, cinzas e conteúdo volátil dos caracteres dependiam da faixa de tamanho usada para análise.	
A temperatura do leito do reator variou de 600 a 900°C. Quando as temperaturas desejadas foram atingidas no reator, o alimentador de parafuso foi ligado para alimentar o material no reator com uma taxa de vazão de 5 g/min. Sem informação disponível para o tempo de permanência e o RH.	RSU preparados de tamanho uniforme em três grupos: menores que 5 mm, entre 5 e 10 mm e entre 10 e 20 mm	Um reator de leito fixo aquecido por um forno de anel elétrico com alimentador em parafuso na parte superior do reator	Ao avaliar os efeitos do tamanho de partícula em diferentes temperaturas do leito no rendimento e composição do produto durante a pirólise de RSU, verificou-se que a temperatura mais alta resultou em rendimentos de gás mais altos com menos alcatrão e carvão, e o rendimento de gás seco aumentou com uma diminuição no tamanho de partícula havendo redução no rendimento de carvão e alcatrão. As diferenças devido ao tamanho das partículas no desempenho de pirólise e gasificação praticamente desapareceram nas temperaturas mais altas testadas. Tamanhos de partículas menores resultaram em maiores teores de H ₂ e CO para a pirólise e a gasificação de RSU. Minimizar o tamanho das matérias-primas é um método alternativo para melhorar a qualidade do gás de pirólise e gasificação de RSU	Luo et al., 2010b

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
<p>A pirólise lenta foi realizada até 550°C (com FC de 4°C / min) em um processo de 2 h</p> <p>A pirólise rápida foi realizada a 450, 480, 510 e 550°C com poucos segundos de residência.</p> <p>Massa da amostra: 70 g de RSU em uma vazão de 24 g /min ou 12 g/min</p>	<p>RSU cortados em pedaços de 2 mm e secos no forno a 110 °C antes da pirólise</p>	<p>Um reator semi-lote cheio de areia quente como meio de transferência de calor sob atmosfera de N₂.</p> <p>O parafuso de Arquimedes assegura uma boa mistura das amostras</p>	<p>Esta pesquisa foi investigar o efeito da temperatura do reator e da FC na composição e rendimento / distribuição dos produtos de pirólise, a distribuição dos metais presentes nos RSU em relação aos produtos de pirólise e os produtos obtidos para uso como combustível na produção de energia ou como matéria-prima química bruta. Os achados importantes incluíram: (1) a matéria volátil foi degradada entre 200 °C e 560 °C a uma FC de 20 °C/min, conforme revelado por análises termogravimétricas. (2) O maior rendimento de produtos sólidos foi obtido por pirólise lenta até 550°C, porém nessas condições as frações líquidas eram baixas com baixo teor de água, livre de material ceroso. (3) O processo rápido de pirólise induz a presença de material ceroso nos produtos líquidos e processos incompletos podem ocorrer dentro de um tempo de permanência muito limitado. (4) Os gases de syngas contêm principalmente hidrocarbonetos. (5) A distribuição de íons metálicos nos óleos é insignificante</p>	<p>Velghe et al., 2011</p>

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
<p>A pirólise foi realizada até 550°C (com FC de 20 a 25 °C / min) em um processo de 30 min Massa da amostra: 1.000 g por lote</p>	<p>Frações de RSU e resíduos de plásticos misturados</p>	<p>Reator de três seções, com controles individuais de temperatura em diferentes seções, lote de operação ou operação contínua</p>	<p>Esta pesquisa investigou o impacto de impurezas como restos de comida, papel, têxtil e principalmente o solo na pirólise de resíduos plásticos. Foram estudadas emissões, produtos gasosos e líquidos da pirólise de resíduos de plásticos e impurezas. Além disso, a transferência de N, Cl e S elementar dos substratos para os produtos de pirólise foi investigada. Verificou-se que a presença de resíduos alimentares reduziu o valor do calorífico do óleo de pirólise e aumentou a umidade nos produtos líquidos. Portanto, o resíduo alimentar deve ser removido, mas o solo melhorou a pirólise plástica residual, melhorando a qualidade dos produtos de gás e petróleo. A presença de resíduos alimentares, têxteis e papel levou a maiores emissões de gases</p>	<p>Zhao et al. (2011)</p>
<p>O reator foi aquecido a 500, 550 e 600 °C para aquecimento térmico e 500 °C para pirólise termo-catalítica Massa da amostra: 50 g por lote Nenhuma informação sobre RH Tempo de residência: 5.239 s para RSU a 500 °C na ausência de catalisador;</p>	<p>RSU triturados e resíduos de plástico misturados em partículas menores que 10 mm na</p>	<p>Reator de leito fixo</p>	<p>Esta pesquisa foi para caracterizar rendimentos de produtos, propriedades de gás e óleo de pirólise para pirólise térmica e pirólise termo-catalítica. Verificou-se que os gases continham hidrogênio e hidrocarbonetos; CO e CO2 foram obtidos apenas de RSU; compostos aromáticos e cíclicos formados predominantemente na presença de catalisadores e o efeito catalítico foi mais significativo usando os resíduos plásticos</p>	<p>Ates_ et al. (2013)</p>

Condições de reação	Matéria-prima	Tipo de reator	Principais resultados aos comportamentos de pirólise e aos produtos	Referência
Faixa de 4.331 a 5.110 s usando catalisadores. 6.652 s em 500 °C, 5299 s a 550 °C e 4187 s a 600 °C	dimensão principal com e sem catalisadores			
O mesmo que acima	O mesmo que acima	O mesmo que acima	Verificou-se que a viscosidade, o comprimento molecular médio e as quantidades de contaminantes dos óleos de pirólise diminuíram ao usar catalisadores. Comparando as duas matérias-primas, os catalisadores apresentaram maior atividade usando plástico do que RSU. Tanto a estrutura de carbono quanto a isomerização de ligação dupla ocorreram durante a pirólise termo-catalítica. A morfologia e a textura dos caracteres foram modificadas por catalisadores, especialmente por catalisadores de Ni-Mo	Miskolczi et al., 2013

FONTE: Chen et al. (2014), modificado pelo Autor

10 APENDICE 02

Quadro 2 - Principais unidades e tecnologias utilizadas em plantas com processo de pirólise no mundo

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
PYROPLEQ® process (Bracker et al., 1998; Modern Power Systems, 2014)	Tambor rotativo, pirólise a 450 a 500°C; o syngas foi queimado a 1.200°C e o gás quente da câmara de combustão aquece o tambor de pirólise externamente	Entrada: RSU pré-tratado e resíduo plástico. Saída: O caractere com valor calórico de cerca de 10 GJ/t. Potência do vapor turbina	Pirólise e combustão	O centro de tratamento de resíduos de Ticino Canton na Suíça	Filtragem de gás quente por meio de cartuchos de filtro de cerâmica. É adicionado calao reator para remoção do gás ácido. Utiliza-se a limpeza convencional de gases de combustão com um filtro de saco para coleta de cinzas com injeção de bicarbonato de sódio para controle de emissão de gases ácidos. Os sólidos de limpeza de cinzas e gases ácidos são misturados e enviados para o aterro
ConTherm® technology (Tech Trade, 2014; Hauk et al., 2004)	Fornos rotativos, pirólise ocorrendo a 500 a 550°C por cerca de 1 h, combustão a gás em caldeira a carvão pulverizado.	Entrada: RSU triturado, resíduos de trituradores automotivos e até 50% de resíduos de plástico Saída: Potência da turbina a vapor	Pirólise e combustão	A usina de Hamm, na Alemanha, com capacidade de 100.000 t/ano. Parado	O gás de pirólise passa por um ciclone antes da caldeira Sistema de lavagem de gases de combustão e filtro de carvão ativo

Nome do processo	Reator condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
Gibros PEC Process ou PKA technology na Germany (IEA Bioenergy, 2004)	Forno rotativo, pirólise de 500 a 550°C, por aproximadamente 45 a 60 minutos, o forno é aquecido externamente com parte do gás produzido no processo	Entrada: RSU, resíduos industriais, pneus usados, resíduos industriais e plásticos, bem como solo contaminado Produção: gás combustível rico em CO / H ₂ , metais, basalto	Uma combinação de pirólise, gasificação (fissuração térmica) e fundição	Aalen, Alemanha, com capacidade de 25.000 t/ano	Unidade de lavagem de gás para lavar poluentes do ácido inorgânico, seguida de um filtro de saco para remover a poeira restante e uma arruela básica e uma biológica para remover H ₂ S. Finalmente, um filtro de carvão ativo para absorver dioxinas, furanos e Hg
EDDITH process (Martin et al., 1998; Malkow 2004)	Um forno rotativo funcionando entre 450 e 600 °C por 45 min. O gás é queimado a aproximadamente 1.100°C com ar saindo do secador enquanto o carvão	Entrada: RSU triturado, resíduos industriais e lodo Saída: Gás (12 MJ/kg), coque (16 MJ/kg, CARBOR®), metais, sais, principalmente resíduos de CaCl ₂ e	Pirólise e combustão	Arras, França, com capacidade de 50.000 t/ano	Os gases de combustão produzidos pela termólise é depurado e despoeirado

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
	passa por separação e filtragem de materiais	NaCl, APC. Gás é queimado para geração de calor e energia			
Noell-KRC conversion process (now Future Energy) (Malkow, 2004; Jaeger and Mayer, 2000)	Um forno rotativo e um gaseificador, a pirólise a aproximadamente 550°C, gaseificação em 1.400 a 2.000°C	Entrada: RSU, outras matérias-primas (lodo de esgoto seco) podem ser co-gasificadas Saída: gás de valor calórico médio; uma parte do gás limpo é usada para aquecer o forno. Metais e escórias podem ser usados como materiais de construção	Pirólise e gaseificação de fluxo arrastado	Freiberg, Alemanha, com capacidade para 12.000 t/ano de lodo de esgoto + 5.760 t/ano de RSU. Planta de demonstração	O gás de pirólise é despoeirado e desaguado antes de entrar no gaseificador. Existem dois lavadores para limpar o gás do gaseificador. O primeiro estágio remove H ₂ S e metais pesados, e o segundo estágio lava todos os outros contaminantes

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
Serpac technology (Malkow, 2004)	Duas câmaras interconectadas de formato cilíndrico e cônico, inclinadas e rotativas. Pirólise a 600 a 700 °C, gaseificação de carvão com ar a aproximadamente 800°C; o gás é queimado a aproximadamente 1.100 a 1.200 °C	Entrada: Resíduos mistos, RSU, resíduos industriais e hospitalares Saída: vapor, cinzas e metais	Pirólise, gaseificação e combustão	Keflavic, Islândia, com capacidade de 16.000 t/ano	Técnicas de lavagem para gás combustível e gás de combustão
Siemens Schwell-Brenn technology (Malkow, 2004; Richers and Bergfeldt, 1996)	Um tambor rotativo e um forno de alta temperatura acoplado a uma caldeira a vapor; pirólise a 450 °C por 1 h;	Entrada: Pneu, RSU, lodo de esgoto, resíduos industriais Saída: Energia em forma de vapor. Metais, vidro e cinzas	Uma combinação de pirólise e combustão a alta temperatura	Fürth, Alemanha, com capacidade de 100.000 a 150.000 t/ano, desligado em agosto de 1998 após acidente com gás de pirólise	Coletor de pó e depurador de gases de combustão

