

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS

**UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

MARIA SOARES DE LIMA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DECISÃO DE INVESTIMENTO EM TECNOLOGIAS
WtE PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO**

SÃO LEOPOLDO

2021

MARIA SOARES DE LIMA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DECISÃO DE INVESTIMENTO EM TECNOLOGIAS
WtE PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

SÃO LEOPOLDO

2021

L732a Lima, Maria Soares de.
Análise do processo de decisão de investimento em tecnologias WtE para resíduos sólidos urbanos : um estudo de caso / por Maria Soares de Lima. – 2021.
171 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2021.
“Orientador: Dr. Miguel Afonso Sellitto”.

1. Gerenciamento de RSU (Resíduos sólidos urbanos). 2. Tecnologias WtE (Waste-to-energy). 3. Hierarquia de resíduos. 4. Saúde pública. I. Título.

CDU: 658.5:628.4

MARIA SOARES DE LIMA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DECISÃO DE INVESTIMENTO EM TECNOLOGIAS
WtE PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

APROVADO EM ____/____/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto – Orientador – PPGEPS UNISINOS

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – PPGEPS UNISINOS

Profa. Dr.^a. Gisele de Lorena Diniz Chaves– UFES

Profa. Dr.^a Miriam Borchardt – PPGEPS UNISINOS

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade”.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer à Deus por me dar forças para ingressar no mestrado, conhece meu esforço para chegar até aqui. Meu agradecimento a meu esposo Alcemar que sempre me deu força para seguir meus objetivos pessoais, teve compreensão ao longo desta jornada acadêmica, meu filho Luís Henrique que me ajudou com feedbacks nas figuras, sendo muito importante para meu aprimoramento, minha mãe Cecília que sempre ficava preocupada com as minhas idas e vindas de Bento Gonçalves à São Leopoldo, meu eterno agradecimento pelos ensinamentos que sempre me deste e pelo exemplo de bondade e paciência, estes ensinamentos foram importantes nesta jornada.

Ao meu orientador Dr. Miguel Afonso Sellitto, meu agradecimento pela confiança depositada em meu trabalho, nas orientações ficava durante muito tempo pesquisando e pensando se havia compreendido o que havia me passado em nossas reuniões, sempre tinha um esforço tremendo para que eu pudesse atender suas expectativas. Tenho muita admiração e respeito pelo grande professor e pesquisador que és, mais uma vez meu agradecimento pela oportunidade.

Meu agradecimento ao corpo de professores doutores que tive o privilégio de ser aluna e que contribuíram muito com o meu crescimento profissional, pessoal e acadêmico, prof. Dr. Daniel Pacheco, prof. Dr^a Miriam Borchardt, prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Jr., profa. Dr^a Maria Isabel Wolf Motta Morandi, enfim todo o corpo docente da Unisinos e a secretaria do PPG que sempre foi muito prestativa.

O grande agradecimento a minha amiga Juciléia que sempre me ajudou nos momentos que precisei, com seu suporte profissional, consegui fazer o mestrado e manter o nível de qualidade aos clientes da Ética Consultoria. Também quero agradecer ao doutorando da Unisinos Nelson Kadel Jr., por suas contribuições ao meu trabalho, sempre muito prestativo e que contribuiu com as entrevistas realizadas aqui nesta dissertação, meu muito obrigada.

RESUMO

O gerenciamento dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) soluciona de forma adequada os desafios trazidos pelos RSU, bem como através da recuperação de valor destes materiais pelas tecnologias WtE (Waste-to-Energy) torna-se uma boa opção de fonte de energia renovável. Porém a opção de investimentos nestas tecnologias são decisões tomadas acerca de muitos critérios estabelecidos pelos gestores, devido à complexidade que envolvem os materiais de RSU. Neste contexto, este estudo se propõe a servir de um guia para que possa suportar a tomada de decisão sobre as tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU, numa abordagem qualitativa/quantitativa. O resultado do estudo apontou e analisou os critérios 15 critérios que podem suportar a tomada de decisão do projeto de investimento em tecnologia WtE para RSU. Bem como apresentou a avaliação da viabilidade financeira-econômica deste projeto, apontando como viável economicamente, com resultado do VPL (Valor Presente Líquido) de mais de 7 milhões de reais do período e TIR (Taxa Interna de Retorno) de 9,10% tornando-se atrativo estes projetos em países em desenvolvimento, sendo que este projeto em estudo se trata de uma parceria público-privada, assim foi avaliado a questão da viabilidade econômica tanto do ponto de vista da gestão municipal quanto da concessionária. Contribuindo para o desenvolvimento destas tecnologias em países em desenvolvimento pelos resultados aqui trazidos, bem como aponta oportunidades de consórcios entre municípios e a geração de combustível gerado a partir destes, podendo ser uma fonte de viabilidade para estes projetos. Concluindo com os resultados viáveis para estes projetos de investimentos bem como a validação dos critérios que podem suportar o processo de decisão.

Palavras chaves: Gerenciamento de RSU; Tecnologias WtE; Hierarquia de Resíduos; Saúde Pública.

ABSTRACT

The management of MSW (Urban Solid Waste) adequately solves the challenges brought by MSW, as well as by recovering the value of these materials by WtE (Waste-to-Energy) technologies, it becomes a good option for a renewable energy source. However, the option of investing in these technologies are decisions made about many criteria established by managers, due to the complexity involved in MSW materials. In this context, this study proposes to serve as a guide so that it can support decision making on WtE technologies for the management of MSW, in a qualitative/quantitative approach. The result of the study pointed out and analyzed the criteria 15 criteria that can support the decision-making of the investment project in WtE technology for MSW. As well as presenting the assessment of the financial and economic viability of this project, pointing it as economically viable, with a result of the NPV (Net Present Value) of more than 7 million reais in the period and the IRR (Internal Rate of Return) of 9,10%, these projects are attractive in developing countries, and this project under study is a public-private partnership, so the issue of economic viability was assessed both from the point of view of municipal management and the concessionaire. Contributing to the development of these technologies in developing countries by the results brought here, as well as pointing out opportunities for consortia between municipalities and the generation of fuel generated from these, which can be a source of viability for these projects. Concluding with the viable results for these investment projects as well as the validation of the criteria that can support the decision process.

Keywords: MSW management; WtE Technologies, Waste Hierarchy; Public Health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia do Gerenciamento de Resíduos	21
Figura 2 – Geração dos RSU no Brasil.....	22
Figura 3 – Geração de RSU Per Capita por Ano x PIB Per Capita 2018 de Alguns Países de Baixa, Média e Alta Renda.....	24
Figura 4 – Resultado da Busca da Revisão Bibliográfica pelo Tema.....	26
Figura 5 – Necessidade de Integrar o Gerenciamento de RSU	32
Figura 6 – Participação das Fontes de Energia no Brasil de 2008 e 2018.....	33
Figura 7 – Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos e seus Produtos.....	38
Figura 8 – Processo de Pirólise	40
Figura 9 – Esquema de um Incinerador WtE.....	44
Figura 10 – Processo de Digestão Anaeróbica (DA)	48
Figura 11 – Principais Partes Técnicas de um Aterro Sanitário	51
Figura 12 – Relação entre Meio Ambiente, Cadeia de Suprimentos de Resíduos em Energia WtE e Sistema de Economia Circular.....	62
Figura 13 – Composição dos Materiais Reciclados Coletados no Brasil	67
Figura 14 – Hierarquia das Normas e Legislações Brasileiras.....	82
Figura 15 – Número de Países com Políticas Reguladoras de Energia Renovável e Políticas de Preço do Carbono, de 2004-2018.	90
Figura 16 – Abordagem Abrangente sobre o Desenvolvimento do Conhecimento Científico.....	94
Figura 17 – Desenho da Pesquisa.....	98
Figura 18 – Passos do Processo de Análise dos Dados Coletados no Estudo de Caso	107
Figura 19 – Mapa da Unidade de Análise.....	109
Figura 20 – Composição dos Gastos Mensais com RSU.....	113
Figura 21 – Cinco Ps do Desenvolvimento Sustentável.....	117
Figura 22 – Fluxograma da Reciclagem	124
Figura 23 – Projeção do Fluxo de Caixa do Projeto	136
Figura 24 – Projeção do Fluxo de Caixa Livre.....	137
Figura 25 – Nível de Importancia dos Critérios.....	139

Figura 26 – Planta da Usina de Burgau na Alemanha.....	144
Figura 27 – Fluxograma dos Processos na Planta de Pirólise	146
Figura 28 – Municípios com População Estimada entre 100 a 150 mil Habitantes.	153
Figura 29 – Mapa Mental	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Buscas Realizadas Durante a Revisão Bibliográfica.....	28
Quadro 2 – Principais Vantagens e Desvantagens da Tecnologia de Incineração...	46
Quadro 3 – Critérios que Decisão para o Gerenciamento dos RSU	91
Quadro 4 – Pesquisa Qualitativa x Pesquisa Quantitativa	95
Quadro 5 – Protocolo de Pesquisa	100
Quadro 6 – Lista das Questões Semiestruturadas.	102
Quadro 7 – Recomendações Seguidas na Realização da Pesquisa para os Critérios Confiabilidade e Validade.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Usinas Brasileiras que Opera com os Resíduos Urbanos.....	87
Tabela 2 – Histórico dos RSU Coletados pelo Município.	112
Tabela 3 – Nível de Relevância dos Critérios	128
Tabela 4 – Estimativa dos Investimentos Iniciais.....	130
Tabela 5 – Premissas para os Cálculos.....	132
Tabela 6 – Projeção dos Resultados	134

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento
CDR	Combustível Derivado do Resíduos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DA	Digestão Anaeróbica
EC	Economia Circular
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISWM	Integrated Solid Waste Management
MSW	Municipal Solid Waste
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PMGIRS	Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SUS	Sistema Único de Saúde
TIR	Taxa Interna de Retorno
TBM	Tratamento Biológico Mecânico
UNEP	United Nations Environment Programme
VPL	Valor Presente Líquido

WtE

Waste-to-Energy

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Tema e Problema de Pesquisa	19
1.2 Justificativa.....	25
1.2.1 Justificativa Acadêmica.....	26
1.2.2 Justificativa Governamental	29
1.3 Objetivos e Delimitações.....	34
1.3.1 Objetivos.....	35
1.3.2 Delimitação do Tema	35
1.4 Estrutura do Trabalho.....	36
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	37
2.1 Gerenciamento de RSU Para Recuperação de Energia (WtE).....	37
2.1.1 Tecnologias Térmicas: Pirólise, Gaseificação e Incineração	38
2.1.2 Tecnologias Não Térmicas: Digestão Anaeróbica e Aterro Sanitário.....	48
2.1.3 Critérios de Adesão das Tecnologia WtE	53
2.1.4 Avaliação Econômica de Projetos de Investimentos em Tecnologia WtE	58
2.2 Hierarquia dos Resíduos	61
2.2.1 Prevenção	63
2.2.2 Preparação para Reutilização.....	65
2.2.3 Reciclagem.....	66
2.2.4 Valorização.....	69
2.2.5 Eliminação	72
2.3 Saúde Pública e os RSU	74
2.3.1 Impactos dos RSU na Saúde Pública	74
2.3.2 Impactos Econômicos dos RSU na Saúde Pública	80
2.4 Normas e Legislações	82
2.5 Considerações Finais do Capítulo	90
3 METODOLOGIA E OBJETO DE PESQUISA	93
3.1 Metodologia	93
3.1.1 Quanto à Natureza da Pesquisa	95
3.1.2 Quanto à Forma de Abordagem do Problema e Horizonte de Tempo	95
3.1.3 Quanto aos Objetivos.....	96
3.1.4 Quanto aos Procedimentos Técnicos Abordados.....	97
3.1.5 Quanto aos Instrumentos de Coleta de Dados e Análise.....	100

3.2 Objeto da Pesquisa	107
3.2.1 Unidade de Análise	108
3.2.2 Aspectos dos RSU	110
4 RESULTADOS DA PESQUISA	115
4.1 Critérios de Decisão	115
4.1.1 Critério de Recuperação Energética	115
4.1.2 Critério do Impacto Social	116
4.1.3 Critério do Impacto do Investimento Inicial	117
4.1.4 Critério do Retorno Econômico do Investimento	118
4.1.5 Critério da Composição do RSU	119
4.1.6 Critério do Impacto Ambiental.....	120
4.1.7 Critério da Projeção da Quantidade dos RSU	121
4.1.8 Critério da Projeção da Composição dos RSU	122
4.1.9 Critério de Escolha do Local da Planta	122
4.1.10 Critério de Escolha dos Materiais a Serem Reciclados	123
4.1.11 Critério do Nível de Informação da Comunidade Local	124
4.1.12 Critério do Impacto a Saúde Pública.....	125
4.1.13 Critério das Normas e Legislações dos RSU.....	126
4.1.14 Critério das Normas e Legislações Energéticas	127
4.1.15 Critérios Sugeridos Pelos Entrevistados.....	127
4.2 Elaboração da Análise Quantitativa do Investimento	129
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	138
5.1 Análise e Discussão Qualitativa dos Resultados	138
5.1.1 Análise dos Critérios e as Tecnologias WtE	141
5.2 Análise e Discussão Quantitativa dos Resultados	147
5.2.1 Discussão Econômica do Aproveitamento Energético no Brasil	149
5.3 Contribuições	152
5.3.1 Contribuições Práticas	153
5.3.2 Contribuições Acadêmicas.....	155
5.4 Considerações Finais ao Capítulo	157
6 CONCLUSÃO	159
6.1 Limitações da Pesquisa	161
6.2 Recomendações para Pesquisas Futuras	161
REFERÊNCIAS	162

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população global e o desenvolvimento econômico, desencadeado pela rápida urbanização e industrialização, trouxe consequências no padrão de consumo da população, levando à um crescente ritmo de geração dos RSU (KUMAR; SAMADDER, 2017). Esta crescente tendência do consumo da população, por vários materiais também levou ao aumento nos fluxos finais de resíduos, especialmente na forma de RSU e trouxe consequentes desafios ambientais, como a grande emissão dos gases de efeito estufa (GEE) (RAJAEIFAR et al., 2017), e os potenciais riscos à saúde humana, causada por exemplo, pela exposição direta destes gases (FETENE et al., 2018). Diante deste cenário, governos e formuladores de políticas públicas passaram a discutir a questão do gerenciamento dos RSU (ALELUIA; FERRÃO, 2017; RAJAEIFAR et al., 2017).

O resíduo sólido é definido como o material que surge de várias atividades humanas e que normalmente é descartado como sem utilidade e indesejado (RAMESH et al., 2013). Por sua vez os RSU, ou *Municipal Solid Waste* (MSW), são os materiais produzidos pelas cidades e centros urbanos, se apresentam como compostos inorgânicos, como plásticos, vidros, papéis, metais, sendo a maioria grande potencial para reciclagem e os materiais orgânicos como restos de alimentos (ABNT).

Com o desenvolvimento socioeconômico e tecnológico, aproximadamente um quarto da população global tornou-se dependente de combustíveis tradicionais, como querosene, gás natural, resíduos de biomassa, lenha, carvão, esterco animal e entre outros para uso doméstico (KUMAR; SAMADDER, 2017). Por outro lado, as reservas de combustíveis fósseis estão sendo exploradas à uma taxa muito acelerada e para atender às crescentes demandas por energia, portanto, é necessário encontrar fontes alternativas de energia, fontes de energias renováveis, antes que se esgotem todas as reservas de combustíveis fósseis (KUMAR et al., 2017).

Desta forma, os RSU precisam ser compreendidos como uma fonte de recurso e não o chamado “lixo urbano” (MESJASZ-LECH, 2014), visto que hoje a recuperação energética é uma alternativa real e concreta para a destinação dos RSU em todo o mundo, que transforma os RSU em energia elétrica e térmica por meio de processos já bastante utilizados ao redor do mundo, como por exemplo,

pelo processo de incineração, que aproveita o alto poder calorífico contido nos resíduos para geração de combustíveis (OUDA et al., 2016).

Já nos países em desenvolvimento, há carência do desenvolvimento destas tecnologias, visto que os RSU nestes países ainda apresentam como descarte principal, os depósitos de lixo não regulamentados, chamados “lixões” dentro ou fora dos centros urbanos, ou ainda mais agravante, há uma grande parcela dos RSU que é queimada em campos a céu aberto, sem a correta destinação (COGUT, 2016).

Diante desta discussão surgem as tecnologias de recuperação de energia, ou do termo em inglês *Waste-to-Energy* (WtE), sendo as mais conhecidas: i) incineração; ii) gaseificação; iii) pirólise; iv) digestão anaeróbica (DA) e v) aterros sanitários, consideradas fontes alternativas potentes de energia, sendo economicamente viável e ambientalmente sustentável (KUMAR; SAMADDER, 2017). Sendo já desenvolvida estas tecnologias nos países desenvolvidos, buscando alinhar a necessidade de ampliação das fontes de produção de energias renováveis (ALELUIA; FERRÃO, 2017; KUMAR; SAMADDER, 2017; OUDA et al., 2016). Porém para o processo de decisão da mais assertiva tecnologia para análise de investimento nestas tecnologias WtE, alguns elementos são levados em consideração, como o caso dos retornos esperados, sejam econômicos, ambientais ou sociais (OUDA et al., 2016).

Juntamente com estes riscos, também existem os desafios econômicos, o que reforça a necessidade de decisões inovadoras e adequadas para o gerenciamento dos RSU (MARGALLO et al., 2019). Os desafios econômicos gerados pelos serviços de coleta e destino dos RSU, são os principais gastos incorridos aos cofres públicos municipais dos países em desenvolvimento, chegam a representar 50% do orçamentos públicos municipais (ALELUIA; FERRÃO, 2017).

Porém as tecnologias que tratam dos RSU muitas delas apresentam grande dificuldade de controle nos processos, bem como estes controles acabam encarecendo as tecnologias, como a caso dos próprios equipamentos de controle dos gases gerados no processo de conversão (RAJAEIFAR et al., 2017), um exemplo o caso do Brasil, visto que são tecnologias normalmente vindas de outros países, o que representa maior valor necessário para os investimentos nestas tecnologias.

O processo de decisão de investimentos vem ao encontro da gestão sustentável e da viabilidade econômica (KUMAR et al., 2017). Definindo o processo

de decisão, como o processo de opção lógica entre as opções disponíveis, ou ainda, ao tentar fazer uma boa decisão, o responsável deve levantar os pontos positivos e negativos de cada opção, e considerar todas as alternativas, assim, para uma tomada de decisão eficaz, deve-se ser capaz de prever o resultado de cada opção e, com base em todos esses itens, determinar qual opção é a melhor para essa situação específica (BUSINESS DICTIONARY, 2020).

Investimento é definido como a criação de capital ou bens capazes de produzir outros bens e/ou serviços (BUSINESS DICTIONARY, 2020). Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), (2019) no Brasil os recursos econômicos alocados para coleta dos RSU e limpeza como varrição, capina, manutenção de parques, entre outros, superaram os 25 bilhões de reais em 2018. Quanto a destinação dos RSU ficou distribuída da seguinte forma: 59,5% foram para os aterros sanitários, 23% em aterros controlados e 17,5% para lixões (ABRELPE, 2019).

Com a preocupação com os desafios gerados pelos RSU, no Brasil a Lei nº 12.305 - Política Brasileira de Resíduos Sólidos de 2010 (BRASIL, 2010), representa o início dos esforços brasileiros para desenvolvimento sustentável, iniciando-se com a destinação adequada dos RSU. Esta lei dispõe sobre a política do programa “Brasil Sem Lixões”, que determina que todos os municípios brasileiros que originalmente até 2014, seriam responsáveis por desativar os lixões e aterros controlados, o que ainda não ocorreu, visto que em muitos municípios do país com capacidade de geração 82.000 t/d de RSU não haviam cumprido com o prazo inicial (ABRELPE, 2015). Essa política nacional também incentiva o uso de tecnologias para recuperação de energia gerada a partir dos RSU (SANTOS et al., 2019).

Se por um lado ocorreu na última década o progresso na gestão de RSU nos países desenvolvidos, por outro lado, problemas governamentais, financeiros, sociais e ambientais continuam sendo importantes desafios nas cidades dos países em desenvolvimento, exigindo medidas tecnológicas e apropriadas para resolução destes desafios (GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013).

Porém o processo de decisão para investimentos das tecnologia WtE depende muito da necessidade de conhecimento local dos materiais, como quantidade e composição dos resíduos, visto que o processo de decisão se alinha a reciclagem e reutilização (MESJASZ-LECH, 2019). Bem como, a composição varia

bastante de um lugar para outro, por exemplo, enquanto as cidades de baixa e média renda geram principalmente resíduos orgânicos biodegradáveis, nas cidades de alta renda são mais diversificados, com maior participação de plásticos (UNEP, 2019), o que pode resultar em diferentes escolhas de tecnologia WtE para tratar estes RSU, em diferentes lugares.

Desta forma, nos países em desenvolvimento surge a lacuna de pesquisas, que venham a clarear sobre o processo de decisão das escolhas de tecnologia WtE para o gerenciamento dos RSU. Assim esta pesquisa se propõe a servir como um guia para os gestores municipais no desenvolvimento deste processo decisório.

Desta forma, emerge a oportunidade de pesquisa que venha a tratar dos desafios do gerenciamento dos RSU, que tratem do levantamento de critérios que envolvem o processo de decisão de investimento em tecnologias WtE para os RSU, (OUDA et al., 2016), que busque compreender também os critérios de impactos na saúde pública desencadeado pelo inadequado gerenciamento dos RSU (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019; OUDA et al., 2016), com a avaliação de escolha da melhor tecnologia WtE para cada cidade (MUKHERJEE et al., 2020).

1.1 Tema e Problema de Pesquisa

O objeto de pesquisa desta dissertação é o gerenciamento dos RSU. Diante deste objeto o tema central deste trabalho envolve a análise do processo de investimento em usinas de RSU. Apresentando a discussão da gestão dos RSU e as principais tecnologias WtE existentes no mundo, bem como pela grande diversidade de materiais que envolvem os RSU, existem os materiais coletados que não são abrangidos por estas tecnologias, mas que podem ser atendidos pelo processo de reciclagem sendo uma etapa da hierarquia dos RSU. Apontando também a relação deste tema com os impactos a saúde pública que pode ocorrer pela falta ou do mau gerenciamento dos RSU.

Houve nos últimos anos, o aumento da conscientização humana aos efeitos ambientais negativos causados pelos aterros e incineradores, o que despertou o interesse público por mais estudos que venham tornar-se mais sustentáveis para tratamento dos RSU (MURPHY; MCKEOGH, 2004). Ainda os autores, apontam a

necessidade de estudos sobre tecnologias que permitem recuperar energia proveniente dos RSU, que possam reduzir o volume dos materiais, com capacidade de extração dos gases e em consequência ocorra a redução do nível de poluição ambiental, dividindo estas tecnologias em Tratamento Biológico Mecânico (TBM), que inclui a DA, compostagem, os aterros sanitários e uma combinação de TBM e tratamento térmico denominadas tecnologias WtE, como o caso da incineração, pirólise e gaseificação (MUKHERJEE et al., 2020; MURPHY; MCKEOGH, 2004)

No caso da DA, durante os últimos anos tem sido amplamente utilizada para recuperar substâncias orgânicas dos RSU, nos EUA, por exemplo, gerando como produto desta recuperação energética o biogás, ou gás metano, um dos motivos que justifica a crescente atenção que esse processo vem recebendo de pesquisadores, empresas e agências governamentais que estão trabalhando ativamente para melhorar os processos de gerenciamento dos RSU (MUKHERJEE et al., 2020).

Alinhado aos estudos, vem a busca por novas fontes energéticas e que contribua para o gerenciamento adequado dos RSU, soluções estratégicas vem sendo utilizadas nos países desenvolvidos, que reduzem e reutilizam fontes destes recursos, podendo utilizar-se da reciclagem e a recuperação de energia nos processos, desempenhando assim um papel importante no gerenciamento dos RSU (RAJAEIFAR et al., 2017).

A principal função da redução e reutilização de fontes é a busca pela minimização de resíduos e assim, a redução da quantidade de resíduos finais (MUZENDA, 2014). Essa opção também é um pré-requisito essencial para qualquer estratégia de gerenciamento de RSU (RAJAEIFAR et al., 2017), pois inclui também as questões de prevenção ambiental ou a imposição que venha garantir a utilização de energia e recursos em todas as atividades na produção de materiais (MUZENDA, 2014). Esta prevenção pode oferecer várias vantagens, como economia da extração dos recursos naturais, a economia de energia, redução da poluição ambiental, redução da toxicidade de resíduos e a economia para consumidores e produtores (RAJAEIFAR et al., 2017).

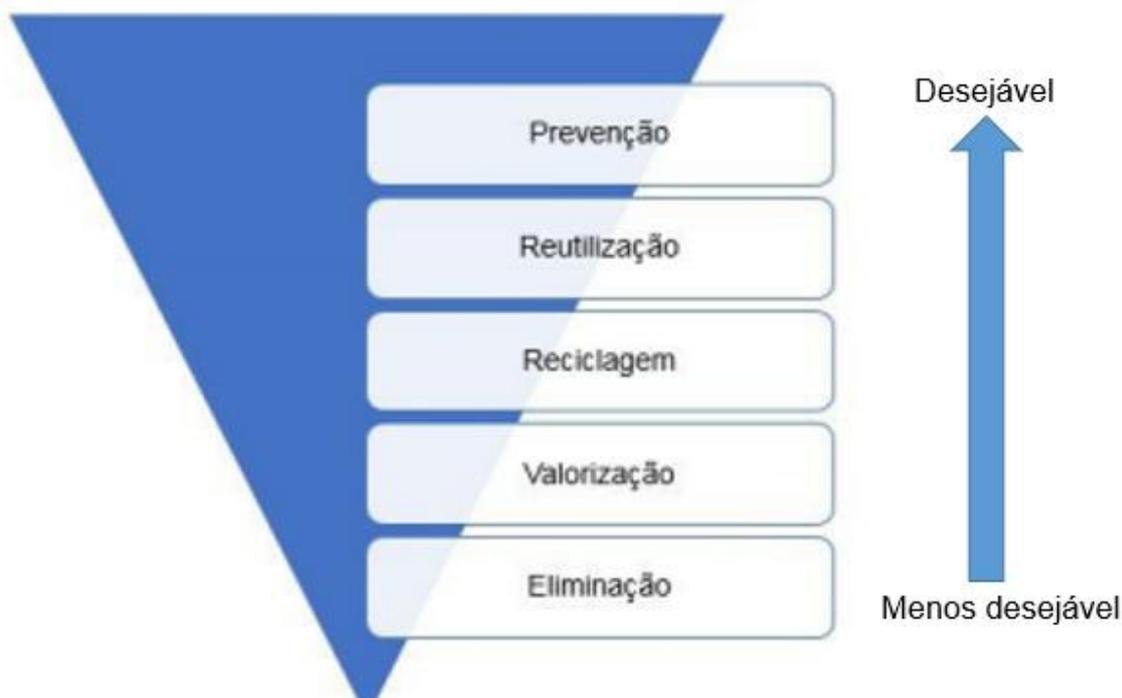
As tecnologias WtE como escolha estratégia para o gerenciamento dos RSU não leva só em consideração o ponto econômico e ambiental. Em outras palavras, sabe-se que existem uma grande variedade de materiais, assim diferentes processos podem ser considerados para soluções efetivas destes materiais em diferentes condições, não existindo opções ou estratégias gerais para o melhor ou o

pior gerenciamento de RSU, mas sim diferentes opções podem ser potencialmente apropriadas para diferentes materiais dos RSU (MORSELLI et al., 2008).

Essa visão corrobora com o conceito de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, do termo em inglês *Integrated Solid Waste Management (ISWM)*, segundo a *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, 2002, com abrangência a prevenção, reciclagem, compostagem e as disposições finais dos resíduos, para proteção a saúde humana e ao meio ambiente, porém salienta que é necessário planejamento, investimentos e melhores sistemas e coletas e transportes dos RSU, com isso podem oferecer soluções de sustentabilidade ambiental e econômica (RAJAEIFAR et al., 2017).

Neste sentido é preciso entender melhor a hierarquia de gerenciamento de resíduos, que é um guia internacionalmente aceito para priorizar práticas de gestão de resíduos com o objetivo de alcançar resultados ambientais e utilização de recursos ideais. A Diretiva 2008/98/CE da União Europeia, no artigo 4º, estabelece como hierarquia a ser considerada na gestão dos resíduos os aspectos apresentados na figura 1.

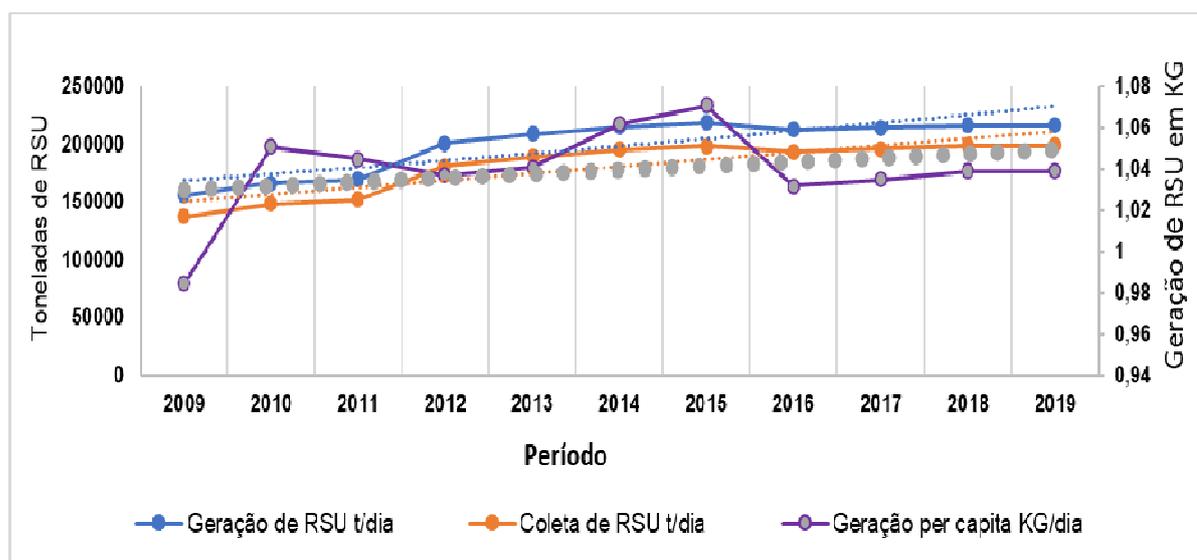
Figura 1 – Hierarquia do Gerenciamento de Resíduos



Fonte: Adaptado de Diretiva 2008/98/CE.

Diante deste crescimento, as políticas que vem a promover o crescimento econômico e alinhar os danos ambientais associados estão exigindo maior atenção por parte dos governantes. No entanto, ainda restam dúvidas sobre quais tecnologias e políticas ambientais podem estabelecer maior impacto positivo sobre o gerenciamento dos RSU (RAJAEIFAR et al., 2017). No caso do Brasil a figura 2 apresenta a geração de RSU em toneladas, a coleta desta geração e a geração de RSU per capita dos anos de 2010 a 2019.

Figura 2 – Geração dos RSU no Brasil



Fonte: Elaborado pela autora com base nos relatórios da ABRELPE/IBGE 2010 a 2019.

No caso do Brasil, analisando os dados da figura 2, quanto a geração de RSU na comparação de 2010 a 2019, houve um aumento de 18,55%, já o aumento da coleta de RSU foi de 23,73%, no caso da geração per capita de RSU neste período se apresentou com oscilação de aumento e queda, porém de 2016 a 2019 ambos os casos se apresentaram mais estáveis, sendo em 2019 a geração per capita de 1,04 kg por dia.

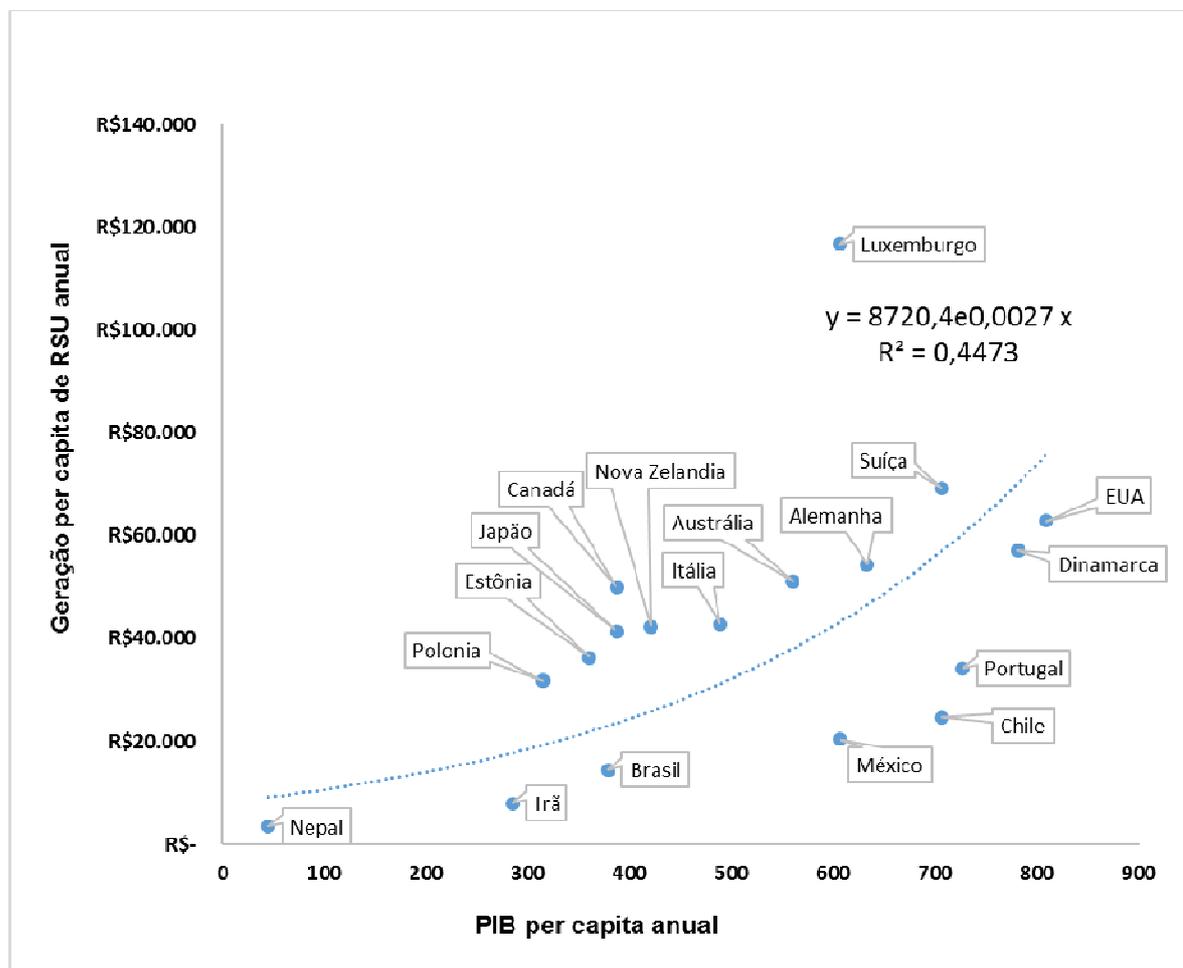
Na hierarquia dos resíduos sólidos o mais desejável é a prevenção. Porém neste sentido, com o crescimento econômico é considerado a grande força motriz para o crescimento do volume de geração de RSU, sendo a principal tendência relacionada à geração de RSU o produto interno bruto (PIB) dos países (RAJAEIFAR et al., 2017). Estas tendências mundiais mostram que a taxa de crescimento no consumo de materiais e o consequente aumento da geração de RSU está associado ao crescimento econômico, porém nos últimos anos, analisando os dados ocorreu um ritmo de crescimento de RSU menor em comparação com o

crescimento da economia mundial (RAJAEIFAR et al., 2017). Uma explicação para isso, vem da mudança do padrão de consumo tradicional para o padrão da “ecoeficiência” durante as últimas décadas, em outras palavras, são oferecidos produtos e serviços com menor quantidade de material, além disso, a eficiência dos materiais aumentou e melhorou a eficiência energética, juntamente com os avanços tecnológicos e aumento da reciclagem (RAJAEIFAR et al., 2017).

No caso do Brasil a geração dos RSU desde 2014 não teve tendência de crescimento, assim, analisando juntamente com o PIB brasileiro de 2014 à 2019, cujos dados foram de 2014 (0,5%), 2015 (-3,5%), 2016 (-3,5%), em 2017 e 2018 (1,3%) (IBGE, 2019), desta forma não é possível estabelecer correlação com a contribuição do crescimento do PIB brasileiro em relação a geração de RSU, visto que o PIB teve oscilação, porém a geração de RSU manteve-se praticamente estável.

No entanto, analisando o caso dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, com países de renda baixa, média e alta, estudos apontam uma relação proporcional ao crescimento do PIB apresentada na figura 3, visto que o R^2 de 0,4473 apresenta uma relação da geração per capita de RSU com o PIB per capita. Porém alguns pontos que não são justificados somente com esta relação, um exemplo, pode citar o caso do Japão e do Canadá, visto que é classificado como um país de alta renda per capita, enquanto sua geração de RSU per capita está na faixa de países de renda média. Uma possível explicação deste descompasso pode ser o sucesso das políticas implementadas pelo Japão e o Canadá, mais restritivas a geração de RSU (RAJAEIFAR et al., 2017). Mas importante destacar que pode ser considerada a relação do PIB com a geração, como o caso do Nepal, com baixa renda per capita anual e baixa geração de RSU, tanto quanto a Dinamarca com alta geração de RSU e alta renda per capita anual.

Figura 3 – Geração de RSU Per Capita por Ano x PIB Per Capita 2018 de Alguns Países de Baixa, Média e Alta Renda



Fonte: Autora extraídos dados do World Bank 2020.

Outros estudos apontam que além dos aspectos socioeconômicos, condições climáticas, geográficas e culturais, a existência de sistemas de planejamento de resíduos, padrões alimentares e a qualidade dos bens e produtos fornecidos são fatores importantes na geração e composição dos resíduos (MARGALLO et al., 2019).

Conforme já apontado existem várias estratégias para o gerenciamento de diferentes tipos de resíduos (OUDA et al., 2016; RAJAEIFAR et al., 2017). Por exemplo, metais e plásticos podem ser reciclados, no entanto, resíduos orgânicos podem ser usados para recuperação de energia (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019). Estudos mostram que de fato uma associação positiva entre taxa de reciclagem e prioridade na recuperação de energia, indica que um país com alta taxa de reciclagem tende a recuperar mais energia de resíduos (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Desta forma uma boa escolha, pode estar atrelada ao avanço da reciclagem e reutilização, enquanto opera com a extração da recuperação de energia dos RSU, recuperação através dos processos tecnológicos das tecnologias WtE (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019). Corroborando desta forma com as opções de reciclagem e reutilização, para que sejam analisadas as particularidades na matéria prima destes resíduos para às tecnologias WtE disponíveis (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019). Porém os gestores públicos com poder de decisão enfrentam dificuldades para a escolha da melhor tecnologia WtE para utilização dos RSU (ABRELPE).

Desta forma, propõe-se a seguinte questão de pesquisa: Como suportar um processo de tomada de decisão sobre tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU? Considerando a questão de pesquisa, na seção seguinte é delineada a justificativa desta dissertação. Levantando os estudos da literatura que atendem a justificativa acadêmica, bem como levanta-se a justificativa governamental sobre este tema da dissertação

1.2 Justificativa

A partir da questão de pesquisa proposta, esta pesquisa contribuirá para o corpo de conhecimento sobre as principais questões que envolvem as decisões de gerenciamento dos RSU. A busca pelo gerenciamento adequado dos RSU, desencadeada no Brasil pela Lei 12.305/2010 que elenca no seu artigo 1º a responsabilidade dos geradores de resíduos e do poder público o engajamento pelo desenvolvimento da integração da gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, necessitando a sociedade cobrar dos governantes práticas de gerenciamento mais eficientes.

Diante deste dilema, esta pesquisa se justifica primeiramente pelo suporte aos gestores públicos quanto ao processo de tomada de decisões para o gerenciamento dos RSU, apontando as principais tecnologias WtE existentes no mundo e apontando critérios de escolhas, bem como apresentando o impacto econômico desta escolha. Servindo assim como um guia para tomadores de decisões públicas.

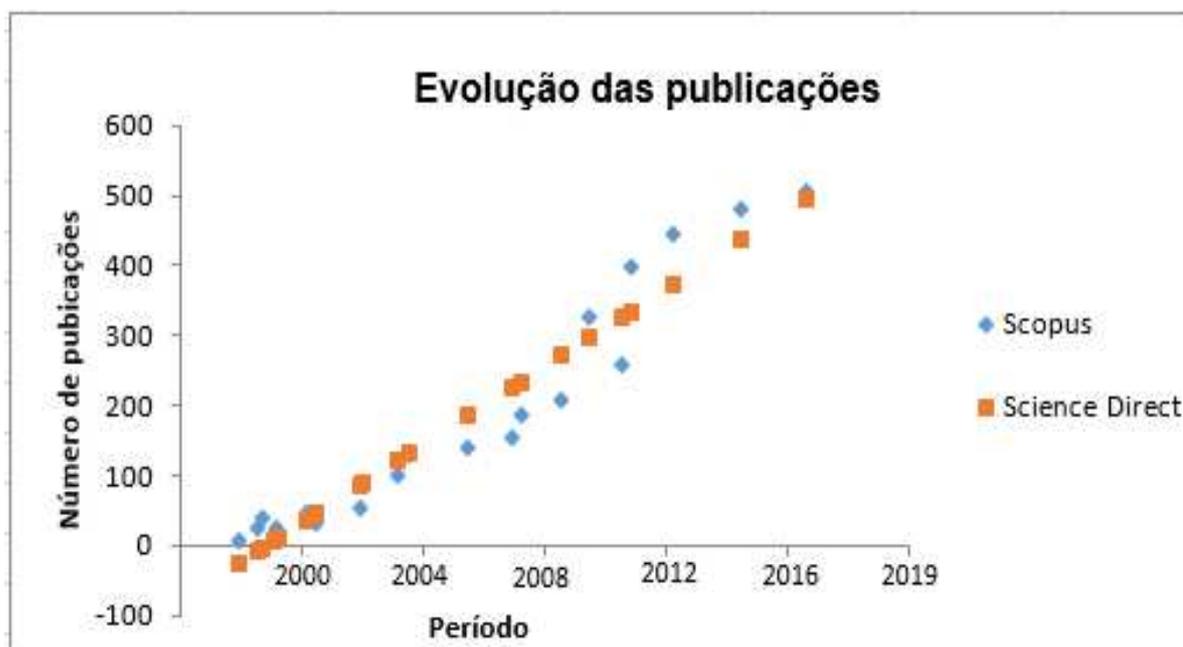
O município de Bento Gonçalves/RS lançou o projeto de construção da usina de tratamento dos RSU em 2015, que irá transformar os RSU em energia, tornando-se pioneiro na América Latina na utilização da tecnologia WtE escolhida.