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
Mitsui R21 Process, a branch of Siemens Schwel-Brenn technology. (IEA Bioenergy, 2002	Tambor rotativo funcionando a 450°C, combustão a gás a 1.300 °C	Entrada: RSU é triturado em menos de 20 cm Saída: geração de energia a partir da combustão de gás de pirólise; carvão, metais ferrosos e não ferrosos; produção de um produto de cinzas fundidas.	Uma combinação de processo de gaseificação e fusão por pirólise	Fábrica de Yame Seibu, Japão, com capacidade de 80.000/ t/ano	Resfriador de gases de combustão seguido de dois filtros de saco em série: nº 1 para coleta de partículas e reciclagem de cinzas para o combustor e nº 2 com injeção de cal seca para controle de emissão de gases ácidos, com destinação final de resíduos sólidos
Takuma SBV(Kawai, 2009) (Derived from the above Siemens Schwel-Brenn process)	Forno rotativo e sistema de fusão de cinzas. Pirólise a 500 a 550 °C no forno rotativo; gás é queimado em uma câmara de alta temperatura	Entrada: RSU, resíduos da indústria, lodo de esgoto, etc. Produção: Energia (energia e vapor), ferro, alumínio	Uma combinação de processo de gaseificação e fusão por pirólise	Fábrica de Kakegawa, Japão, com capacidade de 50.000 t/ano	Abafador de gases de combustão seguido de dois lavadores de gás

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
Thermoselect process (Malkow, 2004; Thermoselect S.A., 2000)	Leito rotativo. O processo consiste em triturar o RSU, sendo aquecido de 500 a 600 °C para pirólise, seguido de gaseificação entre 1.200 e 2.000°C	Entrada: RSU Saída: Gás com valor calórico médio, uma parte do gás limpo é usada para aquecer o canal. Minerais e metais de escória	Uma combinação de processo de gaseificação e fusão por pirólise	Mutsu, Japão, com capacidade de 50.000 t/ano	Uma seção de têmpera por jato de água é usada para evitar a formação de dioxinas e uma unidade de lavagem de gás ácido é usada para remover o HCl e HF; uma unidade de lavagem alcalina com uma solução aquosa de hidróxido de sódio a pH mais alto é usada para remover vestígios residuais de CO2 e SO2, e o estágio de dessulfuração remove H2S do gás; um filtro de carvão ativado é instalado para atuar como uma unidade final de polimento do gás de síntese
Von Roll RCP technology (Malkow, 2004; Hesselting, 2002)	Um forno de grelha como uma câmara de pirólise; a temperatura de pirólise na câmara é aquecida por combustão parcial do gás com oxigênio	Entrada: RSU pré-tratado, resíduos de reciclagem, resíduos industriais Saída: Metal, escória; energia em forma de vapor ou energia	Uma combinação de pirólise e fusão e combustão	Bremerhaven, Alemanha, uma planta piloto com capacidade de 40.000 t/ano	Sistemas de controle de emissões de partículas e equipamentos de lavagem de gases ácidos usados em um sistema comum de geração de energia

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
	a 500 a 900°C; o gás e o carvão do produto são enviados para um reator de fundição a 1.400 °C e depois para um forno de leite fluidizado circulante				
Compact Power process Renewables Avonmouth (ERA) Limited (Malkow, 2004)	Pirólise em dois reatores tubulares a 800°C; o carvão é reagido com vapor e ar em um gaseificador de leite fixo, e a combustão de gás está em uma câmara de ciclone entre 1.200 e 1.250°C	Entrada: Lodo de esgoto desaguado, RSU pré-tratado, resíduos de saúde, pneus e sucata; Saída: Energia em forma de vapor, Material de carvão / cinza da unidade de gaseificação	Pirólise, gasificação e combustão a alta temperatura	Avonmouth, Reino Unido, com capacidade de 8.000 t/ano. (Principalmente resíduos clínicos no momento)	Lavador a seco com bicarbonato de sódio e redução seletiva de NOx catalítico (SCR). Os resíduos sólidos da unidade de lavagem a seco são enviados para o aterro

Nome do processo	Reator e condições de operação	Entrada de materiais e produtos	Tecnologia	Local de Aplicação	Dispositivo de proteção ambiental
Projeto piloto in Tianjin, China (Li et al., 2007)	Um processo de pirólise acoplada à gasificação. O reator principal é um reator de leito de parafuso e a gasificação ocorre no reator subsidiário.	Entrada: RSU pré-tratado Saída: syngas com valor calórico moderado a baixo, carvão, metais e cinzas	Pirólise e gasificação parcial	Tianjin, China, com capacidade de 1.500 t/ano	Arrefecedor e filtro de gás
Honghoo technology (Chen et al., 2013)	Fornos rotativos de várias seções, a pirólise a temperatura mais baixa 400 a 450 °C, não catalítica, transferência indireta de calor; o gás é queimado online para fornecer calor.	Entrada: RSU bruto com garrafas, pedras, tijolos e vidro separados Saída: Óleo, carvão, gás limpo (para geração de energia)	Pirólise	Shanghai, China, com capacidade de 35.000 t/ano, planta de demonstração	O gás de pirólise é lavado antes da queima.

FONTE: Chen et al. (2014)

11 APENDICE 03

Quadro 3 - Matriz de legislação aplicável no Brasil e Estado do Paraná

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Geral - Contexto empreendimento	Resíduos/ Saneamento/ Energia Renovável	Lei Estadual n° 12493/1999	Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná (Política Estadual De Resíduos Sólidos).	Critérios gerais
		Decreto Estadual n° 6674/2002	Aprova o Regulamento da Lei n 12.493, de 1999, que dispõe sobre princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos Resíduos Sólidos no Estado do Paraná, visando o	Quando da solicitação de licenciamento ambiental ou de sua renovação junto ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, deverá a atividade geradora de resíduos sólidos apresentar Plano de Gerenciamento, contemplando as atividades de geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, reutilização, transporte,

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			<p>controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências.</p>	<p>reciclagem, tratamento e/ou destinação final dos resíduos sólidos.</p>
		<p>Resolução CEAMA n° 050/2005</p>	<p>Proíbe, no Estado do Paraná, o armazenamento, o tratamento e/ou a disposição final de resíduos radioativos e explosivos; o armazenamento, o tratamento, o coprocessamento em fornos de cimento e/ou a disposição final de quaisquer tipos de resíduos de organoclorados, agrotóxicos e domissanitários, seus componentes e afins</p>	<p>Critérios gerais</p>

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			oriundos de outros Estados da Federação e/ou de outros Países.	
		Lei Federal 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
<p>Geral - Contexto empreendimento</p>	<p>Resíduos/ Saneamento/ Energia Renovável</p>	<p>Lei Federal nº 12305/2010</p>	<p>Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.</p>	<p>Critérios gerais</p>
		<p>Decreto Federal nº 7404/2010</p>	<p>Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê</p>	<p>Critérios gerais</p>

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa	
		Decreto Federal nº 7405/2010	Institui o Programa Pró-Catador, denomina Comitê Interministerial para Inclusão Social e Económica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis o Comitê Interministerial da Inclusão Social de Catadores de Lixo	Critérios gerais
		Decreto nº 11.671/2014	Dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis – Iluminando o Futuro e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável.	Define que será dado tratamento prioritário de parte da administração pública direta e indireta do Estado aos empreendimentos de geração de energias renováveis, resguardadas suas Condições técnicas, operacionais e financeiras de atendimento, nos

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
				processos de licenciamento ambiental junto ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP.
Licenciamento Ambiental	Critérios/Diretrizes Gerais	Lei Federal 6.938/81	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências	Critérios gerais
		Resolução Conama 01/86	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental	Critérios gerais
		Decreto Federal 99.274/90	Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.	
		Resolução CONAMA nº 237/1997	Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente	Critérios gerais
		Resolução CEMA 65/2008	Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
		<p>Lei Complementar 140/2011</p>	<p>Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.</p>	<p>Critérios gerais</p>

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Licenciamento Ambiental	Critérios/Diretrizes Gerais	Portaria IAP nº 202/2016	Estabelece os critérios para exigência e emissão de Autorizações Ambientais para as Atividades de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.	Revogou Portaria IAP nº 224/2007. O recebimento dos resíduos (dependendo da origem e tipologia) para tratamento anaeróbico, e a destinação dos subprodutos a serem gerados no processo, está sujeito à Autorização Ambiental a ser expedida pelo IAP.
Controle Ambiental/Padrões	Efluente/Re cursos Hídricos	Resolução CEMA 81/2010	Dispõe sobre Critérios e Padrões de ecotoxicidade para o Controle de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais no Estado do Paraná	Definição dos padrões de ecotoxidades e metas
Controle Ambiental/Padrões	Emissões Atmosféricas	Lei Estadual nº 13806/2002	Dispõe sobre as atividades pertinentes ao controle da poluição atmosférica, padrões e gestão da qualidade do ar, conforme específica e adota outras providências.	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
		Resolução CONAMA n° 382/2006	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas	Critérios gerais
		Resolução SEMA n° 016 de 2014	Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar, padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços	Unidades de biodigestão devem atender os artigos 12, 22 – item VIII (motores Estacionários a biogás), artigos 58, e 72 da Resolução SEMA 16/14.
Ruídos		Resolução CONAMA n° 001/1990	Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas.	Esta resolução recorre à NBR 10.151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade, que estabelece metodologia de medição de ruídos para comparação com limites, ou Níveis de Critério de Avaliação (NCA), definidos para seis diferentes tipologias de áreas habitadas e períodos (diurno/noturno),

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
Aspectos Locacionais	Municipal Uso e Ocupação do Zoneamento Solo	Lei Municipal	Plano Diretor - estabelecimento dos parâmetros de uso e ocupação do solo do município.	Atender os requisitos de uso e ocupação do solo. Variável conforme município a ser instalada a planta.
Regulamentação Subprodutos	CDR	Resolução CONAMA 264/99	Coprocessoamento em Fornos de Clinquer: Define procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o coprocessoamento de resíduos em fornos rotativos de clinquer para a fabricação de cimento	Critérios gerais
		Resolução CONAMA 316/02	Sistemas de Tratamento Térmico: Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
		RESOLUÇÃO CEMA 076/2009	Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético.	No caso de produção de CDR e coprocessamento de resíduos em fornos de cimento deverá atender às exigências e procedimentos dessa resolução.
Regulamentação Subprodutos	Energia Elétrica	Lei nº 9.074/1995	Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.	Critérios gerais
		Lei nº 10.848/2004	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478,	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.	
Regulamentação Subprodutos	Energia Elétrica	Decreto nº 5.163/2004	Regulamentação comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004	Estabelece procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada	
		Resolução Normativa ANEEL nº 167/2005	Estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL nº 506/2012	Estabelece as condições de acesso ao sistema de distribuição por meio de conexão a instalações de propriedade de distribuidora e dá outras providências.	Critérios gerais
		Resolução Normativa ANEEL 482/2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de	Critérios gerais

Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
			energia elétrica, e dá outras providências.	
Regulamentação Subprodutos	Energia Elétrica	Norma técnica Copel - NTC 905100/2010 - Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da Copel (com comercialização de energia)	Fornece os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica ao sistema elétrico de distribuição da Copel em Média Tensão - MT (13,8 e 34,5 kV) e em Alta Tensão - AT (69 e 138 kV)	Critérios gerais
		Resolução Conjunta SEMA/IAP n°09/2010.	Dá nova redação a Resolução Conjunta SEMA/IAP n°005/2010, estabelecendo procedimentos para licenciamentos de unidades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Estado do Paraná.	Aplica-se aos geradores de energia elétrica que pretendem implantar empreendimentos de geração conectando-se ao sistema de distribuição da Copel para comercialização da energia. Critérios para licenciamento das linhas de transmissão/distribuição.

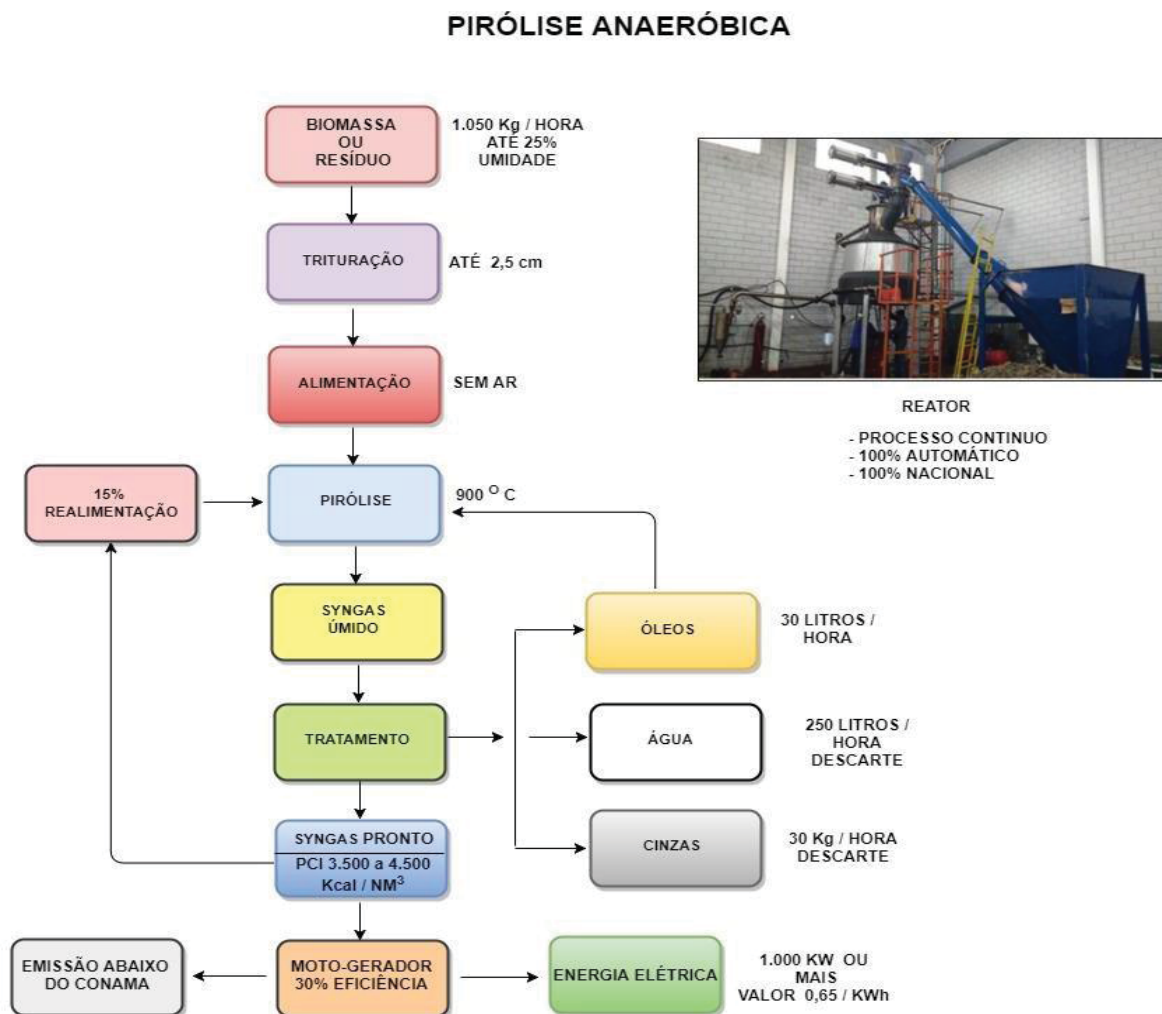
Contexto	Área	Legislação	Descrição	Aplicabilidade
		Constituição do Estado do Paraná	Observada a legislação federal pertinente, a construção de centrais termoeletricas, hidrelétricas e a perfuração de poços de extração de gás de xisto pelo método de fraturamento hidráulico da rocha dependerá de projeto técnico de impacto ambiental e aprovação da Assembleia Legislativa; a de centrais termoeletricas, desse projeto, dessa aprovação e de consulta plebiscitária. (Art. 209.)	Em caso de cogeração ou geração de energia deverá ser solicitada aprovação da Assembleia Legislativa.

Fonte: Deboni (2017)

12 APENDICE 04

12.1 FASES DO PROCESSO DE PIRÓLISE

Figura 11 – Diagrama do Processo de Pirólise Anaeróbica



Fonte: IPK PIROFLEX (2019)

12.2 PREPARAÇÃO DO RESÍDUO PARA PIRÓLISE

Nessa etapa o resíduo ou a biomassa são triturados de forma a apresentarem a granulometria adequada para serem introduzidos no reator de pirólise (o ideal é 2,5 cm).

Esse subsistema consiste basicamente em uma tremonha de alimentação, um triturador, esteiras transportadoras (essas últimas deverão ser adequadas ao tipo de resíduo envolvido no processo). Uma das esteiras transportadoras pode ser magnética, de modo a retirar partículas metálicas ferrosas.

12.3 ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA DE PIRÓLISE

Esse subsistema tem por função introduzir no reator o resíduo já preparado. Seus principais componentes são: outra tremonha de alimentação, um elevador vertical de caneca e um transportador horizontal.

12.4 PIRÓLISE/GASEIFICAÇÃO

Os resíduos ou biomassas são introduzidos em um reator, onde o ar não é admitido, e a temperatura é mantida entre 800°C e 900°C. Nestas condições, as cadeias de carbono se rompem, formando o “syngas” e água vaporizada.

O processo de pirólise é exotérmico, portanto, não precisa de combustível externo para ser mantido em funcionamento, após a reação estabelecida. O combustível somente é necessário para manter a temperatura desejada para produção do “syngas” e para evaporação da umidade contida nos resíduos ou biomassa.

Após estabilizado o processo é necessário devolver ao reator entre 10% e 20% do “syngas” produzido para auto-alimentação do processo de pirólise, dependendo do teor de umidade do resíduo ou biomassa. Os principais componentes do “Syngas” são H₂, CH₄, CO e CO₂. O PCI do mesmo atinge entre 3.500 e 4.500 kcal / Nm³, suficiente para acionar motogeradores.

12.5 TRATAMENTO DO GÁS SÍNTESE DA PIRÓLISE

O “gás de síntese” produzido pelo reator de pirólise deve ser purificado, pela remoção de umidade, óleos e partículas sólidas. Isso acontece em um processo de condensação em vários estágios, que usa um equipamento projetado especificamente para isso. O processo de limpeza opera algumas fases contra a corrente e outras fases em favor do fluxo de gás. Os óleos e água recuperados são separados por diferenças de densidade, e os óleos são enviados de volta para o reator de pirólise, porque eles têm poder calorífico elevado, e são voláteis.

A água restante é filtrada e enviada para eliminação adequada ou reutilização. A quantidade de água a ser descartada ou reciclada corresponde ao percentual de umidade existente nos resíduos ou na biomassa. Como exemplo, se a umidade for 30%

do peso dos resíduos, então, para cada tonelada processada, 300 litros de água resultarão para uso ou eliminação.

12.6 GERAÇÃO DE ENERGIA VIA PIRÓLISE

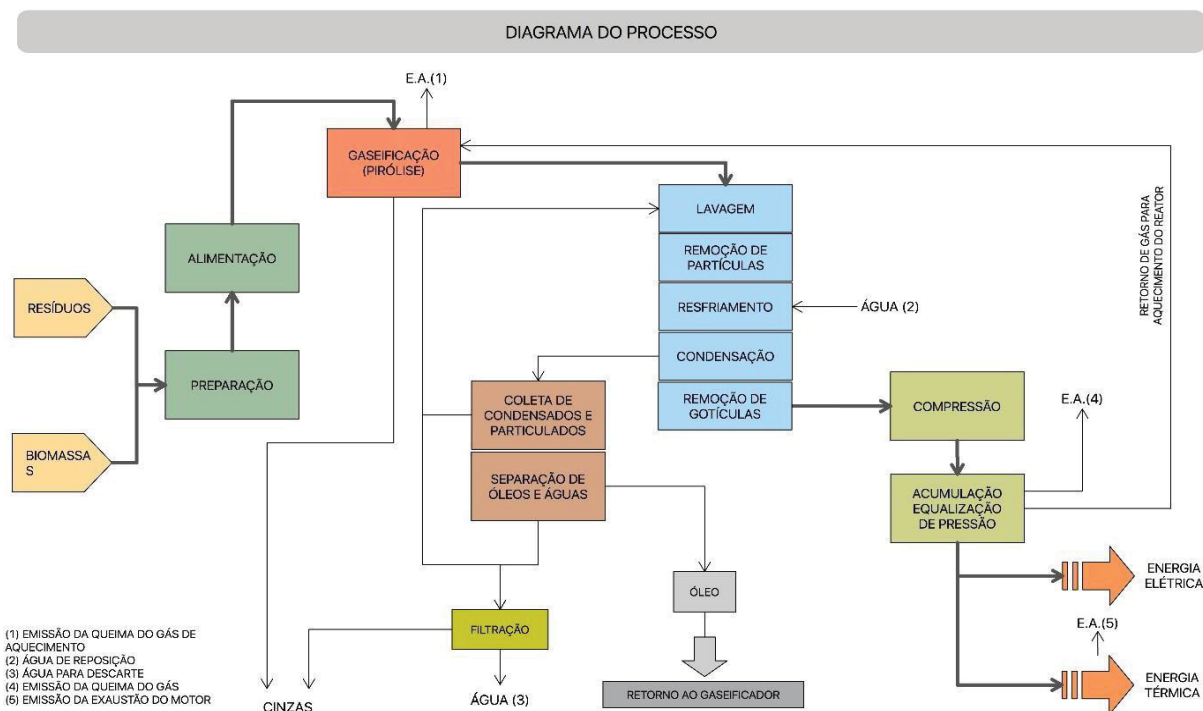
Nesta última fase, o “syngas” é usado como combustível, para alimentar um moto-gerador, ou um queimador que será usado como fonte térmica em diversas aplicações possíveis. O "syngas" tem o poder calorífico que varia de 3.500 a 4.500 kcal/Nm³.

Esse poder calorífico é o suficiente para mover motores de combustão no Ciclo Otto, originalmente desenvolvidos para mover a gás natural. Alguns fabricantes de motores já realizaram adaptações para recebimento do "syngas". O "syngas" também pode substituir o gás natural em fornos industriais e outras aplicações térmicas. Os mesmos queimadores que usam o gás natural, podem ser regulados para o recebimento do "syngas".