Desta forma, a seguir são trazidas as justificativas desta pesquisa, primeiramente a justificativa acadêmica advinda da literatura e logo em seguida a justificativa governamental, trazida do ponto de vista dos governantes envolvidos nas decisões de gerenciamento de RSU.

1.2.1 Justificativa Acadêmica

A realização da pesquisa bibliográfica, tem a função de analisar os estudos dos trabalhos que foram produzidos diante do tema definido, sendo uma premissa para situar o pesquisador no ambiente das publicações nacionais ou internacionais. Diante do tema abordado nesta pesquisa buscou-se na base de dados da Scopus e Science Direct, escolhidas para início das buscas para a revisão bibliográfica, salientando que a base da Science Direct é a base que mais foi selecionado as publicações sobre o assunto desta pesquisa. De início foram realizadas as buscas preliminares por resultados nestas bases, utilizando-se as palavras chaves “*urban solid waste*” e utilizado o filtro de artigos revisados, o resultado desta busca é apresentado na figura 4.

Figura 4 – Resultado da Busca da Revisão Bibliográfica pelo Tema



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante da figura 4 são apresentadas as publicações nestas duas bases nos últimos 24 anos, sendo ponto de partida o ano de 1996, que se deu o início das primeiras publicações na base da Science Direct até o ano de 2019, que foi o ano concluído na data da busca. Quanto a busca realizada na base da Scopus os primeiros resultados tiveram início no ano de 1964, assim, para fins de comparação e por representar pouco número de publicações foram comparadas as duas bases de dados a partir do ano de 1996, sendo visível perceber o crescimento das publicações nestas duas bases de dados neste período.

Analisando as publicações em relação a base territorial, os Estados Unidos lideram em número de publicações sobre o assunto, seguido da Índia, China e Espanha, o Brasil apresenta-se na 4ª posição, desta forma, esta pesquisa vem a contribuir com o número de pesquisa sobre este assunto no Brasil.

O desenvolvimento econômico e o aumento relacionado à demanda global de energia criaram pressão para o suprimento de recursos energéticos. Para promover o desenvolvimento sustentável, são necessários a geração de energia renovável e segura (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018). Desta forma, pode-se resolver os problemas desencadeados pelos RSU e ao mesmo tempo contribuir significativamente na geração de fontes de energias renováveis e ainda contribuindo com a preservação do meio ambiente (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018). Atualmente, nos países em desenvolvimento, a escassez de energia e as formas mais comuns de descarte dos RSU têm gerado vários problemas ambientais e socioeconômicos (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018). Nestes países as principais tecnologias WtE são a incineração, pirólise, gaseificação, DA e aterro sanitário (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018).

Diante do exposto, foram identificadas lacunas teóricas de pesquisa acerca do tema, visto que a maioria dos estudos publicados tratam do gerenciamento dos RSU sobre o aspecto ambiental ou social, assim esta pesquisa torna-se importante pelos aspectos econômico que vai tratar e sobre as dimensões deste aspecto, que traz para a discussão as tecnologias WtE, hierarquia dos resíduos, saúde pública e legislação relacionada aos RSU, já identificada na introdução deste trabalho como lacuna de pesquisa (FETENE et al., 2018; KUMAR et al., 2017; OUDA et al., 2016; RAJAEIFAR et al., 2017). Os resultados desta nova busca estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1 – Buscas Realizadas Durante a Revisão Bibliográfica

Questão	Assunto da pesquisa	Palavras de busca	Base de dados	Revista	Artigos selecionados
III	Reciclagem dos RSU, a logística reversa e Economia Circular, Hierarquia dos resíduos	"solid urban waste and recycling" or "solid urban waste and reverse logistics" or "solid urban waste and circular economy" or waste hierarchy"	Science Direct	Resources, Conservation & Recycling	3
			Science Direct	Journal of Cleaner Production	3
			Scopus	International Journal of Environmental	1
			Science Direct	Waste Management	1
			Sage	Management Decision	1
			Science Direct	Bioresource Technology	1
			Scopus	International Journal of Environmental	2
			Scopus	Trends in Ecology & Evolution	1
			Science Direct	Resources, Conservation and Recycli	1
			Science Direct	Transportation Research Procedia	1
			Scopus	Waste Management and Research	1
			Science Direct	Waste Management	1
			I e II	Opções WtE, tecnologias de recuperação de energia e os RSU, escolhas das opções de tecnologia, gerenciamento dos RSU	"waste to energy and solid urban waste" or "decision to choose energy waste" or "renewable energy from solid urban waste" or "management of solid urban waste"
Science Direct	Technology in Society	1			
Science Direct	Energy Economics	1			
Science Direct	Waste Management	10			
Science Direct	Renewable Energy	3			
Science Direct	Energy Strategy Reviews	1			
Science Direct	Renewable and Sustainable Energy	9			
Science Direct	Energy Conversion and Management	2			
Science Direct	Journal of Energy Storage	1			
Science Direct	Journal of Environmental Managemen	1			
Science Direct	Int. J. Production Economics	1			
Science Direct	Bioresource Technology	2			
Sage	Waste Management & Research	1			
Science Direct	Energy Conversion and Management	1			
Science Direct	Renewable Energy Focus	1			
Scopus	Royal Society Open Science	1			
Scopus	Reviews in Environmental Science	1			
V	Legislação e normas brasileiras sobre os RSU	"normas and laws for urban solid waste in brazil" or "policies for the management of solid urban waste"	Scopus	Engineering Jornal	1
			Science Direct	Renewable and Sustainable Energy	1
			Science Direct	Energy Policy	1
			Science Direct	Science of the Total Environment	1
Total de artigos selecionados					64

Fonte: Elaborado pela autora.

Diante dos desafios do inapropriado gerenciamento dos RSU, surge a necessidade de uma abordagem contributiva para a tomada de decisões públicas e que melhorem o gerenciamento dos RSU, assim levanta-se cinco questões principais: (i) as opções de tecnologia WtE; (ii) quais os critérios de decisão das tecnologias WtE; (iii) o tratamento da hierarquia dos resíduos WtE; (iv) os impactos a saúde pública do inadequado gerenciamento dos RSU e (v) as normas e legislações que tratam dos RSU no território em estudo.

Assim no quadro 1 apresentou os resultados desta busca, bem como são descritas as fontes de pesquisa. Foram selecionados 64 artigos que serviram para a revisão da literatura deste trabalho, sendo as bases de busca, Science Direct, Scopus e Sage e apresentada as revistas que publicaram estes artigos

Apresentadas as justificativas acadêmicas, na seção seguinte são elucidadas as principais justificativas acerca do problema de pesquisa sobre o olhar governamental.

1.2.2 Justificativa Governamental

O desenvolvimento de fontes de energias renováveis são de suma importância para a segurança energética e a integridade ambiental, governos vem implementando várias políticas que podem facilitar o avanço da tecnologia para estas fontes de energia e aumentar sua contribuição ao mix energético de uma nação, para assim reduzir a dependência do país por combustíveis fósseis, muitas vezes importado de outro país (CHIEN BONG et al., 2017).

O crescimento populacional associado à migração da população para áreas urbanas e ao desenvolvimento industrial, desencadeou a relação do grande consumo, que resultou no surgimento de problemas ambientais, sociais e econômicos (MELARÉ et al., 2017). No que diz respeito ao meio ambiente, uma preocupação crítica é a falta de controle e o gerenciamento inadequado dos RSU, apontando grandes desafios para gerenciar, tratar e descartar adequadamente os RSU, caminhando assim em direção ao gerenciamento sustentável para solucionar estes desafios (MELARÉ et al., 2017).

No caso do Brasil, em 2010, com a publicação da lei que trata dos resíduos sólidos, a maior taxa de coleta de resíduos era de 55%, sendo que, destes RSU

coletados praticamente todo material foram enviados para os aterros, sendo apenas 1,2% destinado a reciclagem, estes dados extraídos segundo a ABRELPE, (2008). Estas práticas de gerenciamento dos RSU não é exclusividade do Brasil, visto que nos países em desenvolvimento são uma realidade a disposição dos RSU para os aterros (FETENE et al., 2018). Poucas tentativas foram feitas para adotar práticas promissoras de gerenciamento integrado de resíduos que envolvam redução da fonte de resíduos, reutilização, reciclagem e recuperação destes recursos (GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013). No caso do Brasil em 2018 ainda 17,5% dos RSU são destinados para lixões (ABRELPE, 2019).

As consequências do inadequado gerenciamento dos RSU, em muitas cidades dos países em desenvolvimento são o enfrentamento dos riscos ambientais e impactos a saúde da população, contribuindo para a diminuição de oportunidades econômicas (FETENE et al., 2018). Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, tem-se as vantagens em termos de redução do volume de resíduos e das emissões GEE (MESJASZ-LECH, 2014). Para os resíduos que não são recicláveis, os métodos de recuperação de energia são uma opção alternativa de gerenciamento dos RSU (LOHRI et al., 2017; OGUNJUYIGBE; AYODELE; ALAO, 2017; RAJAEIFAR et al., 2017). Portanto, investir no setor de resíduos por meio da valorização de recursos para produzir compostos e energia, pode contribuir significativamente para a economia local, além de mitigar os impactos ambientais e da saúde pública (FETENE et al., 2018).

Este desafio crescente para as autoridades públicas das cidades nos países em desenvolvimento, vem juntamente com impacto aos orçamentos municipais devido aos altos custos associados à gestão dos RSU, que conseqüentemente provoca significativo impacto na economia (MELARÉ et al., 2017). De acordo com o Banco Mundial (2018), as cidades do mundo geraram 2,01 bilhões de resíduos sólidos em 2016, dado o rápido crescimento populacional e urbanização, a geração anual de resíduos deverá aumentar em 70% em comparação aos níveis de 2016 podendo chegar em 3,40 bilhões no ano de 2050, tornando-se ainda mais desafiador e necessário o gerenciamento adequado dos RSU promovido pelos governantes.

Quando comparado os habitantes dos países desenvolvidos, com os habitantes de países em desenvolvimento, é percebido uma grande diferença dos impactos causados pelos RSU, especialmente com os moradores pobres das zonas urbanas, da qual são severamente afetados pelos impactos dos resíduos não

administrados de maneira sustentável, segundo o Banco Mundial (2018) destaque para a necessidade do olhar dos gestores públicos para este ponto. Nestes países em desenvolvimento, a gestão dos resíduos tornou-se um dos principais desafios para as questões de planejamento urbano, de gestão pública e de gestão industrial na maioria das grandes cidades (COELHO; LANGE, 2018). O grande empecilho desta gestão, vem das partes envolvidas do governo e da indústria, visto que, ainda não encontraram uma solução adequada para as questões relacionadas a gestão dos RSU nos aspectos sociais, além disso, o poder público é incapaz de realizar gestão dos RSU adequado e aponta para a busca de parcerias com o poder privado (REBEHY et al., 2017).

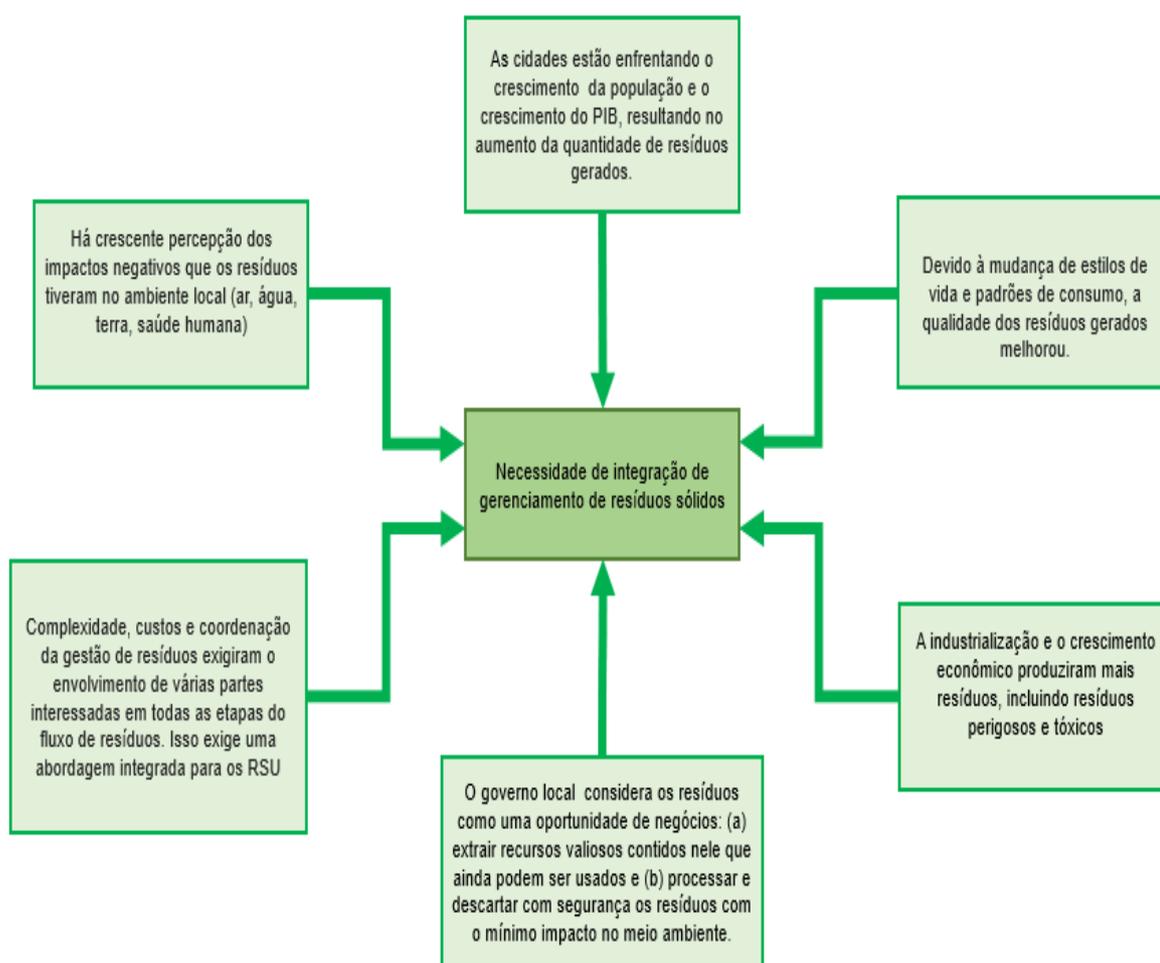
Um exemplo deste desafio, é o caso da Malásia, visto que apesar dos esforços do governo, o gerenciamento de RSU continua sendo uma das questões ambientais crítica (TAN et al., 2015). No caso do Brasil, a Lei de 2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que definiu a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos entre o poder público e a indústria, sendo esta responsabilidade ampliada também aos produtores e aos consumidores finais (REBEHY et al., 2017) obrigando a implementação da logística reversa (BRASIL, 2010), destaque este para o início do processo de melhoria do gerenciamento dos RSU.

Muito agravante quando se observa os moradores de baixa renda dos países em desenvolvimento, visto que grandes problemas gerados pelo inadequado gerenciamento dos RSU estão geralmente associados a alta densidade populacional e falta de moradia adequada (AZEVEDO; SCAVARDA; CAIADO, 2019). Assim, a própria coleta dos resíduos torna-se um desafio, pois em muitos casos, as rotas de acesso e a infraestrutura relacionada à coleta são precárias e não totalmente atingível, tanto quanto a própria questão do nível de educação da população, que geralmente é baixa (RASHID et al., 2018).

A justificativa para integrar os interessados da parte governamental com o gerenciamento dos RSU apontadas por Santos et al. (2019) é apresentada na figura 5 que aponta a necessidade desta integração. Que ressalta a relação da globalização e o aumento do PIB (RAJAEIFAR et al., 2017), bem como os problemas gerados na saúde pública (FETENE et al., 2018) e a própria integração dos governos municipais apontada na Lei 12.305/2010.

A literatura mostra que a falta de planejamento e infraestrutura inadequada para o descarte dos RSU leva ao grande acúmulo destes materiais, muitas vezes descartada em áreas públicas sem preparação do solo, como é o caso dos lixões a céu aberto e a poluição dos rios (MELARÉ et al., 2017). Por outro lado, as tecnologias WtE são consideradas opções tecnológicas e inovadoras para resolver os desafios relacionados aos RSU (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Figura 5 – Necessidade de Integrar o Gerenciamento de RSU



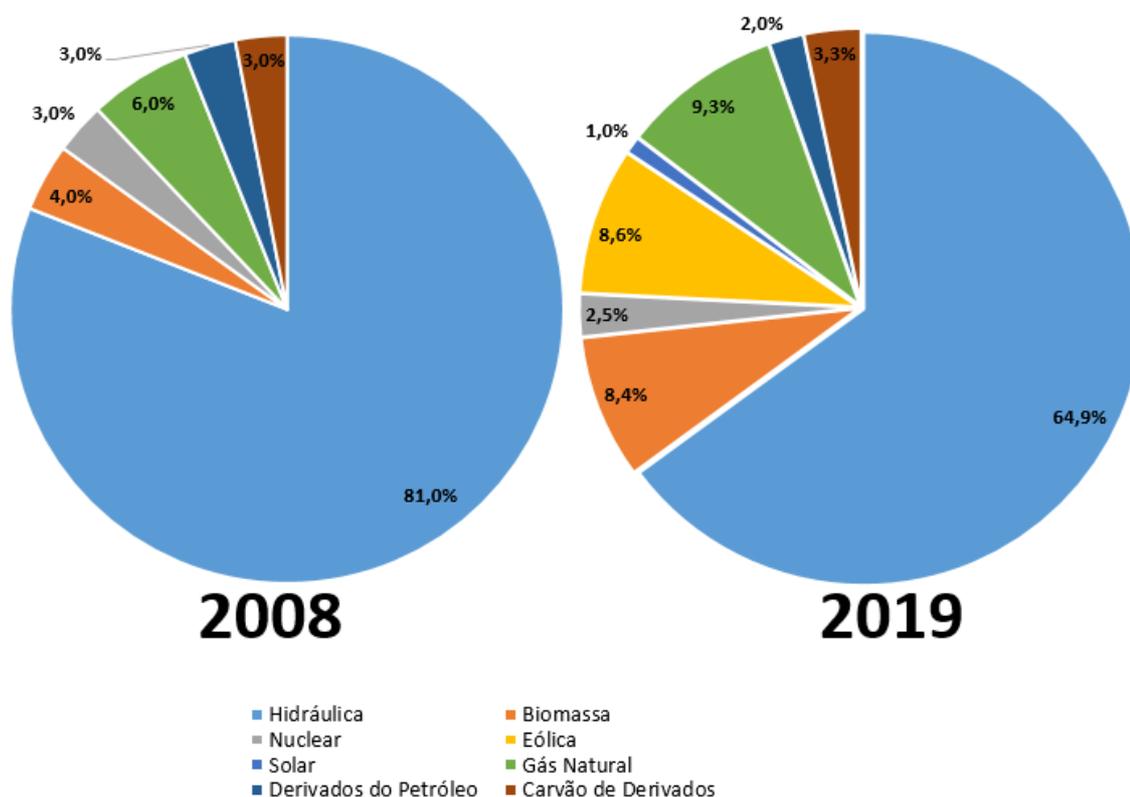
Fonte: UNEP, volume 2, 2009.

Atualmente, a taxa de geração per capita de RSU nos países desenvolvidos são maiores que a dos países em desenvolvimento, esta relação aponta a taxa de geração com relação do fator econômico e social de um país, apresentada na figura 3 desta dissertação, bem como os hábitos de consumo e a forma em que vivem, muito relacionada com à globalização (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Outro ponto importante é a estratégia energética de uma nação, encontrar fontes de energias renováveis que minimizam a crescente extração de energias não

renováveis, sendo um fator importante para os governantes tomadores de decisões em países em desenvolvimento. Algo já consideravelmente desenvolvido por países desenvolvimento (SCARLAT et al., 2015). Quanto as fontes de energias, no caso do Brasil a figura 6 apresenta a repartição das outras fontes renováveis.

Figura 6 – Participação das Fontes de Energia no Brasil de 2008 e 2019



Fonte: Adaptado com base no relatório do balanço energético da EPE.

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia (ABESCO), o Brasil desperdiçou em energia elétrica o equivalente a R\$ 61,7 bilhões entre 2014 e 2016 (ABESCO, 2017). Esse é sem dúvida um cenário preocupante, pois tal desperdício, se evitado, poderia ter reduzido a utilização das termoelétricas, cujo acionamento das termoelétricas se trata de energia de maior valor para os consumidores. Porém cabe ressaltar, conforme apontado na figura 6 que no decorrer do período de 2008 a 2019 as usinas hidroelétricas apresentaram redução quanto a sua participação na matriz energética de 81% em 2008 para 64,9% em 2019, em contraponto, houve o aumento das demais fontes de energias renováveis, destaque para a biomassa que representou em 2019, 8,4% da matriz energética brasileira.

Conforme apontado na introdução, nos últimos anos tem ocorrido uma grande aposta a nível mundial em modelos energéticos sustentáveis e menos agressivos com o meio ambiente, optando por uma progressiva inclusão das fontes de energia renovável no mix energético que, além de oferecer benefícios ambientais, também oferecem segurança frente as elevadas tarifas energéticas, decorrentes da dependência de outras fontes (KUMAR et al., 2017; OUDA et al., 2016; RAJAEIFAR et al., 2017).

Em estudo realizado por Nan; Han; Xiaohui (2018) apresentaram resultados da análise bibliométrica sobre a avaliação das tendências de pesquisa sobre resíduos sólidos, o resultado nos países em desenvolvimento foi o rápido desenvolvimento de opções de reutilização e reciclagem de resíduos sólidos, outra questão, é a integração da reciclagem juntamente com as tecnologias WtE.

Diante das novas tendências dos países em desenvolvimento, no caso do Brasil, alguns governantes passaram a procurar outras alternativas para descartar seus resíduos, além da opção dos aterros (LEME et al., 2014). Os motivos que desencadearam esta procura, foram à falta de espaço nos arredores das grandes cidades e também aos altos preços da terra, o alto custo do transporte de resíduos de longa distância, à depreciação associada à recusa das pessoas em ter perto de suas casas os aterros sanitários RSU (LEME et al., 2014).

Diante deste contexto, investimentos públicos-privados para o gerenciamento dos RSU vêm contribuir com a necessidade de conhecimento de alternativas para o gerenciamento destes materiais nos países em desenvolvimento. Assim esta dissertação vem preencher a lacuna de apoio às decisões de investimento pelos gestores públicos municipais no processo de decisão pelas tecnologias WtE, assim possibilitando o desenvolvimento destas tecnologias nestes territórios.

Apresentadas as justificativas em relação ao problema de pesquisa, na seção seguinte são descritos os objetivos que suportam a resolução deste problema, bem como as delimitações desta dissertação.

1.3 Objetivos e Delimitações

Nesta seção inicia-se apresentando os objetivos desta dissertação e faz-se necessário lançar os limites de escopo desta pesquisa, apresentados logo em seguida.

1.3.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é propor um guia que possa suportar a tomada de decisão sobre tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU.

Atendendo ao objetivo geral, apresenta-se os objetivos específicos.

- a) Enumerar as principais alternativas de tecnologias WtE para resíduos sólidos urbanos;
- b) Analisar os critérios que suportam os investimentos em usinas de resíduos sólidos urbanos;
- c) Avaliar os impactos econômicos do processo de decisão de investimento para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

1.3.2 Delimitação do Tema

Nesta subseção apresenta-se as delimitações deste trabalho, lançando as vertentes aos limites do escopo. O primeiro objetivo do trabalho indica que irá trazer as principais opções de tecnologias WtE para uso dos RSU. Conforme será trazido no capítulo 2 deste trabalho vai enumerar as principais tecnologias existentes no mundo que podem ser utilizadas para os tratamento dos RSU, das quais conforme elencada esta dissertação vai abordar a tecnologia de: incineração, gaseificação, pirólise, DA e aterros sanitários (KHAN; KABIR, 2020; KUMAR et al., 2017; OUDA et al., 2016; RAJAEIFAR et al., 2017).

O segundo objetivo deste trabalho é definir critérios para opção de escolha das tecnologias WtE para investimento em usinas de RSU. Aqui neste trabalho os critérios selecionados terão ligação econômica com a escolha da tecnologia, assim visto que este vai aplicar a análise econômica da planta da usina de RSU. Portanto aspectos que não tem ligação direta com o retorno econômico da usina não serão apresentados neste trabalho.

No terceiro objetivo deste trabalho vai avaliar os impactos econômicos das decisões escolhidas para o gerenciamento dos RSU. Nesta etapa serão avaliados economicamente pelos critérios levantados aqui neste trabalho, lembrando que a unidade de análise será a planta de usina de RSU com características do projeto público-privado, assim este trabalho tem a pretensão de servir como um guia sob o

viés econômico, para decisões de escolhas de tecnologias WtE que tratam dos RSU e para os gestores públicos, não fazendo parte deste trabalho discutir viabilidade de usinas de caráter definitivamente privado ou que tenha como objeto outros materiais que não sejam os já descritos aqui.

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação é composta por seis capítulos, sendo estruturada conforme segue:

Capítulo 1 - Neste capítulo, já apresentado, foram abordados os fatores em relação à introdução, contendo a apresentação geral do trabalho, as justificativas acadêmicas e governamentais, além dos objetivos gerais e específicos, a delimitação do tema e a estrutura do projeto.

Capítulo 2 - Serão tratados os conceitos norteadores da pesquisa, que são: as principais tecnologias WtE para RSU e os critérios de escolha e análise econômica deste tipo de investimento; a hierarquia de resíduos; as questões que têm impacto na saúde pública pela falta de gestão dos RSU e finalizando com as normas e legislações diretamente relacionada ao RSU. Os conceitos são abordados considerando o ponto de vista dos principais autores estudados.

Capítulo 3 - Neste capítulo, será apresentado o método utilizado para a conduzir a pesquisa, a justificativa da adoção do método, e o referencial teórico para embasamento do método proposto. O instrumento para a coleta dos dados também consta nesse capítulo. Bem como neste capítulo será apresentada as características da unidade de análise, bem como as características dos RSU desta unidade

Capítulo 4 – Neste capítulo são descritos os achados da pesquisa, bem como a escolhida tecnologia WtE, evidenciando os critérios de decisão, bem como a realização da avaliação quantitativa do investimento.

Capítulo 5 – São trazidos neste capítulo, as análises dos resultados obtidos através da pesquisa, bem como a reflexão sobre o atendimento da pesquisa à proposta originalmente apresentada nos objetivos gerais e específicos desta dissertação, desenvolvendo a relação com a literatura levantada.

Capítulo 6 - As principais conclusões acerca dos achados na pesquisa são apresentadas além das limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

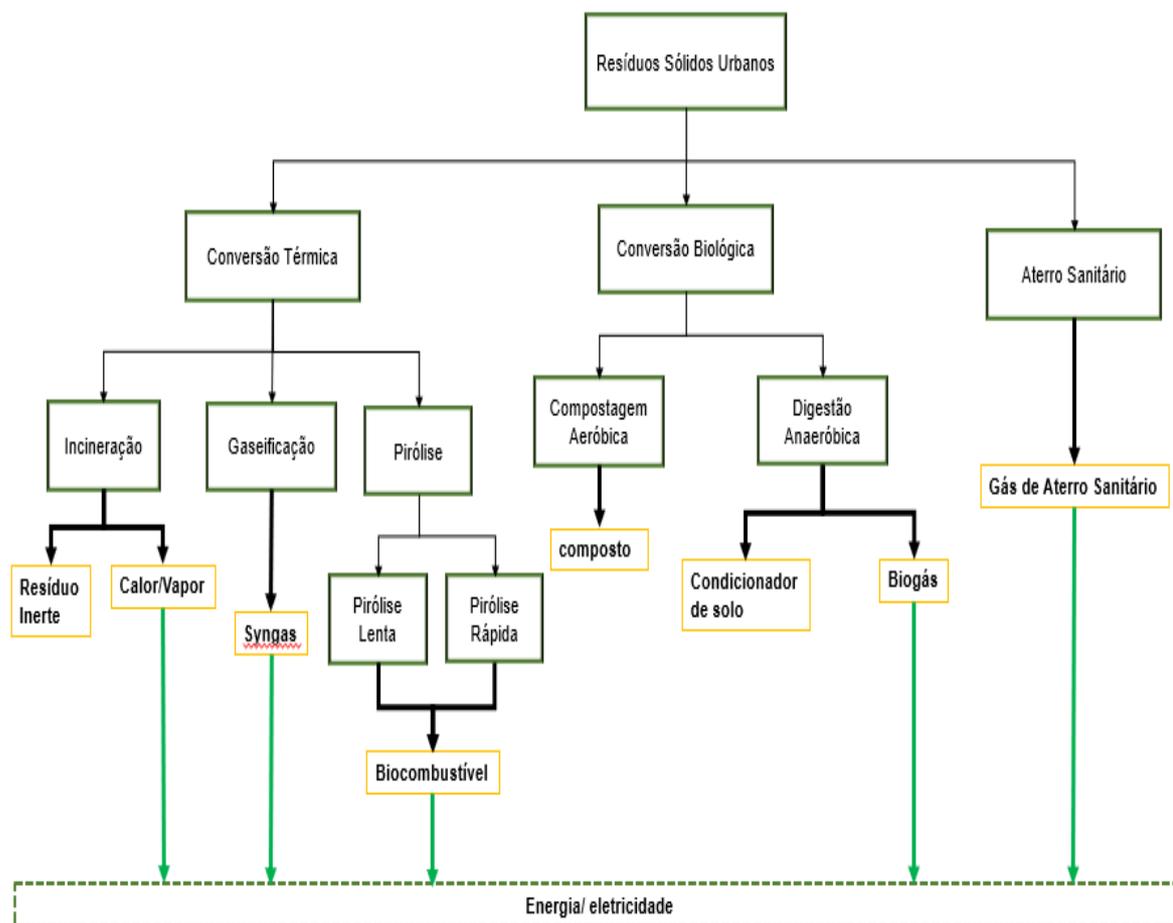
Este capítulo introduz o objeto de estudo desta dissertação, bem como as principais tecnologias WtE que estão sendo utilizadas no mundo para o gerenciamento dos RSU. A primeira seção traz as principais tecnologias que transformam os RSU em energia, conhecida como as “tecnologia de WtE”. Logo em seguida é apresentado os critérios de adesão e avaliação econômica. Finalizando nas duas últimas seções com a questão da saúde pública, visto que pelo não tratamento adequado dos resíduos, deixando a população vulnerável aos efeitos causados pelos RSU, assim é descritos estes efeitos, e apresentando as principais normas e legislações que tratam dos RSU. Este trabalho vem trazer esta discussão para corroborar com as pesquisas que tratam do gerenciamento dos RSU, porém o tema é pouco discutido juntamente com os impactos na saúde pública, fortalecendo sua relevância e servindo de apoio para o processo de decisão dos gestores públicos .

2.1 Gerenciamento de RSU Para Recuperação de Energia (WtE)

O Gerenciamento dos RSU é o objeto de estudo deste trabalho, assim para entender com maior profundidade, nesta seção serão abordadas as principais tecnologias WtE utilizadas no mundo. Desta forma fortalecendo o processo de decisão por parte dos gestores públicos à adesão das tecnologias WtE, visto as contribuições trazidas neste trabalho, servirão de esclarecimento para as escolhas das tecnologias e seus impactos econômicos.

As tecnologias WtE resultam em produtos que pode ser o calor, eletricidade ou combustível, (OUDA et al., 2016), o que depende os produtos resultados todos processos são o processo térmico, os materiais a serem utilizados. Para melhor apresentar os produtos resultantes a figura 7 mostra estes processos.

Figura 7 – Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos e seus Produtos



Fonte: Adaptado de (KHAN; KABIR, 2020; RAJAEIFAR et al., 2017).

As tecnologias WtE estão divididas em tecnologias térmicas, tecnologias não térmicas e os aterros sanitários, assim nas subseções seguintes serão abordadas de maneira separada e elencada as suas principais características.

2.1.1 Tecnologias Térmicas: Pirólise, Gaseificação e Incineração

Antes de iniciar a apresentação das principais tecnologias térmicas, é preciso compreender o conceito de CDR (Combustível Derivado do Resíduo). O início do desenvolvimento da tecnologia de CDR ocorreu principalmente no Reino Unido e na Itália, com unidades sendo construídas em meados da década de 70 (MAMEDE, 2013). Entretanto, muitas destas foram fechadas, devido à dificuldade em se encontrar mercado para o CDR na forma de peletes. A falta de mercado levou ao

desenvolvimento do CDR grosseiro, o qual é apropriado para uso local (MAMEDE, 2013) .

Há dois processos básicos de CDR, cada um produzindo um produto distinto, conhecido como CDR densificado e CDR grosseiro, respectivamente. O CDR densificado é produzido como peletes. Antes de ser peletizado é seco, de modo a ficar relativamente estável e poder ser transportado, manuseado e armazenado como qualquer outro combustível sólido (MAMEDE, 2013). Ressaltando aqui, que o vidro, os metais e outros materiais não combustíveis são excluídos neste processo (PAN et al., 2015). Pode-se após este processo de CDR estes resíduos passarem por outros processos de tecnologias WtE para a geração de energia.

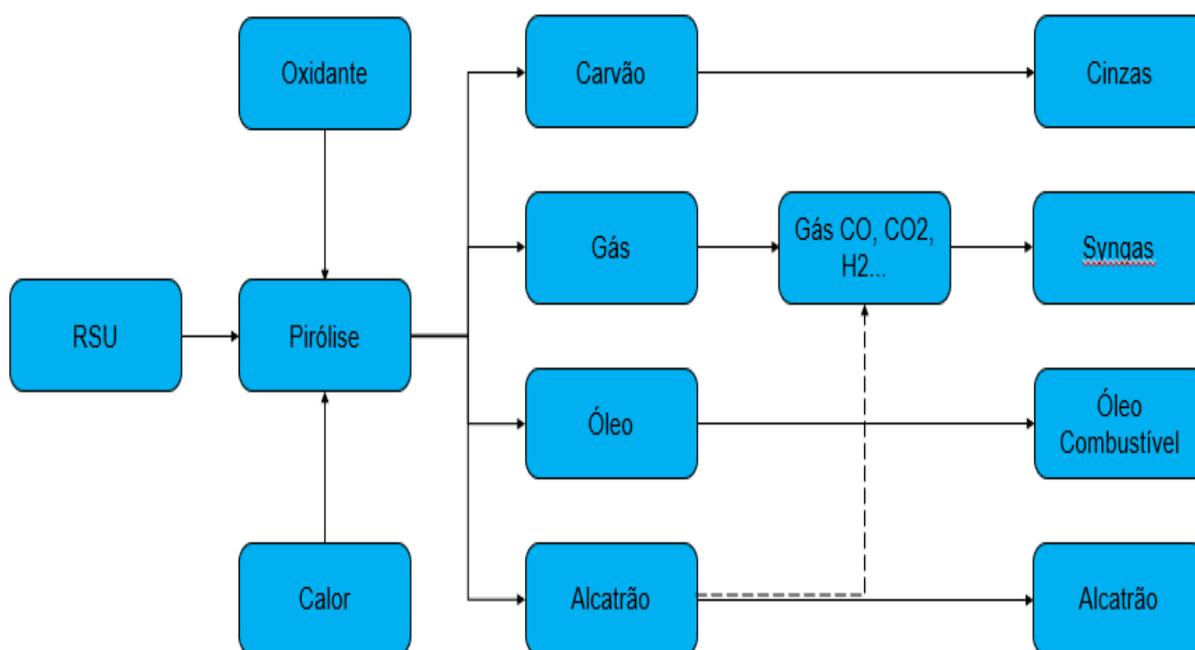
No processo de conversão térmica a energia dos RSU é recuperada através do aquecimento dos materiais, sendo as tecnologias WtE mais conhecidas para o tratamento dos RSU a incineração, a pirólise e a gaseificação, resultando nos produtos energéticos como o calor ou vapor, o syngas, os biocombustíveis e o biogás, (KHAN; KABIR, 2020; OUDA et al., 2016; RAJAEIFAR et al., 2017) apresentado na figura 7. Estas tecnologias sofrem variação, dependendo da temperatura e da quantidade de oxigênio usada no processo (KHAN; KABIR, 2020). No processo termoquímico envolve a decomposição térmica da matéria orgânica presente nos RSU para produção de energia térmica, como óleo combustível ou gás, utilizado para resíduos menos densos, com alta porcentagem de matéria orgânica não biodegradável e baixo teor de umidade (RAJAEIFAR et al., 2017; SHI et al., 2016).

Na tecnologia WtE do processo de pirólise, ocorre em uma reação irreversível, envolvendo aquecimento indireto de materiais ricos em carbono a altas temperaturas na ausência de oxigênio e sob pressão (RAJAEIFAR et al., 2017). Considerado um processo de tratamento térmico avançado (KUMAR; SAMADDER, 2017), o processo ocorre na faixa de temperatura de 300°C a 800°C, produzindo o gás de pirólise, óleo e carvão, sendo que a quantidade dos produtos resultados no processo dependem principalmente da taxa de aquecimento, temperatura do processo e tempo de residência (LOMBARDI; CARNEVALE; CORTI, 2015).

Quando em temperaturas mais baixas em torno de 500°C a 550 °C, os principais subprodutos extraídos são o óleo de pirólise, a cera e o alcatrão,

ressaltando que os RSU precisam de uma seleção para extrair melhores resultados nos subprodutos, assim os resíduos específicos como: plástico, pneus, equipamentos eletrônicos, resíduos elétricos, resíduos de madeira, entre outros, são os materiais mais desejáveis para este processo (KUMAR; SAMADDER, 2017), atendendo a esta especificidade pode ser recuperado neste processo 80% da energia armazenada nos resíduos (OUDA et al., 2016). Para melhor entender a tecnologia de pirólise, foi elaborada a figura 8 que apresenta os principais subprodutos extraídos do processo de pirólise.

Figura 8 – Processo de Pirólise



Fonte: Adaptado de (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018, p.3).

Em particular, a pirólise recebeu atenção especial nos últimos anos na reciclagem de pneus, sendo assim a sucata deste material utilizada para recuperação do óleo (LOMBARDI; CARNEVALE; CORTI, 2015). Como exemplo, na Alemanha, desde 1987 tem uma usina de pirólise na cidade de Burgau, que possui capacidade diária de 110 toneladas, salientando que a geração de eletricidade neste processo de pirólise utiliza-se de materiais dos RSU (LOMBARDI; CARNEVALE; CORTI, 2015). Outras plantas de pirólise de RSU estão operando com sucesso também na Alemanha, em Hamm, com 275 toneladas de capacidade diária, no Japão na cidade de Toyohashi, possui uma planta com capacidade de 295

toneladas por dia, no Reino Unido outra planta com capacidade de 22 toneladas diárias e na França com capacidade de 191 toneladas diárias (PANEPINTO et al., 2014).

A tecnologia de pirólise é considerada uma tecnologia eficaz, pois não apenas fornece energia renovável, mas também mitiga as mudanças climáticas, provocadas pelos GEE (KUNG; MU, 2019). Ainda os autores, a comparação da eficácia e da eficiência das aplicações de pirólise e biochar nos impactos as mudanças climáticas em uma região específica em seus estudos, apresentaram resultados de aplicações conjuntas de pirólise e biocarvão, podendo reduzir mais de 2,69 milhões de toneladas de CO² emitidas na atmosfera. Evidencia-se que a pirólise tem um bom desempenho no tratamento de fluxos de resíduos específicos, mas cabe ressaltar que foram realizados ainda poucos estudos que relatam sobre a recuperação de energia de RSU usando pirólise em escala comercial (KUMAR; SAMADDER, 2017).

A gaseificação é outra tecnologia WtE de conversão térmica, ocorre pela combustão indireta da matéria orgânica, uma reação exotérmica do composto orgânico convertido em syngas em atmosfera controlada de oxigênio a alta temperatura de 900°C a 1600°C (OUDA et al., 2016). Sendo que o syngas pode ser usado para produzir energia através da combustão (KUMAR; SAMADDER, 2017; OUDA et al., 2016). Também pode ser usado para produzir matéria-prima como produtos químicos e combustíveis líquidos, podendo reduzir seu volume em até 95% (YAP; NIXON, 2015). A maioria dos estudos de gaseificação relatados concentram-se no fluxo homogêneo de combustível sólido como carvão, madeira, sendo neste processo necessário a seleção dos materiais (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Quanto as pesquisas que verificaram o crescimento desta tecnologia, pode ser citado o estudo de Ouda et al. (2016), que estudou a gaseificação nos anos de 2010 a 2013 na Ásia, apresentando 57 projetos de gaseificação, dos quais a Europa, África e EUA lideram, porém, o destaque ocorreu nos EUA, que levantaram o maior aumento nas plantas de gaseificação, com um crescimento de mais de 100% em 2010 quando em comparação com 2013. Na Ásia apresentou-se um grande salto no crescimento da tecnologia de gaseificação nos últimos anos e pode ser considerada como um dos mercados mais favoráveis para a tecnologia, seguido pela Europa, África e EUA (OUDA et al., 2016).

Quanto às vantagens da gaseificação para o uso dos RSU destaca-se a aplicação desta tecnologia em pequenas ou médias escalas, a vantagem ocorre pela redução acentuada das emissões de alguns poluentes como dioxinas, furanos e também da utilização do syngas em dispositivos térmicos de alta eficiência (LUZ et al., 2015). Panepinto et al. (2014) investigaram 100 plantas em todo o mundo que desenvolveram a tecnologia de gaseificação para processamento dos RSU, ressaltando exemplo desta tecnologia, o caso do Japão, com a adesão bem desenvolvida desta tecnologia, visto que em 2007 o país tinha 85 usinas em operação.