12.7 DIAGRAMA DO PROCESSO DE PIRÓLISE

O diagrama do processo de pirólise anaeróbica é mostrado a seguir:

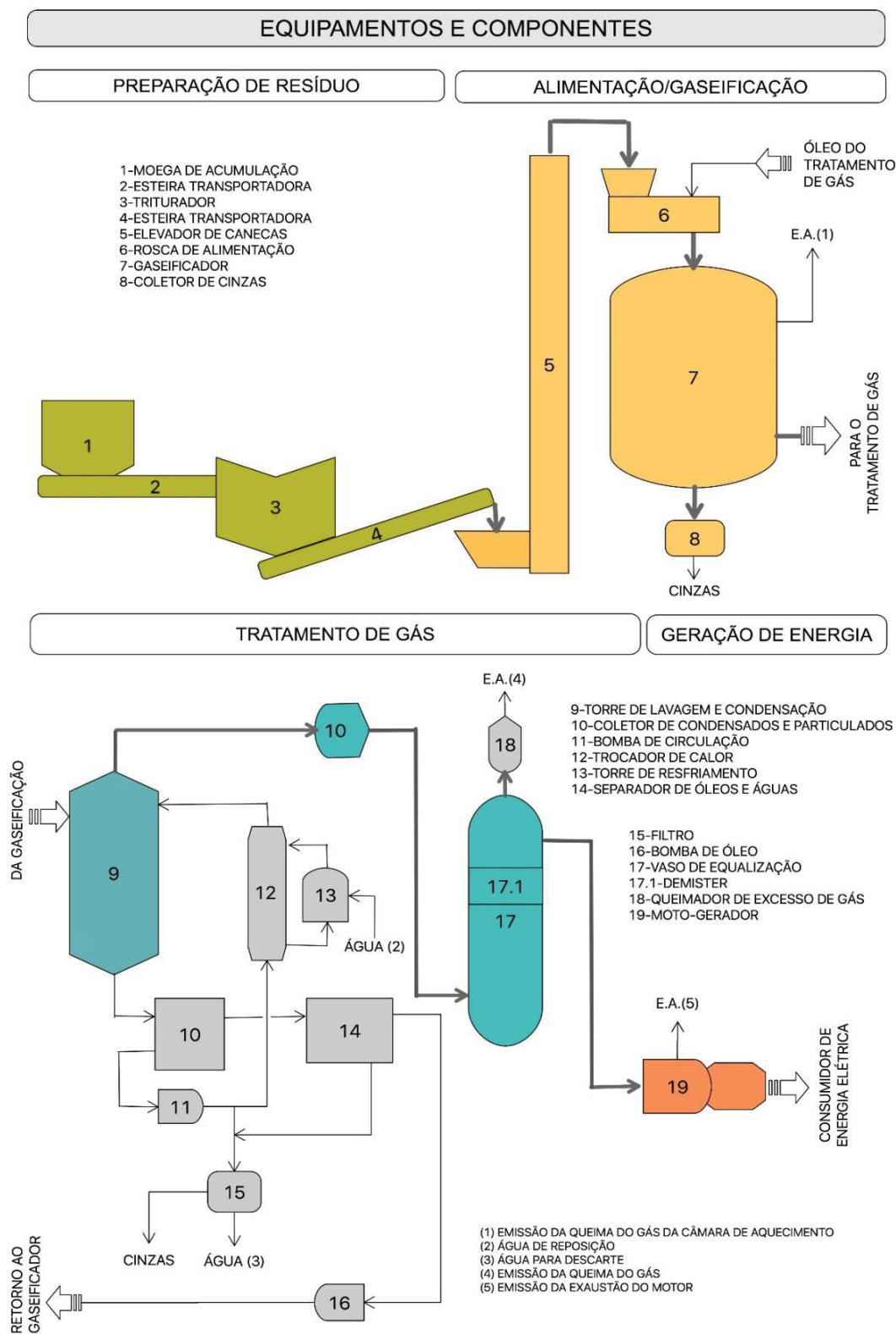
Figura 12 – Diagrama do processo de pirólise



Fonte: IPK PIROFLEX (2019)

12.8 COMPONENTES DO SISTEMA DE PIRÓLISE

Figura 13 – Equipamentos e componentes do processo de pirólise



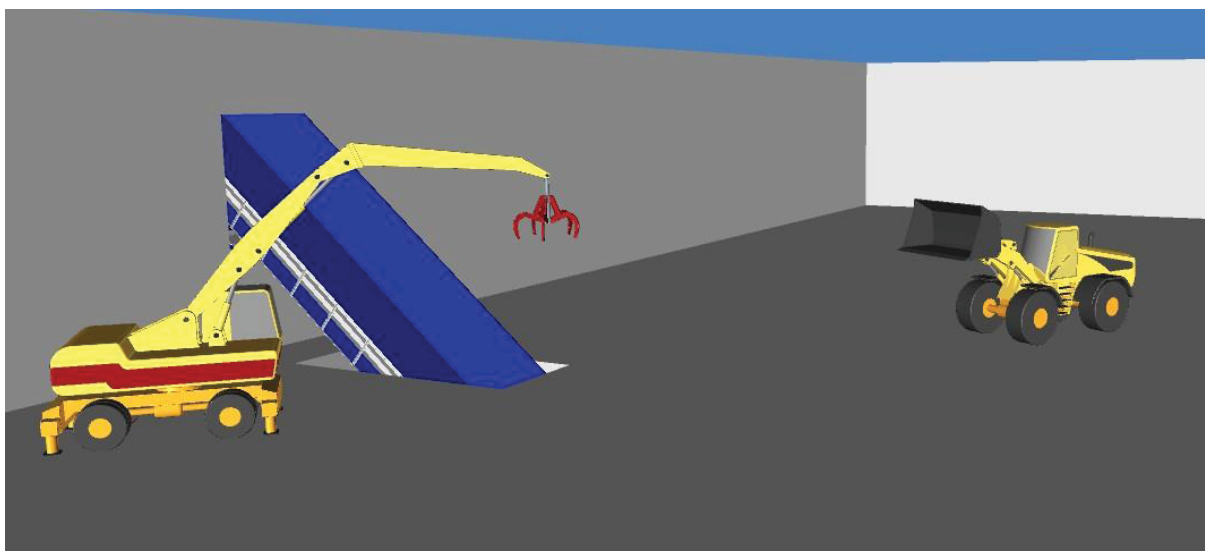
Fonte: IPK PIROFLEX (2019)

13 APENDICE 05

13.1 PROCESSAMENTO NA PLANTA DE RECICLAGEM

O processo se inicia na alimentação da planta. A alimentação poderá ser feita por meio de uma pá carregadeira, garra articulada de alta capacidade ou outro equipamento similar que descarregará o material na Correia de Alimentação da Planta AL-1010, que é uma correia do tipo KF da STADLER movida por correntes e de grande robustez. Esse equipamento levará o material até a Correia de Triagem Manual Primária CT-1020 que passará pela Plataforma Seleção Primária onde operários farão a remoção dos impróprios e volumosos.

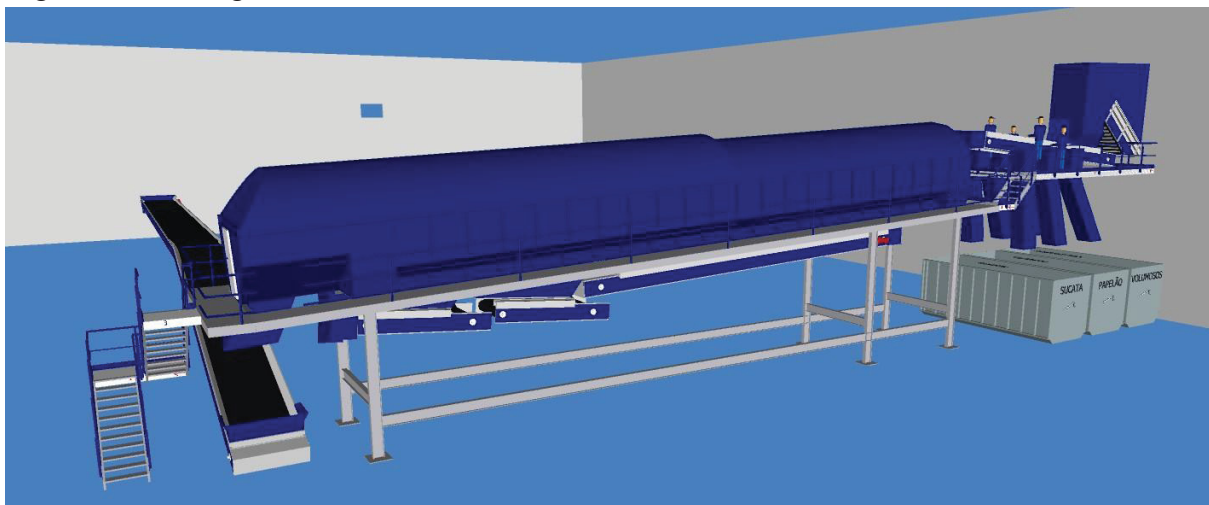
Figura 14 – Alimentação da planta de reciclagem



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

Essa correia possui inversor de frequências para ajuste da velocidade da correia e a equipe de triagem. Em seguida a Correia CT-1020 descarrega o material no Peneira Rotativa Corpo TR-1030.

Figura 15 – Triagem Manual e Peneira Rotativa

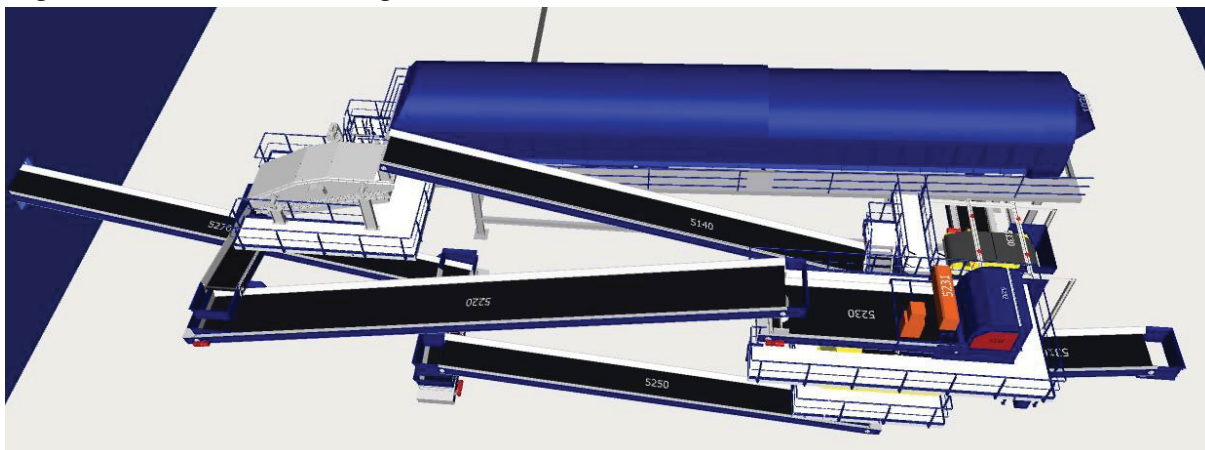


Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

A Peneira Rotativa TR-1030 possui diferentes malhas de peneiramento e separa o material em 3 frações, a primeira malha é redonda de 70-80 mm de diâmetro com comprimento útil de peneiramento de 12 metros com lâminas para proporcionar uma pré-abertura dos sacos com o resíduo e separa os materiais finos menores que 70-80 mm, fração composta basicamente por materiais orgânicos, terra, areia, e outros materiais pequenos.

Essa fração cai por uma calha até a Correia Coletora de Finos da Peneira CT-5010, essa correia transporta a matéria até a Correia Transportadora de Finos da Peneira CT-5020. Acima da extremidade final da CT-5020 existe o Separador Magnético de Ferrosos de Finos SF-5130, equipamento composto por um eletroímã e uma correia de limpeza que faz a remoção dos materiais Ferromagnéticos do fluxo e lança diretamente na calha da Prensa Automática de Ferrosos PR-8210 que faz a prensagem do material ferroso. O restante do material da CT-5020 chega à Correia de Alimentação da Flip Flop CT-5140.

Figura 16 – Tratamento orgânico



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

Na segunda malha da Peneira Rotativa são separados os materiais soltos com dimensões entre 80 mm e 120 mm compostos por garrafas, latas, potes, frascos e outros materiais similares, essa fração é coletada pela Correia Coletora da Fração 120 da Peneira CT-2010 que descarrega na Correia Transportadora de Fração <120 mm CT- 2020. A Correia CT-2020 passa pela Plataforma de Triagem Secundária onde um operário pode remover impróprios, após a triagem a CT-2020 descarrega na correia de alimentação do Separador Balístico 1 CT-2030, essa por sua vez é responsável pela alimentação do Separador Balístico I SB-2040.

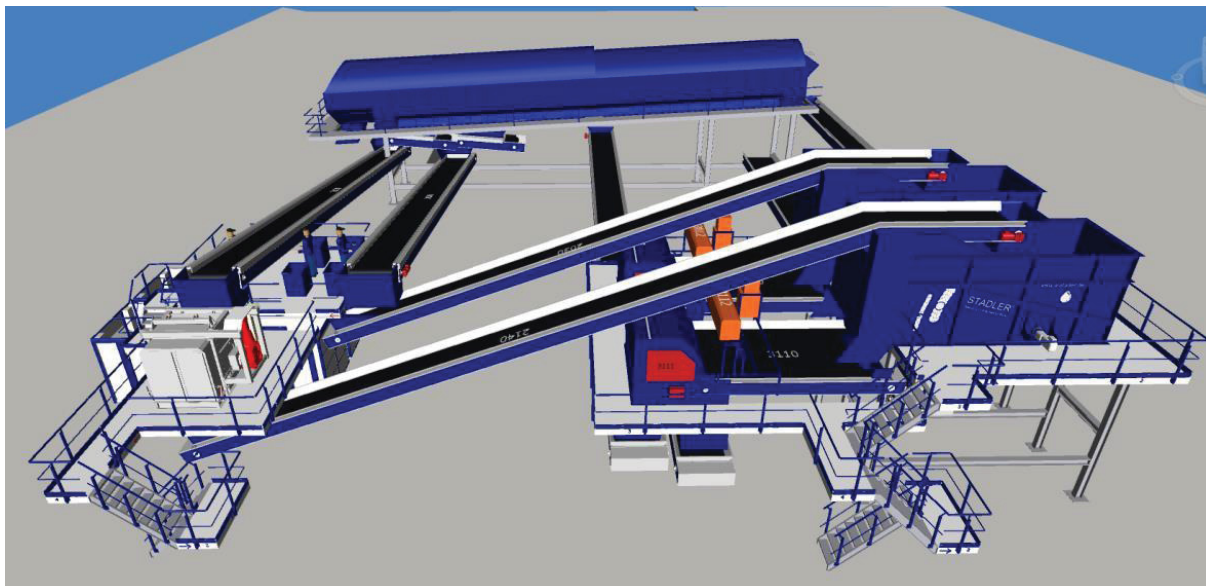
A terceira fração a sair da Peneira Rotativa é a fração que passa pela malha redonda de 350 mm, essa fração possui sacos de tamanho pequeno e médio ainda não abertos e cai sobre a Correia Coletora de Fração < 350, a CT-2110, ela por sua vez descarrega o material na Correia de Alimentação do Rasga Sacos CT-2120.

Essa correia, antes de descarregar o material no Rasga Sacos, passa também pela Plataforma de Triagem Secundária na qual os operários fazem a remoção de impróprios e outros materiais. Após isso, a CT-2120 descarrega o material no Rasga Sacos RS-2130.

Esse equipamento força a passagem dos sacos ainda fechados e com material até um pente, causando o rompimento, abertura e esvaziamento de tais sacos. Após este processo, o material é descarregado na Correia de Alimentação do

Separador Balístico II CT-2140 que é responsável por alimentar o Separador Balístico II SB-2150.

Figura 17 – Área de Rasga Sacos e Balísticos



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

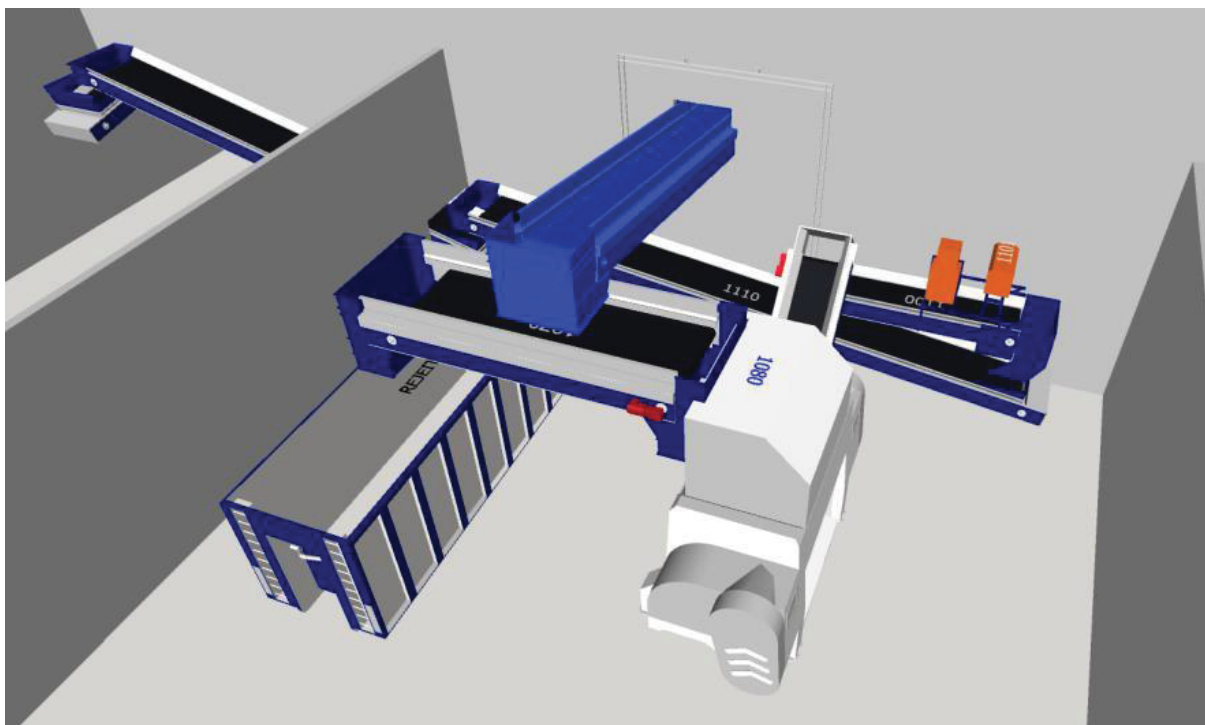
A quarta e última fração a sair da Peneira Rotativa é dos materiais com dimensões maiores que 380 mm, essa fração sai pelo transbordo da peneira e cai na Correia Coletora do Transbordo na Peneira CT-1040. Essa correia passa pela Plataforma de Triagem Manual na qual operários fazem a triagem manual dos materiais volumosos, impróprios e aproveitáveis. A CT-1040 possui inversor de frequências para ajuste da velocidade da correia com a velocidade de triagem.

Após a seleção os materiais são descarregados na Correia Transportadora de Rejeito de Planta CT-1050. Essa correia possui, posicionado acima dela, o Separador Magnético de Rejeito SF-1060 que remove o material ferromagnético e descarrega em um recipiente apropriado para isso.

O restante do material da CT-1050 chega até a Correia Reversível de Rejeitos e o triturador CT-1070 que é reversível e pode alimentar tanto o Triturador TT-1080 (LindnerKomet 2800) quanto um contêiner de rejeito. O triturador TT-1080 descarrega o material triturado na Correia Coletora de Material Triturado CT-1090 que por sua vez descarrega na correia CT-1100.

A correia CT-1100 possui o Analisador de Materiais NA-1101 posicionado acima dela. A CT-1100 descarrega na Correia Transportadora de Material Triturado I CT-1110 que descarrega na Correia Transportadora de Material Triturado II CT-1120 que por sua vez descarrega na Correia Transportadora de Material Triturado III CT-1130 e em seguida na Correia Transportadora de Material Triturado IV CT-1140.

Figura 18 – Área de Trituração

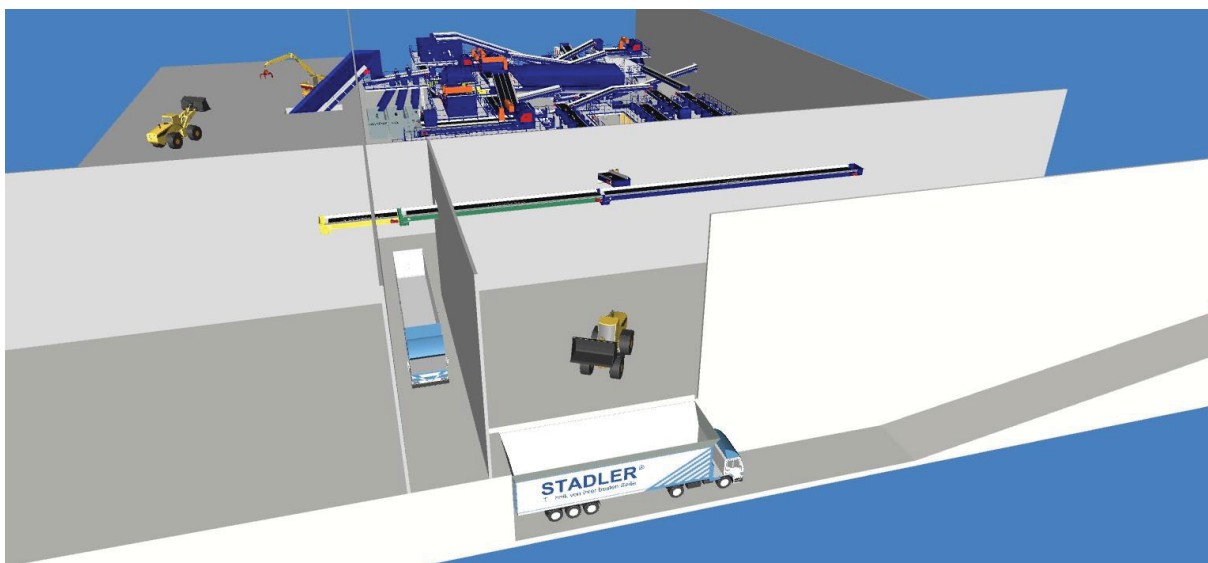


Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

A Correia CT-1140 leva o material até a Correia Reversível e Móvel de Descarga de material triturado. Essa correia pode descarregar o material no pátio de material triturado ou diretamente nos caminhões de coleta desse material.

Os Separadores Balísticos, SB-2040 e SB-2150, são do modelo STT-5000, este equipamento possui um conjunto de pás oscilatórias com malhas de peneiramento que dividem os materiais em 3 fluxos. A malha de peneiramento é de 45 mm e inclinação ajustável de 0° à 25° por meio de sistema hidráulico.

O fluxo de finos é o fluxo que contém os materiais que passam pela malha de perfuração das pás, pequenos pedaços de material menores que 45 mm como tampas, pedras, terra e impróprios pequenos.