Uma outra abordagem do uso das tecnologias WtE, aponta o desenvolvimento em conjunto de mais de uma tecnologia, como por exemplo, a junção da tecnologia de pirólise com a tecnologia de gaseificação, visto que desta integração pode potencializar os seus resultados, como a redução do volume dos resíduos em 95% e exigência de uma limpeza menos intensiva dos gases de combustão quando comparada a tecnologia de incineração (YAP; NIXON, 2015). A tecnologia de pirólise e gaseificação são apontadas como melhores do que outras opções de tecnologias WtE, do ponto de vista das emissões dos GEE e também de sua eficiência energética, mas cabe ressaltar, que estas tecnologias ainda não foram estabelecidos em larga escala em todo o mundo, está predominante nos países em desenvolvimento, necessitando ser testada nos países em desenvolvimento para recuperação de energia dos RSU (LUZ et al., 2015).

Uma explicação para a baixa procura dos países em desenvolvimento, pode ser à baixa eficiência dos gaseificadores e sistemas de limpeza dos gases, a heterogeneidade na composição dos RSU e alto teor de umidade, que acaba impedindo a adesão por países em desenvolvimento, visto que necessita de maior investimento nas plantas (KUMAR; SAMADDER, 2017) além dos elevados investimentos iniciais, que ao se comparar com os baixos custos de aterramento nos países em desenvolvimento, tem maior tempo de retorno.

Quanto aos estudos que analisaram a viabilidade econômica das tecnologias WtE, cabe ressaltar que uma tecnologia depende de suas características técnicas dos subprodutos como a eficiência do processo, o consumo de recursos e o valor da produção (KHAN; KABIR, 2020). Embora a tecnologia de incineração seja

amplamente utilizada para gerenciamento dos resíduos, muitos municípios reconhecem os benefícios da gaseificação sobre a incineração, visto que o syngas produzido pela gaseificação são polivalentes e podem ser usados para armazenamento e geração de energia (KHAN; KABIR, 2020).

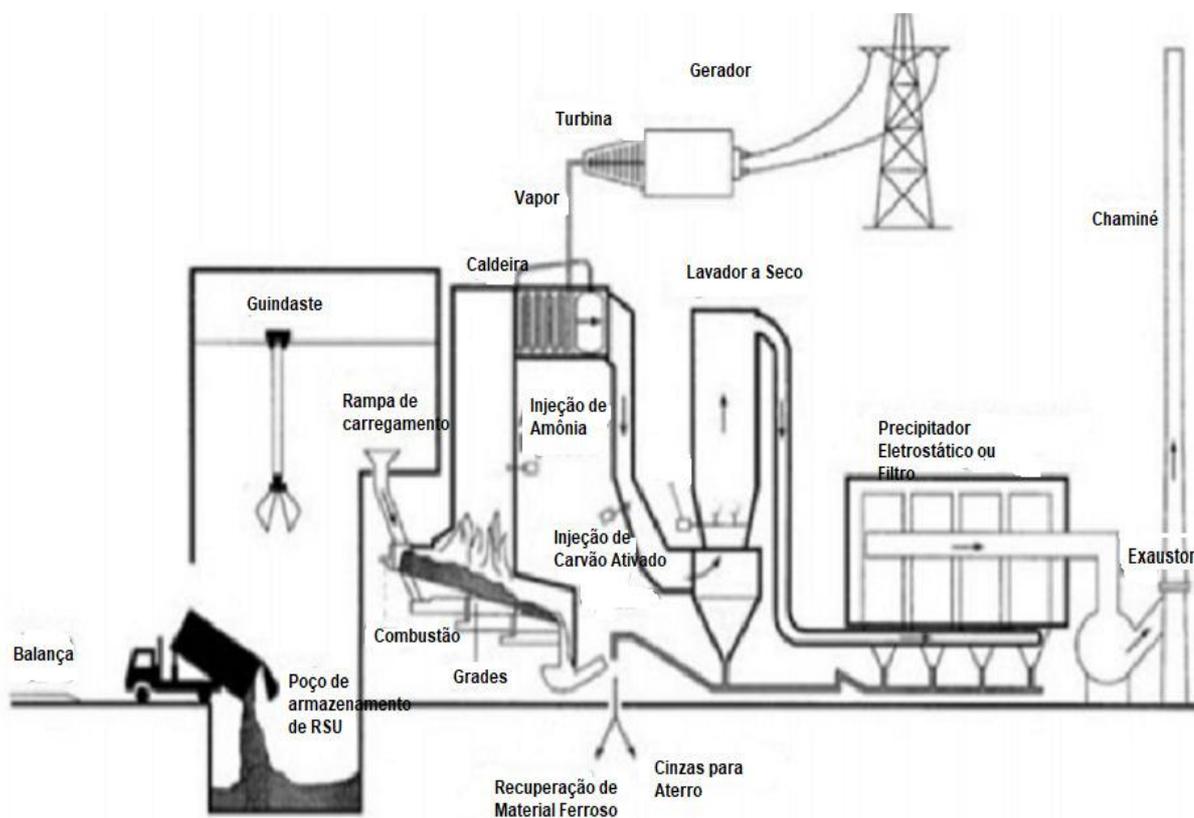
Salienta-se que a tecnologia de pirólise e gaseificação ainda estão em fase de pesquisa, sendo que à falta de dados adequados de especificidade dos RSU, má qualidade da matéria-prima e projetos inadequados das instalações das plantas dificultam o desenvolvimento destas tecnologias (SHI et al., 2016). Sendo as principais diferenças entre esses três processos de tratamento térmico (pirólise, gaseificação e incineração) são as condições atmosféricas, pela presença de oxigênio e a temperatura operacional, assim a qualidade dos produtos são dependentes destes fatores (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Quanto a tecnologia de incineração, ocorre da decomposição térmica da matéria, através da combustão dos RSU que passou por uma seleção rigorosa é queimado ou oxidado na presença de ar (oxigênio), este processo ocorre em um grande forno, resultando na produção de calor, podendo ser utilizado como energia (RAJAEIFAR et al., 2017). Salienta-se para a seleção dos RSU a serem incinerados, visto que os regulamentos exigem elevado padrão na qualidade dos RSU, bem como nos casos de uso do CDR, há exigência de alta qualidade dos resíduos neste processo (MAMEDE, 2013).

Desta forma, o calor gerado neste processo resulta no gás de combustão, que passa pelo resfriamento em uma caldeira de água de alimentação de alta pressão, da qual o vapor é gerado, podendo assim ser usado para transformar uma turbina a vapor para gerar eletricidade ou ser usada para aquecimento urbano ou calor e energia (PAN et al., 2015).

Para melhor explicar o processo é apresentado na figura 9 o esquema de um incinerador, com suas principais etapas do processo de conversão dos RSU triados para a combustão e a geração do calor, bem como a finalização no gerador de energia elétrica, sendo uma energia renovável.

Figura 9 – Esquema de um Incinerador WtE.



Fonte: Adaptado de Tammemagi H. 1999, p. 47.

No processo tecnológico de incineração os RSU se misturam com o ar ou a chamada zona de combustão para geração do calor na presença de grande quantidade de ar, da qual este fator é determinante para o processo, pois vai depender do teor de umidade, do nível de aquecimento e do tipo de tecnologia usada para a queima dos resíduos. Porém para o processo de combustão são necessários oxigênio e carbono, no entanto quando ocorre a presença do enxofre, isso se torna motivo de preocupação, visto que à combinação do enxofre com o oxigênio resulta na formação do dióxido de enxofre, um grande poluidor ambiental (KUMAR, 2016).

Apesar deste desafio apontado, a incineração é um processo tecnológico muito desenvolvido no mundo (SHI et al., 2016). Cabe ressaltar, que após avanços nas tecnologias de controle da poluição do ar (OUDA et al., 2016), causados por exemplo pela formação do dióxido de enxofre (KUMAR, 2016) a incineração se

desenvolveu como uma opção atraente de tratamento de resíduos, especialmente nos países desenvolvidos (OUDA et al., 2016). Sua principal vantagem está na redução do volume, proteção social e do meio ambiente contra resíduos perigosos, mas não tão atraente quanto da recuperação de energia (BRUNNER; RECHBERGER, 2015).

Trazendo como exemplo do uso da tecnologia de incineração para gerenciamento de RSU nos países desenvolvidos, pode-se citar alguns países como: Alemanha, Suécia, Holanda, Dinamarca e Reino Unido na Europa, EUA e Canadá na América do Norte, e Japão, China, Coreia, Indonésia e Malásia na Ásia (ISLAM, 2018). Na China, as instalações de incineração de WtE em operação ou em construção ultrapassaram as 300 usinas no final de 2015 e com o projeto do maior incinerador do mundo em Shenzhen (ISLAM, 2018), com previsão de inauguração em 2020.

Outro país exemplo, é o caso do Japão, particularmente famoso pelo uso da tecnologia de incineração, devido à rigorosa regulamentação e o problema de limitação de suas áreas de terras para o descarte de resíduos, encontraram nos incineradores uma potente solução (KUMAR; SAMADDER, 2017). Também a incineração é utilizada em diferentes países da Europa Ocidental e significativamente dependentes da incineração para enfrentar os desafios trazidos pelos RSU, o que não é muito diferente no caso dos EUA, a exemplo, este país recupera energia de mais de 40% do total de resíduos sólidos gerados usando apenas a tecnologia de incineração (KUMAR; SAMADDER, 2017). Segundo Scarlat et al., (2015) reforçam que a incineração é bastante utilizada na União Europeia, EUA e Japão, impulsionado pelas rigorosas regulamentações relacionadas ao descarte de resíduos nos aterros sanitários.

Uma das principais desvantagens da tecnologia de incineração diz respeito a questão potencial de emissão de poluentes, um exemplo desta desvantagem diz respeito a preocupação das emissões do grupo de compostos orgânicos conhecidos como "dioxinas" (GIUSTI, 2009), resultado da combustão incompleta (KUMAR; SAMADDER, 2017). Segundo a Agência Internacional de Pesquisa sobre o câncer concluiu que as dioxinas são altamente cancerígenas, com base em experimentos de laboratório em animais, realizou um estudo dos grupos que viviam em áreas

industriais (GIUSTI, 2009). No entanto, muitos estudos criticam os resultados inconclusivos e não convincentes do impacto na saúde pública dos incineradores (WORLD ENERGY RESOURCES, 2016), apontando a necessidade de mais estudos. Também é possível verificar a necessidade de projetos de incineração mais bem sucedidos e eficientes, necessário para um sistema bem desenvolvido e controlado (KUMAR; SAMADDER, 2017), que atende esta crítica.

Quadro 2 – Principais Vantagens e Desvantagens da Tecnologia de Incineração

Vantagens	Autor(s)	Desvantagens	Autor(s)
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Destruição completa de quaisquer organismos vivos e a mineralização de substâncias orgânicas em produtos finais inofensivos. 	BRUNNER; RECHBERGER, 2015; KUMAR; SAMADDER, 2017	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Relatos da China enfrentando vários problemas na incineração de RSU devido à baixa qualidade da matéria-prima dos resíduos, combustão incompleta e aumento da poluição do ar. 	LOMBARDI; CARNEVALE; CORTI, 2015
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Menor custo anual de capital; ➤ Menor custo operacional; ➤ Melhor habilidade dos operadores; ➤ Maior rendimento diário; 	PSOMOPOULOS; BOURKA; THEMELIS, 2009	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Poluição atmosférica e aquática; ➤ Produção de substância química (dioxinas) substância cancerígena; ➤ Oposição da sociedade; ➤ Produção de resíduos sólidos (escória) 	CHAKRABORTY et al., 2013; MÜNSTER; LUND, 2010
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tratamento rápido 	CHAKRABORTY et al., 2013; MÜNSTER; LUND, 2010		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilização de cinzas volantes e de fundo das instalações de incineração nas construções de estradas ➤ Produção de cimento ➤ Recuperação de substâncias ferrosas e não ferrosas 	KUMAR; SAMADDER, 2017	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Altos custos de capital, operação e manutenção; ➤ Características e composição desfavoráveis de resíduos; ➤ Falta de conhecimento técnico em campo; ➤ Disponibilidade de terras de custo comparativamente baixo para a eliminação de resíduos. 	KUMAR; SAMADDER, 2017

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto a discussão sobre as vantagens e desvantagens resultadas pelo processo de incineração, quanto a viabilidade econômica e ambiental, no quadro 2 os autores apresentam as principais vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Nos estudos realizados por Khan e Kabir (2020), as tecnologias WtE foram pontuadas sobre as dimensões da sustentabilidade, o resultado da incineração atingiu pontuação mais alta quando avaliada sobre a dimensão social, uma razão pelo resultado se justifica pelos impactos positivos a sociedade, como a criação de novos empregos e promoção do desenvolvimento econômico local. Porém quando avaliada as dimensões como ambiental e econômica, a incineração caiu para terceira posição (KHAN; KABIR, 2020).

Outro aspecto positivo sobre a tecnologia de incineração para a tomada de decisão, trata da adesão desta tecnologia tanto em países desenvolvidos, quanto nos países em desenvolvimento, podendo também, ser parte de um sistema adequado de gerenciamento de RSU, reforçando que poderá ser confirmado pelos valores econômicos do investimento (KHAN; KABIR, 2020). Como exemplo, nos EUA 86 instalações WtE que usam principalmente tecnologias de combustão em massa se concentram em Nova York e no estado da Flórida, lugares mais povoados (MUKHERJEE et al., 2020).

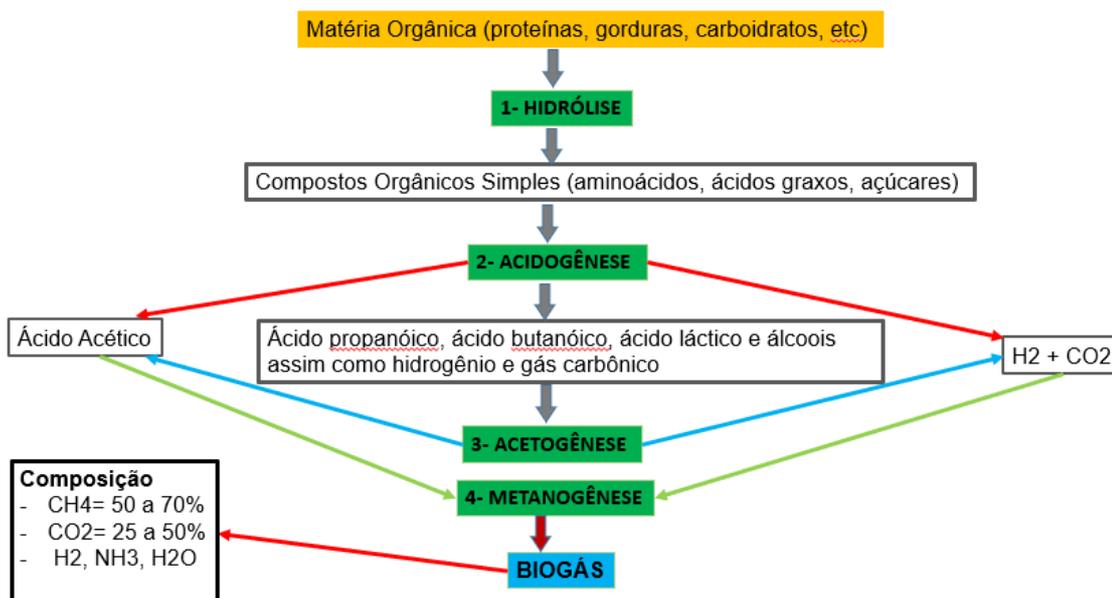
Entre as diferentes opções de tratamento disponíveis para os RSU, as tecnologias WtE podem oferecer vantagens tanto no gerenciamento eficiente de resíduos quanto ao fornecimento de eletricidade de maneira ambientalmente amigável e economicamente viável (BARAN; MAMIS; ALAGOZ, 2016). No entanto, as tecnologias WtE podem ser implementadas como parte de um sistema de gerenciamento do RSU, a fim de obter uma reutilização completa dos materiais e a energia contida nos resíduos de maneira sustentável (RAJAEIFAR et al., 2017). Nesse contexto, a recuperação de gás de aterro, a DA, a incineração, a gaseificação e a pirólise atraíram muita atenção (RAJAEIFAR et al., 2017). Até aqui foram apresentadas as tecnologias com processos térmicos nesta seção, a seguir será abordada as tecnologias não térmicas, como é o caso da DA e dos aterros sanitários.

2.1.2 Tecnologias Não Térmicas: Digestão Anaeróbica e Aterro Sanitário

A DA ou biometanização é um processo de degradação microbiana da matéria orgânica biodegradável na ausência de oxigênio, que fará a geração do biogás e estabiliza o lodo, sendo usada para recuperar nutrientes e energia de resíduos biodegradáveis (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Esta fração orgânica dos RSU biodegradável é convertida em gás metano através de uma série de etapas, sendo iniciado pela hidrólise, na qual os materiais orgânicos dos RSU, como carboidratos, proteínas e gorduras, são convertidos em materiais orgânicos solúveis, como açúcares, amido e ácidos graxos (KUMAR; SAMADDER, 2017). Na etapa seguinte da fermentação, as moléculas orgânicas se decompõem transformando-se em ácido acético e na sua etapa final é a metanogênese, na qual ocorre a transformação para o gás metano (KUMAR; SAMADDER, 2017). Este processo é apresentado na figura 10.

Figura 10 – Processo de Digestão Anaeróbica (DA)



Fonte: Elaborado pela autora com base em KUMAR; SAMADDER, 2017.

Este processo ocorre em uma temperatura de quase 65°C, que resulta na diminuição da quantidade de resíduos e ocorre a produção do biogás, sendo utilizado para aquecimento e energia combinada, podendo também ser utilizado como combustível (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016). Os materiais que não são orgânicos, denominados restos neste processo, estes materiais inorgânicos e

resíduos inertes, podem ser atendidos pela tecnologia de incineração ou tecnologia de gaseificação (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016).

Quanto às desvantagens da tecnologia DA, destaca-se a necessidade do contínuo fornecimento de resíduos, também há necessidade de segregação de resíduos antes do início do processo principal, fato este, que aumenta assim o valor do investimento para o processo de adesão desta tecnologia (KHAN; KABIR, 2020). Cabe destacar, que no processo úmido há uma maior produção de resíduos líquidos e menos produtos sólidos, assim precisa ser avaliado o tipo de reator utilizado, sendo que nos processos úmidos ou secos, o rendimento de gás metano vai depender de região para região, da qualidade da matéria-prima e das características destes materiais, apontando a necessidade de uma análise detalhada dos RSU, para a tomada de decisão do investimento desta tecnologia (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Porém para solução destas desvantagens citadas, o estudo de caso realizado em Bangladesh, solucionou o problema dos fluxos contínuos, garantindo o fluxo contínuo de matérias pela utilização de resíduos de outras fontes, como os resíduos residenciais ou por resíduos agrícolas, ou ainda, por ambos, já quanto a necessidade de segregação de resíduos, foi utilizado o sistema informal, ou seja, os catadores que fazem a separação dos materiais (KHAN; KABIR, 2020). Ainda os autores reforçam que Bangladesh, sendo um país tropical com clima quente e, portanto, não sendo necessários processos adicionais de temperatura durante todo o ano, porém sabe-se que o controle de temperatura é necessário para uma DA eficaz.

Outros estudos trataram na grande maioria da utilização dos resíduos alimentares, juntamente com o propagação adequada para a recuperação máxima dos gases, assim a qualidade do biogás gerada usando a tecnologia de DA pode ser promissora com a remoção de CO² e outros gases, resultando em um combustível chamado de biometano, que pode ser usado no setor de transportes (KUMAR; SAMADDER, 2017). Outro ponto desta tecnologia de DA, trata da utilização desta para o tratamento de esgoto doméstico, resíduos agrícolas, resíduos orgânicos e esterco de animais, sendo amplamente utilizada para recuperação de

energia dos RSU, especialmente nos países em desenvolvimento, visto que o ponto positivo destes materiais é o alto teor de umidade (YAP; NIXON, 2015).

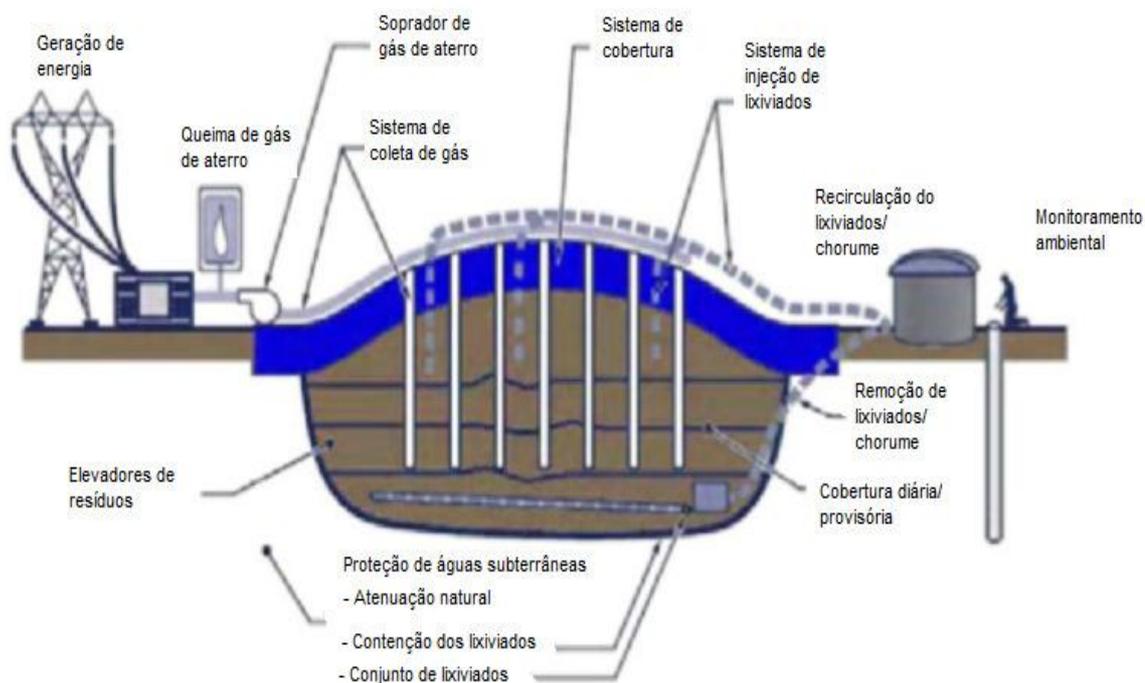
No que diz respeito às vantagens da DA, da dimensão ambiental, estudos apontam a tecnologia de DA com maior pontuação, seguida da pirólise, este resultado pode ser explicado da seguinte forma, para uma planta com tecnologia de DA normalmente requer menor área de terra, também sabe-se que vai depender da capacidade da planta, mas esta tecnologia emite menos poluentes ao meio ambiente, pois apresenta baixas emissões globais por kWh e produz menos poeira do que as demais tecnologias (KHAN; KABIR, 2020).

Outra tecnologia WtE muito utilizada e prática, são os aterros sanitários, da qual trata-se de uma técnica de disposição de resíduos baseada no solo, utilizando os princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e, reduzi-los ao menor volume permitido em aterro sanitário (BARROS; TIAGO FILHO; DA SILVA, 2014). Considerada nos debates sobre mudanças climáticas dos anos 90 como uma gestão minimizadora (SANDHU, 2014). Pode ser definido também, como um depósito de RSU usando uma instalação de engenharia, que requer planejamento e especificações detalhadas, uma construção cuidadosa e com operação eficiente (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016).

Ainda do conceito de aterro sanitário, pode ser definido como o descarte controlado de resíduos em solo, para reduzir o impacto negativo no meio ambiente por meio da recuperação de biogás e do manejo dos lixiviados (KUMAR; SAMADDER, 2017). Por outro lado, quando avaliados fatores como impacto ambiental, impacto na saúde humana, degradação do solo e contaminação das águas subterrâneas, o aterro sanitário se torna a opção pior de tecnologia WtE (KUMAR; SAMADDER, 2017). No entanto, os países desenvolvidos começaram a desencorajar os aterros de resíduos, por meio de regulamentos mais rígidos, a redução de resíduos e reciclagem dos materiais (KUMAR; SAMADDER, 2017). Segundo especialistas, apenas 10% a 15% do total de resíduos gerados devem ser destinados a aterros sanitários e, ressaltando que para os casos de cidades com limitação de terra, deverá ser uma das últimas opções de escolhas das tecnologias WtE (KUMAR; SAMADDER, 2017). Para melhor representar o esquema de um

processo típico de aterro sanitário com suas etapas, a figura 11 ilustra estas partes técnicas.

Figura 11 – Principais Partes Técnicas de um Aterro Sanitário



Fonte: (ZAMAN, 2010, p.226)

O gás de aterro, produzido por meio de atividades de tratamento de RSU, incluindo principalmente o gás metano, desempenha um papel muito importante para o gerenciamento dos RSU, desta forma, no processo de extração do gás metano nas plantas destes resíduos, sendo este gás coletado, tratado e usado para fins energéticos (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016).

No entanto, os aterros sanitários, são amplamente utilizados no mundo, visto que a geração de eletricidade usada na recuperação do biogás se apresenta como uma tecnologia bem estabelecida, tanto quanto, da avaliação nos aspectos econômicos e ambientais desta técnica em diferentes sistemas de gerenciamento de RSU (AYDI et al., 2015; BROUN; SATTLER, 2016; FRIEDRICH; TROIS, 2016; ISLAM, 2018; LEME et al., 2014; PEERAPONGA; LIMMEECHOKCHAI, 2016; SCARLAT et al., 2015; TAN et al., 2015). Porém quando não ocorre a recuperação do biogás, vem a trazer impactos ambientais pela liberação dos GEE, contribuindo com o aquecimento global (AYDI et al., 2015).

Para solucionar este problema é fundamental a recuperação dos gases deste aterros sanitários, assim os impactos ambientais adversos serão minimizados, além disso, a recuperação de energia a partir de resíduos é uma área de interesse vital, pois é uma tecnologia de gerenciamento de resíduos limpa, viável e conhecida mundialmente (AYDI et al., 2015), porém para a coleta eficiente do biogás é necessária a instalação adequada, desde o projeto de instalação da planta (BROUN; SATTLER, 2016).

O lixiviado é um problema importante no caso do aterro sanitário, devido ao risco de contaminação das águas subterrâneas (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016). Por isso, é de extrema importância para a saúde pública que este desafio seja superado, porém cabe ressaltar, que avanços tecnológicos realizados nos aterros sanitários, solucionaram grande parte deste desafio (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016).

No estudo conduzido por Yechiel; Shevah (2016), apresenta os benefícios econômicos da conversão do gás de aterro sanitário em eletricidade, apontando-se os retornos econômicos significativos, principalmente quando ocorrida a geração contínua de energia, ou seja, sem paradas ou diminuição do abastecimento dos materiais que geram o biogás na planta do aterro sanitário.

Outro estudo conduzido na Malásia, destacou que, por mais que o governo da Malásia esteja tentando atualizar os aterros sanitários existentes para geração de energia (FAZELI et al., 2016), outras tentativas precisam ser feitas para implementar a recuperação do gás de aterro (RAJAEIFAR et al., 2017). Esta estratégia também é aconselhável para os outros países em desenvolvimento, tanto quanto, para os governantes que estejam engajados no aprimoramento dos padrões dos aterros sanitários (KUMAR; SAMADDER, 2017; RAJAEIFAR et al., 2017).

Os autores Fazeli et al., (2016), destacam como vantagem da tecnologia dos aterros sanitários, do ponto de vista econômico, que a justificativa estaria na avaliação do tempo de execução da planta e o tamanho dos investimentos necessários, visto que no estudo, estes quesitos se apresentaram com menor investimento e menor tempo de execução, porém cabe destacar que do ponto de vista da sustentabilidade, outras opções de tecnologias WtE são consideradas mais promissoras como a

incineração, gaseificação e pirólise. Sobre os critérios de adesão de escolha da melhor tecnologia WtE são detalhados na subseção seguinte.

2.1.3 Critérios de Adesão das Tecnologia WtE

Após a revisão das principais tecnologias WtE apresentadas na subseção anterior, aqui serão apresentados a revisão dos principais critérios de decisão para adesão destas tecnologias. As soluções para o gerenciamento dos RSU, quando discutida do ponto de vista da viabilidade econômica, nos países em desenvolvimento, a opção de DA é indicada para resíduos orgânicos, enquanto que a incineração é indicada para RSU mistos, desde que não sejam resíduos biodegradáveis, já a pirólise e gaseificação para tipos específicos de resíduos como plásticos, pneus, equipamentos eletrônicos, resíduos elétricos, resíduos de madeira, entre outros e tem-se a tecnologia dos aterros sanitários para resíduos inertes, desta forma, a composição dos RSU desempenha um fator determinante para a seleção de escolha da mais apropriada tecnologia WtE (KUMAR; SAMADDER, 2017).

A gaseificação e a pirólise são tecnologias consideradas alternativas viáveis quanto em relação à incineração do ponto de vista técnico e econômico, por representar tecnologias menos poluentes, em comparação à incineração (KHAN; KABIR, 2020). No entanto, necessidades altamente específicas de insumos de resíduos e altos custos iniciais de capital tornam essa tecnologia difícil de aplicar em escala comercial, além disso, essas duas tecnologias ainda não são amplamente conhecidas globalmente, principalmente nos países em desenvolvimento (KHAN; KABIR, 2020).

A tecnologia de DA no critério econômico, conforme visto anteriormente, necessita da segregação dos RSU, para a geração de energia adequada da planta, desta forma, implica em investimento de longo prazo, um exemplo disso, é a criação de programas destinados à educação da população local, para que a segregação dos materiais sejam realizadas ainda nas residências (ALELUIA; FERRÃO, 2017). Além disso, quando instalada em larga escala, pode ser uma opção desafiadora e arriscada, principalmente nas cidades maiores e de rápido crescimento regional, sabe-se ainda, que as autoridades governamentais normalmente pressionam estes

investimentos para rápidos retornos dos valores investidos (ALELUIA; FERRÃO, 2017).

Apesar desta pressão por resultados de curto prazo, ressalta-se a importância dos formuladores de políticas, alinhar esta necessidade, numa visão estratégica e de longo prazo, desta forma, as decisões de tecnologias WtE serão melhores estudadas e mais assertivas sua implementação (ALELUIA; FERRÃO, 2017). Para apoiar esta decisão, um teste piloto em pequena escala é fundamental, visto que a descentralização das instalações de tratamento e a implantação experiencial são elementos possíveis e importantes para o gerenciamento estratégico dos RSU (ALELUIA; FERRÃO, 2017).

Fazeli et al. (2016), realizaram uma extensa análise de técnicas de tratamento de potenciais resíduos de recuperação de energia de RSU na Malásia, os resultados mostraram que a tecnologia de aterro sanitário no aspecto energético é potencialmente interessante no caso da Malásia, quando em comparação com outras tecnologias WtE, como os incineradores de resíduos. Destaque da DA, do ponto de vista de investimento inicial, visto que se apresentou como uma tecnologia mais barata e que requer menor tempo para instalação da planta no caso deste país (FAZELI et al., 2016).

No estudo de Leme et al. (2014), realizaram uma avaliação econômica das alternativas de recuperação de energia de RSU, com simulações de acordo com as condições do Brasil, o estudo apresentou resultados positivos para os casos de aterros sanitários, com recuperação do biogás, destacando o fator de escala como muito importante, para o êxito de um projeto de biogás, resultando em viabilidade econômica quando nos casos de 500.000 e 1.000.000 habitantes, que são consideradas grandes cidades. Porém cabe ressaltar, que a elaboração do apoio político é fundamental para o desenvolvimento em larga escala (KUNG; MU, 2019).

Ainda sobre o estudo realizado no Brasil, os resultados mostram que os projetos de geração de energia, que utilizam biogás em aterros sanitários dependem significativamente da existência de um mercado para créditos da redução das emissões dos GEE, reforçando assim o critério econômico nas plantas WtE, visto que apresentaram altos custos de instalação, operação e manutenção (LEME et al., 2014).

Os aterros sanitários, muito utilizado em países em desenvolvimento, não diferente no caso do Brasil, dados do ano de 2018, a destinação dos RSU para os aterros sanitários representou 59,5% dos RSU coletados (ABRELPE, 2019). No entanto, os países desenvolvidos perceberam o potencial das outras tecnologias WtE, para o gerenciamento eficaz de RSU (KUMAR; SAMADDER, 2017). Embora, os aterros sanitários sejam uma tecnologia WtE bastante comum para tratar os RSU no mundo, porém, os países desenvolvidos aprimoraram suas opções de solução para os desafios do gerenciamento dos RSU, usando outras tecnologias, como o caso da incineração, devido à redução de aproximadamente 70% do total de massa dos resíduos e, portanto, 90% do volume total (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016). Porém, a combustão da massa dos RSU pode criar grandes problemas ambientais devido as descargas de poluentes no meio ambiente, sendo uma opção questionada quanto ao critério ambiental (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016).

Ainda sobre o critério ambiental, os aterros sanitários com recuperação controlada do biogás, representam uma boa opção (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016). Porém, cabe ressaltar, que foram realizados avanços em instalações sofisticadas de incineração de resíduos, que minimizam os impactos ambientais dos gases furanos e as dioxinas, tornaram-se uma tecnologia WtE ambientalmente melhor aceitável, tornando-se uma melhor opção em relação aos aterros sanitários (FAZELI et al., 2016).

Mas a incineração também encontra rigorosa regulamentação para liberação deste processo, visto que se tem um controle grande quanto aos tipos de materiais a serem incinerados, como caso de muitos países em que esta tecnologia está mais desenvolvida (RAJAEIFAR et al., 2017). Também a exemplo no caso do Brasil este processo sofre grande resistência quanto a liberação da adesão desta tecnologia (MAMEDE, 2013).

Por outro lado, as tecnologias WtE, como a gaseificação e pirólise apresentam vantagens em relação as demais tecnologias, visto que estas tecnologias são processos facilmente adaptáveis a resíduos volumosos ou semelhantes a pó, assim a secagem dos resíduos úmidos é realizada por osmose, o que significa, sem consumo de energia, desta forma, representa um resultado

energético relevante quando comparada as demais tecnologias WtE (FAZELI et al., 2016).

Através da conversão em CDR, as cidades poderiam reduzir anualmente cerca de 25,303 toneladas métricas de equivalentes de dióxido de carbono das emissões dos GEE, ainda, o carvão produzido através da pirólise de RSU poderiam substituir potencialmente a lenha utilizada, assim poderia ser evitado o desmatamento e a poluição do ar (FETENE et al., 2018). Destaque neste ponto, para a tecnologia de pirólise, visto a contribuição na minimização dos riscos à saúde pública e ao custo do tratamento e do descarte (FETENE et al., 2018).

Avaliação da DA nos critérios da sustentabilidade, foi considerada 49% mais sustentável na dimensão social em comparação com a incineração, principalmente quanto aos indicadores sociais, como distúrbios visuais devido ao envolvimento da tecnologia, geração de ondas de calor, risco à saúde pública e aceitação do projeto pela comunidade local (KHAN; KABIR, 2020). Também com boa aceitação na opção socialmente sustentável a pirólise surgiu em seguida, devido à baixa taxa de deslocamento de pessoas e à mínima perturbação da infraestrutura social existente, próximas as plantas de pirólise (KHAN; KABIR, 2020).

Das quatro tecnologias (DA, incineração, pirólise e gaseificação), a DA e a incineração apresentaram ser tecnologias WtE mais e menos sustentáveis. Constatou-se, que DA vem liderando, logo após veio a pirólise e em terceiro lugar veio a gaseificação. Essas descobertas foram discutidas, com atenção nos países em desenvolvimento, destaca-se ainda para os futuros planos de desenvolvimento dos formuladores de políticas, para sistemas de gerenciamento de RSU e geração de eletricidade renovável, em contextos semelhantes dos países em desenvolvimento, sendo que estas tecnologias são mais sustentáveis no uso de RSU do que a incineração (KHAN; KABIR, 2020).

O estudo sobre o potencial de geração de energia, que utiliza os RSU, no caso da Nigéria, o aterro sanitário, a incineração e DA, são as melhores opções de tecnologias para projetos de tecnologias WtE, em termos de quantidade de eletricidade que podem ser gerados nas cidades foram a incineração e o aterro sanitário, por outro lado, com base no tipo de RSU local (RAJAEIFAR et al., 2017).

Porém, quando em cidades com menor população, a melhor escolha foi a DA (RAJAEIFAR et al., 2017).

Porém, uma discussão aprofundada sobre incineração de RSU e a DA, como potenciais opções geradoras de energia na Malásia, os resultados revelam que a incineração é a melhor opção tecnológica, quanto ao potencial energético e calor, no entanto, a DA é considerado mais favorável quanto a produção de eletricidade, destaca-se ainda, que a DA possa ser recomendada para a gestão de resíduos orgânicos e possa ser adotada a reciclagem de resíduos inorgânicos (TAN et al., 2015).

As tecnologias WtE, têm sido amplamente utilizadas nos países desenvolvidos para o gerenciamento eficaz dos RSU, por representar tecnologias mais desenvolvida, porém, as instalações das plantas WtE, na maioria dos países em desenvolvimento carecem de infraestrutura, sistema de controle de poluição e manutenção adequada (KUMAR; SAMADDER, 2017). Nestes países estão sendo enfatizados mais a melhoria de processos eficientes, reciclagem ou recuperação e estratégia de controle da poluição, porém, é essencial desenvolver nos países em desenvolvimento as instalações WtE seguindo critérios e regulamentos, juntamente com apoio financeiro, da qual as tecnologias aprimoradas fortalecerão o cenário das instalações WtE nestes países (ALELUIA; FERRÃO, 2017; KUMAR; SAMADDER, 2017). Ainda importante compreender as implicações dos custos das tecnologias e os métodos de tratamento de resíduos disponíveis, para que assim possa ser planejado, projetado e configurado adequadamente aos sistemas municipais de gerenciamento de RSU (ALELUIA; FERRÃO, 2017).

Segundo as informações da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), é fundamental compreender os impactos mais amplos, como por exemplo ao meio ambiente, a economia local e comunidades vizinhas, visto que o impacto da implementação das tecnologias podem intervir na redução adequada da poluição ambiental e analisar medidas a serem expressas em valores monetários, que contribuam potencialmente para a redução da pobreza, melhora na saúde e saneamento, acesso à energia, a mudança climática, sendo a implementação de abordagens de tratamento de resíduos, poderia ser enquadrada no contexto dos países em desenvolvimento.

Por outro lado, a adesão das tecnologias WtE não apenas reduz o desafio do espaço ocupado do solo nas áreas urbanas, mas também gera eletricidade e energia para outros processos de produção para suprir as áreas urbanas circundantes, garantindo benefícios climáticos, evitando a grande extração de energia baseada em combustíveis fósseis (ISLAM, 2018). Salientando que os investimentos, sempre passam por uma avaliação econômica, para levantar a viabilidade do projeto, quantificando o projeto para nortear as decisões, estes aspectos serão abordados na subseção seguinte desta dissertação.

2.1.4 Avaliação Econômica de Projetos de Investimentos em Tecnologia WtE

As tecnologias WtE demandam muita avaliação para a tomada de decisão. Assim quanto ao critério econômico, é esperado a viabilidade dos investimentos realizados pelos investidores, ou seja, os retornos compensatórios em relação ao tamanho do investimento. Nesta linha de pesquisa, a viabilidade financeira das plantas de tecnologias WtE, é de extrema importância, pois são em grande parte as barreiras de custos e investimentos que restringem o gerenciamento eficaz de RSU em muitas regiões (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019). Ainda os autores, apesar dos ganhos tradicionais, como o caso da geração de ganhos financeiros da eletricidade, a avaliação inclui também benefícios devido à redução de emissões dos GEE, geralmente não quantificados.

Os tomadores de decisões, envolvidos no planejamento de longo prazo da infraestrutura, com uso intensivo de capital precisam lidar com incertezas que possam impactar críticas a sustentabilidade financeira do projeto (FLETCHER et al., 2017). No caso das instalações de tecnologias WtE, existem incertezas significativas, como as taxas futuras de geração de RSU, progressão socioeconômica, variações de custos em diferentes tecnologias, variações nas receitas da eletricidade gerada e benefícios ambientais das instalações (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019), o que representa grande estudo envolvido.

Desta forma, alguns indicadores financeiros - econômicos são avaliados. Um deles é o VPL(Valor Presente Líquido) que tornou-se um conceito padrão para

representar e modelar as preferências econômicas de projetos ambientais (KNOKE; GOSLING; PAUL, 2020). De acordo com a teoria tradicional de orçamento de capital, o VPL de um projeto é o valor presente de seus Fluxos de Caixa Livres (FCL) esperados no futuro, descontados a uma taxa que reflita o risco do negócio e as incertezas de mercado (SANTOS, p. 128, 2019).

Algebricamente, o VPL é encontrado subtraindo-se o investimento inicial (FCL₀) de um projeto, do valor presente de suas entradas de caixa (FCL_n), descontadas a uma taxa (i) igual ao custo de capital da empresa. Apresentando a descrição da equação: VPL= Valor Presente das Entradas de Caixa - Investimento Inicial (SANTOS, p. 128, 2019).

$$\text{VPL} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{FCL}_n}{(1+i)^n} - \text{FCL}_0$$

equação (1)

A soma dos benefícios líquidos adequadamente descontados menos os custos iniciais é o VPL (KNOKE; GOSLING; PAUL, 2020). O conceito de desconto implica que benefícios líquidos infrequentes, altos e precoces ou benefícios líquidos intermitentes, mas altos, podem resultar no mesmo valor, ou mais alto, do que os benefícios líquidos contínuos.

O VPL facilita a análise de custo-benefício, comparando diferentes fluxos de benefícios e custos entre vários projetos de investimentos (KNOKE; GOSLING; PAUL, 2020). Baseia-se no desconto para calcular os valores presentes dos benefícios líquidos futuros, para que os benefícios líquidos que ocorram em diferentes momentos no tempo se tornem comparáveis. Vários estudos usam fluxos de caixa para aproximar os benefícios líquidos, enquanto o número (unidade de valor) contra o qual os bens ou serviços são avaliados não se limita aos fluxos de caixa.

Outro indicador é TIR, que é a taxa de desconto que leva o valor presente das entradas de caixa de um projeto, a se igualarem ao valor presente das saídas de caixa. Trata-se da taxa de rentabilidade periódica de um investimento, geralmente definida para períodos anuais. Para analisar a viabilidade de um projeto, a TIR deve ser comparada com o custo de oportunidade vigente, ou seja, a taxa de retorno mínima exigida em face do risco do investimento. Essa taxa mínima também é

conhecida como o custo de capital da empresa (SANTOS, p. 125, 2019), assim representada:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FCL_t}{(1 + TIR)^t} - FCL_0$$

equação (2)

Desta forma, é preciso encontrar o Payback do projeto, também conhecido como período de recuperação, é o tempo exigido para o projeto recuperar seu investimento inicial (SANTOS, p.131, 2019). O período máximo aceitável de Payback é determinado pelos investidores, propostas que ultrapassem esse limite de tempo são rejeitadas (SANTOS, p.131, 2019).

Para analisar uma cidade são utilizados dados da população projetada, projeção de resíduos per capita, taxa de coleta de resíduos, composição de resíduos municipais, preço de compra de eletricidade, taxas de coleta de resíduos urbanos e porcentagem de combustíveis fósseis na produção de energia (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019).

Em geral, as cidades mais desenvolvidas produzem mais resíduos de plástico e papel e menos orgânicos. No entanto, a composição da matéria-prima de resíduos varia de cidade para cidade (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Assim a grande diversidade de critérios conflitantes cria situações de incertezas na tomada de decisões e nos esforços dos governantes ao analisar estas incertezas, desta forma classificar e selecionar soluções alternativas, podem ajudar nas decisões (MELARÉ et al., 2017). Ressalta ainda, a necessidade de análise do local e o conhecimento da composição dos materiais dos RSU em que será inserido a planta de tecnologia WtE (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Neste contexto os indicadores financeiros-econômicos de um projeto, quando analisados isolados não atendem todos os critérios para escolha de investimento da tecnologia WtE, visto que tem materiais que não serão abrangidos na escolha de um ou outra tecnologia WtE, assim, há que discutir mais sobre o que envolve o gerenciamento de RSU, desta forma, na seção seguinte será abordado a questão da hierarquia de resíduos.

Assim a gestão dos resíduos possui uma pirâmide das etapas do gerenciamento dos RSU, iniciando com a prevenção e como etapa final a eliminação. Estas etapas são discutidas na seção seguinte desta dissertação.

2.2 Hierarquia dos Resíduos

A Lei Federal 12.305 da PNRS (BRASIL, 2010), art.9º, estabelece que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Estas prioridades vindas da hierarquia de resíduos da Comissão Europeia.

Transformar os RSU em energia faz parte da etapa de valorização, sendo uma questão desafiadora nos países em desenvolvimento, na seção anterior foram discutidas as principais tecnologias WtE, destacado critérios para auxiliar na tomada de decisão por parte dos gestores públicos. No entanto, a reutilização e a reciclagem são consideradas prioridades (PEERAPONGA; LIMMEECHOKCHAI, 2016), sendo etapas anteriores, visto que através da reciclagem de um determinado material, pode representar a preservação dos materiais virgens e diminuição da extração de fontes de materiais não renováveis (RAJAEIFAR et al., 2017).

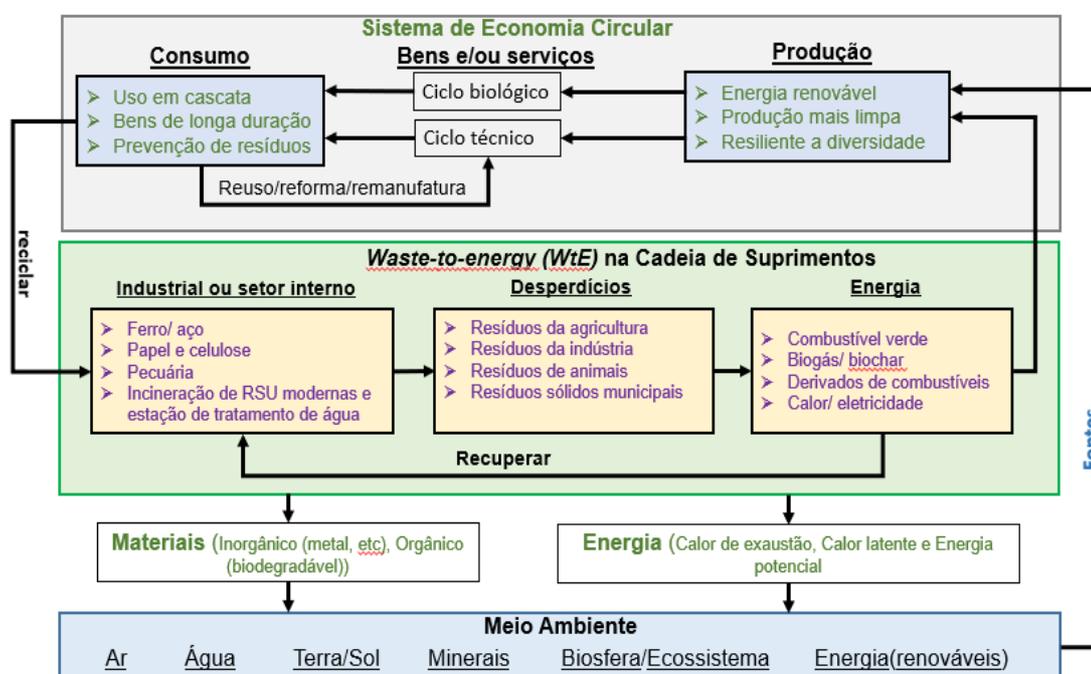
Conforme apontado por Kumar e Samadder (2017), para as tecnologias WtE destacadas como mais sustentáveis levantou-se uma crítica aos estudos revisados, da qual aponta a exclusão de alguns materiais dos RSU, ou ainda, alguns resíduos que não foram atendidos pelas tecnologias de WtE. Há exemplo, pode ser citado a questão dos vidros e metais que não foi abrangido pelas tecnologias apontadas, visto que estes resíduos não podem nem mesmo serem incinerados (PAN et al., 2015).

Assim destacar a base da EC (Economia Circular) , que é o uso sustentável de recursos, ou seja, a criação de recursos mais eficientes (MESJASZ-LECH, 2019). Portanto, o desperdício racional desencadeou uma necessidade de gestão melhorada dos RSU, especialmente em cidades cujo o meio ambiente está ameaçado pelos RSU, para assim, incentivar e criar novas soluções organizacionais para o adequado gerenciamento dos RSU (MESJASZ-LECH, 2019).

Neste ponto a EC aborda a sistemática para o desenvolvimento econômico, projetado para beneficiar os negócios, a sociedade e o meio ambiente (WAINAINA et al., 2020). Seu objetivo é desassociar o crescimento econômico, do consumo de recursos finitos e criar capital econômico, natural e social (WAINAINA et al., 2020), etapa da prevenção. Ainda os autores trazem o suporte das fontes de energias renováveis e o aumento do uso de materiais renováveis, reconhecendo a importância da EC funcionar com eficiência em todas as escalas e, apresentar a colaboração e participação de todos os stakeholders, desde um pequeno negócio, até os grandes negócios, tanto quanto dos indivíduos de um determinado país, estruturada em 3 princípios: eliminar resíduos e poluição, manter produtos e materiais em uso, regenerar sistemas naturais.

Os ciclos que recuperam e restauram produtos, componentes e materiais podem fazer isso por meio de estratégias como reutilização, reparo, remanufatura ou reciclagem (WAINAINA et al., 2020). Para uma melhor compreensão do sistema de EC, juntamente com a apresentação da cadeia de suprimento WtE e a relação com o meio ambiente, é apresentada na figura 12 desta dissertação.

Figura 12 – Relação entre Meio Ambiente, Cadeia de Suprimentos de Resíduos em Energia WtE e Sistema de Economia Circular



Fonte: Adaptado de Pan et al., 2015.

Este ciclo fechado dos materiais, tem suas relações entre o meio ambiente, cadeia de suprimentos WtE e EC. Desta forma a economia e o meio ambiente mantem um relacionamento circular para enfrentar os desafios ambientais e, a escassez de recursos, inserido sempre neste círculo. Explicando de outra forma, por exemplo, no meio ambiente a produção de resíduos, a energia e emissão de CO₂ devem estar ligados entre si, para estabelecer o modelo de negócios da EC em um sistema industrial, estruturado nos princípios dos 5R (redução, reutilização, reciclagem, recuperação e recusar) (PAN et al., 2015) .

Nesta discussão a seguir é apresentado a hierarquia dos resíduos, passo muito importante para os gestores entenderem como as suas decisões são priorizadas neste contexto hierárquico.

2.2.1 Prevenção

A prevenção é o elemento mais desejado na hierarquia dos resíduos. Segundo a Diretiva 2008/98/CE, a prevenção de resíduos é definida como “as medidas tomadas antes de uma substância, material ou produto tornar-se resíduo, reduzir a quantidade de resíduos, os impactos adversos gerados na saúde ambiental e humana ou o conteúdo de substâncias nocivas”. Conforme indicado por Zorpas e Lasiridi (2013) a prevenção de resíduos inclui uma prevenção rigorosa na geração; na redução qualitativa e quantitativa na fonte; e na reutilização do produto, ou seja, aquilo que não pudesse ser prevenido, seguiria a sequência da hierarquia, investindo em métodos de reciclagem; em métodos de valorização dos resíduos, como, por exemplo, a valorização energética; e, por último, somente os rejeitos que não apresentam nenhuma outra possibilidade, seriam encaminhados para a eliminação, como, por exemplo, aterros sanitários.

A prevenção de resíduos é uma área transversal da formulação de políticas e tem uma relevância direta para um número considerável de áreas políticas já estabelecidas, tanto no campo do meio ambiente (por exemplo, sistemas de gestão ambiental), quanto em áreas específicas principalmente não ambientais (como por exemplo, política de inovação), que têm potencial para diminuir a quantidade e/ou os impactos adversos dos resíduos gerados (ZORPAS; LASARIDI, 2013).

Os programas de prevenção de resíduos devem ter em mente os objetivos gerais de quebrar o vínculo entre o crescimento econômico e o impacto ambiental da geração de RSU e avançar para uma economia de resíduos zero. Dentro dessa estrutura, metas quantitativas com prazos claros são úteis na mobilização de uma mudança para atitudes e práticas de prevenção de resíduos ou para uma gestão mais eficiente de materiais (ZORPAS; LASARIDI, 2013).

A prevenção de resíduos está no topo da hierarquia de resíduos; no entanto, é notoriamente difícil de medir. O problema é expresso de forma simples: como você mede algo que não está lá. Com um nível crescente de prosperidade nos países industrializados, um número crescente de produtos e serviços estão sendo produzidos e consumidos. Essa expansão crítica é replicada na quantidade de resíduos gerados. Tornou-se, portanto, primordial especificar noções básicas como valorização e eliminação, de forma a melhor organizar as ações de gestão de resíduos (ZORPAS; LASARIDI, 2013).

É também fundamental o reforço das medidas a tomar no que se refere à prevenção, bem como à redução dos impactos da geração e gestão de resíduos no ambiente. Medir, monitorar e avaliar a prevenção de resíduos é uma tarefa complexa e difícil (ZORPAS; LASARIDI, 2013). Finalmente, monitorar e avaliar a intenção de prevenção de resíduos domésticos para permitir que os formuladores de políticas, autoridades locais e profissionais estabeleçam metas, elaborem seus planos e avaliem a mudança de comportamento (ZORPAS; LASARIDI, 2013).

Outro ponto discutido, vem da explicação da sociedade estar orientada para o consumidor, o que desencadeia o alto consumo, originado muitas vezes como uma maneira de obter reconhecimento por parte dos consumidores (ZAMAN; LEHMANN, 2011). Portanto, o consumo e a compra ou uso de muitos recursos, resulta na escassez dos recursos limitados do meio ambiente, no caso dos recursos não renováveis podem resultar no fim de alguns recursos, assim a importância de estudar as consequências do pensamento voltado ao consumo (ZAMAN; LEHMANN, 2011).

2.2.2 Preparação para Reutilização

Segundo a Diretiva 2008/98/CE reutilização, é qualquer operação mediante a qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos. Preparação para a reutilização, operações de valorização que consistem no controle, limpeza ou reparação, mediante as quais os produtos ou os componentes de produtos que se tenham tornado resíduos são preparados para serem reutilizados, sem qualquer outro tipo de pré-processamento;

Cabe uma abordagem da logística reversa. A logística reversa busca avaliar ecologicamente os produtos no fim da vida, enquanto o conceito de cadeia de suprimentos sustentável apresenta uma abordagem integrada, que considera as cadeias de suprimentos diretas e reversas (SCAVARDA et al., 2019). Em outras palavras, a logística reversa é a força motriz dos fluxos circulares de materiais, pois eles promovem o retorno dos produtos à cadeia de suprimentos para a extração de valor (JULIANELLI et al., 2020).

Outro conceito, trata da logística reversa como centro nas operação de busca, coleta, organização, armazenagem, transporte e entrega de bens (SELLITTO et al., 2013). Ainda da definição, a logística reversa é o planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenagem eficiente de produtos a serem recuperados (MESJASZ-LECH, 2019). Também é a logística reversa, que controla o fluxo de informações, na direção inversa à de uma cadeia de suprimentos, desta forma é possível recuperar o valor dos resíduos ou eliminá-los de forma adequada (COELHO; MATEUS, 2017). Reforçando a necessidade de integração com atividades que minimizam o uso de recursos, a reciclagem, a substituição, a reutilização de materiais e a eliminação de resíduos (MESJASZ-LECH, 2019). A logística reversa visa então a recuperação do valor econômico e ecológico para assim, reduzir o acúmulo de resíduos gerados (KINOBE et al., 2015).

Desta forma, a questão da logística reversa vem para contribuir com a melhora do gerenciamento dos RSU. A reutilização e a reciclagem recebem ampla atenção, dada a tecnologia envolvida, mas as tendências de reciclagem estão mudando: por exemplo a China não está mais aceitando lixo estrangeiro para reciclar (SWANA, 2019). A reutilização também é desafiadora, pois poucos tipos de

plásticos são altamente procurados e reutilizáveis, mas também existem os plásticos de baixa qualidade para reciclagem, portanto, necessita-se de ampliação da capacidade de gerenciamento dos RSU, que enfatize na redução e incentivo a EC para reutilizar melhor os materiais (KRYSTOSIK et al., 2020).

2.2.3 Reciclagem

A reciclagem conceituada como um processo de conversão de resíduos em novos produtos, para evitar o desperdício de materiais potencialmente úteis, redução do consumo de matérias-primas virgens, redução do uso de energia, redução do risco e poluição do ar provocada por alguns incineradores e o risco de poluição da água subterrânea em aterros sanitários, redução da necessidade de descarte “convencional” de resíduos e menor emissão dos GEE (RAMESH et al., 2013). Resultando assim, em vantagens significativas, pois conduz o processo de menor extração de matérias-primas, reduzindo os impactos ambientais decorrentes do tratamento e descarte de resíduos, torna o ambiente mais limpo e saudável, economiza espaço no aterro e, finalmente, economiza recursos monetários (RAMESH et al., 2013).

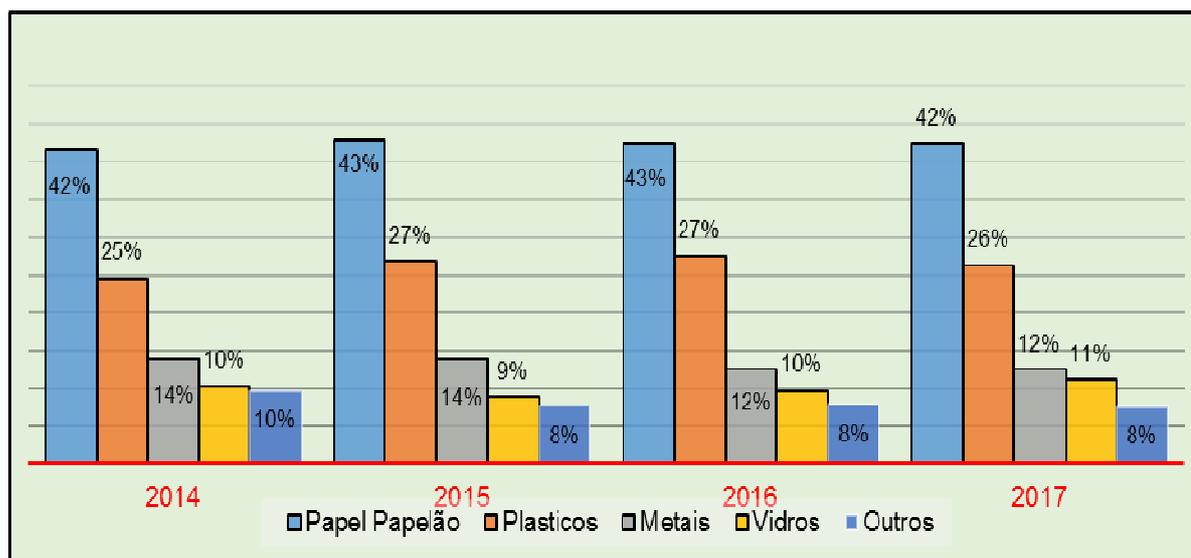
Parte do esquema de reciclagem total, os RSU podem ser considerados uma fonte alternativa e predominante de energia renovável para aplicações de redes inteligentes, integradas aos sistemas de gerenciamento dos RSU das cidades (BARAN; MAMIS; ALAGOZ, 2016). No entanto, em alguns países existem restrições em relação ao uso de sistemas de reciclagem, devido à existência do trabalho informal de catadores de material reciclado, criando assim uma imagem negativa (MELARÉ et al., 2017).

Ainda os autores, ressaltam que por falta de infraestrutura física adequada para a coleta seletiva e a falta de orientação para as pessoas, cuja sobrevivência diária depende desse serviço são consideradas fatores de risco para a saúde pública de terceiros e dos próprios trabalhadores. Reforçando ainda, que os riscos desta coleta informal é resultado da falta de informações desses trabalhadores, pois produtos tóxicos e perigosos podem estar sendo manuseados incorretamente e gerando riscos para os trabalhadores e ao meio ambiente (MELARÉ et al., 2017).

Os sistemas de gerenciamento de resíduos conforme os autores Zaman; Lehmann (2011) estudo realizado na cidade de Adelaide, observou a inclusão no gerenciamento da reciclagem, compostagem, recuperação de recursos e aterros sanitários, cabe ressaltar que o governo foi o agente responsável pelo aumento da reciclagem, visto que o mesmo promulgou leis mais rigorosas, como por exemplo, a criação de impostos sobre aterros, o que impactou no incentivo das pessoas a reciclar mais e destinar menos materiais aos aterros.

Por outro lado, existem países mais conscientes quanto a importância da reciclagem, utilizam-se de soluções legais e tecnológicas para aumentar a reciclagem. A exemplo, pode-se citar a Alemanha, Dinamarca, Holanda e Bélgica, que são destaque na reciclagem de resíduos de construção, no Canadá, cerca de 26% da coleta de resíduos passam pelo processo de reciclagem, enquanto que no Brasil, a taxa de coleta de resíduos em 2010 foi de 55% e deste percentual coletado apenas 1,2% foi reciclada, o restante foi enviado para aterros (MELARÉ et al., 2017). Mas cabe ressaltar, que no Brasil, neste período foi o marco inicial da lei que trata dos resíduos, tão preocupante ainda, os dados do México, República Tcheca, Polônia, Hungria e Argélia que apresentam uma taxa de reciclagem de apenas 1 a 5% (MELARÉ et al., 2017). No caso dos materiais reciclados o papel papelão e os plásticos são os materiais mais reciclados, sendo apresentado um breve histórico da composição destes materiais reciclados conforme a figura 13.

Figura 13 – Composição dos Materiais Reciclados Coletados no Brasil



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da ABRELPE.

Segundo dados de 2016, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018), a geração média diária de RSU foi de 161.400 toneladas no Brasil, desta geração 59% foram descartados em aterros, 19,9% foram despejados sem o tratamento individual, 3,4% foram usados e recuperados em unidades de triagem, compostagem e reciclagem e 17,7% estavam sem informação quanto a destinação.

O termo “desperdício zero”, pode ser considerado uma nova tendência para a criação de sistemas com fluxos circulares, amparados pela EC, seu conceito está relacionado ao aumento dos processos de recuperação e reciclagem e, sua implementação equivale à realização de processos reversos que permitam a reintrodução de resíduos novamente ao sistema econômico, sendo estes processos a base da logística reversa (JULIANELLI et al., 2020; MESJASZ-LECH, 2019), assim os conceitos de cidades com desperdício zero e logística reversa se complementam (MESJASZ-LECH, 2019).

O termo em inglês “*zero waste*”, traduzido para o português desperdício zero. Conceito do desperdício zero suportado pela logística reversa, visto que as diretrizes para implementação das tarefas no campo da logística reversa estão localizadas especialmente nos planos municipais de gestão de resíduos e, requerem implantação das atividades da logística reversa, em destaque a isso, aponta-se que não é possível reduzir a geração de RSU sem ter a organização adequada dos fluxos reversos e a infraestrutura destes resíduos (MESJASZ-LECH, 2019).

A premissa de implantação da filosofia de desperdício zero é a criação do ciclo de vida dos recursos, para que estes retornem ao sistema em um formato adequado para reutilização, assim as cidades com desperdício zero desenvolvem a ideia de uma cidade com taxa de reciclagem de 100% (ZAMAN; LEHMANN, 2011), o que significa que todos os resíduos das cidades são transformados em alimento para os sistemas de recursos econômicos (MESJASZ-LECH, 2019). No Brasil, embora apontada o desenvolvimento da logística reversa, pela lei dos resíduos sólidos de 2010, ainda é negligenciado este pensamento nas industriais (BITTENCOURT et al., 2020).

Porém, como todo sistema gera subprodutos, não é possível eliminar a produção e os resíduos de consumo, assim além da prevenção de desperdícios, os

processos básicos no conceito de desperdício zero nas cidades incluem a recuperação e a reciclagem dos resíduos, conduzindo à introdução de resíduos na economia circular (MESJASZ-LECH, 2019).

Desta forma, cidades com zero resíduos, zero desperdício, reciclagem 100% ou recuperação de todos os recursos possíveis dos fluxos de resíduos e a não produção de resíduos nocivos para o meio ambiente, representa um grande desafio aos governantes locais (ZAMAN; LEHMANN, 2011). Reforçando ainda, que todas as políticas para este tipo de processo vem do ponto de vista mais holístico, ou seja, em sua totalidade (ZAMAN; LEHMANN, 2011).

Aumentar esta capacidade de reciclagem torna-se importante para cidades, que estão buscando melhorar a gestão dos RSU, assim surge um novo termo designado de “desperdício zero”, que eleva ao limite os percentuais de reciclagem, apoiado na EC, que tem no seu ciclo a logística reversa e este pensamento por sua vez proporciona elevadas taxas de reciclagem. Este termo é descrito na subseção a seguir.

Para desenvolver estratégias para esta transformação das cidades é importante descobrir as razões pelas quais nossa sociedade produz tanto desperdício (ZAMAN; LEHMANN, 2011). Os autores Zaman; Lehmann (2011) destacam a ética ambiental, a valorização de recursos, comportamento humano, percepções individuais e sociais sobre desperdício e recursos, bem-estar social e ambiental, desenvolvimento econômico, conservação de recursos globais, aprimoramento técnico e as inter-relações de todas estas razões, são fundamentais para entender o ponto de vista holístico do desperdício zero para o gerenciamento dos RSU. Nesta linha vem a discussão seguir da valorização dos resíduos neste esquema hierárquico.

2.2.4 Valorização

Segundo a Diretiva 2008/98/CE, valorização é qualquer operação cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem para um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico, ou a preparação dos resíduos para esse fim, na instalação ou no conjunto da economia.

Algumas formas sugeridas pela Diretiva 2008/98/CE, são: i) utilização principal como combustível ou outro meio de produção de energia; ii) recuperação/regeneração de solventes; iii) reciclagem/recuperação de substâncias orgânicas não utilizadas como solventes (incluindo compostagem e outros processos de transformação biológica); iv) reciclagem/recuperação de metais e compostos metálicos; v) reciclagem/recuperação de outros materiais inorgânicos; vi) regeneração de ácidos ou bases; vii) valorização de componentes utilizados na redução da poluição; viii) valorização de componentes de catalisadores; ix) refinação de óleos e outras reutilizações de óleos; x) tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental.

Torna-se um processo que é possível por meio da classificação do RSU na fonte e da combinação com a reciclagem de material e também com a conversão de resíduos em energia métodos de geração. No entanto, tecnologias como descarte ou triagem mecânica de RSU em aterros sanitários não melhoram o gerenciamento de RSU de forma eficiente (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

Regulamentações cada vez mais rígidas em termos de resíduos sólidos orgânicos, bem como o aumento da demanda por produtos químicos e combustíveis renováveis, recentemente, estão empurrando os fabricantes industriais e os ambientalistas em direção a uma maior sustentabilidade para melhorar a relação custo-benefício e atender à demanda dos clientes. Nos últimos anos, a valorização de resíduos orgânicos de alimentos é uma das importantes áreas de pesquisa da atualidade. Tem atraído muita atenção como uma alternativa potencial para o descarte convencional de resíduos sólidos de uma ampla gama de resíduos em aterros sanitários (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

A valorização de resíduos diz respeito ao processo de conversão de materiais residuais em produtos mais úteis, incluindo combustíveis, materiais e produtos químicos (DHAR; KUMAR; KUMAR, 2017; RAJAEIFAR et al., 2017). Essa abordagem está relacionada principalmente à gestão de resíduos por muito tempo. Mas este conceito foi trazido de volta à nossa sociedade com interesse renovado devido ao rápido esgotamento de combustível, recursos naturais e primários (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

Diferentes técnicas de valorização estão atualmente mostrando grande esperança e promessa no atendimento às demandas industriais. Entre essas estratégias promissoras de valorização de resíduos está o emprego de tecnologia química de fluxo para processar resíduos em produtos valiosos (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

Na maioria das vezes, a desconstrução de tais biopolímeros, requer pressão e temperatura extremamente altas que podem ser alcançadas por aquecimento por micro-ondas, que é uma tecnologia adicional de valorização verde. Esses requisitos não são tão simples de serem alcançados. Várias técnicas, incluindo irradiação de microondas, são necessárias para alcançar tais pré-requisitos para qualquer transformação bem-sucedida de resíduos sólidos

Outra estratégia de valorização está relacionada ao emprego da pirólise na síntese de energia ou combustíveis. Esta estratégia envolve o aquecimento da biomassa em altas temperaturas na ausência de ar para produzir os produtos decompostos necessários (OUDA et al., 2016). Embora a pirólise de materiais sólidos seja um processo antigo para geração de carvão, recentemente foi empregado para produzir moléculas menores úteis a partir de biopolímeros estáveis (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

Em países de renda baixa e média, a conscientização sobre a gestão de RSU tem aumentado gradualmente, recentemente. Isso resultou na melhoria da cobertura de coleta e na redução de lixões e aterros de gerenciamento de resíduos. Assim, a reciclagem e a valorização dos RSU ganharam cada vez mais atenção mundial. No entanto, o resíduo orgânico municipal ainda recebe menos atenção do que outros produtos residuais, como papel, metal ou vidro. Frequentemente, esses conteúdos orgânicos são excluídos dessa cadeia de valor agregado. Ele acaba nas ruas ou se acumula em lixões, apesar de seu conteúdo energético (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

Quando a pesquisa é combinada com a tecnologia, o homem pode ter o poder de identificar outras formas inovadoras e ser capaz de fazer uso eficiente do valor oculto nos diferentes fluxos de resíduos gerados e expandir o ciclo de vida de bens e produtos. Assim, a sociedade pode alcançar efeitos positivos múltiplos com esse

desperdício. A valorização dos resíduos como fonte de produto valioso está associada à eficiência de recursos e a EC.

O CDR que são processados na forma de RSU como resíduos orgânicos, são frequentemente empregados como insumo para produzir energia WtE. Esse processo de tratamento geralmente está associado à redução de diferentes fatores, incluindo classificação, triagem e tamanho. Em alguns casos, esse processo inclui secagem e/ou embalagem áspera para melhorar o manuseio e a homogeneidade desses materiais. Do ponto de vista econômico e ambiental, os principais benefícios da conversão desses RSU em CDR são menores emissões de poluentes, maior valor de aquecimento, menor necessidade de ar em excesso durante a combustão, composições físicas e químicas mais homogêneas e, finalmente, armazenamento, manuseio e transporte (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

As tecnologias WtE tornam-se escolhas inteligentes, para lidar com essas circunstâncias e fornece soluções de longo prazo e econômicas para os crescentes requisitos de energia e, gerenciamento sustentável de resíduos (WAINAINA et al., 2020). Estima-se que apenas do mercado global de coleta de RSU possa produzir cerca de US\$ 410 bilhões de renda, conforme Waste Management World, (2017). No entanto, atualmente apenas 25% são reciclados, sendo estes utilizados para fornecer produtos químicos, nutrientes e combustíveis importantes para a sociedade (WAINAINA et al., 2020).

Em países de baixa e média renda, os resíduos orgânicos ainda continuam a causar muitos problemas, pois ainda não foi identificada uma solução definitiva (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018). Assim na etapa final esgotadas todas as etapas anteriores vêm na hierarquia dos resíduos a questão da eliminação ou destinação final.

2.2.5 Eliminação

A eliminação é qualquer operação que não seja de valorização, mesmo que tenha como consequência secundária a recuperação de substâncias ou de energia, segundo a Diretiva 2008/98/CE, com operações de eliminação:

- a) depósito no solo, em profundidade ou à superfície (por exemplo, em aterros) ;

- b) tratamento no solo (por exemplo, biodegradação de efluentes líquidos ou de lamas de depuração nos solos);
- c) injeção em profundidade (por exemplo, injeção de resíduos por bombagem em poços, cúpulas salinas ou depósitos naturais);
- d) lagunagem (por exemplo, descarga de resíduos líquidos ou de lamas de depuração em poços, lagos naturais ou artificiais);
- e) depósitos subterrâneos especialmente concebidos (por exemplo, deposição em alinhamentos de células que são seladas e isoladas umas das outras e do ambiente);
- f) descarga para massas de água, com exceção dos mares e dos oceanos;
- g) descargas para os mares e/ou oceanos, incluindo inserção nos fundos marinhos;
- h) tratamento biológico não especificado em qualquer outra parte do presente anexo que produza compostos ou misturas finais rejeitadas por meio de qualquer uma das operações enumeradas;
- i) tratamento físico-químico não especificado em qualquer outra parte do presente anexo que produza compostos ou misturas finais rejeitadas por meio de qualquer (por exemplo, evaporação, secagem, calcinação);
- j) armazenamento permanente (por exemplo, armazenamento de contentores numa mina).

Um dos grandes problemas ambientais é a coleta, manejo e disposição dos RSU nas áreas urbanas. A falta de gerenciamento e descarte de RSU está levando a problemas ambientais significativos. Isso inclui solo, água do ar e poluição estética. Tais problemas ambientais estão associados a distúrbios de saúde humana, devido ao aumento das emissões de GEE.

Muitas pessoas e a maioria das organizações não providenciaram no local o tratamento e/ou destinação segura dos resíduos sólidos para fazer frente às medidas de preservação ambiental. Eliminação de RSU e de efluentes não tratados em ralos próximos por pessoas; portanto, irresponsáveis e não estão cientes das seqüências de seus riscos à saúde.

Há falta de incentivos financeiros para impedi-los de praticar tal ação e encorajá-los a mudar seus hábitos. Os indivíduos veem que a maneira como eles

descartam seus resíduos é eficaz e barata. Na verdade, é um grave desastre para as comunidades do entorno e para o país. O fato é que pequenos volumes de efluente induzem poluição a volumes muito grandes de corpos d'água. Enquanto isso, as leis não são eficazes para impedir o meio ambiente de tais práticas perigosas, a menos que uma solução melhor possa ser alcançada. Sendo as questões de saúde pública tratadas a seguir.

2.3 Saúde Pública e os RSU

Os gastos para lidar com os RSU representam um custo significativo incorrido aos cofres públicos, um desafio enfrentado pelas autoridades governamentais locais nos países em desenvolvimento. Segundo o Banco Mundial (2014), esses custos podem ser responsáveis por mais da metade dos orçamentos dos governos locais. Os custos associados aos RSU ocorrem em toda a cadeia de valor, da qual três etapas principais podem ser identificadas, como por exemplo, discutido por Aleluia; Ferrão (2016), (i) coleta e transporte; (ii) tratamento e processamento de resíduos; e (iii) disposição final. Em relação à coleta e transporte, existe um entendimento generalizado de que a prestação de serviços de coleta e transporte de resíduos é um dever dos governos locais e um indicador básico dos padrões de saúde humana e de um ambiente limpo (ALELUIA; FERRÃO, 2017). Mas há que discutir como o mau gerenciamento dos RSU afeta a saúde pública e agrava os gastos públicos.

2.3.1 Impactos dos RSU na Saúde Pública

Iniciando as discussões sobre os desafios dos RSU na saúde pública, observa-se um consenso entre pesquisadores e profissionais sobre as soluções mais baratas, mais apropriadas e específicas ao contexto para do tratamento ou processamento dos RSU (SUKHOLTHAMAN; SHIRAHADA, 2015). O custo das soluções de tratamento de resíduos não deve, no entanto, ser visto como uma variável isolada ou unidimensional (SUKHOLTHAMAN; SHIRAHADA, 2015). De fato, vários fatores relacionados ao contexto local estão incluídos no custo e precisam ser levados em consideração, como as características físicas dos resíduos por exemplo,

composição, teor de umidade, valor calorífico (PAN et al., 2015), para oportunizar a economia em escala (SUKHOLTHAMAN; SHIRAHADA, 2015).

O gerenciamento inadequado dos RSU levam à contaminação da água, do ar e do solo, possibilitando riscos críticos adversos à saúde humana (KUMAR et al., 2017). As doenças crônicas, provocadas pela exposição a metais e produtos químicos tóxicos, bem como doenças infecciosas, incluindo cólera, febre tifóide e tuberculose, são resultados de sistemas inadequados e até inexistentes do gerenciamento dos resíduos em muitas cidades (HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019). O gerenciamento ineficaz do RSU também agrava o aquecimento global desencadeado pelos GEE, dados apontam que os RSU contribuem com 3% a 5% das emissões globais destes gases (ONU, 2015).

Os vazadouros têm impactos adversos ao meio ambiente e a saúde pública (RATHI, 2006). A exposição dos materiais a céu aberto libera o gás metano na decomposição dos RSU biodegradáveis em condições anaeróbicas, ressalta-se que o gás metano pode causar incêndios e explosões, sendo este gás um dos principais contribuintes para o aquecimento global (KUMAR et al., 2017).

As tecnologias utilizadas para a gerenciamento adequado dos RSU trazem benefícios sociais para a população local, no estudo na cidade de Bangkok na Tailândia, salientando que este país trata-se de um país em desenvolvimento (SUKHOLTHAMAN; SHIRAHADA, 2015). Do ponto de vista social, a população sugere que na gestão dos RSU deva ser analisado no âmbito da saúde pública, visto que esta é um dos principais fatores que influenciam as práticas de gerenciamento de resíduos e continua a ser um fator essencial (SANDHU, 2014).

Os governos precisam estender sua responsabilidade, além da contratação e inspeção de coleta e limpeza, mas também desenvolver em conjunto de estratégias com a comunidade local, para melhorar os aspectos sociais desta região, particularmente na educação, infraestrutura e segurança (SANTOS et al., 2019). Ainda os autores, reforçam sobre as limitações dos recursos financeiros do poder público, corroborando com a grande pressão para projetos economicamente viáveis.

Esta pressão torna-se um grande desafio para os governantes, quanto a realização de projetos de curto prazo, por exemplo a desapropriação de milhares de casas para rotas de coleta dos RSU, pois vista no curto prazo, necessita adaptar-se

à realidade, desenvolver soluções para rotas de coleta (SANTOS et al., 2019). No estudo realizado no Brasil, apontou uma possível solução, as parcerias público-privadas com indústrias que buscam melhorar sua contribuição social e atender ao ciclo da EC, melhorando sua própria cadeia de suprimentos (SANTOS et al., 2019), desenvolvendo a responsabilidade solidária, mencionada na própria lei 12.305/10. Porém fatores importantes precisam ser discutido ainda em conjunto com o social, fatores como saúde e saneamento, não esquecendo também do fator econômico (SHANE; GHEEWALA; KAFWEMBE, 2017).

A busca por soluções melhores para gerir este desafio, teve início há bastante tempo. Quando da primeira instalação de incineração construída na Inglaterra, em 1870 e no ano de 1904 estavam em operação mais de 200 plantas de incineração (SANDHU, 2014). Já em outros países europeus, como no caso de Hamburgo na Alemanha, devido a uma epidemia de cólera em 1892 foi iniciada o processo de construção do primeiro incinerador (WILSON, 1976, p. 127). No caso dos EUA, o incinerador passou a ser visto como um salvador das acumulações de resíduos, tornou-se popular, resultado disso foi que em 1914 no Canadá e nos EUA aproximadamente 300 usinas estavam em operação (SANDHU, 2014).

Embora as preocupações iniciais com a saúde pública tratassem amplamente de odores e da fumaça desagradável (SANDHU, 2014), a descoberta de dioxinas nas cinzas volantes dos incineradores de resíduos, revelou ainda mais, seus potenciais impactos tóxicos e prejudiciais à saúde humana (LUZ et al., 2015; FAZELI et al., 2016). Estes desafios quanto a poluição ao meio ambiente e a saúde pública atribuí aos incineradores de resíduos e ao despejo a céu aberto, começou a se tornar mais evidente em meados do século XX, exigindo uma visão mais holística dos fatores que desencadeiam estes desafios (SANDHU, 2014).

Por outro lado, as doenças transmitidas por vetores biológicos urbanos, especialmente as doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes*, estão associadas ao acúmulo dos RSU, variando ao longo das estações do ano e dependendo da região (KRYSTOSIK et al., 2020). A zoonose urbana, que são doenças transmitidas de animais para humanos, especialmente aquelas transmitidas por doenças de roedores e caninos, está associada aos RSU em ambientes urbanos, especialmente quando os resíduos se acumulam ao longo do tempo, criando locais de escavação e

servindo de reservatório de alimento para estes animais (KRYSTOSIK et al., 2020). Embora evidências sugere a ligação entre poluição por plástico ou resíduos sólidos, com doenças causadas aos seres humanos (KRYSTOSIK et al., 2020), ainda há necessidade de padronização nos estudos.

As epidemias de doenças estão aumentando em escopo e escala, vindas com o crescimento das populações urbanas, as mudanças climáticas propiciam a propagação dos vetores e a exposição das populações imunologicamente ingênuas (KRYSTOSIK et al., 2020). Assim o gerenciamento sustentável de resíduos é crucial para a prevenção, especificamente em ambientes urbanos que favorecem os vetores, como é o caso do mosquito *Aedes* (KRYSTOSIK et al., 2020).

Ao mesmo tempo, o risco de zoonose aumentou com a urbanização (HASSELL et al., 2017) sugerem um aumento quanto ao risco de transmissão para doenças infecciosas (KRYSTOSIK et al., 2020). No entanto, o risco potencial de transmissão direta de doenças infecciosas por qualquer tipo de RSU, depende de uma infinidade de fatores inter-relacionados, incluindo entre outros, a presença de um agente infeccioso, sua sobrevivência em resíduos sólidos e um hospedeiro suscetível (KRYSTOSIK et al., 2020).

Desta forma, enquanto vários incineradores foram instalados como uma solução para a gestão dos RSU em países desenvolvidos (SANDHU, 2014), outra abordagem mais comum é utilizada para eliminar o acúmulo dos resíduos, em países de baixa e média renda, diferente dos modernos incineradores, a queima é realizada a céu aberto (COGUT, 2016). Um exemplo desta situação está na África Subsaariana, que mais de 75% dos resíduos são queimados abertamente e no mundo ainda cerca de 600 milhões de toneladas de resíduos são queimadas a céu aberto por ano (COGUT, 2016).

A acumulação de RSU geram vários ambientes de propagação para os vetores, até mesmo pequenos copos e embalagens, servem de abrigo para estes animais. Outros vetores se utilizam do acúmulo dos RSU como abrigo, servindo como fonte de alimento e local de reprodução (KRYSTOSIK et al., 2020). O estudo realizado com funcionários do Ministério da Saúde e agentes comunitários na Colômbia, constataram que a proximidade do ambiente urbano não planejada e a

falta de gerenciamento dos RSU são os fatores de risco, para pontos crescentes de doenças como dengue, Chikungunya, Zika e malária (KRYSTOSIK et al., 2020).

Outro estudo revisou as doenças tropicais negligenciadas e, seu risco para a saúde pública e o desenvolvimento nas favelas, da qual trata-se de ambientes mais pobres e muitas vezes não são beneficiados pela coleta regular dos RSU ou tratamento de esgoto, desta forma, criam excelentes nichos para vetores que estão associadas as doenças relacionadas ao acúmulo dos RSU (MUÑOZ-ZANZI et al., 2014).

Neste contexto, foi realizado um estudo com os moradores de favelas, na cidade de Salvador no Brasil, visto o acúmulo dos RSU nas residências, sendo relacionado com o aumento de doenças infecciosas (MUÑOZ-ZANZI et al., 2014). Os moradores de outra favela urbana de Salvador, apontaram a melhoria da coleta de RSU como necessária para controlar a leptospirose em sua comunidade, também relacionados aos vetores já mencionados acima (MUÑOZ-ZANZI et al., 2014).

Outros grupos de alto risco inclui a população, que vive perto de um depósito de RSU e aqueles cujo abastecimento de água esteja contaminado, devido ao despejo de resíduos ou do vazamento de aterros sanitários, bem como os RSU não coletados aumentam o risco de ferimentos e infecção (NOR FAIZA et al., 2019).