Figura 19 – Área de Trituração

Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

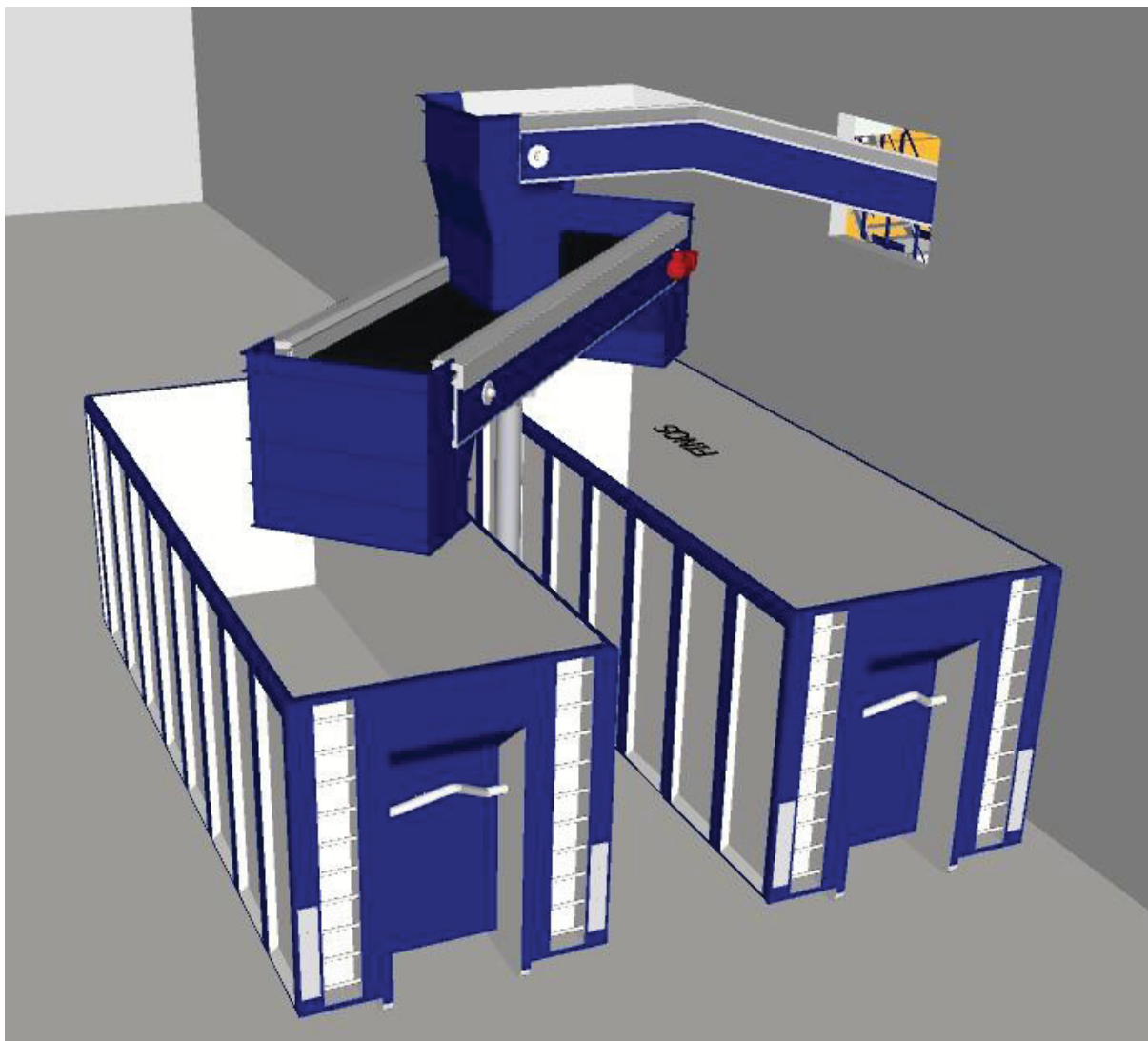
Esse fluxo é coletado pela Correia Coletora de Finos do Separador Balístico I CT- 5110 e pela Correia Coletora de Finos do Separador Balístico II CT-5115. Essas correias descarregam o material na Correia Transportadora de Finos dos Separadores Balísticos CT-5120, que por sua vez leva o material até a Correia de Alimentação da Flip Flop CT-5140.

Na extremidade final da CT-5120 (descarga) está o Separador Magnético de Ferrosos SF-5130 já citado anteriormente que faz a remoção dos materiais ferrosos, o restante é descarregado na Correia CT-5140. Essa correia descarrega o material na Peneira Flip Flop FF-5150.

A Flip Flop faz o peneiramento do material fino e a remoção do material com maiores dimensões. Os materiais finos caem por uma calha até a Correia Coletora de Finos da Flip Flop CT-5270 que descarrega na Correia Reversível e Móvel de Finos à Contêineres CT-5280.

Essa correia é reversível e possui um sistema de movimentação responsável por alimentar e distribuir o material fino nos contêineres que são substituídos à medida que se enchem de material.

Figura 20 – Descarga automática dos finos nos containers



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

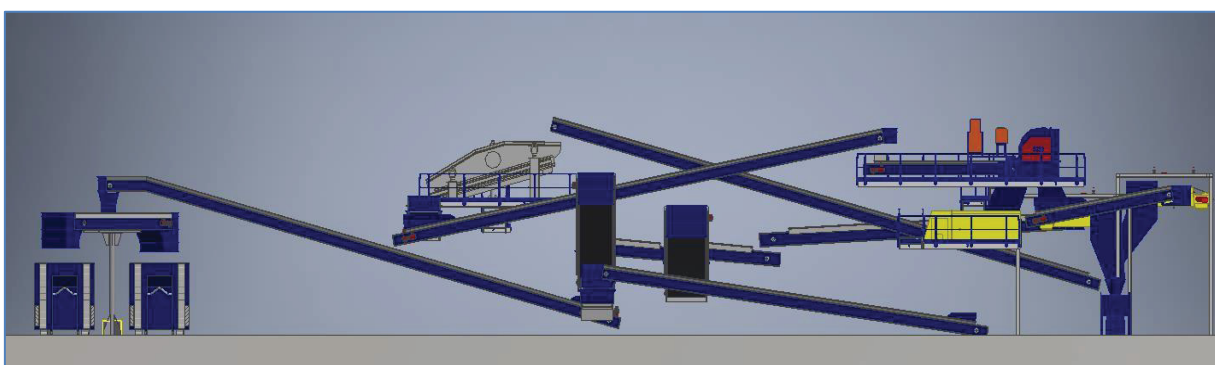
O material que não passa pela malha da FF-5150 é coletado pela Correia Coletora do Transbordo da Flip Flop CT-5210 que leva o material até a Correia de Alimentação do Ótico de Finos CT-5220. Como o próprio nome já diz, a CT-5220 descarrega o material na Correia de Aceleração do Ótico de Finos AC-5230.

A correia de aceleração da STADLER possui variador de frequências para o ajuste preciso da velocidade de transporte, velocidade essa que é mais elevada em relação ao restante das correias, a qual é requisitada para formação de uma camada de material que possibilita uma detecção e por consequência uma seleção mais apurada e eficiente por conta dos separadores óticos.

O Separador Ótico SO-5232 tem faixa de medição de 2000 mm de largura, está disposto acima da correia de aceleração AC-5230 e faz a detecção do tipo de material. O Software do separador ótico faz a escolha dos materiais a serem separados de acordo com sua programação e envia o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados. O Separador Ótico SO-5232 faz a seleção soprando em positivo os materiais que possam ser aproveitados na linha de seleção automática de 3D e em negativo cairão o restante dos materiais, a fração Positiva soprada é coletada pela Correia Coletora de Positivo do Ótico de Finos CT-5310 que descarrega o material na Correia Coletora de Rolantes dos Balísticos CT-4010. A Fração Negativa cai até o Separador Indutivo de Finos SI-5240.

Esse equipamento usa um campo magnético variável para induzir correntes, repelir e separar os metais não magnéticos do fluxo, esses metais são coletados pela Correia Coletora de Metais não Magnéticos CT-6110 que leva o material diretamente ao Bunker de Armazenamento de Metais não Magnéticos BU-8010. O material não selecionado pelo SI-5240 cai até a Correia Coletora de Rejeito do Indutivo de Finos CT-5250 que transportará o material até a Correia Transportadora de Rejeito do Indutivo de Finos CT-5260, essa correia por sua vez descarrega o material na correia CT-5270.

Figura 21 – Linha de finos



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

Nos Separadores Balísticos devido ao movimento oscilatório e inclinação das pás, o restante do material é dividido em dois fluxos, rolantes (3D) e planares (2D), sendo os rolantes descarregados na Correia Coletora de Rolantes CT-4010 e os

planares dos Separadores Balísticos SB-5030 e SB-5140 que são coletados pelas Correias Aceleradoras de Planares AC-3010 e AC-3110 Respectivamente.

A correia de aceleração da STADLER possui variador de frequências para o ajuste preciso da velocidade de transporte, velocidade essa que é mais elevada em relação ao restante das correias sendo requisitada para formação de uma mono camada de material que possibilita a detecção e, por consequência, uma seleção mais apurada e eficiente por conta dos separadores óticos.

Os Separadores Ótico SO-3012 e SO-3112 terão faixa de medição de 2800 mm de largura e estarão dispostos acima das correias de aceleração AC-3010 e AC-3110 respectivamente fazendo a detecção do tipo de material. O Software do separador ótico fará a escolha dos materiais a serem separados e enviará o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados. Os Separadores Ótico SO-3012 e SO-3112 farão a seleção soprando em positivo Papel e Papelão (ou outro material de livre escolha de acordo com a gravimetria) e em negativo cairão o restante dos materiais, a fração Positiva, soprada, de ambos os separadores será coletada pela Correia Coletora de Positivo de 2D CT-6210 que descarregará o material na Correia Transportadora de Fração Positiva de 2D CT-6220 e em seguida o material chega à Correia de Tiragem Manual de Papel e Papelão CT-6230. Essa correia passa pela Plataforma de Triagem Manual onde operários fazem a seleção manual dos materiais aproveitáveis, o restante do material que chegar ao final da correia é descarregado no bunker armazenador de papel misto.

A Correia CT-6230 possui variador de frequências para o ajuste da velocidade da correia à seleção manual realizada pelos operários. A Fração Negativa de ambos os separadores óticos de planares é coletada pela Correia CT-3120, essa fração segue até a Correia Transportadora de Fração Negativa de 2D CT-3130 que descarrega na Correia de Aceleração do Ótico III de Planares AC-3140.

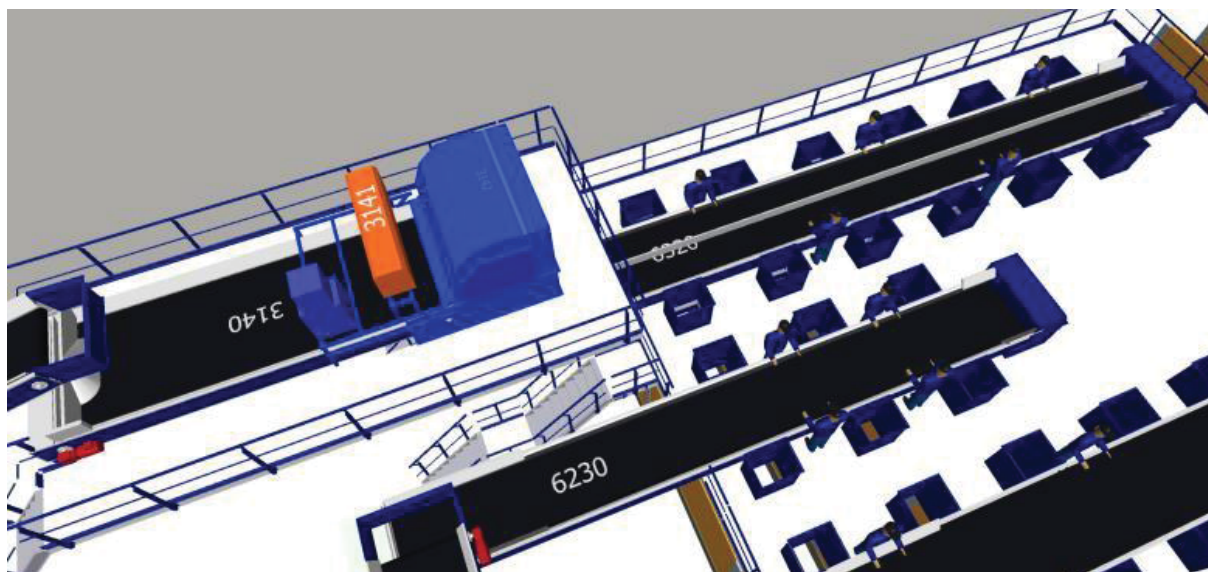
O Separador Ótico SO-3142 tem faixa de medição de 2800 mm de largura e está disposto acima da correia de aceleração AC-3140 fazendo a detecção do tipo de material. O Software do separador ótico faz a escolha dos materiais a serem

separados e envia o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados.

O Separador Ótico SO-3142 faz a seleção soprando em positivo os materiais de livre escolha de acordo com a gravimetria e em negativo cairão o restante dos materiais, a fração Positiva será coletada pela Correia Coletora de Positivo do Ótico III de Planares CT- 6310 que descarrega na correia aceleradora IV de Planares AC-3140-A com o ótico de papelão SO-3141-A.