Em várias pesquisas de saúde comunitária, uma ampla gama de problemas de saúde, incluindo sintomas respiratórios, irritação da pele, nariz e olhos, problemas gastrointestinais, distúrbios psicológicos e alergias, vem sendo associadas aos RSU (NOR FAIZA et al., 2019). Os efeitos na saúde pública, incluem o aumento do risco de câncer e mortalidade, doenças respiratórias, malformação congênita e baixa peso ao nascer, também destacando, o fato do bem-estar da população que é afetado, pelo aborrecimento devido ao odor dos RSU (NOR FAIZA et al., 2019).

De acordo com o *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2015), afirma que os RSU que não são gerenciados adequadamente, especialmente excrementos e outros líquidos, de RSU de residências e comunidade, representam um sério risco à saúde e podem levar à disseminação de doenças. O relatório afirma ainda, que devido ao inadequado gerenciamento contribuem para atrair moscas, ratos e outros vetores, que por sua vez, espalham doenças, sendo o RSU úmido causador do mau odor pela sua decomposição, afetando os moradores próximo a

estes locais. Sendo assim, o descarte inadequado do RSU afeta seriamente a saúde destes residentes. Podendo ser ainda mais sérios os problemas a saúde, quanto aos resíduos industriais, com a inclusão do descarte de produtos químicos perigosos (NOR FAIZA et al., 2019).

Porém, ainda existem os problemas comuns associados aos aterros sanitários mal projetados e mal administrados, assim os RSU nestes lugares atraem um grande número de vetores de doenças infecciosas, como moscas domésticas e mosquitos (NOR FAIZA et al., 2019). Os pneus, latas ou outros materiais facilitam o aumento dos mosquitos como *Aedes* (FERRONATO; TORRETTA, 2019). Ainda pelo entupimento de canais de escoamento causados pelos RSU, causa inundações durante a estação chuvosa e assim o aumento da incidência de doenças transmitidas por vetores através da água (NOR FAIZA et al., 2019).

No Brasil o aumento do consumo, gerou um enorme volume de RSU, que atingiu 216.629 toneladas por dia em 2018, sendo 1,039 kg per capita por dia, com crescimento anual de mais de 1% (ABRELPE, 2019). O manejo inadequado do RSU tem grandes impactos ambientais e sociais e coloca em risco a saúde e a qualidade de vida das populações urbanas, sendo um problema de alto impacto nos países em desenvolvimento, visto que 30% dos resíduos domésticos não são tratados adequadamente (CRUVINEL et al., 2019).

No estudo de caso realizado no Brasil, mais específico na região sul do Rio Grande do Sul, os gestores municipais foram questionados sobre a importância e os benefícios da implementação do PMGIRS (Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos) resultado disso, foi que a melhoria da saúde pública representou 24% das respostas (DALL' AGNOLL, et al 2019). Nesse sentido a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, são incentivos para o gerenciamento integrado de RSU entre os diferentes gestores públicos (BRASIL, 2010).

Diante dos impactos causados pelo mau gerenciamento dos RSU, uma possível solução, é o desejado plano de ação para criar uma EC nos RSU e reduzir a oferta e a demanda de plásticos de uso único, cultivar comunidades capacitadas, educadas e saudáveis que resistem ao acúmulo de RSU, para melhorar a saúde através da redução de doenças transmitidas por vetores e melhorias na qualidade

do ar (KRYSTOSIK et al., 2020). Assim os formuladores de políticas, precisam olhar sobre um mesmo lugar para prevenir e resolver os desafios na saúde pública (HAREGU et al., 2017), visto que, as populações futuras correm maior risco de passar por epidemias de doenças (KRYSTOSIK et al., 2020). Não esquecendo que, são utilizados grande participação econômica para tratar estas doenças e enfermidades. Este ponto vem com maiores detalhes na seguinte subseção desta dissertação.

2.3.2 Impactos Econômicos dos RSU na Saúde Pública

A gestão de resíduos e a saúde pública, embora tenham novas abordagens desenvolvidas e adaptadas com base nas teorias dominantes da saúde pública, as práticas e comportamentos antigos não desapareceram completamente e continuam a operar normalmente (SANDHU, 2014). Diante destes comportamentos, há de repensar as práticas comuns enraizadas ao longo dos séculos de comunidades ou de fabricantes, que simplesmente jogam por muitas vezes todo os seus resíduos na rua ou em água corrente, por outro lado, arranjos sanitários defeituosos são ainda suportado por moradores das grandes cidades (SANDHU, 2014), porém os efeitos causados à saúde pública trazem como consequência os impactos econômicos (SHANE; GHEEWALA; KAFWEMBE, 2017).

Os gastos totais em saúde pública no Brasil foram de 3,8% do PIB nacional, conforme dados do Relatório "Aspectos Fiscais da Saúde no Brasil", publicado pelo Banco Mundial no final de 2018, colocando o Brasil na posição 64^o da distribuição mundial, isso de uma amostra de 183 países, sendo esse valor próximo à média da América Latina e Caribe (3,6%) e inferior à da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) que é 6,5%. O documento destaca que mesmo o Brasil com um sistema de saúde público universal, os gastos privados em saúde no Brasil são superiores aos gastos públicos, diferentemente do padrão de países desenvolvidos com sistemas parecidos, como o Reino Unido e a Suécia.

O ônus no mundo causado por doenças, tem sido significativamente grande pelas doenças transmitidas e epidemias causadas, que perturbam a segurança da saúde pública e causam impactos socioeconômicos muito amplos em todo o mundo (LOZANO et al., 2013). A Organização Mundial da Saúde em inglês *World Health*

Organization (2014), estima que um sexto das doenças e deficiências sofridas em todo o mundo se devem as doenças transmitidas por vetores, com mais da metade da população mundial atualmente em risco pela urbanização e, com projeção de crescimento para 2050 de chegar a 75% da população alocada nos centros urbanos, torna-se ainda mais desafiador para os governantes. Sendo que todos os anos, mais de um bilhão de pessoas são infectados e, mais de um milhão de pessoas morrem de doenças transmitidas por vetores incluindo malária, dengue, esquistossomose, leishmaniose, doença de Chagas e tripanossomíase (*WORLD HEALTH ORGANIZATION*, 2014).

A exemplo do impacto da falta de gerenciamento dos RSU na saúde pública, segundo dados da *World Health Organization* (2014), pode ser citado o caso do Paquistão, da Arábia Saudita e do Iêmen, da qual a dengue é uma das principais causas da taxa elevada de portadores de doenças e, hospitalização de crianças e jovens adultos, causando várias mortes. Algumas áreas do Paquistão passaram por um surto de dengue excepcionalmente forte, resultando em gastos catastróficos em saúde para famílias e, para os orçamentos públicos. Outro dado, é o caso da malária que mata mais de 430 mil pessoas no ano no mundo, sendo 70% crianças menores de 5 anos (*WORLD HEALTH ORGANIZATION*, 2014).

O nível governamental do Brasil, é dividido em três níveis de governos autônomos: Municipal, que atuam a nível local; Estados, que são a nível subnacional intermediário; e a União, representando o governo nacional. Todos esses níveis de governos financiam o sistema público de saúde do Brasil, o SUS (Sistema Único de Saúde), criado pela Constituição Federal de 1988, o SUS garante o direito a todos os brasileiros à saúde, oferecendo assistência universal, igualitária e abrangente à saúde, visando atender às necessidades de saúde da população (MARTEN et al., 2014; PAIM et al., 2011). Segundo o Portal da Transparência, em 2019 os cofres federais desembolsaram mais de 2.014 bilhões de reais no SUS.

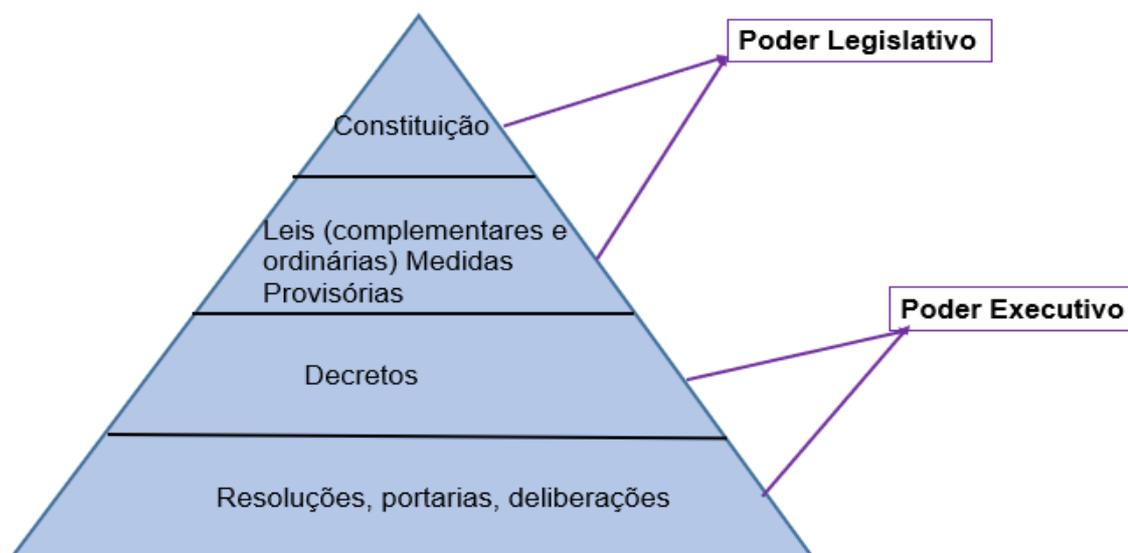
Assim no Brasil, instituiu-se a obrigação para os municípios da elaboração do PMGIRS em 2010, para recebimento dos recursos do governo federal nos projetos de limpeza pública e, gerenciamento de resíduos sólidos ou os beneficiados por incentivos e financiamentos de entidades ou recebimento de crédito federal para essa finalidade (BRASIL, 2010). Porém no estudo de Dall' Agnoll et al. (2019), dos

municípios analisados, apenas 18% tinham os PMGIRS finalizados, os demais conselhos não tinham um plano ou estavam em processo de elaboração, isto é, 82% dos demais municípios. Desta forma, é importante abordar as leis e regulamentos que amparam o contexto dos RSU no caso do Brasil, trazidas na seção seguinte desta dissertação.

2.4 Normas e Legislações

Nesta seção são tratadas as principais normas e legislações que norteiam as questões dos RSU e a recuperação de energia dos RSU. Porém como ponto de partida cabe lembrar que as normas e legislações seguem o princípio hierárquico, visto que no caso do Brasil o grande “guarda-chuva” é a Constituição Federal, assim as demais legislações e normas devem seguir a Constituição, visto que do contrário, fere a Constituição e perdendo assim sua validade jurídica. Para melhor apresentar esta hierarquia a figura 14 mostra a pirâmide desta hierarquia no caso do Brasil.

Figura 14 – Hierarquia das Normas e Legislações Brasileiras



Fonte: Elaborado pela autora com base em (BODRA; DALLARI, 2020).

Em relação à gestão de resíduos, a Lei nº 11.445/2007, instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), estabelece no art. 2º, que o manejo dos resíduos sólidos devem ser realizados de forma adequada à saúde pública e à proteção do meio ambiente e, em seu art. 29, diz que os serviços públicos de

saneamento básico tenham a sustentabilidade econômica financeira assegurada e, que no caso específico dos RSU, a prestação de serviço seja assegurada mediante taxas ou tarifas e outros preços públicos (BRASIL, 2007). Os incentivos para geração de energia a partir de fontes alternativas, se deram de maneira mais ampla através do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) da ANEEL em 2002.

No Brasil a lei 12.305/10 estabeleceu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), reitera que os municípios são responsáveis pela gestão e fiscalização dos resíduos gerados em seu território, isto é, são responsabilidades dos municípios a condução das várias etapas relativas aos RSU incluindo: a coleta regular, a coleta seletiva, serviços de limpeza urbana e de resíduos de serviços de saneamento, até sua disposição final adequada.

Através da instituição da Lei Nº 12.305/2010, previu-se que a recuperação energética de RSU seja implantada, como forma de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, considerando a viabilidade técnica e ambiental de cada tecnologia, sendo criados os comitês interministeriais com o objetivo de subsidiar a implantação do PNRS (BRASIL, 2010).

Quanto a destinação final ambientalmente adequada, a Lei 12.305/2010, instituí, que a destinação de resíduos será incluída a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e aproveitamento energético e demais outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, a fim de evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, assim minimizando os impactos ambientais adversos. Ainda a mesma lei, aponta que os rejeitos após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e viáveis, seja dada a disposição final ambientalmente adequada.

Com a promulgação da portaria interministerial 274 de 2019, que reitera em seu artigo 3 a recuperação energética dos RSU que constitui uma das formas de destinação final ambientalmente adequada passível de ser adotada, observadas as alternativas prioritárias de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, conforme estabelecido no caput e § 1º do art. 9º da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010.

Bem como através do Decreto 10.117 de 19 de novembro de 2019, dispõe sobre a qualificação de projetos para ampliação da capacidade de recuperação energética de RSU no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República, sendo um grande marco para a o desenvolvimento do gerenciamento adequado dos RSU no Brasil.

A NBR nº 16849/2020 estabelece os requisitos para aproveitamento energético de RSU com ou sem incorporação de outros resíduos da chamada classe II (não perigosos), abrangendo os aspectos de elegibilidade de resíduos, registros e rastreabilidade, amostragem e formação dos lotes, armazenamento, preparo de RSU para fins energéticos, respeitando a hierarquia de gestão e gerenciamento de resíduos.

Recentemente em 06 de outubro de 2020, a Resolução 499 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, em seu artigo 4º a definição de clínquer como componente básico do cimento, constituído principalmente de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico.

Ainda esta Resolução 499 do CONAMA, apresenta em seu artigo 9º que o produto final do coprocessamento de resíduos em fornos, o cimento, sendo que este produto não deverá agregar substâncias ou elementos em quantidades tais que possam afetar a saúde humana e o meio ambiente.

No Estado do Rio Grande do Sul, conforme dados da Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente (FEPAM) apontam que 80,9% dos municípios do Estado destinaram, em 2014 os seus RSU de forma ambientalmente adequada, o que representa 78,7% da população do Estado. O órgão também informou que 17,1% dos municípios destinam seus RSU para áreas inadequadas, representando 20,5% da população do Estado e para 2% dos municípios não houve informação.

A Lei Ordinária Municipal de Bento Gonçalves nº 4.000/2006, dispõe sobre a política municipal de meio ambiente e tem em seu capítulo VII, art. 68º parágrafo 1º consta que o município elaborará o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Política de Resíduos Sólidos e Código Municipal de Limpeza Urbana, assim como regulamentação legal que se fizer necessária, com absoluta prioridade para:

- ◆ educação ambiental voltada para a questão dos resíduos sólidos;
- ◆ redução da produção de resíduos;
- ◆ reutilização sempre que possível, viável e recomendável;
- ◆ reciclagem dos resíduos passíveis de reintegração no ciclo de reutilização como matéria-prima;
- ◆ compostagem da fração orgânica;
- ◆ coleta seletiva, com segregação na fonte;
- ◆ segregação dos resíduos especiais como pilhas, acumuladores, baterias e lâmpadas;
- ◆ criação de associações ou cooperativas de recicladores;
- ◆ implantação de tecnologias alternativas eficientes.

O Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos traz na seção 2.4.3 a questão da destinação final em aproveitamento energético e define que somente serão submetidos ao tratamento térmico para recuperação energética uma boa parte da matéria orgânica e os materiais não recicláveis. Não existe motivo para suspeitar que a negligência da prática pública de optar pelas soluções simplificadas como a recuperação energética, coloque em risco iniciativas do mais amplo apoio e repercussão social na sociedade.

Já neste Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, trata sobre a questão da educação ambiental, sendo uma das finalidades da educação ambiental o despertar a preocupação individual e coletiva para a questão ambiental com uma linguagem de fácil entendimento que contribui para que o indivíduo e a coletividade construam valores sociais, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente. Assim, torna-se necessário mudar o comportamento do homem com relação à natureza, com o objetivo de atender às necessidades ativas e futuras, no sentido de promover um modelo de desenvolvimento sustentável.

Buscando divulgar e promover o desenvolvimento de atividades de Educação Ambiental no município de Bento Gonçalves, é importante que se desenvolva junto à comunidade atividades socioeducativas tais como:

- participação da equipe em atividades, oficinas, palestras e eventos de Educação Ambiental no município, para promover agentes multiplicadores das ideias referentes aos resíduos sólidos;
- capacitação constante da equipe em cursos de Educação Ambiental;
- reuniões externas com outros líderes municipais e de comunidades específicas para discussão de projetos de Educação Ambiental;
- divulgação da coleta seletiva para população, conforme demanda;
- elaboração de relatórios relacionados ao assunto junto às comunidades locais;
- atendimento ao público para reclamações e sugestões;
- visitas das equipes da Secretaria de Meio Ambiente às associações de recicladores, no qual conduzam o público, na sua maioria escolas de nível fundamental.

Por outro lado, a matriz energética brasileira é reconhecida pelas suas fontes de geração renovável, com destaque para as usinas hidrelétricas, de biomassa e mais recentemente as usinas eólicas e solar. Em se tratando de usinas de geração de energia, a partir dos RSU, que é considerada uma fonte de biomassa de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), a sua participação na matriz energética ainda é relativamente pequena 8% em 2018, considerada a elevada quantidade de resíduos produzidos diariamente no país, cerca de 216 mil t/dia (ABRELPE, 2019). Em estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), estima-se que o potencial de geração de energia a partir dos RSU utilizando as tecnologias de aproveitamento de gás de aterro é de 311 MW, digestão anaeróbia acelerada com 868 MW e incineração com 3.176 MW.

No Brasil, hoje a geração de energia elétrica a partir dos RSU é realizada principalmente a partir da utilização do gás dos aterros sanitários. A ANEEL classifica o que é os resíduos derivados de estações de tratamento de esgotos (ES) e dos aterros sanitários (AS) como resíduos urbanos, e segundo dados do Banco de Informações de Geração de janeiro de 2017, havia no país um total de 15 usinas em operação, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Usinas Brasileiras que Opera com os Resíduos Urbanos

Usina	Data do início da Operação	Município	UF	Fonte	Potência KW
São João Biogás	27/03/2008	São Paulo	SP	AS	21.560
Salvador	22/12/2010	Salvador	BA	AS	19.730
Uberlândia	01/12/2011	Uberlândia	MG	AS	2.852
Itajaí Biogás	01/02/2013	Itajaí	SC	AS	1.065
CTR Juiz de Fora	01/08/2013	Juiz de Fora	MG	AS	4.278
Guatapar	29/08/2014	Guatapar	SP	AS	5.704
Bandeirantes	03/11/2014	São Paulo	SP	AS	4.624
Biotrmica Recreio	24/06/2015	Minas do Leão	RS	AS	8.556
Tecipar	30/10/2015	Santana de Parnaíba	SP	AS	4.278
Curitiba Energia Termoverde	11/01/2016	Fazenda Rio Grande	PR	AS	4.278
Caieiras	15/07/2016	Caieiras	SP	AS	29.547
Asja BH		Belo Horizonte	MG	AS	4.278
Energ-Biog	18/12/2002	Barueri	SP	ES	30
Ambient		Belo Horizonte	MG	ES	1.500
Arrudas		Ribeirão Preto	SP	ES	2.400
TOTAL					114.680 KW

Fonte: Adaptado do Banco de Informações de Geração – ANEEL, 2017.

Neste sentido, o papel do governo na criação de políticas públicas para o aproveitamento energético dos RSU depende não somente de uma legislação específica, mas também da criação de mecanismos de incentivos fiscais e econômicos, de forma a tornar essa energia competitiva frente às outras fontes renováveis. Assim, diante do arcabouço regulatório que trata da gestão de RSU e da geração de energia a partir de fontes renováveis, o governo tem fundamental relevância para o desenvolvimento das tecnologias que vem tratar das tecnologias WtE (ALELUIA; FERRÃO, 2017; RAJAEIFAR et al., 2017).

Os impostos sobre a poluição incluem mecanismos como tributação do carbono e comércio de emissões. Esses impostos alcançam o importante trabalho de colocar um preço na poluição. Com isso, eles ajudam a explicar as externalidades que tradicionalmente não foram pagas. Assim, quando uma empresa, se encontra sobrecarregada com os custos de poluição, pode ser forçada a reavaliar sua eficiência energética e suas emissões. Devido ao aumento do preço das emissões de carbono em todo o mundo, muitas empresas estão sendo forçadas a adotar tecnologias mais limpas (PAN et al., 2015).

Nesta linha de responsabilidade compartilhada da destinação adequada dos RSU, a ABLP, 2018 (Associação Brasileira de Limpeza Pública) destacou que é dever dos municípios garantir a limpeza urbana e disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos, mas todos os entes da sociedade também podem e devem contribuir. Uma taxa específica para custear os serviços, por exemplo, tem um importante papel como ferramenta educativa.

Com o PROINFA, instituído pela Lei nº 10.438/2002, cujo objetivo é incentivar a participação de produtores independentes autônomos, por meio de fontes de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e eólica. Já em 2004, o Decreto nº 5.184 criou a EPE, cuja finalidade é prestação de estudos e pesquisas nesta área, destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras (BRASIL, 2004).

Em abril de 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482, sendo o principal destaque o estabelecimento das condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração - hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração, distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica, posteriormente em 2015, a ANEEL publicou Resolução Normativa nº 687, que aprimorou esta resolução (BRASIL, 2015).

Outro incentivo regulatório, para o desenvolvimento de geração de energia a partir de RSU, foi a Chamada nº 14 da ANEEL publicada em 2012. Esta, intitulada de “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira”, faz parte dos programas de P&D (planejamento e desenvolvimento) da ANEEL, o que resultou no recebimento de 23 propostas de projetos com investimentos aproximados de R\$ 476 milhões e previsão da instalação de 33,7 MW (ANEEL, 2012). Em estudo publicado pela EPE em 2014, várias tecnologias de geração de energia a partir de RSU foram analisadas, dentre elas a incineração e a biodigestão.

Assim a EPE concluiu que para o aproveitamento energético de RSU ser viável, é necessária uma análise multidimensional, que envolva tanto a gestão dos RSU, que é responsabilidade dos municípios, quanto uma análise socioambiental,

econômica e técnica, que considere as políticas de âmbito federal, estadual e municipal (EPE, 2019).

Olhando casos fora do Brasil, a exemplo o Estado da Califórnia (EUA), está entre os Estados que mais se destacam no incentivo e na implantação das fontes renováveis de energia, através de mecanismos paralelos ao governo federal. De acordo com Martins, (2010), com a implantação da *Public Utility Regular Policy Act* (PURPA), a Califórnia conseguiu impulsionar a geração de energia a partir das fontes renováveis, alcançando a representação de 10,61% em 2008.

Incentivos na Alemanha desde 1991, com adoção de tarifas *feed-in* como principal instrumento de apoio as fontes renováveis. Inicialmente, o modelo contemplava uma tarifa única para todas as tecnologias. Segundo Roll; Streisselberger (2013), com a proibição da Alemanha em dispor resíduos em aterros sanitários e os altos preços da energia, houve um aumento das usinas de incineração de resíduos para recuperação de energia na última década.

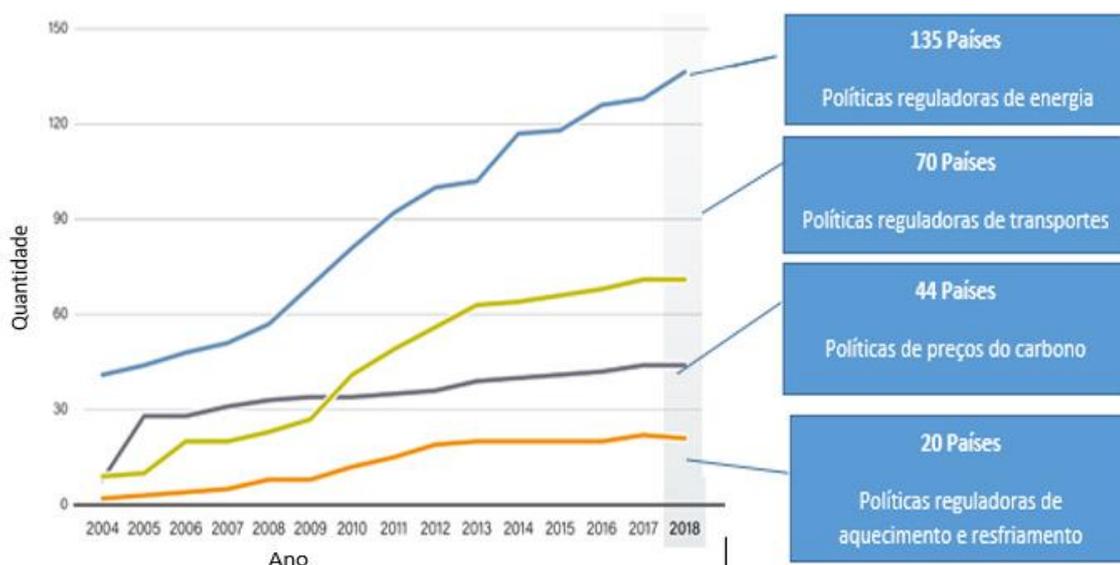
A experiência das políticas públicas da Alemanha, corrobora com a geração de energia a partir dos RSU, impulsionada principalmente, com publicação de Leis de Energias Renováveis, que estabelece preços, prazos e tarifas para os geradores dessas fontes (ROLL; STREISSELBERGER, 2013). Apesar do surgimento de um mercado competitivo das usinas de incineração, a eficiência energética é um fator chave na sustentabilidade econômica destas usinas (ROLL; STREISSELBERGER, 2013).

Estas estratégias de preços e investimentos, incluindo impostos sobre combustíveis, preços de carbono e impostos sobre o desenvolvimento do solo, podem ser usadas e podem ser muito eficazes para o desenvolvimentos de novas fontes de energia renovável (CARRARO; FAVERO; MASSETTI, 2012). Ainda os autores, a precificação do carbono, coloca um custo nas externalidades negativas geradas pela tecnologia não verde, tornando o uso dessas tecnologias indesejável e, portanto, estimula a pesquisa e o desenvolvimento de uma tecnologia verde.

Desta forma, foram levantados os dados de legislações e, regulamentos criados no mundo no período de 2004 a 2018, em países que emitiram políticas reguladoras de energia renovável e políticas de preço do carbono, destaque para as

políticas reguladoras de energia, com grande aumento neste período em 135 países, apresentada na figura 15.

Figura 15 – Número de Países com Políticas Reguladoras de Energia Renovável e Políticas de Preço do Carbono, de 2004-2018.



Fonte: REN21, 2019

O preço do carbono pode assumir a forma de um imposto sobre emissões ou, um esquema de comércio no qual o direito de negociação de certos níveis de emissões de GEE. Na Austrália, o preço do carbono não apenas reduziu as emissões de carbono da geração de eletricidade em 7,7% em dez anos, mas também permitiu um crescimento contínuo de 2,5% na economia australiana (PAN et al., 2015). Em geral, os impostos sobre o carbono são capazes de gerar grandes receitas fiscais, servindo com objetivos duplos: reduzir as emissões de carbono e aumentar a receita do governo (CARRARO; FAVERO; MASSETTI, 2012).

2.5 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os temas que serviram de sustentação teórica para a elaboração desta dissertação. Primeiramente foram apresentadas as principais tecnologias WtE para tratamento dos RSU, revisadas as descrições destas tecnologias. Os pilares que sustentam o gerenciamento dos RSU, tema central desta

dissertação, assim foram descritos os conceitos através da revisão da literatura, sendo estes pilares, as tecnologias WtE, a hierarquia de resíduos, saúde pública e as normas e legislações.

Quadro 3 – Critérios que Decisão para o Gerenciamento dos RSU

Pilares	Critérios	Descrição
Tecnologias WtE	Recuperação Energética	Decisões que envolvem as questões da quantidade de energia a ser recuperada dos RSU, o poder calorífico dos materiais.
	Impacto Social	Decisão que envolve o impacto econômico da população local e seus arredores com a instalação da usina de RSU.
	Impacto do Investimento Inicial	Decisão que envolve o impacto econômico da tecnologia, em comparação o tamanho do seu investimento inicial e, como será a fonte de financiamento, por parceria público-privada por exemplo.
	Retorno Econômico do Investimento	Decisão que envolve o impacto econômico da tecnologia em comparação aos seus retornos esperados, sejam eles econômicos, sociais e ambientais.
	Composição dos RSU	Decisões que envolvem a composição dos materiais, as autoridades precisam conhecer o que compõem dos RSU do local, para saber como será melhor tratado.
	Impacto Ambiental	Decisão que vai tratar dos benefícios gerados pela tecnologia WtE, bem como a questão dos créditos de carbono.
	Projeção da Quantidade de RSU	Decisão que envolve as questões que tratam da tecnologia, para sua constante recuperação de energia, levantar pontos que podem influenciar na geração da planta.
	Projeção da Composição dos RSU	Decisões que objetivam a necessidade de projeção da composição dos RSU no longo prazo, ou seja, como vai ser a composição dos RSU gerados por esta população, para assim projetar o atendimento destes materiais na escolha da tecnologia WtE escolhida atualmente.
	Escolha do Local da Instalação da Planta	Decisões sobre a melhor escolha do local para instalação da planta, envolvendo a logística, meio ambiente e população.
Reciclagem	Escolha dos Materiais a Serem Reciclados	Decisões que tratam do levantamento dos materiais que compõem os RSU e serão reciclados, bem como pode ocorrer a logística reversa aos seus fabricantes e como inserir os catadores destes locais neste processo.
	Nível de Informação da Comunidade Local	Decisões que abordam a informação e conhecimento da população sobre a reciclagem e o manuseio dos materiais, bem como a questão dos problemas a saúde e ao meio ambiente.
Saúde Pública	Impacto à Saúde Pública	Decisões envolvendo as questões que impactam a saúde pública provocadas pelo acúmulo de RSU, destinação inadequada e manuseio, entre outros.
Normas e Legislações	Normas e Legislações dos RSU	Decisões que envolvam o atendimento das normas e legislações que tratam dos RSU, como sua destinação e tratamento.
	Normas e Legislações sobre Energia	Decisões que envolvam o atendimento das normas e legislações que tratam da recuperação energética dos RSU

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a revisão da literatura, descritas aqui neste capítulo foram possíveis levantar 14 critérios, considerados importantes para a decisão de investimento em tecnologias WtE que tratam do gerenciamento adequado dos RSU. Estes critérios estão apresentados no quadro 3.

Esta seleção de critérios será validada nas entrevistas realizadas para o estudo de caso e, podendo haver o incremento de mais critérios dos especialistas entrevistados, bem como a própria exclusão ou aprimoramento dos critérios aqui selecionados.

3 METODOLOGIA E OBJETO DE PESQUISA

Enquanto as seções anteriores procuraram demonstrar a relevância deste estudo. Aqui neste capítulo este estudo vai descrever os procedimentos metodológicos que garantem o rigor da pesquisa. Também é apresentado o objeto desta pesquisa, com as suas características que levaram a seleção para escolha desta unidade de análise.

3.1 Metodologia

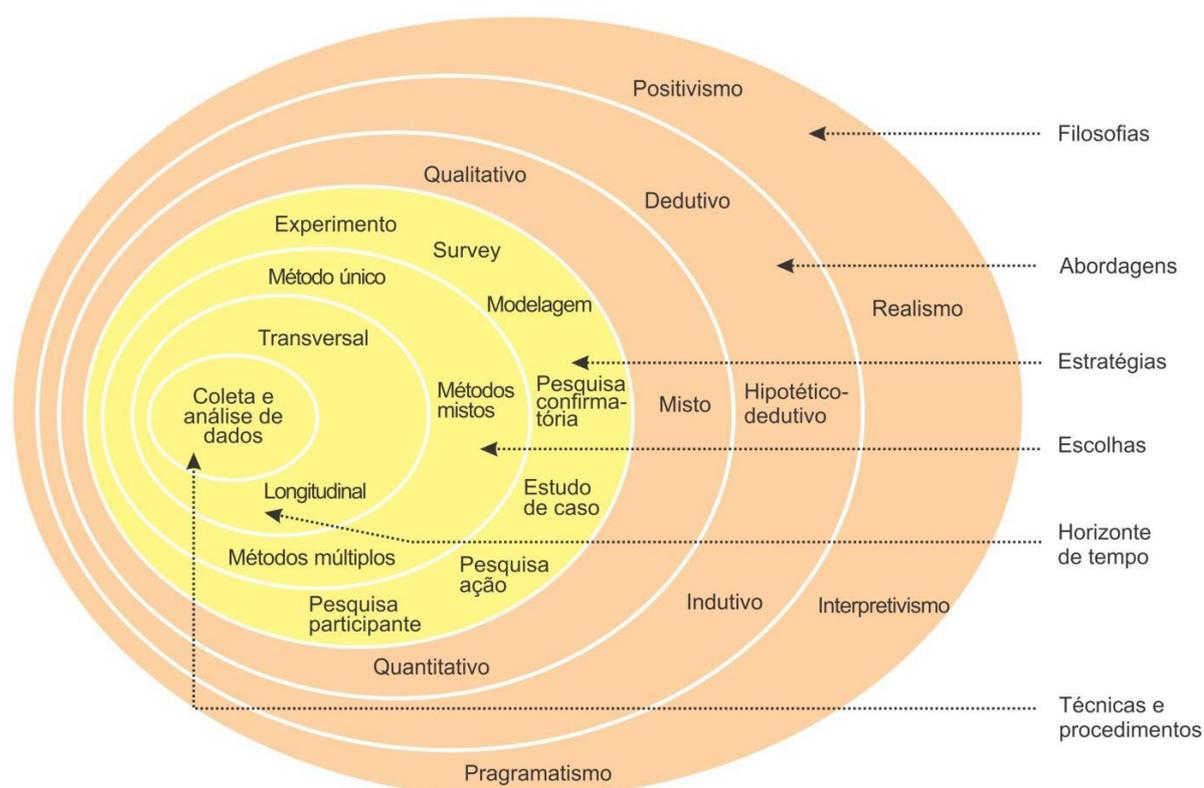
Inicialmente, apresenta-se a abordagem metodológica definida para a presente dissertação, tendo como principal objetivo apresentar o método de pesquisa abordado. A opção metodológica indica que o estudo de caso contém as características do trabalho, justificando e indicando os motivadores de sua escolha para esta investigação. Em seguida, são abordadas as técnicas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa e as etapas que foram seguidas para o desenvolvimento dessa dissertação.

A condução adequada do método de pesquisa é um dos pré-requisitos para a construção do conhecimento científico confiável (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Segundo os autores, o método científico utilizado na investigação deve levar em consideração a lacuna teórica, um problema de ordem prática ou ainda a observação direta de um fenômeno além do objetivo da pesquisa, que deve ser explicado, descrito ou explorado.

No entender de Bernardes; Muniz Júnior; Nakano (2019), a pesquisa é um procedimento racional e sistemático, que tem por objetivo investigar uma realidade e proporcionar respostas como resultado a problemas. Ainda conforme os autores, sua finalidade é buscar a compreensão do objeto de estudo de forma integral, descritiva e interpretativa. O método de investigação é um conjunto de processos utilizados para a investigação que busca colher resultados previstos e desejados (CAUCHICKI, 2012). Conforme Cauchicki (2012), as metodologias de pesquisa abordadas pelas pesquisas na área de engenharia de produção e gestão de operações, consideradas mais adequadas são do tipo *survey*, estudo de caso, pesquisa-ação e modelagem quantitativa.

Segundo Saunders; Lewis; Thornhill (2019), a filosofia da pesquisa adotada como positivismo, realismo, interpretivismo ou pragmatismo contém suposições importantes sobre a forma como o pesquisador enxerga o mundo. Nessa perspectiva, a presente pesquisa adota uma abordagem positivista. A figura 16 contextualiza uma abordagem abrangente sobre o desenvolvimento do conhecimento científico.

Figura 16 – Abordagem Abrangente sobre o Desenvolvimento do Conhecimento Científico



Fonte: Adaptado de Saunders, Lewis e Thornhill 2019, p.130.

A abordagem quantitativa é utilizada neste estudo, visto que são usadas técnicas financeiras e estatísticas para avaliar os impactos de investimento da usina de RSU. Porém o que predomina nesta dissertação, é uma abordagem qualitativa, para melhor compreender as variáveis empregadas da pesquisa, os critérios do processo de decisão de investimentos em usinas de RSU. Assim, em relação ao tipo de abordagem, os estudos podem ser classificados em quantitativos e qualitativos (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019).

3.1.1 Quanto à Natureza da Pesquisa

Em relação à natureza, esta pesquisa classifica-se como sendo de natureza aplicada, uma vez que objetiva gerar conhecimento para a aplicação prática em solução de problemas, no caso desta dissertação, contribuir para solução dos desafios que norteiam os tomadores de decisões públicas, quanto a questão do gerenciamento dos RSU. Visto que são soluções de problemas identificados no âmbito da sociedade que o pesquisador está inserido. A pesquisa aplicada surge da necessidade de solucionar problemas reais, e tem por objetivo proporcionar conhecimentos para posterior aplicação numa situação específica (CAUCHICKI, 2012).

3.1.2 Quanto à Forma de Abordagem do Problema e Horizonte de Tempo

Em relação à forma de abordagem adotada para a pesquisa, essa é predominantemente qualitativa, mas também com abordagem quantitativa. Pesquisas com abordagem qualitativa baseiam-se na interpretação dos fenômenos e atribuição de significados, servindo os pesquisadores como o instrumento principal e o ambiente natural como a fonte direta para a coleta dos dados (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019). Apresentada maiores características da pesquisa qualitativa e quantitativa no quadro 4.

Quadro 4 – Pesquisa Qualitativa x Pesquisa Quantitativa

	Pesquisa qualitativa	Pesquisa quantitativa
Objetivo:	Obter uma compreensão qualitativa das razões e motivações subjacentes.	Quantificar os dados e generalizar os resultados da amostra para a população de interesse.
Amostra:	Pequeno número de casos não representativos.	Grande número de casos representativos.
Análise de dados:	Não estatística.	Estatística.
Resultados	Desenvolvimento de uma compreensão inicial.	Recomendação de uma linha de ação final.

Fonte: Bernardes; Muniz Junior; Nakano (2019).

Para Cauchicki (2012), a abordagem combinada qualitativa/quantitativa é a alternativa para a complementaridade das concepções metodológica. Essa

combinação possibilita um melhor entendimento do problema da pesquisa, além de proporcionar vantagens que compensam os pontos fracos de ambas as abordagens, e com isso, tornar a pesquisa mais confiável (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019).

O trabalho tem abordagem indutiva, que fundamenta-se em premissas e inferência de uma ideia, a partir de suas observações interpretação de fenômenos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015), de modo a obter conhecimento das relações entre contexto e ação, caracterizado nas pesquisas de natureza qualitativa.

A estratégia adotada para a pesquisa é um estudo de caso único, a definição de único caso se torna válida e decisiva para testar a teoria, quando é raro ou extremo, quando é representativo ou típico, ou seja, se assemelha a muitos outros casos; quando é revelador, ou seja, quando o fenômeno é inacessível; e longitudinal, em que se estuda o caso único em momentos distintos no tempo (YIN, 2015).

Os meios de coleta de dados são variados, incluindo entrevistas, análise documental e observação. Permite uma exploração mais detalhada e profunda do que as outras estratégias, gerando conhecimento mais rico sobre um único caso (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019; SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019). De acordo com Bernardes; Muniz Junior; Nakano (2019), o estudo de caso é uma análise aprofundada, geralmente utilizando mais de um meio de coleta de dados, havendo interação entre o pesquisador e o objeto de pesquisa.

O horizonte temporal é longitudinal, pois leva em consideração dados de anos anteriores, como histórico do município, quantidade coletada de RSU, durante determinado período, bem como na análise de investimento levou-se em consideração o tempo de retorno do valor do capital investido na usina de RSU.

3.1.3 Quanto aos Objetivos

Quanto aos objetivos, a presente pesquisa é classificada como exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória ocorre durante as fases iniciais da pesquisa em um fenômeno, quando o objetivo é obter uma visão preliminar sobre um tópico e

fornece a base para uma pesquisa mais aprofundada. Geralmente não há modelo e os conceitos de interesse precisam ser mais bem compreendidos e mensurados. Nos estágios preliminares, pesquisas exploratórias podem ajudar a determinar os conceitos a serem medidos em relação ao fenômeno de interesse, a melhor forma de mensurá-los é descobrir novas facetas do fenômeno em estudo. Posteriormente, pode ajudar a descobrir ou fornecer evidências preliminares de associação entre conceitos (YIN, 2015).

Desta forma esta pesquisa é classificada como exploratória-descritiva. Exploratória, pois pretende avaliar um fenômeno, com o objetivo de ampliar os conhecimentos acerca do mesmo, através de uma visão analítica capaz de empreender uma avaliação mais estreita com o passar do tempo (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019). Descritiva, uma vez que pretende retratar com detalhes um evento ou uma situação. A descrição pode ser considerada uma extensão, ou uma parte importante da exploração, o que justifica uma pesquisa adotar estes dois métodos (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019)(SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019).