O soprador e o resto do ótico de papelão SO-3141-A descarrega o material na Correia de Triagem Manual de Planares I CT-6320 que é dividida longitudinal para o transporte de dois fluxos de material, o papelão e papel misto. Essa correia passa pela Plataforma de Triagem Manual onde operários fazem a seleção manual dos materiais aproveitáveis, o restante do material que chega ao final da correia é descarregado no bunker armazenador de papel misto e papelão separadamente.

Figura 22 – Separador ótico

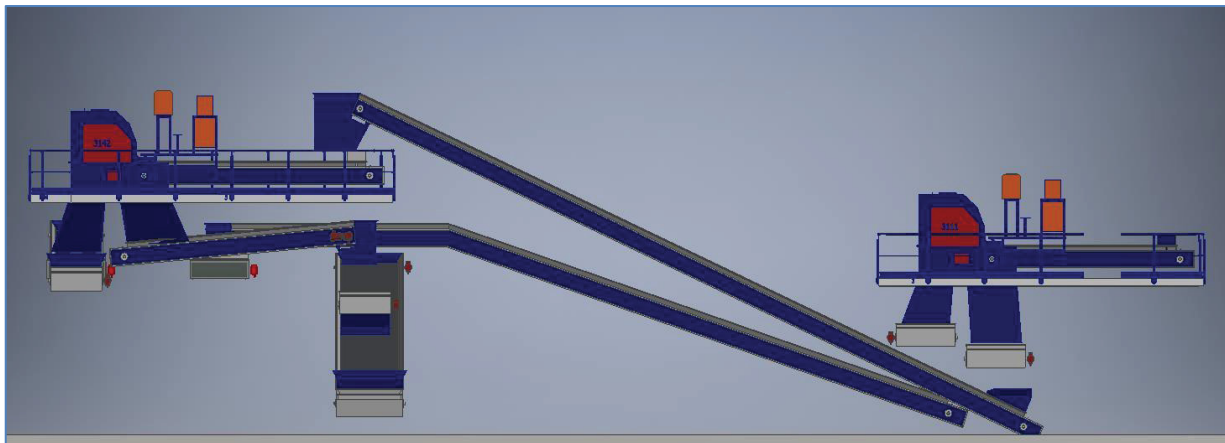


Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

A Correia CT-6320 possui variador de frequências para o ajuste da velocidade da correia à seleção manual realizada pelos operários. A fração negativa do SO-3142 é coletada pela Correia Coletora de Fração Negativa do Ótico III de Planares CT-3150 que transporta o material até a Correia Transportadora de Fração Negativa do Ótico

III de Planares CT-3160, essa correia descarrega o material na correia CT-1040, a qual coleta o material do transbordo da Peneira Rotativa.

Figura 23 – Linha de planares 2D



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

O terceiro fluxo a sair dos Separadores Balísticos SB-2040 e SB-2150 é o fluxo dos rolantes também conhecidos como 3D, esse é o fluxo que contém os materiais rígidos e com volume que rolam para a parte mais baixa das pás devido à inclinação e movimentação delas, é nesse fluxo que estão as garrafas e materiais de PET, PP, PEAD, Tetra dentre outros. Esse fluxo é coletado pela Correia Coletora de Rolantes dos Balísticos CT-4010, nessa correia está disposto por cima dela o Separador Magnético de Ferrosos de Rolantes SF-4020 que também descarrega o material na Prensa de Ferrosos PR-8210.

Na sequência o fluxo de material da CT-4010 chega à Correia de Alimentação dos Óticos de Planares CT-4030 que descarrega o material na Correia de Aceleração de Rolantes I AC-4040, correia de mecanismo similar ao já citado para as outras correias de aceleração.

O Separador Ótico SO-4042 tem faixa de medição de 2800 mm de largura, está disposto acima da correia de aceleração AC-4040 e faz a detecção do tipo de material. O Software do separador ótico faz a escolha dos materiais a serem separados e envia o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados.

O Separador Ótico SO-4042 faz a seleção soprando em positivo os Plásticos, Tetra e Papelão e em negativo cairão o restante dos materiais considerados rejeito de 3D (rolantes), a fração positiva cairá no Canal 1 da Correia de Aceleração de Rolantes II de Duplo Canal AC-4110. A fração negativa do SO-4042 cairá sobre a Correia Coletora de Rejeito de Rolantes CT-4050 que levará o material até a o canal 1 da Correia Coletora de Rejeito de Rolantes de Triplo Canal CT-4120.

Continuando a sequência de separação de rolantes nos separadores óticos, o material que chega ao Canal 1 da AC-4110 é selecionado pelo Separador Ótico de Rolantes II de Duplo Canal SO-4112. O Separador Óticos SO-4112 tem faixa de medição de 2800 mm de largura, está disposto acima da correia de aceleração AC-4110 e faz a detecção do tipo de cada material. O Software do separador ótico faz a escolha dos materiais a serem separados e envia o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados.

O Separador Ótico SO-4112 faz no Canal 1 a seleção soprando em positivo o PET (ou outro material de livre escolha) e em negativo cairão o restante dos materiais, a fração positiva do Canal 1 do SO-4112 cairá sobre o Canal 2 CT-4120. A fração negativa do SO-4112 é coletada pelo Canal 1 da Correia Coletora de Fração Negativa do Ótico II de Rolantes CT-4210, essa correia descarrega o material presente em seu canal 1 no canal 1 da Correia Transportadora de Fração Negativa do Ótico II de Rolantes CT-4220.

A correia CT-4220 por sua vez descarrega o material de seu canal 1 no canal 1 da Correia de Aceleração de Rolantes III de Duplo Canal AC-4230. O Separador Ótico SO-4232 tem faixa de medição de 2800 mm de largura, está disposto acima da correia de aceleração AC-4232 e faz a detecção do tipo de material. O Software do separador ótico faz a escolha dos materiais a serem separados e envia o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados.

O Separador Ótico SO-4232 faz a seleção soprando em positivo o PEAD (ou outro material de livre escolha) e em negativo cai o restante dos materiais. A fração positiva do Canal 1 do SO-4232 cai sobre o Canal 1 da Correia de Controle de

Qualidade de PEAD CT-6710 que adentra à Plataforma de Seleção Manual e Controle de Qualidade onde os operários fazem a seleção manual e o controle de qualidade do PEAD Natural e Cores.

A correia CT-6710 descarrega o material no bunker de armazenamento de PEAD e possui variador de velocidade para permitir o ajuste da velocidade de triagem manual à velocidade da correia. A fração negativa do Canal 1 do SO-4232 cai na Correia de Recirculação de Rolantes I CT-4240, essa correia leva o material até a Correia de Recirculação de II CT-4250 que descarrega o material no Canal 2 da Correia de Aceleração de Rolantes II AC-4110.

O material da recirculação chega pela CT-4250 ao Canal 2 da Correia de Aceleração AC-4110, o Canal 2 do Separador Ótico SO-4112 faz a seleção soprando em positivo PP (ou outro material de livre escolha) e em negativo cai o restante dos materiais (Tetra + Plásticos Misto), a fração positiva cai no Canal 3 da CT-4120. A fração negativa do Canal 2 do SO-4112 cai sobre o Canal 2 da CT-4210, essa correia descarrega seu Canal 2 no Canal 2 da Correia CT-4220 e em seguida no Canal 2 da Correia de Aceleração AC-4230.

O Canal 2 o Separador Ótico SO-4232 faz a seleção soprando em positivo o Tetra (ou outro material de livre escolha) e em negativo caem os Plásticos Mistos. A fração positiva é coletada pelo Canal 1 da Correia Coletora de TETRA e Plástico Misto de Duplo Canal CT-6810 e a Fração Negativa é coletada pelo canal 2 da mesma correia CT-6810.

Essa correia descarrega os materiais de seus canais 1 e 2 respectivamente nos canais 1 e 2 da Correia de Controle de Qualidade de Tetra e Plástico Misto CT-8120 que adentra à Plataforma de Seleção Manual e Controle de Qualidade onde os operários fazem o controle de qualidade e seleção manual do Tetra no canal 1 e do Plástico Misto no canal 2, ao final da correia CT-4820 cada material cairá separadamente em seu respectivo bunker de armazenamento.

A Correia Coletora de Rejeito de Rolantes PET e PP de Triplo Canal CT-4120, como o seu próprio nome diz, possui 3 canais separados, no Canal 1 há o rejeito de rolantes proveniente da seleção negativa do Ótico I de Rolantes SO-4042. No canal 2

há o PET proveniente da seleção positiva do Canal 1 do Ótico II de Rolantes SO-4112 e por último no Canal 3 há o PP proveniente da seleção positiva do Canal 2 do Ótico II de Rolantes SO-4112.

Os três canais da Correia CT-4120 descarregam respectivamente nos três canais da Correia Transportadora de Rejeito de Rolantes PET e PP de Triplo Canal CT-4130 que por sua vez descarrega o material na Correia Aceleradora de Rejeito de Rolantes PET e PP de Triplo Canal AC-4140.

O Separador Ótico IV de Rolantes SO-4142 tem faixa de medição de 2800 mm de largura, está disposto acima da correia de aceleração AC-4140 e faz a detecção do tipo de material. O Software do separador ótico faz a escolha dos materiais a serem separados e envia o comando para a abertura das válvulas de ar comprimido responsáveis pela ejeção dos materiais selecionados. O Separador Ótico SO-4142 faz a seleção soprando em positivo os materiais para recirculação no Canal 1, PET Cores, no Canal 2 e PP Cores no Canal 3. Em negativo cai o rejeito de planta no Canal 1, PET Cristal no Canal 2 e PP Neutro no Canal 3. A fração Positiva do Canal 1 (Materiais para recirculação) cai por uma calha até a Correia Transportadora de Recirculação CT-6920 que descarrega o material na Correia de Alimentação dos Óticos de Rolantes CT-4030 fazendo com que o material torne a passar pela sequência de óticos.

O material separado em negativo pelo Canal 1 cai até o Separador Indutivo de Metais não Ferrosos SI-4150, esse equipamento seleciona em positivo os metais não ferrosos e em negativo cai o restante dos materiais (rejeito), ambas as frações são coletadas pela Correia Coletora de Rejeito e Não Ferrosos de duplo canal CT-4160, cada material em seu canal respectivo.

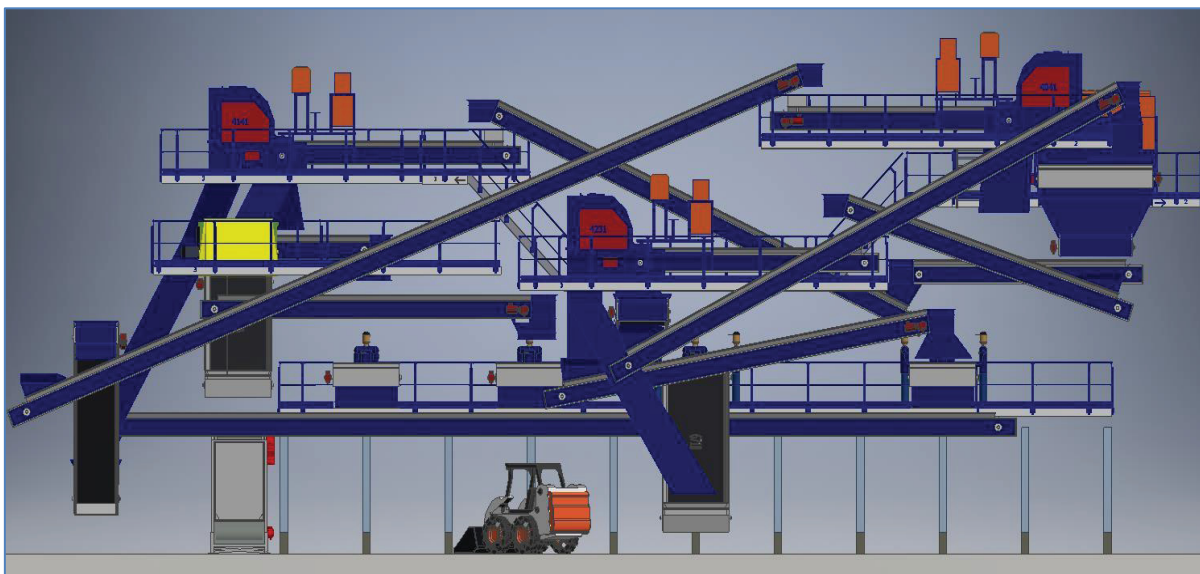
A Correia CT-4160 descarrega o material de seu Canal 1 na Correia de Seleção Manual de Rolantes CT-4170 que adentra a Plataforma de Seleção Manual e Controle de Qualidade onde os operários fazem a seleção manual dos materiais não selecionados automaticamente pela planta, ao final o material que restar na correia será descarregado em um contêiner de rejeito de 3D que deverá substituído assim

que estiver cheio. O Canal 2 da Correia CT-4160 descarrega o material no Bunker armazenador de Não Ferrosos BU-8010.