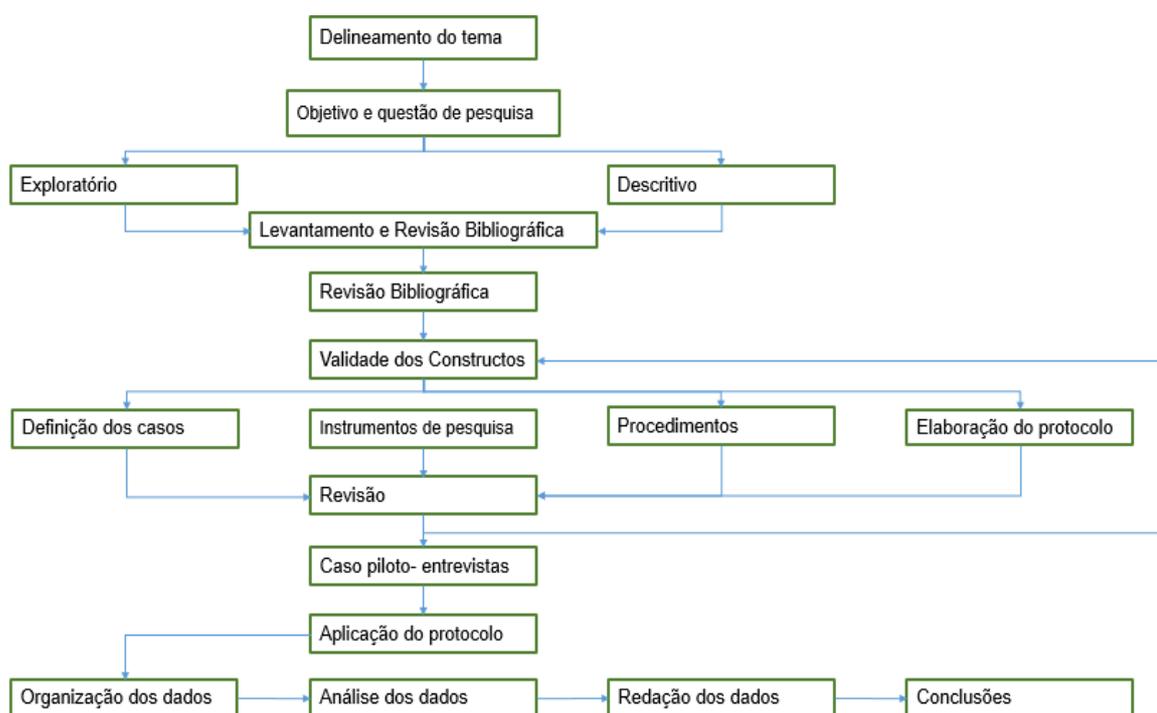
Ainda na pesquisa descritiva é utilizada quando o investigador busca descrever características de um grupo, população ou fenômeno, ou também estimar a proporção dos elementos de determinada população que apresente características alvo do interesse do pesquisador. Tem por objetivo compreender as relações entre os constructos da pesquisa e descrever o fenômeno estudado (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019; FREITAS; JABBOUR, 2011). Para Bernardes; Muniz Júnior; Nakano (2019), a pesquisa descritiva estuda, analisa, registra e interpreta os fatos do mundo físico sem a interferência do pesquisador.

3.1.4 Quanto aos Procedimentos Técnicos Abordados

O procedimento técnico abordado no estudo de caso, é um método de pesquisa de um fenômeno social realizado através da análise de um contexto específico da realidade, caracterizado pela análise em profundidade de um objeto ou grupo de objetos, indivíduos, família, grupo ou comunidade que seja representativo do seu universo para examinar aspectos diversos (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR;

NAKANO, 2019). O estudo de caso consiste em um estudo profundo e exaustivo do fenômeno, portanto, suficientes para permitirem seu amplo e detalhado conhecimento, e geralmente, se utilizam de mais de um meio para a coleta dos dados (YIN, 2015). Segundo Cauchicki (2012), o propósito principal do método de estudo de caso é reunir informações detalhadas e sistemáticas sobre um determinado fenômeno. Desta forma, na figura 17 são apresentados os principais caminhos seguidos nesta pesquisa.

Figura 17 – Desenho da Pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a realização das entrevistas, foi realizado um caso piloto, sendo elencada as questões e aplicada ao representante da indústria de usinas. Sendo que pela não validação, deveria ser ajustado as questões e realizar no caso piloto novamente até sua validação. Desta forma foi possível validar as questões da entrevista e utilizar no estudo de caso, visto que os objetivos da entrevista haviam sido alcançados.

O método de estudo de caso apresenta críticas, mas ainda é o método mais adequado para conhecer em profundidade um determinado fenômeno (FREITAS e JABBOUR, 2011). Mas cabe ressaltar que são necessário atender aos passos que garantem a validade e confiabilidade da pesquisa de estudo de caso (BERNARDES;

MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019). Ainda conforme YIN (2015); Freitas; Jabbour (2011), para garantir a qualidade e o sucesso da pesquisa científica, essa deve atender três critérios básicos: validade, generalização e confiabilidade.

Validade implica o que se pretende avaliar e se foi verificada pelo uso de fontes diversas. Pode ser interna, quando se refere a estudos explanatórios que buscam relações causais; e externa, quando as descobertas do estudo de caso são generalizáveis, ou seja, seus resultados são aplicáveis a outros casos (FREITAS; JABBOUR, 2011).

A generalização está intimamente relacionada com a validade, também conhecida validade externa, sendo que os resultados da pesquisa são utilizados em aplicações específicas, obtidas através da multiplicidade de casos e comparações entre eles com os achados na literatura (FREITAS; JABBOUR, 2011).

Segundo Freitas; Jabbour (2011), o método de estudo de caso requer a utilização de múltiplas técnicas de coleta de dados, o que se torna essencial para garantir a profundidade e a inserção no caso em seu contexto e, ainda conferir maior credibilidade aos achados.

O protocolo de pesquisa é um procedimento do estudo de caso, serve como um *check list* para o pesquisador, ou seja, é um roteiro que deve ser seguido com a finalidade de atender todos os aspectos da pesquisa. Sendo que, para uma boa condução da pesquisa, o protocolo deve contemplar os seguintes itens: questão principal da pesquisa; objetivo principal; temas baseados na sustentação teórica; unidade de análise; potenciais entrevistados e fontes de evidências; período de realização; local para a coleta das evidências; obtenção da validade interna; síntese do roteiro (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019; FREITAS; JABBOUR, 2011; YIN, 2015).

Assim apresenta-se no quadro 5 o protocolo de pesquisa desta dissertação. Sendo o guia para a condução desta pesquisa que se inicia pela questão de pesquisa e finaliza-se com a questão da validade interna da pesquisa e a generalização dos achados desta pesquisa.

Quadro 5 – Protocolo de Pesquisa

Questão principal da pesquisa	Que critérios podem suportar a tomada de decisão de tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU?
Objetivo principal	Apontar critérios que possam suportar a tomada de decisão sobre tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU.
Temas da sustentação teórica	Tecnologias WtE para RSU; Hierarquia dos Resíduos; Saúde pública; Normas e Legislações.
Definição da unidade de análise	Fará parte do estudo o projeto de construção da usina de RSU do município de Bento Gonçalves
Potenciais entrevistados	Serão entrevistados prefeito, secretários, especialista da área de energia e representante da indústria de usinas de RSU.
Múltiplas fontes de evidência	Documentação, entrevistas, observações diretas.
Período de realização	Ao longo de 2020.
Local da coleta de evidências;	Editais, meios eletrônicos, diretamente com os entrevistados
Validade interna	Realização de pré-teste, comparação dos critérios apontados pela literatura com os critérios estabelecidos pelo município.
Generalização	Comparação com os achados na literatura.

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a elaboração do protocolo de pesquisa a seguir são apresentados os instrumentos de coleta de dados e análise de dados que atendem este protocolo de pesquisa.

3.1.5 Quanto aos Instrumentos de Coleta de Dados e Análise

Dentre os instrumentos de coleta de dados, os métodos adotados para a condução da pesquisa foram a entrevista, análise documental e observacional e levantamento bibliográfico.

A entrevista é vista como um dos métodos mais importantes para a condução do estudo de caso (YIN, 2015), e é um procedimento para a coleta de informações realizado por iniciativa do entrevistador, com o objetivo de fornecer informações pertinentes sobre o objeto de pesquisa e, que pode ser realizada com um único entrevistado ou com um grupo de pessoas (FREITAS; JABBOUR, 2011). A entrevista é considerada um excelente instrumento de coleta de dados, pois permite a interação entre o pesquisador e o entrevistado, permitindo a obtenção de informações mais detalhadas (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019).

Quanto as entrevistas, as semiestruturadas ficam no meio-termo entre entrevistas estruturadas e não estruturadas. Nela o pesquisador utiliza algumas questões pré-formuladas, mas não as segue rigidamente nem se restringe a elas. Novas questões podem surgir durante a conversa e é vantajoso para o pesquisador tomar proveito dessas oportunidades. No entanto, ela confere alguma consistência entre entrevistas, dado que o pesquisador começa sempre com um conjunto similar de perguntas.

Em relação aos entrevistados foram realizadas cinco entrevistas. Dentre os cinco entrevistados apresenta-se o perfil destes, sendo: i- o prefeito do município de Bento Gonçalves/RS, ii- o secretário do desenvolvimento econômico desde mesmo município, iii- o especialista na área de energia, iv- o representante da indústria de usina de RSU e v- o prefeito do município de Candiota/RS.

Entrevistas semiestruturadas são bastante apropriadas para o desenvolvimento de teoria (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019). Nesta pesquisa foram utilizadas entrevistas com questões semiestruturadas. No quadro 6 é apresentado as questões semiestruturadas desta pesquisa para os entrevistados.

Quadro 6 – Lista das Questões Semiestruturadas.

Pilares	Critérios	Questões	Referências Bibliográficas
Tecnologias WtE	Recuperação energética	1- Como deve/ocorreu a avaliação do poder calorífico dos materiais de RSU neste local?	(ASSI et al., 2020; HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019)
	Impacto social	2- Como deve/ocorreu a avaliação do impacto social da população local e seus arredores pela instalação de uma usina WtE de RSU?	(FEYZI et al., 2019; KHAN; KABIR, 2020)
	Impacto do investimento inicial	3- Em relação ao tamanho do investimento da tecnologia WtE, como esta relação é considerada quanto ao tamanho do investimento inicial? 4- Como são financiados estes investimentos iniciais de projeto de usina de tecnologia WtE?	(ALELUIA; FERRÃO, 2017; HADIDI; OMER, 2017; SANTOS et al., 2019)
	Retorno econômico do investimento	5- Quais as principais fontes de retornos econômicos esperados da construção desta tecnologia WtE? 6- Quais os retornos esperados desta tecnologia WtE quanto ao aspecto social? 7- Quais os retornos esperados desta tecnologia WtE quanto ao aspecto ambiental?	(ALELUIA; FERRÃO, 2017; HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019; TAN et al., 2015)
	Composição dos RSU	8- Qual a composição dos RSU, exemplo quais os principais tipos de materiais que compõem uma planta de usina de RSU, qual a matéria prima da planta? 9- Deve ser levado em consideração a composição dos RSU para adesão da melhor tecnologia WtE, por quê?	(ALELUIA; FERRÃO, 2017; ZELLER et al., 2019)
	Impacto ambiental	10- Quanto aos benefícios gerados ao meio ambiente, quais citaria? 11- Quanto ao benefício ambiental sobre a questão econômica, como analisa os benefícios do mercado do crédito de carbono?	(HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019; KUNG; MU, 2019; TAGLIAFERRI et al., 2016; TAN et al., 2015)
	Projeção da quantidade de RSU	12- Considerando o desenvolvimento da sociedade e seu consumo, como se leva em consideração para o processo de decisão neste critério perante o longo prazo, no quesito geração?	(ZELLER et al., 2019)
	Projeção da composição dos RSU	13- Quanto a possibilidade de mudanças da sociedade e por consequência a composição dos RSU, como se analisa a questão da composição dos RSU no futuro? Visão de mudança neste aspecto?	(SILVA et al., 2020)

	Escolha do local da instalação da planta	14- Quais os critérios a serem utilizados para escolha do local da planta da usina? Principais interessados deste processo decisório.	(FEYZI et al., 2019)
Reciclagem	Escolha dos materiais a serem reciclados	15- Quais os materiais que serão reciclados, ou que podem ser reciclados? 16- Como deve ser realizado o processo de reciclagem dos RSU? 17- É possível analisar o impacto da reciclagem nos catadores que sobrevivem atualmente disso, ou não vê impacto? 18- Como unir o processo do uso de tecnologias WtE e a reciclagem?	(AZEVEDO; SCAVARDA; CAIADO, 2019)
	Nível de informação da comunidade local	19- Quanto ao desenvolvimento do conhecimento da comunidade em relação as questões da reciclagem, como pode ser feito isso? 20- Quanto a avaliações das informações sobre RSU e os problemas a saúde pública e o meio ambiente nesta comunidade?	(AZEVEDO; SCAVARDA; CAIADO, 2019)
Saúde Pública	Impacto a saúde pública	21- Hoje o município consegue apontar uma estimativa dos valores monetários gastos em saúde pública advindo dos problemas causados pelos RSU? 22- Quais os impactos a saúde dos indivíduos exposta hoje ao acúmulo de RSU, ou pelo manuseio inadequado?	(ALELUIA; FERRÃO, 2017; CHAND MALAV et al., 2020)
Normas e Legislações	Normas e Legislações dos RSU	23- Quanto ao levantamento das normas e legislações que norteiam a tomada de decisão do quesito RSU, como você analisa esta questão? 24- Quais os principais desafios enfrentados no aspecto da legislação para adesão do adequado gerenciamento dos RSU?	CHAND MALAV et al., 2020; MARGALLO et al., 2019)
	Normas e Legislações energéticas	25- Como encontra-se os municípios amparados pela legislação quanto a recuperação de energia geradas por uma usina de RSU? 26- Como está a geração e aproveitamento da energia gerada pela usina de RSU uma visão de empresa privada? 27- Quais os desafios e oportunidades encontrados ao longo do processo decisório quanto a questão da legislação existente em relação a recuperação de energia dos RSU? 28- Quais outros critérios também utilizados ou que devem fazer parte do processo de decisão de adesão do gerenciamento dos RSU?	(CHAND MALAV et al., 2020; MARGALLO et al., 2019)

Fonte: Elaborado pela autora.

Cabe destacar que foram entrevistados o prefeito e o secretário de desenvolvimento econômico do município de Bento Gonçalves, pela sua relevância quanto a unidade de análise, visto que, os mesmos, são peça-chave do projeto de construção desta usina de RSU. Sendo o projeto se tratar de uma Parceria Público-Privada foi realizada a entrevista de um representante da indústria da usina de RSU, para assim entender sua perspectiva sobre os critérios do ponto de vista da indústria.

O entrevistado chamado nesta dissertação de especialista da área de energia, possui graduação em Engenharia Elétrica e tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em medição, controle, proteção de sistemas elétricos de potência. Atualmente desenvolve atividades na área de negócios, na prospecção e análise técnica-econômica de novos empreendimentos de geração de energia elétrica.

Também se levantou a necessidade de entrevistar o prefeito do município de Candiota/RS visto que neste município encontra-se um dos aterros sanitários do Estado do Rio Grande do Sul, hoje representando dois aterros sanitários em sua totalidade, para assim entender sua visão sobre os critérios selecionados desta pesquisa e porque a própria tecnologia de aterros sanitários foi considerada nesta dissertação como uma opção de tecnologia WtE. Importante destacar que no caso deste aterro sanitário havia uma mina de carvão que foi utilizada para destinação dos RSU dos municípios contratantes desta destinação.

Quanto a realização de cada entrevista, no primeiro momento era contextualizado as premissas da entrevista para o entrevistado, bem como o tema da pesquisa. Deixando assim os entrevistados cientes quanto aos critérios selecionados. Bem como em se tratando de uma entrevista com perguntas semiestruturadas no final da entrevista foi questionado aos entrevistados sobre critérios que poderiam ser levados em consideração e que não haviam sido atendidos pelos critérios selecionados desta pesquisa, critérios que eles consideram relevantes e que fazem parte do processo de decisão deste tipo de investimento e do gerenciamento dos RSU.

Quanto aos instrumentos da abordagem quantitativa, foi utilizado métodos da contabilidade para avaliação financeira-econômica da decisão de escolha de

investimento em tecnologia WtE, sendo utilizados o VPL, TIR, Payback e elaborado o fluxo de caixa do projeto.

Para a elaboração desta análise econômica foram utilizados os dados da modelagem econômico-financeira, que consta as premissas estabelecidas para os cálculos. Sendo este documento público emitido pelo município de Bento Gonçalves. Neste documento, consta as premissas das receitas, premissas do tamanho do investimento do projeto, premissas dos custos e despesas, premissas das taxas de financiamento e o tempo de financiamento.

Quanto a análise de documentos em estudos qualitativos, o pesquisador deve coletar dados sobre o histórico e contexto, documentos existentes, ou ainda materiais escritos, são úteis na compreensão do cenário ou do caso estudado, e fornecem informações que não podem ser observadas ou descobertas de outras maneiras (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019).

Os documentos públicos incluem aqueles que são produzidos para consumo do público em geral, como relatórios anuais, comunicados à imprensa e artigos publicados em jornais, para obtenção dos documentos necessários para a condução dessa dissertação, serão consultados os documentos públicos, como os editais emitidos pelo município, bem como a legislação brasileira que trata dos RSU e a geração de energia renovável e demais relatórios e publicações de caráter público. Conforme apontado por Bernardes, Muniz Junior, Nakano (2019), estes documentos devem atender aos critérios de autenticidade, credibilidade, representatividade e significado.

A validação e o rigor são aspectos críticos de um estudo que visa aumentar o nosso conhecimento e contribuir com a profissão e prática. Por isso, durante o planejamento da pesquisa, e muitas vezes durante a análise dos dados no caso da pesquisa qualitativa, o pesquisador precisa identificar e explicar as ameaças à validade e as estratégias que serão usadas para descobrir se tais ameaças são plausíveis para situação de pesquisa (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019; GODOY, 2005).

Nesse processo, uma importante distinção é que a pesquisa quantitativa lida com ameaças à validade de modo bastante diferente da pesquisa qualitativa. Em estudos qualitativos, o pesquisador frequentemente não tem o benefício de antecipar

comparações, utilizar estratégias de amostragem ou manipular estatísticas que possam controlar ameaças plausíveis. Assim sendo, o pesquisador deve tentar resolver certas ameaças a validade após a pesquisa ter começado. Há muitos tipos de ameaças a validade, mas existem dois tipos gerais que são normalmente citados em relação a estudos qualitativos. Eles são o “viés do pesquisador” e o efeito do pesquisador sobre os indivíduos estudados, o qual é frequentemente chamado de “reatividade”.

Quadro 7 – Recomendações Seguidas na Realização da Pesquisa para os Critérios Confiabilidade e Validade

Critério		Descrição	Critérios de orientação
Confiabilidade	Externa	Possibilidade do pesquisador descobrir os mesmos fenômenos ou elaborar constructos idêntico a partir de um cenário social análogo ou similar	*O papel desempenhado pela pesquisa no contexto da pesquisa. *Quanto aos critérios de seleção dos entrevistados serão escolhidos pela sua influência e poder de decisão de escolhas de projeto de investimento no município, bem como nível de conhecimento em relação ao tema. *Quanto a descrição dos detalhes do estudo de caso será mais bem descrita na seção seguinte desta dissertação
	Interna	Garantia de que haja coincidência na conduta dos pesquisadores que atuam no mesmo estudo e n exame da mesma questão em diferentes cenários.	*Descrever em detalhe o plano de coleta de dados para que outros pesquisadores possam seguir o mesmo procedimento. *Transcrever literalmente as entrevistas. *Corroborar os resultados por meio de outros pesquisadores.
Validade	Externa	Comparabilidade dos resultados e do grau com que os marcos teóricos, definições e técnicas de investigação são compreensíveis para outros pesquisadores	*Definir e descrever detalhadamente os componentes do estudo, de forma que os pesquisadores possam comparar seus resultados com estudos semelhantes (unidade de análise, conceitos gerados, características da população e cenários).
	Interna	Descrição e interpretação consistente dos dados coletados	*Criar a permanência e o engajamento do pesquisador no campo e favorecer a conveniência do pesquisador com os participantes, mas cuidadosamente preservando a objetividade. *Usar diferentes estratégias de coleta de dados para facilitar a triangulação *Solicitar feedback aos entrevistados sobre os dados e resultados, preservando a confiabilidade das respostas *Detectar categorias conceituais *Realizar sessões para explorar e cotejar os resultados com outros pesquisadores

Fonte: Adaptado de Godoy (2005); Bernardes; Muniz Junior; Nakano (2019).

Entre as estratégias que o pesquisador pode usar para lidar com ameaças a validade estão o envolvimento prolongado, descrição abundante e densa, triangulação, validação de respondente, evidências discrepantes e casos negativos, e revisão por pares (BERNARDES; MUNIZ JUNIOR; NAKANO, 2019). Assim foi apresentada as recomendações para os critérios de validade e confiabilidade no quadro 7.

Uma das últimas etapas do estudo de caso é a análise dos achados, dos dados, na qual consiste em examinar, categorizar, tabular e identificar relações. Para o método estudo de caso, conforme Freitas;Jabbour (2011), não há um padrão ou formato específico a seguir, no entanto os autores destacam quatro passos importantes para a condução da análise dos dados, conforme a figura 18.

Figura 18 – Passos do Processo de Análise dos Dados Coletados no Estudo de Caso



Fonte: Adaptado de Freitas; Jabbour (2011).

Desta forma, a coleta de dados do projeto de investimento da planta da usina de RSU, foram transcritos os dados, detalhada a descrição das evidências coletadas, triangulado os dados coletados aos principais conceitos identificados na revisão da bibliográfica.

3.2 Objeto da Pesquisa

O objetivo desta seção é o desenvolvimento do método de pesquisa, reservado a apresentação do objeto da pesquisa, sendo o gerenciamento dos RSU, apresentando a sua unidade de análise do estudo de caso.

Primeiramente é apresentada uma visão geral do projeto de construção da usina de RSU do município de Bento Gonçalves/RS. Em seguida são apresentados os resultados encontrados através das entrevistas realizadas. Com o objetivo de complementar a coleta de dados foram analisados relatórios municipais, documentos e editais que tratam da parceria público privada do projeto de construção da usina de RSU do município.

Para atender o terceiro objetivo desta dissertação, os dados quantitativos serão apresentados os cálculos sobre a análise do investimento, bem como, a realização do fluxo de caixa do projeto, o VPL do projeto, a TIR e o payback deste projeto.

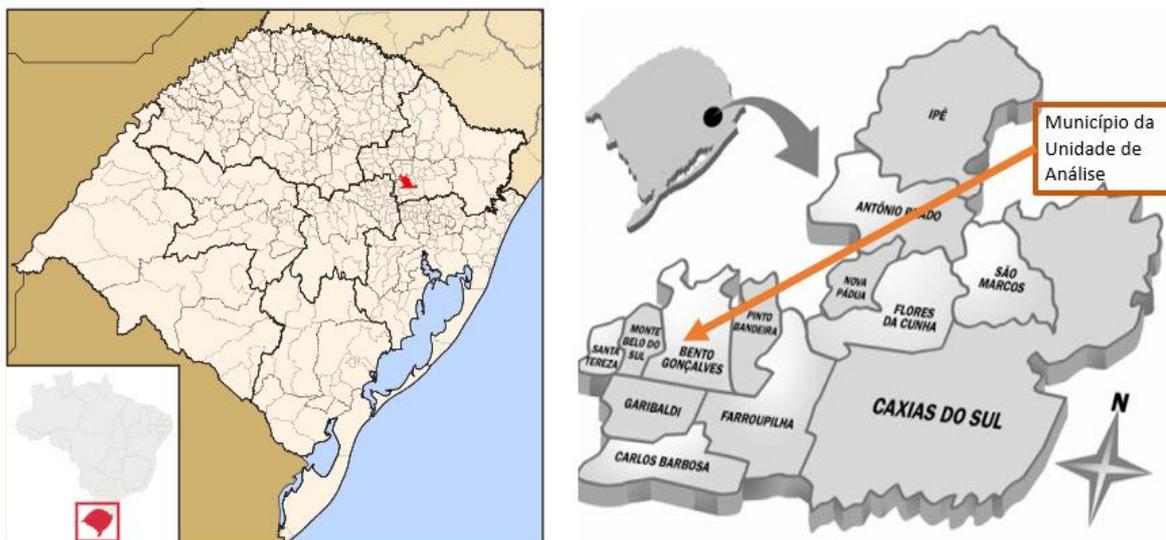
3.2.1 Unidade de Análise

Primeiramente se apresenta a unidade de análise desta dissertação. O município de Bento Gonçalves está localizado a uma longitude de 51°31'08" oeste e latitude 29°10'15" sul na região Nordeste Rio-Grandense, microrregião de Caxias do Sul, Região Metropolitana da Serra Gaúcha, distanciado da capital Porto Alegre 124 quilômetros, com altitude média de 691 metros acima do nível do mar. Possui como municípios limitantes: ao norte com o município de Veranópolis; a leste com o município de Pinto Bandeira; a sudeste com o município de Farroupilha; ao sul com o município de município de Santa Tereza; ao leste com o município de Monte Belo do Sul; e a noroeste como o município de Cotiporã.

Quanto ao clima, é classificado como subtropical úmido com invernos frios e verões quentes. A temperatura média anual é de 17,3°C com mínima média de 12,9°C e máxima média de 23°C, sendo fevereiro o mês mais quente e junho o mais frio. A umidade relativa do ar apresenta médias superiores aos 70%, e o regime de chuvas é bastante regular e abundante ao longo do ano, com índice pluviométrico anual médio de 1.700 mm, sendo agosto o mês mais chuvoso e abril o menos chuvoso.

Para melhor apresentar a unidade de análise geograficamente é trazido a figura 19.

Figura 19 – Mapa da Unidade de Análise



Fonte: Google imagens (2020).

Já em relação as temperaturas registradas no município, a menor temperatura foi de 4,5°C negativos registrada em 14 de julho de 2000 e a maior temperatura foi de 36°C registrada em 20 de dezembro de 1971. O maior volume acumulado de chuvas foi de 132 mm em 24 horas, registrado em 12 de setembro de 1988, sendo o mês mais chuvoso registrado em setembro de 2008 com índice pluviométrico de 495,1 mm, estes dados extraídos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Sua área territorial apresenta cerca de 274 km², com população estimada de 121.803 habitantes, apresentando uma densidade populacional de aproximados 445 habitantes/km², conforme dados do IBGE, (2020).

Neste mesmo ano apresentou-se a maior população já registrada, composta pelo maior percentual compreendido entre os 15 e 59 anos, correspondendo a 69,58% dos moradores, seguida pela idade de até 14 anos com 17,84% e finalmente pela faixa superior aos 60 anos com 12,58%, pode-se assim, identificar uma população bastante ativa economicamente. Esta população está concentrada basicamente na área urbana, correspondendo a 92,35% da população muncípe total.

Quanto aos dados econômicos, o PIB do município de Bento Gonçalves no ano de 2018 atingiu o montante aproximado de R\$ 5,96 bilhões de reais,

apresentando um PIB per capita no ano equivalente a R\$ 50.090,80, estes dados extraídos do Departamento de Economia e Estatística (DEE).

O consumo de energia elétrica pelas instalações públicas municipais, segundo informação da prefeitura municipal de Bento Gonçalves, atingiu no mês de dezembro de 2017 o montante de R\$ 415.119,86. Deste valor 38,19%, é destinado ao poder público, 2,51% aos serviços públicos, representado basicamente por energização de bombas em poços artesianos e o restante 59,30% à iluminação pública. O consumo da iluminação pública deste período corresponde a 672.298 KWh.

Em relação aos aspectos mais detalhados sobre os RSU do município, dados importantes para o gerenciamento dos RSU, estes serão apresentados na seção seguinte desta dissertação.

3.2.2 Aspectos dos RSU

Nesta seção são apresentados os principais aspectos dos RSU do município. Primeiramente quanto a geração de RSU do município, apresenta-se média diária de 120 toneladas de RSU. Sendo que desta quantidade, 20 toneladas se referem a materiais recicláveis que são coletados e destinados a associações de reciclagens existentes no município, correspondendo atualmente por 8 associações de reciclagem. Quanto as 100 toneladas coletadas, são consideradas resíduos convencionais que após coleta por empresa terceirizada, são posteriormente encaminhados à área do aterro sanitário da Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR), localizada no município de Minas do Leão/RS. Da qual, segundo estimativa da prefeitura municipal de Bento Gonçalves, destes resíduos recicláveis enviados às associações e após a realização do processo de triagem, aproximadamente 24,37% dos materiais se caracterizam como rejeitos e são novamente destinados ao descarte.

Diante da quantidade de RSU recebido diariamente e do crescimento esperado em relação a quantidade atual, estima-se a vida útil do aterro sanitário hoje utilizado de cerca de 20 a 25 anos. Desta forma, com esta estimativa, significa

que a partir do ano de 2038 o município de Bento Gonçalves deverá contar com outra solução para o descarte dos RSU do município.

Para entender a evolução da geração de RSU do município é apresentada a tabela 3 que mostra o histórico de coleta dos resíduos orgânicos, bem como dos materiais potencialmente recicláveis. Relativamente aos materiais recicláveis, os estudos realizados apontam que do total de coleta seletiva, após triagem realizada pelas associações recicladoras, cerca de aproximadamente 75% compõem a massa de rejeitos que é descartada junto com o resíduo não reaproveitável.

A coleta seletiva apresenta seu histórico do ano de 2009 em diante, sendo possível perceber a grande evolução na coleta neste período, visto que no ano de 2009 a coleta anual representou um total de quase 1,5 milhões de quilos, já no último ano do histórico, o ano de 2017 a coleta passou de 7,5 milhões de quilos, o que representa um aumento de mais de 400%.

Quanto a questão da coleta convencional a tabela 3 apresenta o histórico de meados de 2002 até o ano de 2017, da qual também é possível ver o crescimento da coleta que teve no município neste período, pois se comparar o ano de 2003 ao ano de 2017 representa um aumento de mais de 74%, este aumento está ligado a vários fatores já descritos nesta dissertação, como crescimento populacional, crescimento da população urbana, sociedade voltada ao consumo e PIB.

Tabela 2 – Histórico dos RSU Coletados pelo Município.

Histórico quantitativo da coleta de resíduos convencionais															
Ano/mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total	Média Mensal	Média Diária
2002							1.525,75	1.557,09	1.432,07	1.576,18	1.494,10	1.622,35	9.207,54	767,30	29,51
2003	1.535,83	1.397,62	1.514,72	1.404,67	1.509,15	1.472,78	1.591,02	1.383,54	1.390,26	1.511,54	1.456,57	1.604,55	17.772,25	1.481,02	56,96
2004	1.648,76	1.415,80	1.475,77	1.409,43	1.452,88	1.555,75	1.562,39	1.526,41	1.511,54	1.518,91	1.557,29	1.638,44	18.273,37	1.522,78	58,57
2005	1.538,45	1.337,15	1.528,71	1.486,15	1.547,69	1.562,92	1.572,03	1.653,56	1.552,19	1.606,84	1.624,11	1.783,07	18.792,87	1.566,07	60,23
2006	1.704,90	1.488,70	1.758,73	1.511,96	1.643,92	1.701,23	1.741,96	1.740,45	1.604,44	1.703,01	1.678,84	1.876,87	20.155,01	1.679,58	64,60
2007	1.925,79	1.692,79	1.900,34	1.670,92	1.753,34	1.730,88	2.303,60	1.800,64	1.679,33	1.916,94	1.810,47	1.862,93	22.047,97	1.837,33	70,67
2008	1.928,73	1.738,38	1.826,55	1.769,80	1.888,78	1.775,02	2.040,29	1.909,46	1.868,90	2.039,26	1.825,76	2.085,58	22.696,51	1.891,38	72,75
2009	1.565,82	2.426,92	2.354,78	2.602,56	2.663,03	2.315,19	2.029,99	1.193,09	1.970,48	0,00	1.550,75	1.536,52	22.209,13	1.850,76	71,18
2010	2.117,44	2.054,19	1.041,02	2.062,48	1.820,65	2.095,38	2.255,00	2.147,56	2.340,39	2.023,32	2.078,72	2.220,97	24.257,12	2.021,43	77,75
2011	0,00	2.508,85	2.395,40	2.107,78	2.209,52	2.434,79	2.402,34	2.626,92	2.254,16	2.283,38	2.248,76	2.379,66	25.851,56	2.154,30	82,86
2012	2.545,06	2.231,90	2.634,48	2.272,94	2.416,30	2.323,94	2.255,56	2.282,74	2.165,58	2.352,72	2.251,58	2.436,79	28.169,59	2.347,47	90,29
2013	2.606,42	2.259,36	2.393,04	2.527,38	2.677,80	2.418,06	3.741,78	2.487,98	2.367,00	2.604,44	2.632,24	2.695,36	31.410,86	2.617,57	100,68
2014	2.542,72	2.490,04	2.821,64	2.581,75	2.253,54	2.535,23	2.834,00	3.421,74	2.883,20	2.731,04	2.575,49	3.031,65	32.702,04	2.725,17	104,81
2015	2.939,26	2.504,70	2.687,94	2.596,76	2.700,23	2.784,38	2.855,98	2.698,76	2.592,36	2.764,93	2.637,92	3.040,18	32.803,40	2.733,62	105,14
2016	2.712,48	2.700,98	2.958,04	2.866,73	2.589,78	2.322,04	2.517,21	2.819,80	2.539,28	2.535,48	2.676,89	2.689,46	31.928,17	2.660,68	102,33
2017	2.602,22	2.508,39	2.726,54	2.430,78	2.770,91	2.671,18	2.690,00	2.707,88	2.439,07	2.372,39	2.640,10	2.444,37	31.003,83	2.583,65	99,37
Unidade em toneladas															
Histórico quantitativo da coleta de materiais potencialmente recicláveis															
Ano/mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total	Média mensal	Média Diária
2009	100.973,00	74.836,00	103.470,00	121.380,00	124.589,00	114.610,00	118.696,00	111.039,00	109.771,00	134.832,00	149.242,00	163.428,00	1.426.866,00	118.905,50	4.573,29
2010	171.597,00	169.925,00	156.604,00	124.386,00	102.226,00	126.116,00	161.447,00	111.293,00	139.816,00	141.105,00	123.547,00	163.980,00	1.692.042,00	141.003,50	5.423,21
2011	177.912,00	192.636,00	212.403,00	239.000,00	248.389,00	173.200,00	241.508,00	242.633,00	207.079,00	251.506,00	223.015,00	0,00	2.409.281,00	200.773,42	7.722,05
2012	295.656,00	255.674,00	296.019,00	277.956,00	255.005,00	246.147,00	260.316,00	242.987,00	251.487,00	295.169,00	260.724,00	222.051,00	3.159.191,00	263.265,92	10.125,61
2013	243.256,00	261.008,00	261.083,00	279.518,00	240.567,00	275.777,00	311.748,00	277.788,00	288.830,00	300.543,00	330.804,00	308.738,00	3.379.660,00	281.638,33	10.832,24
2014	413.738,00	381.138,00	376.832,00	404.328,00	390.191,00	571.963,00	619.087,00	603.455,00	668.519,00	725.009,00	686.737,00	686.737,00	6.527.734,00	543.977,83	20.922,22
2015	589.560,00	629.044,00	571.727,00	531.531,00	449.714,00	460.323,00	488.907,00	485.755,00	479.459,00	498.215,00	568.443,00	756.805,00	6.509.483,00	542.456,92	20.863,73
2016	839.503,00	767.759,00	794.191,00	766.810,00	589.520,00	566.142,00	514.993,00	552.177,00	576.847,00	614.128,00	646.683,00	595.887,00	7.824.640,00	652.053,33	25.078,97
2017	596.595,00	571.567,00	561.753,00	584.288,00	554.600,00	568.175,00	592.410,00	694.016,00	673.260,00	649.685,00	739.025,00	736.796,00	7.522.170,00	626.847,50	24.109,52
Unidade em KG															

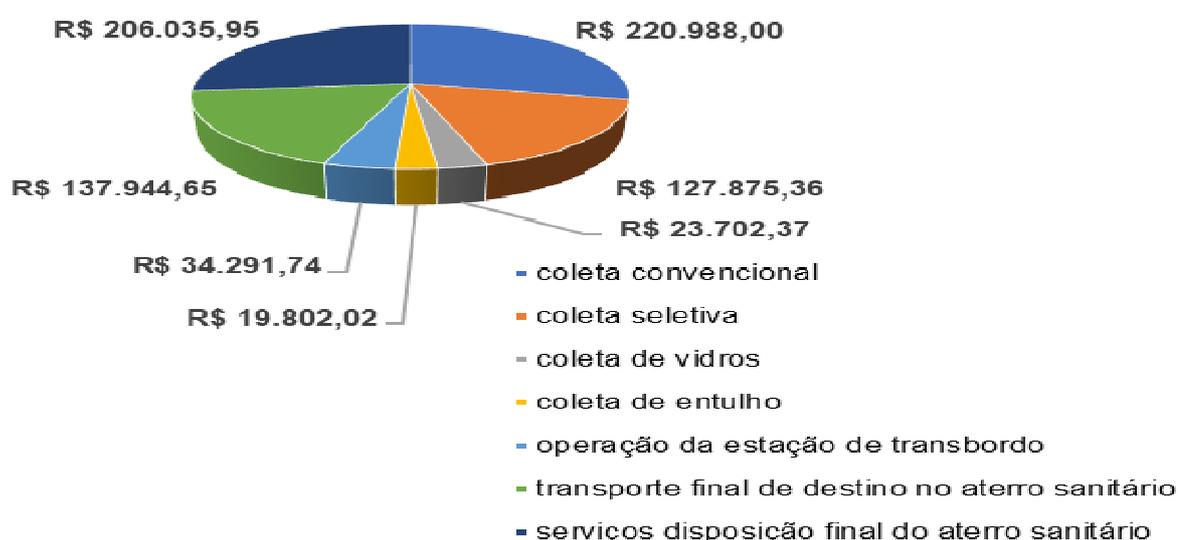
Fonte: Elaborado pela autora.

Desta forma, considerando este fator, a média de material reciclado atinge 6,07 toneladas e de resíduo não reaproveitável representa um total de 117,41 toneladas diárias. Ponto que coloca o município acima da média nacional representada por 4,92%.

Ainda sobre os dados da tabela 3, é visto que no ano de 2017 a média de coleta de resíduos orgânicos no ano foi de 2.583,65 toneladas mensais, correspondendo a média diária de 99,37 toneladas. Considerando que foram utilizados para o cálculo da média 26 dias mensais de coleta. Já quanto aos materiais recicláveis a média mensal ficou neste mesmo ano em 626,85 toneladas mensais, correspondendo a 24,11 toneladas por dia.

Quanto aos valores envolvidos nos diversos processos de coleta e disposição final dos RSU, sendo utilizado como base o mês de dezembro de 2017, representado pelo total de gastos no valor de R\$ 770.640,09. Este valor é composto pelos seguintes gastos: i) coleta convencional, ii) coleta seletiva, iii) coleta de vidros, iv) coleta especial (entulhos), v) operação da estação de transbordo, vi) transporte final de resíduos e o destino final em Minas do Rei Leão e vii) serviços de disposição final dos RSU. Melhor apresentado a relação de gastos na figura 20.

Figura 20 – Composição dos Gastos Mensais com RSU



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante da composição apresentada na figura 20, pode-se dizer que o tratamento dos RSU representa anualmente para o município de Bento Gonçalves um total de gastos de aproximadamente R\$ 10 milhões. Além destes custos, a prefeitura contribui com as associações recicladoras do município, cujo valor

aproximado é de R\$ 400 mil anuais, sendo este valor destinado para manutenção e funcionamento das recicladores, como por exemplo o caso do aluguel dos galpões.

Ainda sobre os gastos envolvidos na coleta e destinação dos RSU, cabe ressaltar que a vida útil do aterro sanitário atualmente utilizado pelo município tem prazo estimado, o que coloca a questão que com o fim da vida útil deste aterro, o município vai precisar encontrar outra destinação, da qual poderá demandar o envio do RSU a áreas mais distantes, onerando ainda mais os cofres públicos, reduzindo a capacidade de investimento em outros setores também prioritários, como o caso da saúde, educação, saúde pública e mobilidade urbana. Isso será apresentado nos resultados da pesquisa, no capítulo seguinte.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Neste capítulo são descritos os achados da pesquisa. Primeiramente são apresentados os achados qualitativos relativos aos critérios levantados para as entrevistas, bem como demais critérios sugeridos pelos especialistas, da qual consideram relevantes para a tomada de decisão. Posteriormente são apresentados os achados quanto a questão quantitativa desta dissertação, bem como os principais indicadores utilizados na análise de investimentos.

4.1 Critérios de Decisão

Aqui são apresentados os resultados das entrevistas realizadas quanto aos critérios selecionados para esta dissertação. Bem como a sugestão de novos critérios que os entrevistados consideram relevantes e que não foram selecionados neste primeiro momento da dissertação.

4.1.1 Critério de Recuperação Energética

Todos os entrevistados apontam como ponto determinante entender a recuperação de energia dos RSU, da qual serão a matéria prima da usina, também é entendido por todos que cada material possui quantidade de recuperação energética distinta. No caso de Bento Gonçalves foram realizados mapeamentos da composição do resíduo convencional coletado pelo município e o seu poder calorífico, destacando-se a criação uma comissão para avaliação deste projeto de construção da usina de RSU.

Para o especialista na área de energia destaca este critério como um grande desafio na construção da usina de RSU para recuperação energética, pois aponta a questão como exemplo, da mudança da umidade, sendo ainda o mesmo resíduo e no mesmo local, poderá um dia apresentar uma composição de umidade e já no outro dia apresentar outro tipo de composição. Este tipo de mudança impacta no dimensionamento necessário para o equipamento a ser usado na usina de RSU, incorrendo desta forma, demanda de maior investimento econômico.

4.1.2 Critério do Impacto Social

Neste critério foi apontado a geração de emprego e renda a comunidade local como o grande benefício social da construção de uma usina de RSU. Também o especialista da área de energia destaca a prolongação da vida útil dos aterros sanitários.

Ressalta-se como ponto negativo a escolha do local, sobre o aspecto social, visto que conforme palavras do entrevistado da área de energia, “ninguém quer ter uma planta de RSU do lado da sua casa”. Porém reforça a questão do próprio desconhecimento da população que acaba levando a grande resistência pela comunidade local.

Diante deste aspecto o projeto do município aderiu a uma tecnologia que minimiza os impactos negativos, por exemplo, quanto aos aspectos estéticos e visuais, além de minimizar os odores decorrentes das atividades de manuseio dos RSU, este modelo industrial a ser adotado com confinamento dos RSU em espaços fechados e cobertos não deverá provocar agressão estética visual ou de emissão de odores para as áreas situadas no entorno dela.

Também destacado a importância do levantamento dos benefícios gerados por este tipo de projeto. Levando em consideração a questão dos catadores de material reciclado que sobrevivem da renda deste trabalho, os entrevistados reforçam que, os projetos de usinas de RSU devem absorver grande parte desta mão de obra na própria operação da usina de RSU. Segundo os entrevistados do município de Bento Gonçalves, o projeto prevê que serão utilizados mão de obra local, no caso desta planta serão utilizadas cerca de 70 pessoas na usina de RSU, assim absorvida parte destes catadores que hoje vivem desta fonte de renda. Porém cabe salientar que sendo pessoas de baixa escolaridade, torna ainda mais desafiador a absorção deste pessoal, visto que muitas vezes necessita de mudança de cultura do local em que estão inseridos.

Na entrevista do representante da indústria salientou a questão do desenvolvimento sustentável e dos objetivos da própria ONU, reforçando os cinco Ps do desenvolvimento sustentável, apresentados na figura 21.

Figura 21 – Cinco Ps do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU, 2015.

Os cinco Ps trazem as pessoas, o planeta, as parcerias, a paz e a prosperidade representados num grande círculo para o desenvolvimento sustentável, assim o entrevistado coloca a necessidade dos projetos de construção de usina de RSU levar em consideração o desenvolvimento sustentável quando analisa o impacto deste critério. Desta forma reforça a necessidade de políticas públicas que consigam atender este impacto social, gerados pelo gerenciamento dos RSU.

4.1.3 Critério do Impacto do Investimento Inicial

Sobre este critério apontam logo de início que este tipo de investimento normalmente apresenta payback muito longo, dificilmente com retorno de investimento com período menor de 10 anos. Quanto à possibilidade de linhas de financiamentos especiais, atualmente o que se encontra é a linha do BNDS (Banco Nacional do Desenvolvimento) do projeto chamado Fundo Clima, que abrange na linha de energia renovável o biogás, conforme dados extraídos diretamente do BNDS.

Quanto aos investimentos iniciais da construção de uma usina de RSU, são investimentos normalmente de altos valores de capital inicial. No caso do projeto da usina de RSU do município de Bento Gonçalves, após estudo realizado pela comissão do projeto, estima-se um total de investimento inicial que supera a casa dos 12 milhões de reais.

Cabe aqui ressaltar que a unidade do projeto desta pesquisa se trata um projeto de Parceria Público-Privada, desta forma pode-se dizer que o investimento inicial poderia ser muito maior, visto que neste caso em específico o município fornecerá a coleta dos resíduos e entrega na usina de RSU, bem como o terreno para construção, sendo a contrapartida destes serviços a quantidade mensal de energia pré-fixada, este valor que será pago fixo estabelecido já no edital do município. Toda a seção do estudo econômico será abordada em seção específica nesta dissertação.

Já no caso do prefeito do município de Candiota/RS, este aponta que, no seu município, no caso do aterro sanitário não houve um grande investimento inicial para recuperação de energia, visto que o aterro por si só já existia, assim os investimentos estavam ligados a parte de coletar o biogás, ressaltando assim, que não teve alto impacto econômico neste critério quanto ao investimento inicial.

4.1.4 Critério do Retorno Econômico do Investimento

Todos os entrevistados apontam este critério como extremamente importante, sendo que, se este critério não for atendido os demais critérios não sustentam a decisão, significando desta forma com palavras dos próprios entrevistados “se não tiver o retorno do investimento, ninguém fará investimento algum”. Por isso apontam como extremamente relevante para a decisão de investimento.

No estudo de caso desta dissertação serão apresentadas as estimativas quantitativas do ponto de vista da indústria que abrange o projeto e realizada as avaliações econômicas, da qual terá trazida em seção específica conforme já mencionado, assim neste critério foram avaliados no ponto de vista qualitativo.

Outro ponto qualitativo da questão econômica é trazido diante da visão gestão pública, visto que o prefeito do município de Bento Gonçalves salienta que hoje os gastos que envolvem a destinação dos RSU têm alto impacto econômico nos cofres

do município. Desta forma, o modelo de negócio proposto visa a manutenção dos gastos municipais nos mesmos patamares atuais, e através da otimização dos gastos e com a estimativa do excedente de energia elétrica, possibilitará a aplicação da economia gerada em outras necessidades municipais, benéficas a população.

Ainda sobre este critério, o especialista da área de energia aponta como sugestão a questão de prospecção de novas fontes de receitas, como por exemplo, a possibilidade de uma unidade de coogeração, visto que além de gerar energia elétrica poderia gerar vapor e vender para as indústrias localizadas próximas a planta. Gerando mais receita e contribuindo para o retorno econômico do investimento.

Por outro lado, quando questionado sobre a receita do crédito de carbono todos os entrevistados apontam que, esta receita já foi relevante no passado, hoje o mercado de crédito de carbono se apresenta com valor muito baixo e com pouca procura, sendo neste momento praticamente inviável, ou com geração de receita muito pequena. Mas cabe ressaltar, que retornando este mercado pode ser uma fonte de receita importante para a usina de RSU.

4.1.5 Critério da Composição do RSU

Neste critério o prefeito e o secretário do município apontam que após avaliação dos especialistas do projeto de construção da usina de RSU, o gestor municipal compreendeu que os resíduos da coleta seletiva deveriam passar por outras formas de gerenciamento, como por exemplo, pela reciclagem e a própria logística reversa, assim devido a sua composição os resíduos convencionais foram selecionados para tratamento através das tecnologias WtE. Salientando que no processo serão separados os resíduos recicláveis, num primeiro processo pela coleta das associações de reciclagem, atualmente é o que ocorre, e num segundo momento a própria usina terá um processo de seleção dos materiais reciclados, sendo repassado este material as associações de reciclagem posteriormente.

Já o especialista da área de energia, aponta a necessidade de prevenção quanto as mudanças do combustível, a necessidade de prever as mudanças nos RSU, corroborando desta forma com a necessidade de margem ou folga dos equipamentos das tecnologias WtE, para que possam serem processados adequadamente. Esta previsão de uma espécie de faixa traz maior segurança ao

projeto inicial, porém destaca que não é possível resolver 100% deste tipo de situação no longo prazo. Desta forma, destaca ainda que esta previsão de faixa vai encarecendo os equipamentos, o que vem a dificultar a viabilidade destas tecnologias no Brasil.

Ainda o especialista da área de energia ressalta que as tecnologias existentes no mercado hoje são todas importadas, por isso a importância de um programa de governo para viabilizar a planta de usina de RSU no Brasil, sendo uma das justificativas para hoje se ter mais desenvolvido a coleta do biogás. Aponta ainda, que um dos motivos é a linha de crédito já mencionada anteriormente direcionada ao biogás e o outro motivo, é de que os equipamentos para queima do biogás são equipamentos de "prateleira", ou seja, já são produzidos em lotes, já para as demais tecnologias são praticamente produzidos "sob medida", sendo estes equipamentos geralmente produzidos fora do Brasil, assim representando muito mais valor de investimentos.

4.1.6 Critério do Impacto Ambiental

O projeto da construção da usina de RSU em análise diante deste do critério quanto ao impacto ambiental apresenta os seguintes pontos levados em consideração na escolha da tecnologia WtE:

- a) o controle de pureza do gás garante que a combustão irá produzir emissões limpas, ou seja, a combustão de hidrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono irá produzir somente dióxido de carbono e vapor d'água;
- b) também é garantido que nem a matéria inerte, nem os gases passam por nenhum processo oxidante (não há combustão/queima), e portanto, não há produção de dioxinas, furanos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, cinzas volantes, e vapores de metais pesados;
- c) a utilização do gás de síntese em grupos geradores a gás possibilita eficiência superior à aquela do ciclo a vapor (caldeira e turbina a vapor), deste modo, enquanto os melhores incineradores atingem a eficiência de 20%, o sistema escolhido atinge eficiências elétricas globais superiores a 23%;

d) ao transformar combustível de má qualidade (como os caso dos RSU) em gás de síntese limpo, o processo mantém cerca de 85% da energia contida no combustível original;

e) o gás de síntese limpo pode ser utilizado como substituto de outros combustíveis em caldeiras industriais para suprir as necessidades energéticas e reduzir os custos.

Ainda os entrevistados do município da unidade de análise salientam que além destes elementos, tem a questão do impacto da própria logística, que hoje é produzida pelo deslocamento dos RSU até a unidade do aterro sanitário, visto que são mais de 200 km de distância, fator que corrobora com o impacto para a geração dos GEE e ainda reforça que, por não ser uma destinação final, no aterro sanitário o impacto ambiental pode continuar, um dos motivos que torna os municípios responsáveis por esta destinação quase que pode-se dizer eternamente.

4.1.7 Critério da Projeção da Quantidade dos RSU

Na visão do representante da indústria, acredita que a mudança quanto a quantidade de geração de RSU, se trata de uma mudança de cultura, desta forma, acredita que no caso do Rio Grande do Sul e de alguns Estados do Brasil, não vai haver grandes mudanças consideráveis nos próximos 20 anos por exemplo.

Também o especialista de energia corrobora com a mesma resposta e salienta que é necessário haver uma escala de aumento da geração na construção da planta para atender ao aumento desta demanda, mesmo que não seja tão considerável, mas a projeção do aumento é de importante consideração no equipamento da usina de RSU.

No projeto este critério foi levado em consideração e assim a planta será feita em módulos com possibilidade de ampliação da própria planta, também foi previsto a abrangência da usina para que possa atender os RSU convencionais de outros municípios, bem como os próprios resíduos gerados pelas vinícolas, visto que o município é eleito a terra da uva e do vinho do Brasil, assim há uma grande geração de resíduos desta atividade rural.

4.1.8 Critério da Projeção da Composição dos RSU

Quanto ao critério que trata da composição dos RSU, foram apontadas respostas muito similares ao critério da projeção da quantidade de RSU, assim os entrevistados não veem grandes mudanças no curto a médio prazo.

O secretário do desenvolvimento econômico que participou do processo decisório entende que o percentual por indivíduo de geração de resíduo orgânico vai diminuir pela mudança cultural, mas acredita que através do crescimento populacional haverá um equilíbrio, assim não aponta como um problema do ponto de vista de abastecimento da planta de RSU.

4.1.9 Critério de Escolha do Local da Planta

Quanto a escolha do local o representante da indústria coloca que, hoje a responsabilidade da coleta de RSU é dos gestores municipais, desta forma, entende a existência de muitos interesses políticos quando se trata da escolha do local, assim pensa ser difícil haver uma parceria por vários municípios para instalação de uma planta beneficiando vários municípios.

Quanto ao processo de estudo da usina de Bento Gonçalves isso foi salientado pelo entrevistado, o prefeito deste município apontou que no primeiro momento se tinha esta ideia, da qual um grupo de gestores municipais estavam avaliando em conjunto a possibilidade de instalação de uma planta que servisse para destinação dos RSU de vários municípios, porém alguns obstáculos tornou o projeto unicamente do município de Bento Gonçalves. O principal obstáculo apontado foi que legislações municipais distintas quanto a separação e coleta dos RSU tornou inviabilizada esta opção de parceria entre os gestores municipais.

Quanto ao local escolhido no município, os entrevistados envolvidos no processo destacam que a escolha do local foi algo de fácil escolha, visto que o município já possuía uma estação de transbordo, edificada em terreno de propriedade municipal e com área no entorno de 45.000 m², em que os RSU hoje são depositados provisoriamente para posterior carga e transporte ao destino, lembrando que hoje este RSU vai para o aterro sanitário de Minas do Leão. Desta forma a escolha do local tornou-se algo de fácil decisão no caso em específico.

Salientando novamente que este projeto se trata de uma Parceria Público-Privada, desta forma, o terreno para implantação da futura usina de RSU deverá ser indicado e cedido pela Prefeitura Municipal de Bento Gonçalves sem ônus a empresa que fará a recuperação de energia, visto que as instalações ao final da concessão serão entregues pela concessionária ao poder público municipal.

4.1.10 Critério de Escolha dos Materiais a Serem Reciclados

Neste critério o representante da indústria aponta que a queima dos RSU deva ser um dos últimos processos escolhidos no gerenciamento dos RSU, antes de tudo, precisa reciclar tudo o que for possível reciclar. Também o especialista de energia corrobora dizendo que é preciso destinar o mínimo de RSU para os aterros sanitários, reforça que é necessário antes realizar uma pré-seleção, porém destaca que é necessário fazer o trabalho de formiguinha, fazer a separação em cada residência, aponta que isso seria o melhor dos mundos e complementa “não é aceitável jogar dentro de uma caldeira e queimar tudo”.

O modelo de negócio do projeto desta dissertação prevê a reciclagem dos resíduos recicláveis coletados, sendo destinados à central de triagem de resíduos da usina de tratamento térmico que se responsabilizará pela destinação e comercialização. Somente os materiais triados cujas características não possibilitem o reaproveitamento em procedimentos de reciclagem serão usados no processo de geração de energia elétrica.

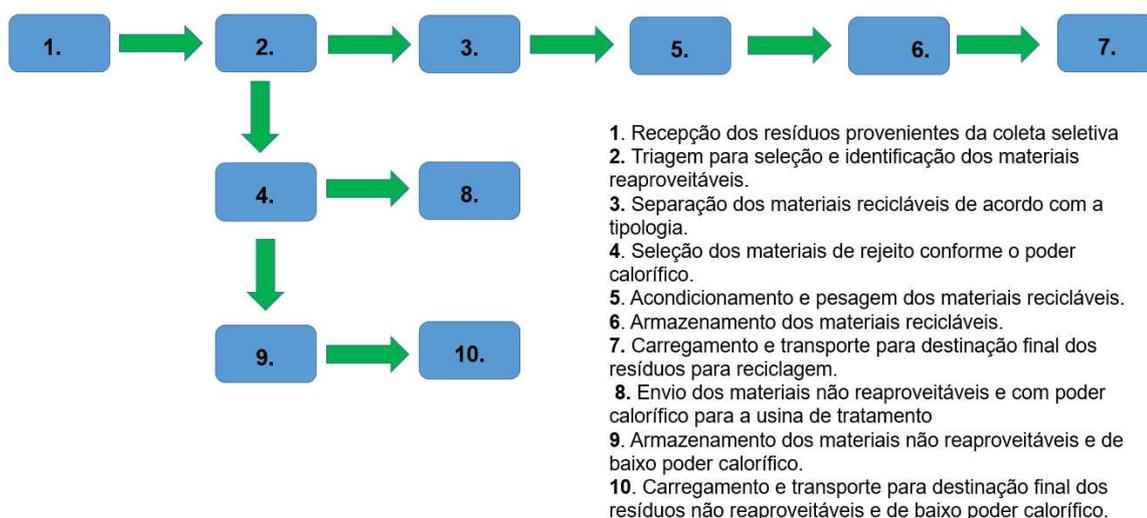
Para a execução das operações de triagem, seleção e classificação dos resíduos, sejam eles provenientes da coleta convencional ou seletiva, o modelo a empregar vai envolver as associações de catadores que será remunerada sobre o percentual obtido pela comercialização dos resíduos passíveis de reaproveitamento em contraponto ao fornecimento de mão de obra para a realização das atividades.

Os entrevistados do município destacam que além de melhores condições de trabalho, há perspectiva de melhoria dos índices de separação, classificação dos materiais recicláveis, associada ao melhor valor obtido na comercialização deles, desta forma, permite inferir que provavelmente ocorrerá uma elevação da renda atualmente obtida por estas associações.

Sobre o valor obtido com a comercialização dos recicláveis, é previsto para o projeto um repasse percentual à prefeitura municipal de Bento Gonçalves do valor

líquido obtido após o ressarcimento da associação de catadores, conforme citado anteriormente, também por outro lado, haverá o pagamento de impostos referentes a execução da atividade. Quanto ao processo de separação dos RSU é apresentado na figura 22 com o fluxograma da reciclagem a ser realizada na planta da usina de RSU.

Figura 22 – Fluxograma da Reciclagem



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda sobre este critério e observado o fluxograma do projeto é possível assimilar com a resposta do entrevistado da indústria que salienta que, hoje há grande diferença das condições de trabalho entre uma e outra reciclagem, visto que muitos trabalham sobre condições impróprias, sem as condições mínimas de segurança e limpeza. Desta forma aqui o projeto vem a padronizar as tarefas realizadas para os materiais reciclados desta planta de RSU.

4.1.11 Critério do Nível de Informação da Comunidade Local

Quanto ao nível de informação da comunidade local o representante da indústria aponta que existem cooperativas de recicladores bem estruturadas, mas também existem outras que estão muito a margem da lei, da qual os catadores estão sendo marginalizados, necessitando assim de informações adequadas para aprimoramento de suas estruturas e, também a orientação dos catadores quanto ao manuseio dos RSU. Porém em resposta desta questão aponta que o passo inicial

para a melhoria é de responsabilidade dos governantes, visto que estes são peça principal para que isso se torne realidade.

Neste critério o especialista da área de energia salienta que todo projeto em algum momento terá audiência pública, desta forma, se faz necessário ter um plano de comunicação para apresentar os benefícios a população, com isso a comunidade terá clareza sobre o projeto e terá a aceitação que o projeto precisa. No caso de Bento Gonçalves esta audiência pública já ocorreu. Mas cabe destacar a explicação deste critério para novos projetos.

No caso do município de Bento Gonçalves, o projeto prevê em seu art. 25º que a empresa concessionária se obriga a apresentar um programa de Educação Ambiental Participativa, que priorize a não geração de resíduos e estimule a coleta seletiva, baseado nos princípios de não gerar, repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar os RSU, a ser executado junto à prefeitura na operação da planta de tratamento de RSU. O referido programa deverá ser protocolado junto ao órgão ambiental competente no momento do requerimento da licença de operação ambiental.

4.1.12 Critério do Impacto a Saúde Pública

Neste critério o representante da indústria aponta que existe a relação do mau gerenciamento dos RSU com a saúde pública, mas não consegue quantificar por exemplo do quanto que uma melhora no gerenciamento dos RSU impactaria na saúde pública da população local. Também nesta mesma linha os demais entrevistados responderam.

Também o prefeito do município de Bento Gonçalves e o secretário do desenvolvimento apontam como expectativa de melhora na saúde pública da população do município. Mesmo o município hoje apresentando bons níveis de coleta e destinação dos RSU, mas acredita que sim haverá melhora na saúde pública. Porém para quantificar seria necessário avaliar hoje antes da construção da usina de RSU e acompanhar uma pesquisa ao longo da vida da usina, após sua construção, para assim quantificar a melhora da saúde pública da população local.

4.1.13 Critério das Normas e Legislações dos RSU

Neste critério o representante da indústria destaca que hoje um dos desafios são as legislações que tratam dos RSU, salienta hoje a questão de não conseguir definir o verdadeiro culpado, desta forma fica difícil haver a punição, aponta como exemplo, o caso das garrafas pet nos rios e questiona quem deve ser punido neste caso? Outro ponto está relacionado as questões das licitações e dos governantes, da qual o Brasil ainda tem muitos casos de governantes que não estão preocupados com a verdadeira solução do problema, mas sua minimização ou postergação deste problema durante o seu mandato. Porém cabe aqui apontar que no caso do Brasil as legislações necessárias estão sendo elaboradas, e assim o desenvolvimento das decisões públicas dos gestores acompanham este processo.

Já o especialista da área de energia salienta que no Brasil ainda falta muito neste ponto, mas não no quesito de promulgação de leis, visto que este possui bastante legislação, mas coloca a grande distinção das execuções das leis entre uma cidade e outra, pois têm cidades com 100% de destinação adequada outras cidades com 0% de destinação adequada, salienta assim, a falta de recursos como grande desafio, recursos para infraestrutura, visto que existem pessoas muito pobre abrigadas em locais sem o devido saneamento básico, diante deste ponto finaliza dizendo que é preciso executar melhor as leis e fiscalizar mais.

Quanto aos entrevistados do município trazem os aspectos jurídicos e legais que foram atendidos no projeto, apresentando os itens a seguir que foram seguidos: certificação de que a concessão proposta atenderá na plenitude à política nacional de resíduos sólidos estabelecida pela lei 12.305/2010, atendimento à lei federal nº 8.666/1993 que trata das licitações, obediência à lei federal nº 11.445/2007 que trata sobre as questões do saneamento básico e estabelece diretrizes e o plano municipal de gerenciamento integrado de resíduos sólidos de maio/2014.

Ainda para os entrevistados do município de Bento Gonçalves cabe destacar que está se falando de um projeto da construção da usina, assim os mesmos, apontam que no caso do Brasil este projeto é pioneiro, tanto quanto na América Latina, assim exige mais estudos por parte dos órgãos fiscalizadores a liberação da construção da usina. Este é o ponto que torna a construção ainda não iniciada em 2021. Mas destaca que são otimista e dizem que em nenhum momento houve

pensamento de desistência do projeto, mas sabem que se trata de um projeto demorado.

Destaque para o Plano de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos do município visto que a escolha dos resíduos a serem escolhidos para recuperação de energia, já estavam previstos, bem como a questão da educação ambiental da comunidade do município, isso foi atendido neste projeto de investimento.

4.1.14 Critério das Normas e Legislações Energéticas

Quanto as legislações para recuperação energética os entrevistados destacam que o Brasil já possui previsão em construção. Apontam como sugestão a melhoria na questão do poder público municipal e estadual junto aos organismos e agências reguladoras federais poderiam revisar as regras e normativas existentes, do ponto que trata da não permissão da cessão da energia elétrica gerada de um mesmo empreendimento nos modelos de geração distribuída e do mercado livre. Desta forma poderiam verificar a possibilidade de alternativas que poderiam ser adotadas para a obtenção desta permissão, para os casos em que o insumo utilizado é o RSU e quando parcela da energia gerada seja destinada ao poder público no regime de autoprodutor, abrindo a possibilidade de comercialização do excedente não utilizado. Esta modificação atenderia ao interesse público e ofereceria melhores condições de viabilidade do negócio para as parcerias público-privadas.

4.1.15 Critérios Sugeridos Pelos Entrevistados

Para finalizar as entrevistas conforme já mencionado anteriormente, foi questionado outros critérios que deveriam ser levados em consideração para a decisão de investimento desta categoria, os entrevistados apontaram que os critérios trazidos pela dissertação conseguiram atender os elementos importantes para a decisão deste tipo de projeto de investimento.

Porém o prefeito do município de Bento Gonçalves considera importante acrescentar mais um critério, a questão do critério da Educação Ambiental. Ressalta que após a construção da usina de RSU do município entende que haverá um grande movimento em relação a procura pelas instituições de ensino. Desta forma o

projeto vai desenvolver a educação ambiental dos estudantes e da comunidade, representando um trabalho ainda maior, contribuindo com o ensino das gerações através deste projeto. Porém este critério já é premissa do Plano de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos do município.

Para tanto, foi acrescido este critério na lista dos selecionados, assim foi levantado o nível de importância dos critérios, para contribuição dos tomadores de decisões públicas relacionadas ao melhor gerenciamento dos RSU. Desta forma a tabela 3 apresenta os critérios e o seu nível de importância deste critério para cada entrevistado.

Tabela 3 – Nível de Relevância dos Critérios

CRITÉRIOS	Indústria de Usinas	Energia	Prefeito do município	Secretário de Desenvolvimento do município	Prefeito Candiota/RS
Recuperação energética	MI	EI	MI	MI	EI
Impacto social	MI	MI	MI	MI	MI
Impacto do investimento inicial	EI	EI	EI	EI	EI
Retorno econômico do investimento	EI	EI	EI	EI	EI
Composição dos RSU	I	MI	MI	I	MI
Impacto ambiental	MI	EI	EI	MI	EI
Projeção da quantidade de RSU	NI	I	NI	PI	PI
Projeção da composição dos RSU	NI	I	NI	PI	PI
Escolha do local da instalação da planta	MI	MI	MI	MI	MI
Escolha dos materiais a serem reciclados	MI	MI	MI	I	MI
Nível de informação da comunidade local	I	MI	MI	I	MI
Impacto a saúde pública	I	MI	MI	MI	MI
Normas e Legislações dos RSU	MI	MI	MI	MI	MI
Normas e Legislações energéticas	MI	MI	MI	MI	MI
Educação Ambiental	-	-	MI	-	-

NI: Não Importante

PI: Pouco Importante

I: Importante

MI: Muito Importante

EI: Extremamente Importante

Fonte: Elaborado pela autora.

Finalizando esta seção, o segundo objetivo desta dissertação foi atendido, visto que foram analisados os critérios que suportam os investimentos em usinas de RSU.

Na próxima seção são descritas as justificativas ambientais que levaram a escolha da mais adequada tecnologia WtE para a geração de energia dos RSU.

4.2 Elaboração da Análise Quantitativa do Investimento

Nesta seção são apresentados os valores que compõem os custos do empreendimento, considerando a infraestrutura descrita na seção anterior. Desta forma considera-se para a implantação de infraestrutura que possibilite a instalação dos equipamentos e a execução das atividades necessárias à operação da usina de tratamento térmico/conversão em energia elétrica e da central de reciclagem, compreendendo ambientes das etapas já descritos nesta pesquisa.

Cabe lembrar que os dados aqui trazidos são as premissas que a comissão do município levantou, assim apresentados nos documentos públicos do município. Na tabela 4 são apresentadas as estimativas iniciais do projeto, valores que envolvem a implantação e as máquinas e equipamentos necessários a operação da planta de pirólise. São estimados um montante de R\$ 8.070.197,08 (oito milhões, setenta mil, cento e noventa e sete reais e oito centavos) de investimentos em instalação e implantação da planta de pirólise.

Já em relação as estimativas de investimentos em máquinas e equipamentos o valor montante de chega na casa os R\$ 44.764.283,75 (quarenta e quatro milhões, setecentos e sessenta e quatro mil, duzentos e oitenta e três reais e setenta e cinco centavos). Deste valor, a quantia de R\$ 42.000.533,75 (quarenta e dois milhões, quinhentos e trinta e três reais e setenta e cinco centavos) serão objeto de financiamento. O restante, representado pelo montante de R\$ 2.763.750,00 (dois milhões, setecentos e sessenta e três mil e setecentos e cinquenta reais) são decorrentes de investimentos a serem realizados nos anos 2, 16 e 28 da concessão, para adequação da capacidade de geração de energia elétrica e utilizará recursos oriundos da operação do empreendimento. A atividade de gerenciamento da obra demandará um gasto previsto de R\$ 2.100.000,00 (dois milhões e cem mil reais), previsto de capital próprio

Tabela 4 – Estimativa dos Investimentos Iniciais

Estimativas de Investimentos da Implantação	
Descrição	Valor
Terraplanagem da área	R\$ 150.000,00
Drenagem da área, inclusive dos pátios e do sistema viário	R\$ 231.763,28
Urbanização da área, inclusive dos pátios e do sistema viário	R\$ 270.174,00
Construção do sistema viário interno	R\$ 267.910,45
Implantação de pátios de manobra e descarga de resíduos	R\$ 68.857,43
Edificação de pátios fechados e cobertos para recepção e armazenamento de resíduos recebidos e triturados	R\$ 1.483.897,10
Construção do posto de pesagem	R\$ 444.916,20
Implantação de galpões fechados e cobertos para instalação dos equipamentos da estrutura de triagem e da tecnologia de pirólise	R\$ 2.129.587,02
Edificação das unidades administrativas, almoxarifado e oficina	R\$ 500.000,00
Construção do galpão de grupos geradores	R\$ 673.723,19
Implantação da reserva de água pluvial para uso industrial	R\$ 87.743,13
Construção da base do gasômetro, do estacionamento para veículos leves e da estrutura de controle do acesso	R\$ 168.812,91
Edificação dos pátios de resíduos	R\$ 198.213,90
Implantação de sistema de combate a incêndios e pânico	R\$ 300.000,00
Construção de sistema para coleta e retorno do chorume/e das atividades de triagem de resíduos ao processo de pirólise	R\$ 142.194,20
Edificação do sistema de armazenamento de GLP	R\$ 218.750,00
Eventuais	R\$ 733.654,28
Estimativas de Investimentos as Máquinas e Equipamentos	
Descrição	Valor
Sistema de triagem, seleção, classificação e tratamentos dos resíduos compostos por correias transportadoras, separadores magnéticos (eletro ímãs), rasga sacos, separador balístico, triturador, separador ótico, estruturas de suporte, escadas, passarela e outros	R\$ 11.295.980,00
Conjunto do reator de pirólise e do sistema de lavagem e limpeza do gás de síntese composto por reator de pirólise, soprador de gás, queimador, alimentador de cal, ciclone, venturi, torre de lavagem, chiller, decantador, soprador de ar, trocador de calor, trem de gás	R\$ 17.187.500,00
Sistema de gasômetro e tocha enclausurada	R\$ 1.387.053,75
Conjunto de grupos geradores	R\$ 9.212.500,00
Sistema de coleta dos resíduos inertes oriundos do processo de pirólise	R\$ 825.000,00
Sistema de medição, controle e conexão de energia elétrica	R\$ 3.350.000,00
Sistema de monitoramento e supervisão	R\$ 625.000,00
Diversos	R\$ 881.250,00
Total	R\$ 52.834.480,84

Fonte: Elaborado pela autora com base na modelagem financeira do município.

Além desta mão de obra diretamente envolvida nos trabalhos está prevista o emprego de serviços de terceiros representada por assessoria contábil, apoio jurídico, serviços de informática, serviços de comunicação e fornecimento de insumos para operação das instalações administrativas e de apoio situadas na área das instalações industriais. Os custos fixos operacionais, no início de operação, serão representados por: custos administrativos indiretos que totalizarão o valor anual previsto de R\$ 228.000,00 (duzentos e vinte e oito mil reais); mão de obra

operacional, conforme dimensionamento apresentado anteriormente e cujo custo anual está estimado em R\$ 3.653.727,00 (três milhões, seiscentos e cinquenta e três mil, e setecentos e vinte e sete reais).

Neste custo estão inclusos os encargos sociais, benefícios e provisionamentos previstos por lei; manutenção, envolvendo toda a operação (manutenção de veículos e equipamentos de apoio, processo de pirólise, geração de energia elétrica e triagem, seleção, classificação e trituração dos resíduos) cuja despesa anual é prevista em R\$ 1.245.178,00 (um milhão, duzentos e quarenta e cinco mil e cento e setenta e oito reais); garantias e seguros sobre a operação com valor anual estimado em R\$ 361.027,00 (trezentos e sessenta e um mil e vinte e sete reais); fornecimento de utilidades, também variável de acordo com o quantitativo de RSU tratados no reator de pirólise, representando R\$ 149.646,00 (cento e quarenta e nove mil, seiscentos e quarenta e seis reais); e monitoramento ambiental do processo ao custo anual estimado de R\$ 60.000,00 (sessenta mil reais).

Complementarmente aos custos citados está prevista a remuneração das atividades da cooperativa de recicladores como percentual sobre a receita proveniente da comercialização de recicláveis recuperados, e cuja estimativa estabelece o valor anual de R\$ 537.448,00 (quinhentos e trinta e sete mil, quatrocentos e quarenta e oito reais).

Relativamente aos custos financeiros, considerou-se: capital próprio com juros reais de 8% (oito por cento) ao ano e com período de amortização de 30 (trinta) anos, igual ao prazo de concessão; financiamento com juros reais de 8% (oito por cento) ao ano, carência de 2 (dois) anos após o início da operação e prazo de pagamento de 10 (dez) anos. Não foi considerado o efeito da inflação no fluxo dos recursos aplicados.

Quanto a receita operacional, para fins de remuneração dos serviços prestados consideraram-se os seguintes valores referentes ao ano de 2017: a) disposição dos RSU recebidos no valor de R\$ 136,64/tonelada (cento e trinta e seis reais e sessenta e quatro centavos por tonelada); b) tratamento térmico dos RSU não recicláveis com conversão em energia elétrica para entrega ao município no valor de R\$ 185,75/tonelada (cento e oitenta e cinco reais e setenta e cinco centavos por tonelada).

Estimando também a receita acessória prevista na modelagem financeira-econômica representada pela comercialização da parcela aproveitável, sendo que para fins de remuneração da atividade considerou-se o valor médio de R\$ 500,00/tonelada (quinhentos reais por tonelada), referente ao ano de 2017. Mais bem detalhado as estimativas na tabela 5 desta dissertação.

Tabela 5 – Premissas para os Cálculos.

Premissas	Valor
Valores Componentes das Receitas	
Deposito Final de RSU (tonelada)	R\$ 136,64
Tratamento Térmico e Conversão em Energia Elétrica(tonelada)	R\$ 185,75
Vendas de Recicláveis (tonelada)	R\$ 500,00
Investimentos Programados e Aporte de Capital Inicial	
Capital Próprio	R\$ 11.270.197,08
Financiamento Bancário	R\$ 42.000.533,75
Total de Investimento	R\$ 53.270.730,83
Investimento Complementar para Adequação da Capacidade Operacional a Elevação da Quantidade de RSU	
Instalação de novos equipamentos (previsto para os anos de 2021, 2035 e 2047)	R\$ 2.763.750,00
Financiamentos (BNDS/CAIXA: infraestrutura, bioenergia ou energia renovável	
Juros Reais	8,00%
Inflação do Fluxo de Caixa	0,00%
Prazo	10 anos
Carência após o início a operação	2 anos
Tributos sobre Lucro Presumido - Serviços	
Presunção para deposição final e tratamento térmico	32,00%
Alíquota IRPJ	15,00%
Alíquota IRPJ - lucro presumido acima 240 mil	10,00%
Alíquota CSLL	9,00%
Tributos sobre Lucro Presumido - Comércio/ Industria	
Presunção para venda de recicláveis - IRPJ	8,00%
Alíquota IRPJ	15,00%
Alíquota IRPJ - lucro presumido acima 240 mil	10,00%
Presunção para venda de recicláveis- CSLL	12,00%
Alíquota CSLL	9,00%
Tributos sobre Receita- Serviços	
PIS	0,65%
COFINS	3,00%
ISS	2,00%
Tributos sobre Receita- Comércio	
PIS	0,65%
COFINS	3,00%
Investimentos Pré-operacionais	
Investimento capital próprio	R\$ 11.270.197,08
Juros pré-operacionais e garantia da proposta	R\$ 1.338.003,83
Total de investimentos pré-operacionais com juros	R\$ 12.608.200,91

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto aos impostos sobre receitas foram considerados sobre as receitas são: i) 0,65% (zero vírgula sessenta e cinco por cento) relativa ao Programa de Integração Social (PIS); b) 3,0% (três por cento) concernente a Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS); c) 2,0% (dois por cento) referente ao Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN). Cabe aqui a ressalva de que atualmente, o ISSQN para as atividades similares no Código Tributário Municipal (varrição, coleta, remoção, incineração, tratamento, reciclagem, separação e destinação final de lixo, rejeitos e outros resíduos quaisquer) é de 3,0% (três por cento). Os estudos realizados, empregaram a alíquota de 2,0% (dois por cento), com o objetivo de oferecer maior atratividade ao negócio, conforme tabela 5.

Quanto aos impostos sobre os lucros foram considerados apuração fiscal pelo regime de lucro presumido na atividade de serviços, cuja alíquota é estabelecida em 32% (trinta e dois por cento) da receita obtida, são: a) 15% (quinze por cento) referente ao Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ); b) 10% (dez por cento) observando o caso do IRPJ para aqueles casos em que o lucro presumido seja superior ao valor de R\$ 240.000,00; c) 9% (nove por cento) relativo a Contribuição Social sobre Lucro Líquido (CSLL).

Foram estimados os resultados esperados no período do contrato do investimento, lembrando que se trata de um contrato de 30 anos. Assim na tabela 6 mostra os resultados dos primeiros 6 anos do projeto para apresentação dos custos, despesas e receitas que foram projetadas, bem como a apresentação dos resultados no fluxo de caixa do projeto, deste mesmo período. Representada conforme as premissas dos estudos, levando em consideração os custos e despesas estimados.

Também foi realizado o fluxo de caixa deste mesmo período, levando-se em conta o que envolve desembolso efetivo de caixa, assim, somando-se o que tem impacto apenas econômico no demonstrativo, mas não tem impacto financeiro, como é o caso por exemplo, da depreciação dos equipamentos, visto que possui impacto econômico no resultado do lucro do período, mas que não ocorre desembolso, assim para o resultado do fluxo de caixa do projeto, este valor de depreciação é somado. Considerando ainda os investimentos pré-operacionais previsto no projeto e o aporte de capital inicial. Sendo apresentados melhor na tabela 6.

Tabela 6 – Projeção dos Resultados

ANO	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Premissas								
Receita pela deposição final do RSU p/tonela			136,64	136,64	136,64	136,64	136,64	136,64
Receita pelo tratamento térmico e conversão em energia p/tonela			185,75	185,75	185,75	185,75	185,75	185,75
Receita da venda dos recicláveis p/tonelada			500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
DEMONSTRATIVO DO RESULTADO								
RECEITAS								
Deposição final do RSU			5.440.868,16	5.495.276,84	5.550.229,61	5.605.731,91	5.661.789,23	5.718.407,12
Tratamento térmico da conversão			5.559.497,50	5.615.092,48	5.671.243,40	5.727.955,83	5.785.235,39	5.843.087,75
Crédito de carbono								
Venda de recicláveis			2.687.000,00	2.713.870,00	2.741.008,70	2.768.418,79	2.796.102,97	2.824.064,00
Impostos sobre a receita Bruta			(719.955,43)	(727.154,99)	(734.426,54)	(741.770,80)	(749.188,51)	(756.680,40)
RECEITA LÍQUIDA			12.967.410,23	13.097.084,33	13.228.055,17	13.360.335,72	13.493.939,08	13.628.878,47
CUSTOS FIXOS								
Administração			(228.000,00)	(228.000,00)	(228.000,00)	(228.000,00)	(228.000,00)	(228.000,00)
Mão de obra operacional			(3.653.727,00)	(3.653.727,00)	(3.653.727,00)	(3.653.727,00)	(3.653.727,00)	(3.653.727,00)
Operação e manutenção da máquina			(72.000,00)	(72.000,00)	(72.000,00)	(72.000,00)	(72.000,00)	(72.000,00)
Seguro sobre a operação			(224.000,00)	(224.000,00)	(224.000,00)	(224.000,00)	(224.000,00)	(224.000,00)
Manutenção do equipamento-Pirólise			(224.000,00)	(224.000,00)	(224.000,00)	(225.000,00)	(225.000,00)	(226.000,00)
Manutenção do equipamento-geração			(554.000,00)	(561.000,00)	(567.000,00)	(570.000,00)	(577.000,00)	(583.000,00)
Manutenção do equipamento-triagem			(395.000,00)	(395.000,00)	(395.000,00)	(395.000,00)	(395.000,00)	(395.000,00)
Utilidades			(150.000,00)	(151.000,00)	(153.000,00)	(154.000,00)	(156.000,00)	(157.000,00)
Monitoramento ambiental			(60.000,00)	(60.000,00)	(60.000,00)	(60.000,00)	(60.000,00)	(60.000,00)
Garantia de contrato			(137.000,00)	(133.000,00)	(86.000,00)	(84.000,00)	(82.000,00)	(40.000,00)
Participação da municipalidade sobre a receita acessória			(268.700,00)	(271.387,00)	(274.100,87)	(276.841,88)	(279.610,30)	(282.406,40)
Participação Cooperativa Recicladores na receita acessória			(537.400,00)	(542.774,00)	(548.201,74)	(553.683,76)	(559.220,59)	(564.812,80)
LUCRO OPERACIONAL			6.465.603,23	6.583.217,33	6.745.047,56	6.866.106,09	6.984.405,19	7.144.957,27
Amortização das despesas pré-operacionais - 5 anos			(268.000,00)	(268.000,00)	(268.000,00)	(268.000,00)	(268.000,00)	
Depreciação 30 anos			(376.000,00)	(376.000,00)	(376.000,00)	(376.000,00)	(376.000,00)	(376.000,00)
DEPRECIÇÃO E AMORTIZAÇÃO			(644.000,00)	(644.000,00)	(644.000,00)	(644.000,00)	(644.000,00)	(376.000,00)

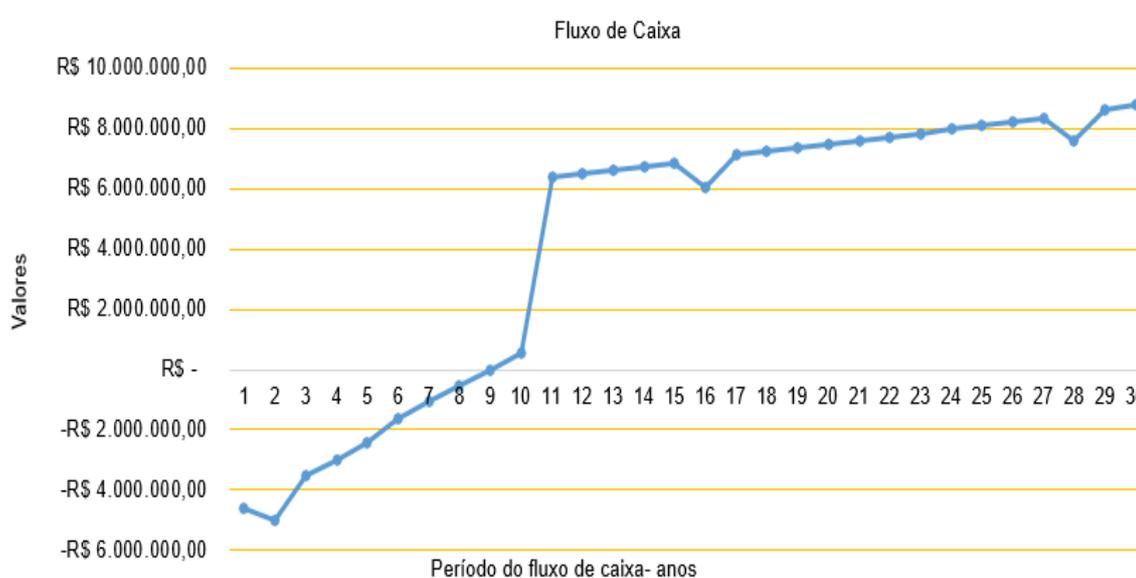
Custo financeiro	(436.000,00)	(902.000,00)	(4.262.000,00)	(3.835.000,00)	(3.409.000,00)	(2.983.000,00)	(2.557.000,00)	(2.131.000,00)
LUCRO ANTES IRPJ E CSLL	(436.000,00)	(902.000,00)	1.559.603,23	2.104.217,33	2.692.047,56	3.239.106,09	3.783.405,19	4.637.957,27
IRPJ e CSLL sobre o lucro presumido da deposição final e tratamento térmico			(1.172.838,00)	(1.184.806,00)	(1.196.895,00)	(1.209.105,00)	(1.221.435,00)	(1.233.889,00)
IRPJ e CSLL sobre o lucro presumido venda recicláveis			(61.263,00)	(61.875,00)	(62.494,00)	(63.119,00)	(63.750,00)	(64.387,00)
LUCRO LÍQUIDO			325.502,23	857.536,33	1.432.658,56	1.966.882,09	2.498.220,19	3.339.681,27
FLUXO DE CAIXA DO PROJETO								
Lucro Líquido			325.502,23	857.536,33	1.432.658,56	1.966.882,09	2.498.220,19	3.339.681,27
Depreciação			376.000,00	376.000,00	376.000,00	376.000,00	376.000,00	376.000,00
Despesas pré-operacionais	(436.000,00)	(902.000,00)						
Amortização dos empréstimos			(5.327.000,00)	(5.327.000,00)	(5.327.000,00)	(5.327.000,00)	(5.327.000,00)	(5.327.000,00)
Investimentos pré-operacionais	(5.361.000,00)	(5.909.000,00)						
Investimentos pós-operacionais				(921.000,00)				
Aporte de capital	5.797.000,00	6.811.000,00						
SALDO DE CAIXA			(4.625.497,77)	(5.014.463,67)	(3.518.341,44)	(2.984.117,91)	(2.452.779,81)	(1.611.318,73)
Fluxo de caixa do Projeto	(5.797.000,00)	(6.811.000,00)	(4.625.497,77)	(5.014.463,67)	(3.518.341,44)	(2.984.117,91)	(2.452.779,81)	(1.611.318,73)
Fluxo de caixa do projeto Acumulado	(5.797.000,00)	(12.608.000,00)	(17.233.497,77)	(22.247.961,45)	(25.766.302,88)	(28.750.420,80)	(31.203.200,61)	(32.814.519,34)
AMORTIZAÇÃO DA DÍVIDA								
Principal	5.361.000,00	53.271.000,00	53.271.000,00	47.944.000,00	42.617.000,00	37.290.000,00	31.963.000,00	26.636.000,00
Juros real=8%	429.000,00	902.000,00	4.261.680,00	3.835.520,00	3.409.360,00	2.983.200,00	2.557.040,00	2.130.880,00
Amortização principal			5.327.000,00	5.327.000,00	5.327.000,00	5.327.000,00	5.327.000,00	5.327.000,00
Prestação do Financiamento	429.000,00	902.000,00	9.588.680,00	9.162.520,00	8.736.360,00	8.310.200,00	7.884.040,00	7.457.880,00
SALDO FINAL	5.361.000,00	53.271.000,00	47.944.000,00	42.617.000,00	37.290.000,00	31.963.000,00	26.636.000,00	21.309.000,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda na tabela 6 é apresentado a composição da dívida, o que cabe salientar que foram utilizados o valor total, sendo capital próprio e capital de terceiros a uma taxa de 8% ao ano, já mencionado anteriormente, pagando-se esta dívida no período de 10 anos.