Voltando à seleção do Separador Ótico IV de Rolantes, SO-4142, as frações positiva e negativa do Canal 2 caem separadamente sobre os Canais 1 e 2 da Correia Coletora de PET Cristal e Cores de Duplo Canal CT-6620, que por sua vez descarrega o material nos Canais 1 e 2 da Correia de Controle de Qualidade de PET de Duplo Canal CT-6620, essa correia adentra à Plataforma de Seleção Manual e Controle de Qualidade onde operários realizam o controle de qualidade do PET Cristal e do PET Cores nos Canais 1 e 2 respectivamente, deixando cair os materiais selecionados corretamente em seus respectivos bunkers. A Correia CT-6620 possuirá variador de frequências para o ajuste da velocidade da correia e a velocidade de triagem dos operários.

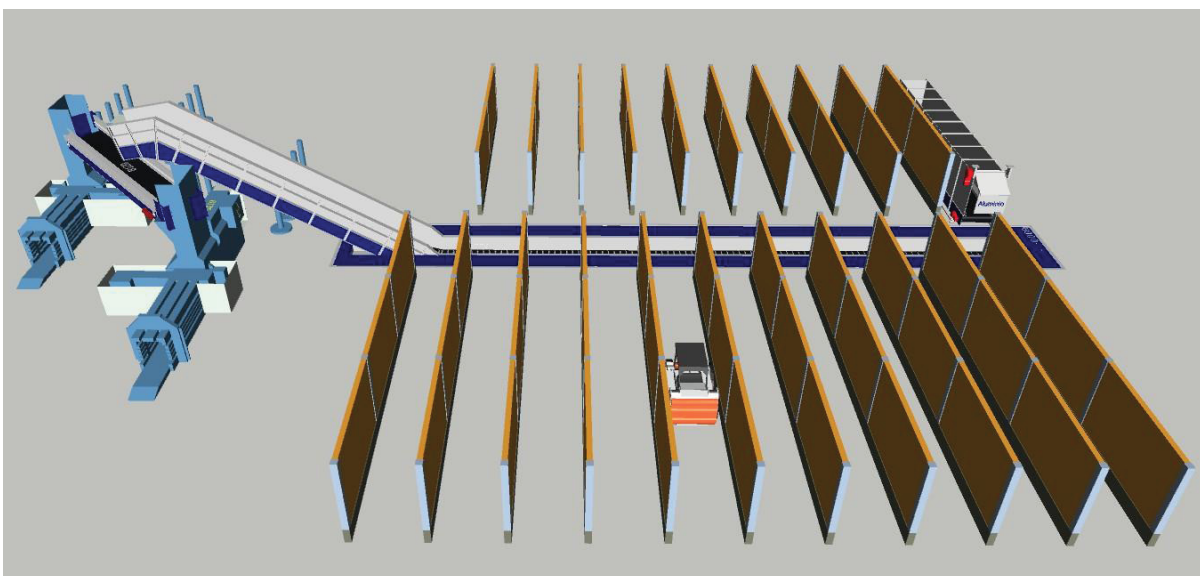
As frações positiva e negativa do Canal 3 caem separadamente sobre os Canais 1 e 2 da Correia Coletora de PP Nutro e Cores de Duplo Canal CT-6520, que por sua vez descarrega o material nos Canais 1 e 2 da Correia de Controle de Qualidade de PP de Duplo Canal CT-6520, essa correia adentra à Plataforma de Seleção Manual e Controle de Qualidade onde os operários realizam o controle de qualidade do PP Neutro e do PP Cores nos Canais 1 e 2 respectivamente, deixando cair os materiais selecionados corretamente em seus respectivos bunkers. A Correia CT-6520 possui variador de frequências para o ajuste da velocidade da correia e a velocidade de triagem dos operários.

Nos Controles de Qualidade os operários tem a opção de lançar os materiais selecionados de forma incorreta pelo equipamento na Correia Coletora de Recirculação do Controle de Qualidade CT-6910 que levará o material até à Correia CT-6920.

Figura 24 – Separador óptico de rolantes

Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

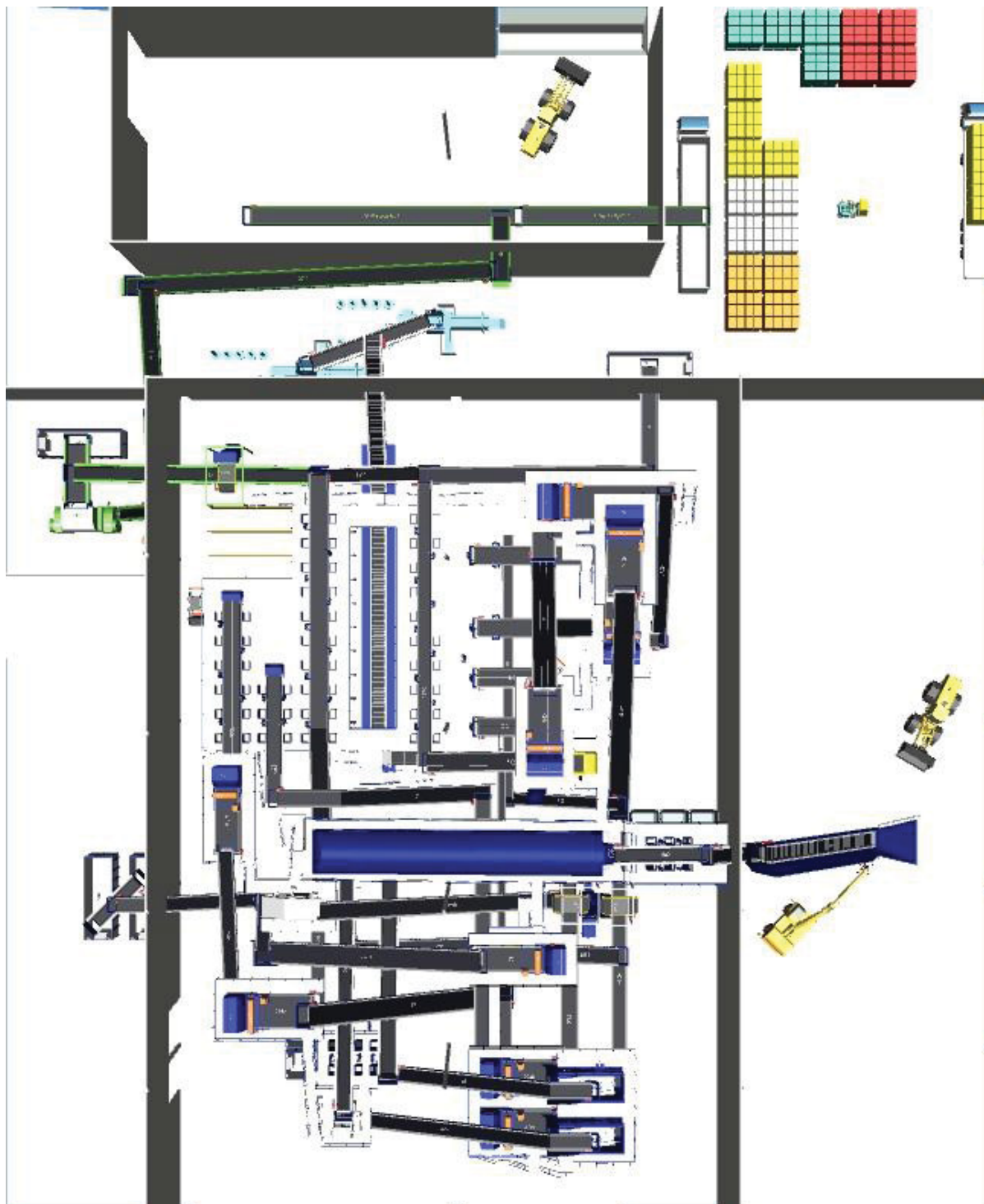
Ao final do processo de seleção, os materiais estarão dispostos de forma separada em baias de armazenamento, e com o uso de uma mini pá carregadeira são empurrados separadamente até o Alimentador de Prensa AL-8110 que descarrega o material na Correia Reversível de Alimentação às Prensas de Sub Produto CT-8120 responsável pela alimentação das Prensas Automáticas Enfardadoras de Material PR-8130 e PR-8135 que fazem a prensagem e atado do material, formando fardos de produtos recicláveis e finalizando o processo.

Figura 25 – Baias manuais e prensagem

Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

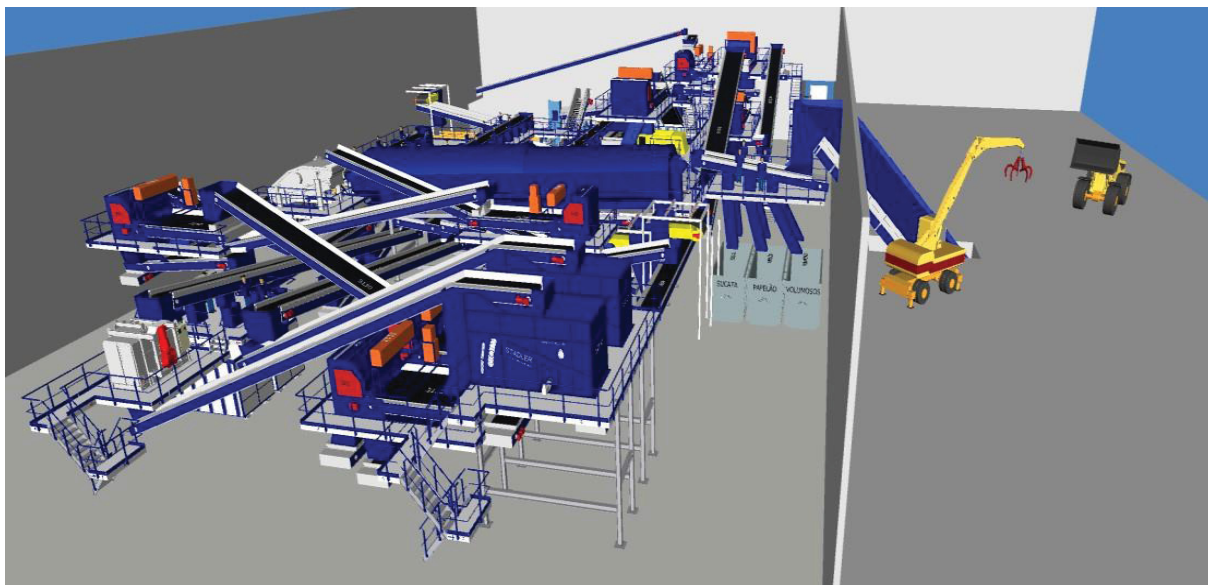
13.2 PLANOS E DESENHOS NA SEPARAÇÃO DE RECICLÁVEIS

Figura 26 – Planta Geral da separação de recicláveis



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)

Figura 27 – Perspectiva Geral da separação em 3D



Fonte: STADLER DO BRASIL (2019)