Conforme premissas descritas foi elaborado o fluxo de caixa do projeto, considerado um período de 30 anos do fluxo, com início em 2019 e término em 2049. Sendo que nos primeiros 9 anos há uma necessidade de entrada de caixa, visto que no fluxo é possível verificar que há mais saída de caixa do que entradas de caixa. Todo o fluxo está apresentado na figura 23.

Figura 23 – Projeção do Fluxo de Caixa do Projeto

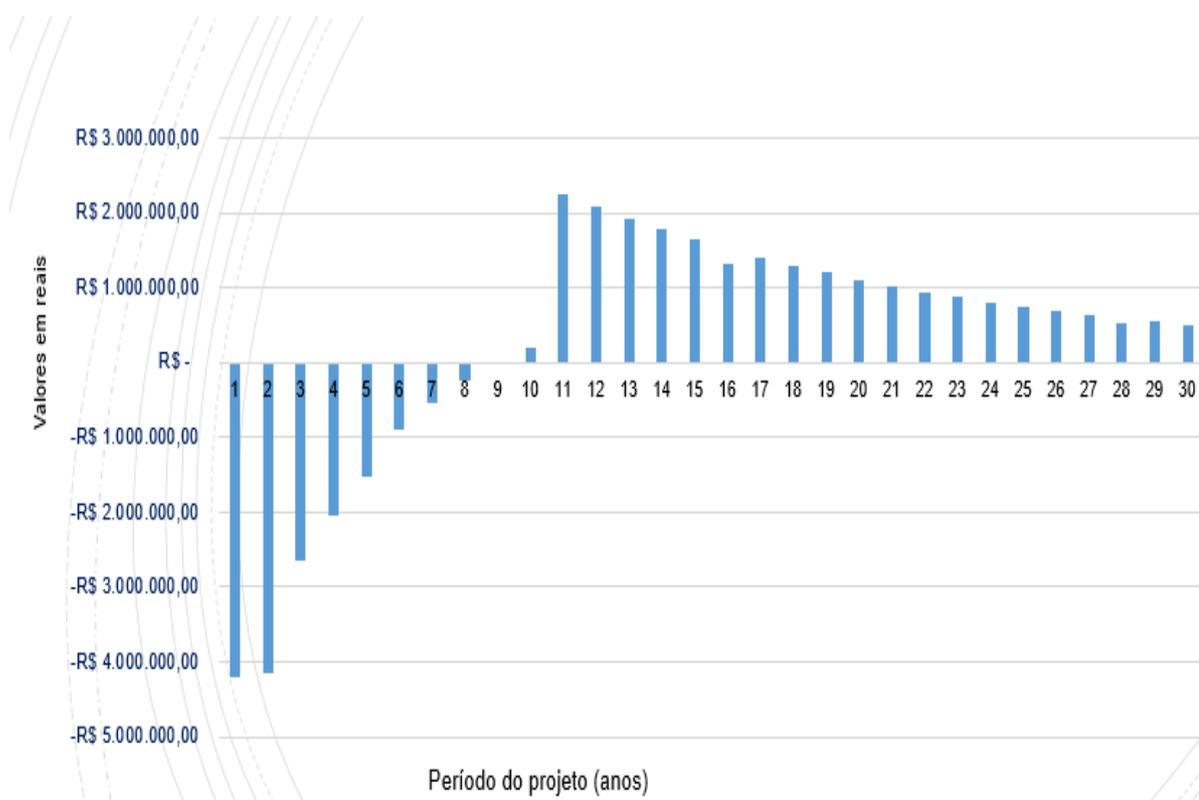


Fonte: Elaborado pela autora.

Com o cálculo da TIR é possível perceber a taxa de retorno do investimento nestes 30 anos considerando o fluxo de caixa líquido do projeto, resultando na taxa correspondente a 9,10%, visto que o fluxo de caixa acumulado no período estima-se superar os R\$ 115 milhões.

Já em relação ao VPL foi considerado uma taxa de desconto de 10% ao ano, para assim trazer o valor livre de risco, com isso é possível visualizar que o VPL livre do projeto representa um valor estimado de R\$ 7.211.723,91. Apresentado na figura 24 o histórico estimado dos valores livres que compõe o valor do VPL.

Figura 24 – Projeção do Fluxo de Caixa Livre.



Fonte: Elaborado pela autora.

Calculando o tempo de retorno de investimento, este projeto apresentou um tempo de retorno considerado, com Payback de 16 anos. Estes resultados quantitativos serão analisados juntamente com os achados da parte qualitativa desta dissertação, apresentados no capítulo seguinte.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo analisa os resultados desta pesquisa e discute estes resultados juntamente com a abordagem qualitativa e quantitativa. Posteriormente é apresentado as contribuições desta dissertação quanto as contribuições governamentais, vinda do apoio nas decisões de investimentos em tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU, bem como diante do tema esta pesquisa, vem a contribuir com o meio acadêmico, em relação ao tema em países em desenvolvimento.

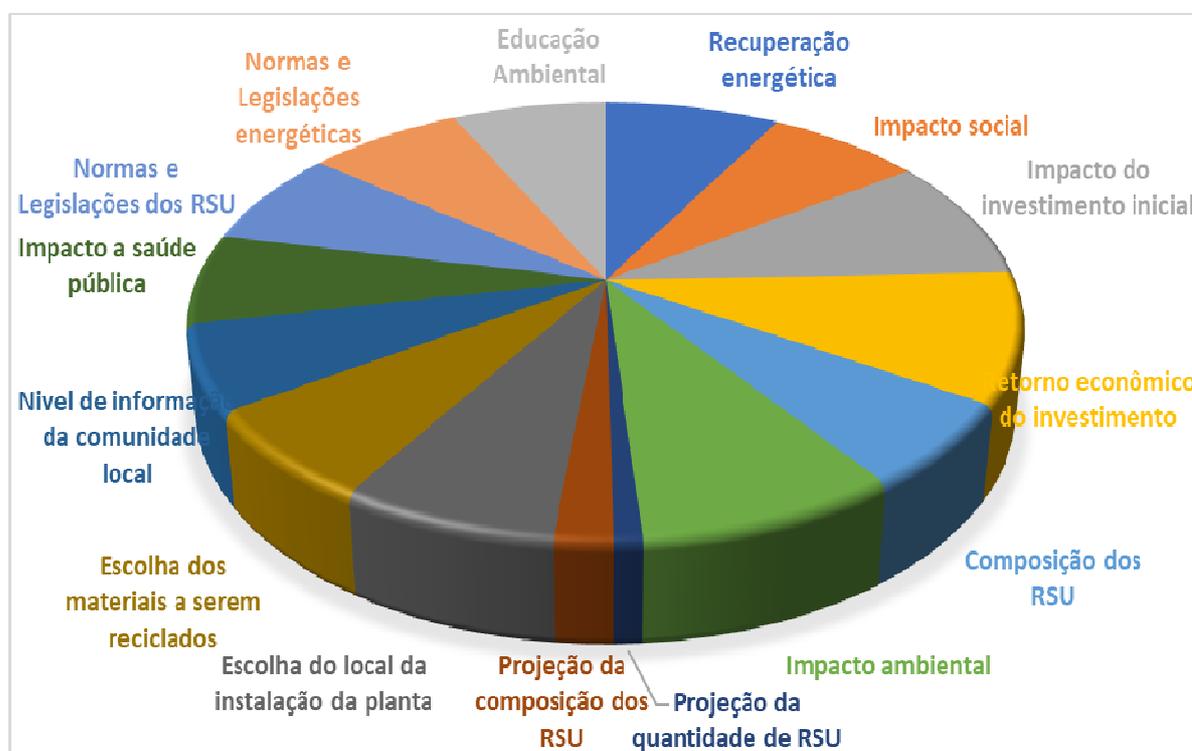
5.1 Análise e Discussão Qualitativa dos Resultados

Nesta seção são analisados os resultados encontrados na pesquisa, sobre a abordagem qualitativa apresentada nesta dissertação. Desta forma, analisa os critérios selecionados da literatura com os resultados das respostas das entrevistas realizadas. Bem como sobre o processo de escolha da tecnologia WtE na unidade de análise.

Primeiramente é possível dizer, que os critérios selecionados da literatura, foram suportados pelos critérios utilizados na escolha da tecnologia WtE da unidade de análise, visto que em resposta a última pergunta, todos os entrevistados colocaram que estes critérios abordados na entrevista, foram utilizados no processo de decisão. Cabe ressaltar que o prefeito de Bento Gonçalves fez o acréscimo de mais um critério, que serviu para embasar a decisão, sendo este critério a educação ambiental, sendo inseridos juntamente com os anteriormente selecionados.

Assim esta dissertação aponta 15 critérios que podem suportar as escolhas de investimentos em tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU. Diante do nível de importância, os critérios se apresentam diferentes níveis de importância, conforme pode ser observado a sua distribuição na figura 25.

Figura 25 – Nível de Importancia dos Critérios.



Fonte: Elaborado pela autora.

O critério de retorno do investimento, se apresenta como mais importante, representando a maior fatia, conforme a figura 25 apresenta. Uma justificativa para esta representatividade vem de encontro as respostas dos entrevistados, todos classificaram como extremamente importante. Juntamente com a própria fala dos entrevistados, que destacam que se este critério não for atendido, os demais critérios não sustentam a decisão de escolha de investimento.

Ainda na análise deste critério é possível destacar, que conforme mencionado pelo entrevistado especialista da área de energia, pode ser incrementado novas fontes de receitas na planta de tecnologia WtE, para que desta forma, este critério apresenta o tamanho do retorno do investimento que os investidores esperam. O que torna a escolha mais favorável, visto sua relevância no processo de decisão.

O critério do impacto do investimento inicial, veio logo em seguida ao retorno do investimento, do ponto de vista de importância. O que pode ser explicado devido um estar atrelado ao outro, visto que se trata de valores econômicos, tanto do tamanho do retorno do investimento, bem como do tamanho da necessidade de investimento inicial.

Em resposta as perguntas em relação ao impacto do investimento inicial, é possível analisar que os entrevistados de maneira geral, entendem se tratar de alto tamanho de valores envolvidos. Bem como cabe destacar, em apontamento as respostas, que no caso do Brasil, hoje as linhas de créditos específicas abrangem apenas plantas de biogás, o que significa que no caso de plantas com tecnologia WtE acabam se deparando com o desafio de levantar outras linhas de financiamento, na maioria das vezes não tão interessante do que as que se destinam diretamente a um setor ou produto. Cabe lembrar que o Banco Mundial financia projetos internacionais que atendem projetos de recuperação energética, com prazos longos de amortização dos financiamentos, isso é uma possibilidade de fonte de recursos para estes projetos serem desenvolvidos no Brasil.

Seguindo a análise dos resultados dos critérios, por ordem de importância vem o critério do impacto ambiental. Destaque para as respostas dos entrevistados do município da unidade de análise, devido à preocupação dos gestores em encontrar uma solução para a gestão dos RSU, que fosse resolver o problema e não apenas postergar ou amenizar, conforme citado nas entrevistas o caso dos aterros sanitários, na visão deles. Visto que hoje tem opção mais aprimoradas de tecnologias de destinação dos RSU que são ambientalmente melhor aceitável como o caso da pirólise, gaseificação, DA e incineração.

Sendo assim, os critérios que se apresentaram com menos importância, foram os critérios de projeção da composição dos RSU e projeção da quantidade de RSU. Conforme é possível analisar, que no caso em específico do município em análise, com suas características específicas possa justificar a pouca relevância dos critérios. Visto que conforme resposta dos entrevistados, estes não veem grandes mudanças de cultura em relação a geração de RSU, como também mudanças significativas em relação a composição, para períodos de curto à médio prazo.

O critério sobre a decisão de escolha do local apesar de salientado pelo representante da indústria, como um grande desafio para decisões deste tipo de investimento, no resultado não se apresentou entre os mais importantes. A explicação deste resultado vem de encontro da situação do estudo de caso, visto que o município já tinha este lugar pré-estabelecido. Cabendo ressaltar que se for aplicado em outros estudos, pode representar outro nível de importância.

Cabe destacar, que conforme pode ser visto na figura 25 a participação dos critérios não sofre tanta discrepância entre um critério e outro. Exceção para os

critérios de projeção da composição e quantidade dos RSU, estes já salientado os motivos que levaram a este nível de importância.

5.1.1 Análise dos Critérios e as Tecnologias WtE

Nesta seção é apresentado as análises quanto as tecnologias WtE e os critérios apontados neste trabalho. Apontando as relações entre estes pontos. Bem como nesta seção é apresentada a tecnologia de pirólise que foi escolhida pelo município em estudo.

Em relação aos aterros sanitários em relação ao critério trazido do impacto ambiental foi determinante para a exclusão desta tecnologia. Primeiramente pelo município hoje já destinar seus RSU em aterro sanitário do município de Minas do Leão, assim entendem que precisavam de uma tecnologia que fizesse a destinação final adequada, visto que nos aterros os RSU continuam “guardados” e podendo gerar efeitos nocivos ao meio ambiente por indeterminado período.

Este resultado vem a corroborar com os estudos de Kumar; Samadder, 2017, que destacou a tecnologia dos aterros sanitários como a pior opção de tecnologia WtE, sendo negativo nos pontos do impacto ambiental, impacto a saúde humana, degradação do solo e contaminação das águas subterrâneas.

Quanto ao critério do impacto social os aterros sanitários não são a escolha mais procurada, visto que pelo efeito do mau odor do lixiviado acaba deixando a população local não satisfeita, quanto a aceitação desta tecnologia como melhor escolha. Neste ponto cabe destacar que a sociedade espera um gerenciamento adequado para os RSU, assim aceitar colocar tudo em um aterro sanitário não é a melhor opção nem para os países em desenvolvimento, mesmo com todos os desafios que estes países enfrentam.

Porém no critério do investimento econômico e do retorno do investimento inicial, os aterros sanitários ficaram numa opção vantajosa, visto que os valores a serem investidos são bem menores que os comparados as demais tecnologias WtE trazidas neste trabalho. Como foi destacado pelo prefeito de Candiota que para fazer a captação do gás metano não foi necessário um montante de investimento tão considerável em relação as receitas a serem auferidas. Corroborando com o estudo

de Yechiel; Schevah, 2016 e Fazeli et al., 2016 que destaca retornos econômicos significativos da conversão do gás de aterros sanitários em energia, quando comparada a demais tecnologias WtE, visto o montante do investimento.

A tecnologia de DA quando analisada sobre o critério de composição dos RSU, vem de encontro com os resíduos que foram escolhidos para o tratamento de recuperação energética, sendo indicada para o tratamento destes resíduos a DA (TOZLU; ÖZAHİ; ABUŞOĞLU, 2016), porém esta tecnologia não foi a escolha da gestão municipal.

Um dos motivos que pode justificar esta não escolha da DA é que o município vai utilizar os resíduos da coleta convencional, assim nesta coleta tem muitos materiais, não somente os orgânicos, o que viria a necessitar de uma seleção dos materiais, que impactaria na análise econômica do projeto.

Porém os estudos de Khan; Kabir, 2020 destacam no critério ambiental a DA como a tecnologia WtE com maior pontuação, justificando-se pelo tamanho da área da planta e também pela avaliação das emissões de poluentes ao meio ambiente, sendo considerada menos emitente destes gases, o que corrobora no critério do impacto ambiental.

Quanto a tecnologia de incineração o critério das normas e legislações dos RSU foi excludente a esta tecnologia, visto que o órgão Estadual, a FEPAM, que o município está inserido não autoriza a incineração de RSU. Desta forma a comissão do município nem levantou esta tecnologia como uma opção.

Assim é possível relacionar a descrição de Kumar; Samadder, 2017, no exemplo do caso do Japão que é famoso pelo uso da tecnologia de incineração, mas que também é destaque quanto as rigorosas legislações que tratam da combustão dos RSU, bem como em demais países desenvolvidos a grande preocupação com as dioxinas corroboram para o alto rigor das leis e regulamentos para a liberação desta tecnologia. Desta forma é possível inferir que hoje, no caso do Brasil o caminho para a regulamentação da incineração possui um longo curso a ser percorrido.

Já quanto a tecnologia de gaseificação, analisando com o critério da escolha dos RSU a serem utilizados no processo, é importante lembrar que o município optou por gerar energia dos resíduos convencionais. Desta forma o município acabou não optando por esta tecnologia. O que pode corroborar com o estudo de Luz et al., 2015 da necessidade de estabelecer larga escala na geração de energia,

o que destaca um dos motivos desta tecnologia estar predominantemente nos países desenvolvimento.

Também em relação aos critérios econômicos como investimento inicial e retorno do investimento, a tecnologia de gaseificação de apresenta com baixo nível de interesse em relação ao alto teor de umidade que os RSU do município apresentam. O que pode gerar a baixa eficiência dos gaseificadores e sistemas de limpeza dos gases, necessitando de um montante ainda maior de investimento (KUMAR; SAMADDER, 2017).

Na tecnologia de gaseificação a grande dificuldade vista foi no controle da temperatura do reator (KUMAR; SAMADDER, 2017), visto que é acentuada quando o material apresenta características variadas e diferente composição, da qual é característica dos RSU, assim consequentemente varia o poder calorífico, porém esta é uma realidade dos RSU, o que torna o processo bastante instável. Assim para minimização deste problema, esta tecnologia exige que os materiais utilizados passam por tratamento especializado, de modo a reduzir a umidade para valores entre 10% e 15%, este procedimento é considerado complexo de realizar e homogeneizá-los em tamanho e composição. Fator que alerta para o fato dos RSU apresentarem umidade média de 38% (ABRELPE, 2019), sendo que em relação à fração orgânica fica em torno de 50% da composição típica dos RSU nacionais, sendo que pode chegar a 70%. Sendo que o percentual de umidade pode sofrer variações significativas quando ocorre nas estações chuvosas.

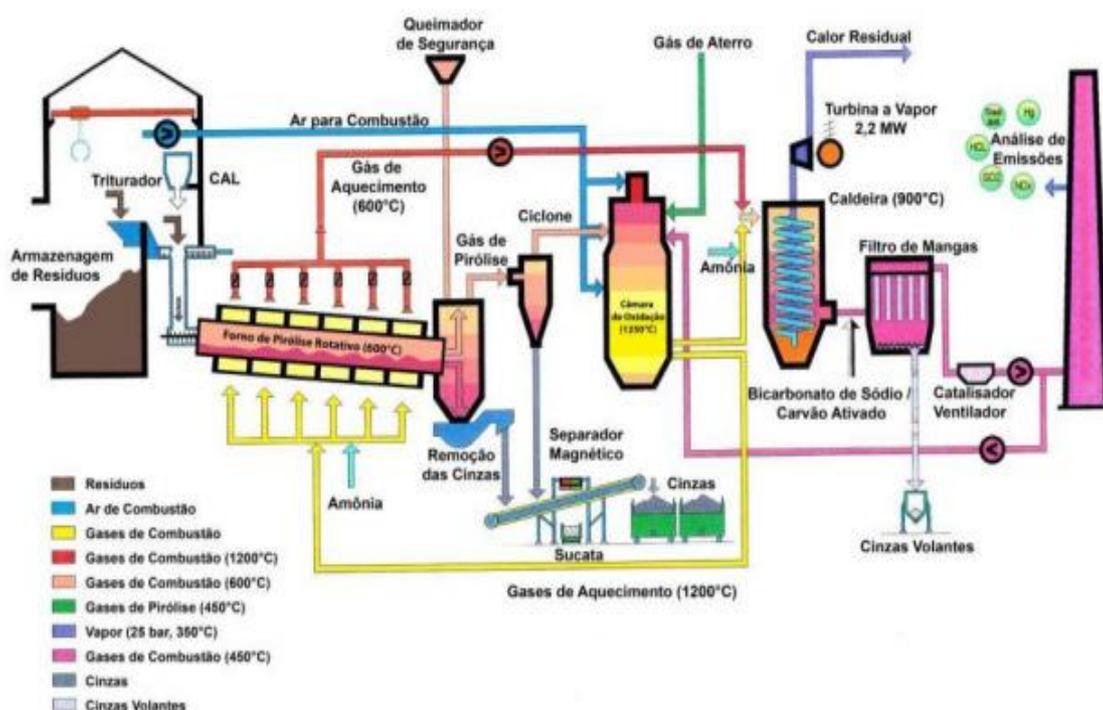
Pela necessidade de temperatura alta na gaseificação passa a exigir materiais especiais que suportem estas condições, o que também eleva os valores para implantação e manutenção dos equipamentos, assim quando analisado sobre o critério do retorno do investimento e do investimento inicial acaba não levando a melhor pontuação.

Para a tecnologia de pirólise, que foi a tecnologia escolhida pelo município. Cabe ressaltar que nesta tecnologia existem diferentes processos de temperaturas, e nestes distintos processos, retorna diferentes resultados. Por exemplo na pirólise lenta o processo da temperatura fica superiores a 400°C e com longos períodos de residência, entre 40 minutos e 1 hora, resultando em proporções dos produtos obtidos normalmente são de 30% líquidos, 35% carbonáceos e 35% gases. Na pirólise rápida o processo de temperatura fica entre 400°C e 600°C e com períodos de residência curtos, menores que 2 segundos, resultando nos produtos obtidos

normalmente de 75% líquidos, 12% carbonáceos e 13% gases. Já na flash pirólise, o processo ocorre a temperaturas superiores a 800°C e períodos de residência curtos em torno 1 segundo, com resultados dos produtos obtidos normalmente são de 5% líquidos, 10% carbonáceos e 85% gases.

O processo de pirólise utilizado para tratamento de RSU que tiveram sucesso, são quase que exclusivamente aqueles que utilizam a pirólise lenta, segundo a avaliação, motivo este que se tornou o principal objeto da abordagem avaliativa. Para avaliação foram realizadas viagens internacionais para conhecimento de plantas em funcionamento em diversos países. Uma delas foi a planta da usina em Burgau, na Alemanha, considerada um grande sucesso desta tecnologia construída com capacidade de 95 toneladas/dia de RSU, podendo ser utilizado também lodo de esgoto e de solo contaminado, atuando continuamente desde 1.982, na figura 26 é apresentado uma ilustração desta planta.

Figura 26 – Planta da Usina de Burgau na Alemanha



Fonte: Relatório público da prefeitura de Bento Gonçalves, 2017.

No critério ambiental a tecnologia de pirólise foi mais bem avaliada. Um dos motivos é devido ao fato do aquecimento ocorrer sem a presença de oxigênio, o que contribui para minimizar a criação de gases nocivos (RAJAEIFAR et al., 2017). Outro ponto trata-se de uma destinação final ambientalmente adequada e definitiva, vindo ao encontro do que a gestão do município estava procurando. Bem como corrobora

com os estudos de Kung; Mu, 2019, considerada tecnologia de pirólise eficaz na mitigação de mudanças climáticas provocadas pelos GEE, o que contribui para a avaliação deste critério.

No critério de recuperação energética, se apresenta como positiva quanto a questão que o processo ocorre na ausência de ar, assim permite alcançar eficiências termodinâmicas superiores e ótimos resultados de emissão através da remoção de substâncias nocivas antes da fase de combustão.

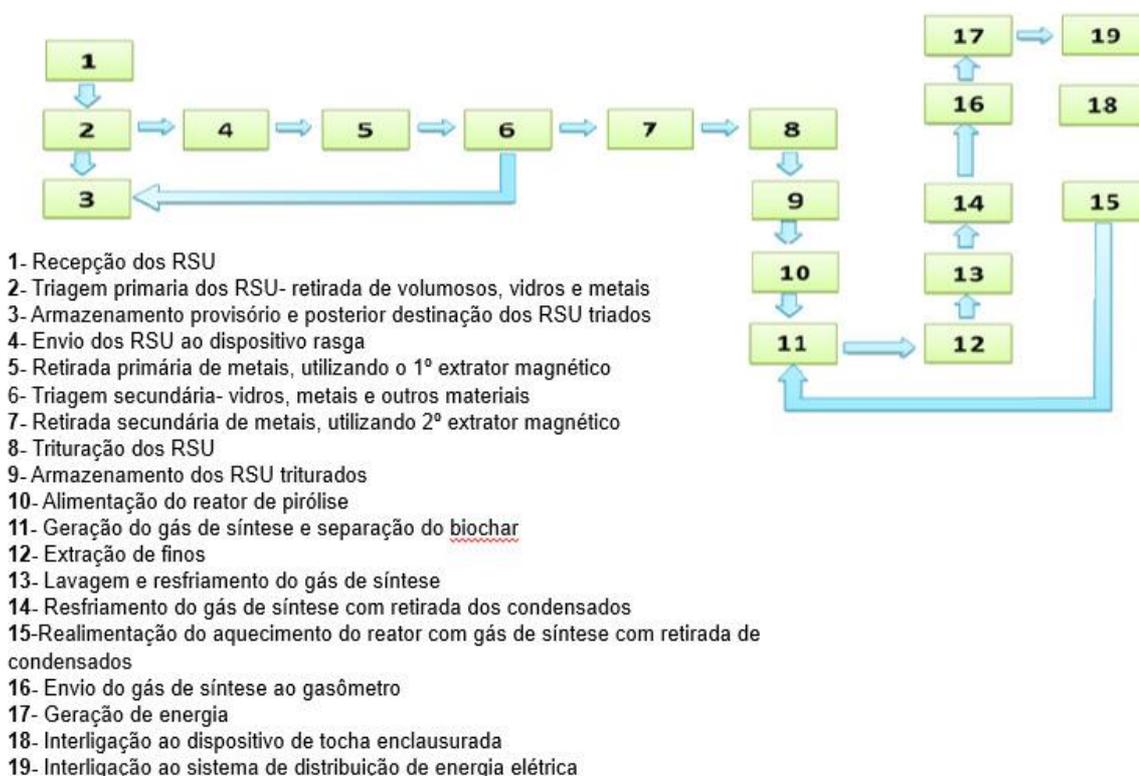
Outro ponto positivo desta tecnologia é o fato que os combustíveis produzidos como o gás de síntese, são sensivelmente mais ricos que os obtidos através de processos de gaseificação por exemplo, visto que não utilizam nenhuma forma de oxidação. Estas características tornam o processo ainda mais versátil e adequado para o aproveitamento energético.

Salienta-se também que a unidade da planta de pirólise pode ter pequena capacidade, por exemplo, até 100 toneladas/dia, o que corresponde ao quantitativo de resíduos gerados por cidades de médio porte. Outro fator positivo diz respeito ao sistema, visto que este pode ter dimensões reduzidas, podendo ser instalado em galpões relativamente pequenos no interior de áreas industriais. Este baixo impacto territorial e ambiental facilita a aceitação pela população local, o que contribui para a escolha do local, do impacto social e o nível de informação local.

Também por viabilizar unidades relativamente pequenas em que cada comunidade será responsável por tratar o que produz, proporciona uma redução da produção de resíduos, reforça o ponto positivo do critério de investimento inicial e retorno do investimento.

Através da tecnologia escolhida foi montado um fluxograma dos processos, com a apresentação do fluxo dos RSU, desde a recepção, armazenamento, trituração, demais fluxos, até a geração da energia e a saída desta energia renovável, apresentado na figura 27.

Figura 27 – Fluxograma dos Processos na Planta de Pirólise



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda sobre o critério de recuperação energética é importante destacar sobre o consumo de energia elétrica anual do poder público em suas diversas áreas (poder público, serviços públicos, iluminação pública), da qual somaram 10.400 MW no ano 2017. Baseado nos dados deste mesmo ano estimou-se a capacidade de conversão dos resíduos não recicláveis de 12.346 MW, isso significa que após a exclusão da energia elétrica necessária a própria operação da usina, apresenta um excedente de 1.946 MW, apresentando eficiência energética.

Quanto ao critério ambiental no processo de pirólise o projeto que será implantado não prevê o descarte de efluentes líquidos, pois a pequena parcela de chorume gerado será incorporada ao processo. Na ocorrência de situações em que o descarte se faça necessário, o tratamento dos efluentes líquidos e chorume a empregar, será ajustado de modo a promover a redução dos índices poluentes e possibilitar o atendimento à legislação vigente.

Quanto ao resíduo sólido resultante do processo de pirólise, serão apenas as cinzas carbônicas inertes (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018) que poderão ser utilizadas na agricultura como melhorador de solo. Destaque especial a Empresa

Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que já vem realizando pesquisas para emprego de resíduos similares provenientes de usinas de tratamento térmico de biomassas para aplicação agrícola, somados estes estudos aos trabalhos com a participação da Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Sul (UFRS). Também existem outras possibilidades de aplicação, incluindo entre elas o emprego como combustível em fornos de cimento ou em briquetes em siderúrgicas.

Outro ponto quanto ao critério ambiental no processo de pirólise quanto do uso de RSU não demanda a necessidade de utilização de maiores volumes de água. A umidade média do RSU gira no entorno de 38%, sendo que a execução da tecnologia escolhida demanda o percentual de 30%. Mas caso se faça necessária a utilização de água temporariamente ou em algumas fases do processo, a infraestrutura a ser implantada prevê o uso de reservatórios que permitirão a armazenagem de águas das chuvas.

Já no critério do impacto social, a área sugerida para implantação das futuras usinas de tratamento térmico/conversão em energia e reciclagem de resíduos, no local escolhido hoje tem a estação de transbordo. Desta forma, as instalações a serem construídas não serão visíveis por quem circula pelas vias de alta circulação, situação hoje vivida em relação à edificação existente, eliminando qualquer desconforto visual que possa advir da construção da instalação da planta. Esta situação associada ao fato de que o trabalho será realizado em ambientes fechados e cobertos, o que minimizará os odores emanados, indicando ser a melhor infraestrutura adequada ao local, visto que o local escolhido passa a via que é um dos acessos utilizados para o Vale dos Vinhedos, ponto turístico local bastante visitado.

5.2 Análise e Discussão Quantitativa dos Resultados

Esta seção analisa e discute a abordagem quantitativa da desta dissertação. Que trata dos indicadores financeiros-econômicos, como o caso do VPL, TIR e Payback do investimento em análise.

Primeiramente o que pode ser visto que, se trata de um investimento de grandes valores envolvidos no processo da tecnologia de pirólise. Conforme

estimado o valor do investimento nestes 30 anos de contrato, o montante supera a casa dos 53 milhões de reais. O que vem a corroborar com a análise da abordagem qualitativa, já descrita nesta dissertação, visto que os resultados das entrevistas apresentaram ser extremamente importante o critério de retorno de investimento e o critério do capital inicial, bem como em resposta, o representante da área de energia, apontou o tamanho do investimento como sendo um desafio, para o desenvolvimento destas tecnologias no Brasil.

Primeiramente do ponto de vista governamental na análise financeira-econômica o projeto apresentou viabilidade. Já que conforme previsto pela comissão encarregada da modelagem financeira, haverá uma redução dos gastos que envolvem os RSU, visto que pela sobra de energia gerada na planta de pirólise, poderá ser usado em parcerias com outros órgãos, gerando benefícios aos cofres públicos do município.

Outro ponto positivo ainda financeiro-econômico para o governo municipal será a própria geração de receitas para o município através do tributo ISS, que cabe ao município a sua gestão, visto que através da estimativa do demonstrativo do resultado, estima-se uma receita de mais de 220 mil reais logo no primeiro ano de operação da planta. Desta forma este valor poderá ser aplicado nas necessidades da população do município.

Também se espera uma economia dos gastos em saúde pública, que mesmo apesar de não ser mensurado, o que espera é que haja a redução do montante atribuído à saúde pública. Visto que, conforme trazido no capítulo 2 desta dissertação, na seção da saúde pública, cerca de 3,8% do PIB são gastos com saúde pública, segundo relatório do Banco Mundial. Se olhar o tamanho do PIB do município em 2018 e aplicar este percentual, pode-se dizer que o município desembolsou em 2018 cerca de 226 milhões de reais em gastos com a saúde pública.

Outro ponto a ser analisado, é sobre a visão empresarial, ou seja, avaliar se o projeto é atraente para a indústria das usinas de RSU, visto que se trata de uma Parceria Público-Privada, assim o projeto precisa ser viável para os investidores desta parceria. O que pode ser visto, que é um projeto viável, conforme resultado do VPL do projeto, que supera a estimativa na casa dos 7 milhões de reais. O que não podemos afirmar é que este valor atendem a expectativa dos investidores durante este período de 30 anos.

Neste aspecto pode ser visto o resultado da projeção do fluxo de caixa, visto que até o ano 9, o projeto não apresenta resultado positivo, ou seja, não retorna caixa aos investidores. Um destaque que justifica este resultado, são os financiamentos necessários para a operação, que superam a casa dos 53 milhões de reais, e conforme estudo não existem fomento de linha de crédito para este tipo de financiamento, assim se projetou um prazo de pagamento do financiamento de 10 anos. Desta forma pode-se dizer que enquanto é pago os valores do financiamento inicial é estimado um resultado de caixa negativo do projeto. O que muda significativamente no décimo ano, sendo que no fluxo de caixa foi estimado no ano de 2030 um resultado de caixa de mais de 6 milhões de reais.

Em relação ao payback os resultados da abordagem quantitativa vêm a corroborar com os resultados da abordagem qualitativa. Visto que nas entrevistas foi levantado tempo elevado de retorno dos investimentos das tecnologias WtE. O que pode ser comprovado com os números do fluxo de caixa, visto que o projeto demora 16 anos para pagar o investimento inicial. Não é possível dizer se este tempo é ou não a expectativa dos investidores, visto que em entrevista o que foi dito que se trata de investimento de longo prazo, assim não pode se afirmar, se é ou não o que os investidores estão dispostos a esperar pelo retorno do valor investido.

5.2.1 Discussão Econômica do Aproveitamento Energético no Brasil

Esta dissertação está avaliando o investimento do projeto de construção da usina de RSU do município de Bento Gonçalves, com as premissas estabelecidas pela comissão avaliadora para os devidos cálculos econômico-financeiros, porém sabe-se que existem os riscos que envolvem o projeto, considerando-se aqui o insumo a ser empregado, a tecnologia a ser aplicada e o modelo de negócio a ser adotado, foram identificados os seguintes aspectos:

a) se a análise gravimétrica dos RSU indicar variação substancial em relação à composição média nacional empregada para a realização dos estudos, de modo a afetar o poder calorífico inferior considerado e conseqüentemente a qualidade do gás de síntese produzido, haverá impacto na capacidade prevista de conversão em energia elétrica;

b) se o processo de licenciamento ambiental do empreendimento não ocorrer dentro de prazos factíveis, fazendo com que se postergue a data prevista para o início da operação, haverá prejuízos não só para a prefeitura, como também para o investidor;

c) se o programa de coleta seletiva sofrer redução nos quantitativos obtidos, e/ou se os valores considerados para a remuneração da destinação do material reciclável sofrerem variação significativa, haverá impacto sensível nas receitas previstas;

d) se a comercialização dos resíduos recicláveis triados for afetada por desinteresse das empresas do setor ou pela redução do nível de suas atividades, haverá impacto sensível nas receitas previstas;

e) se ocorrerem greves nos serviços de coleta de RSU não reaproveitados e/ou recicláveis por período que prejudique ou onere a realização dos serviços de conversão em energia elétrica e de triagem dos recicláveis, exigindo a utilização da mão de obra em períodos extraordinários de trabalho, haverá impacto nas despesas previstas;

f) se acontecerem paralisações constantes e/ou por períodos maiores no sistema de distribuição da concessionária de energia elétrica, afetando segmentos que exijam a paralisação dos serviços de conversão dos RSU, haverá comprometimento na quantidade de entrega da energia elétrica ao município, bem como necessidade de adoção de medidas extemporâneas para a execução de alternativas quanto à destinação final dos RSU, além da elevação dos custos operacionais devido a inatividade parcial da estrutura da usina;

g) se ocorrerem interrupções nas vias de acesso da futura usina por período de tempo longo, de modo que gere impedimento ao tráfego dos veículos empregados nas atividades, impactando a chegada dos insumos para tratamento térmico, conversão em energia elétrica e/ou triagem dos resíduos coletados, haverá comprometimento na quantidade de entrega da energia elétrica ao município, bem como necessidade de adoção de medidas extemporâneas para a execução de alternativas quanto à destinação final dos RSU, além da elevação dos custos operacionais devido à inatividade parcial da estrutura da usina;

h) se acontecer atraso por parte da administração pública no ressarcimento dos serviços prestados, conforme a formatação prevista no modelo de negócios haverá impacto no fluxo de caixa;

i) se o negócio sofrer oneração por novos impostos, tributos e taxas não existentes à época da formatação do modelo de negócios apresentado e tais fatos não forem considerados posteriormente, poderá haver necessidade de repactuação de valores a fim de evitar o desequilíbrio econômico-financeiro no empreendimento;

j) se houver a elevação significativa de valores dos materiais e insumos utilizados para implantação do negócio ou empregados na futura prestação dos serviços, principalmente aqueles de maior relevância que causam impacto no resultado econômico previsto, poderá haver a necessidade de repactuação dos valores previstos;

k) se ocorrerem divergências entre as informações fornecidas pela prefeitura municipal de Bento Gonçalves e as efetivamente identificadas como possíveis de realização, haverá necessidade de reavaliação do projeto e adequação dos valores.

Neste sentido do ponto de vista do poder público quanto ao aspecto econômico outras soluções de tecnologia de RSU podem apresentar um resultado econômico ainda mais satisfatório. Há exemplo o caso do processo de CDR, em estudo de Mamede, 2013, se apresentou favoráveis no critério econômico e ambiental, desta forma, produzir o combustível para outros fontes de energia pode ser algo muito interessante. Bem como utilização do CDR para produção de cimento, substituindo o coque de petróleo (LIMA et al., 2018).

Vale ressaltar também que a tarifa de tratamento para aterro sanitário praticada no Brasil é pequena comparada à de países europeus, uma vez que estes países elevam os custos de disposição em aterros como forma de estimular práticas alternativas a esta (MAMEDE, 2013). Desta forma quando da avaliação econômico-financeira dos projetos, se o Brasil vier a aderir ao exemplo dos países europeus, terá um grande aumento nas despesas públicas quanto da destinação dos RSU para os aterros sanitários.

Ainda o estudo de Mamede, 2013, aponta a DA com menor custo de produção de eletricidade direta, do que o beneficiamento do biogás para comercialização como combustível para veículos, entretanto a receita do combustível de biogás apresenta-se maior que a venda direta de eletricidade. Neste sentido fica como sugestão para os gestores municipais avaliarem estas questões.

Estudos mais recentes como de Dalmo et al., 2019, sugerem aos gestores públicos o uso de tecnologias híbridas, como o caso da DA e incineração que se apresentaram maior potencial energético(DALMO et al., 2019). Porém no estudo dos

autores não foi estudado a avaliação potencial da tecnologia de pirólise, assim não permite dizer que este arranjo híbrido tenha melhor potencial energético do que a tecnologia de pirólise.

Mas é importante ressaltar que os municípios com baixa geração de RSU podem se associar em arranjos consorciados para obter benefícios de ganhos de escala na gestão de resíduos e aproveitamento energético do RSU. A gestão por consórcios também garante uma melhor racionalização dos recursos tecnológicos, minimização de custos, otimização na contratação de serviços, agilidade na operação além de ganhos técnicos, gerenciais e financeiros (DALMO et al., 2019).

Na avaliação econômica das tecnologias de incineração, gaseificação e pirolise, municípios com população inferior a 60.000 habitantes poderiam ser agrupados em consórcios para coleta e tratamento de RSU, aqueles com mais de 60.000 habitantes poderiam tentar instalar sua própria instalação de tratamento de RSU (LUZ et al., 2015).

Sobre a análise econômica do ponto de vista da indústria de usinas, no entanto, há necessidade de incentivos governamentais para que as tecnologias WtE possam ser desenvolvidas no Brasil. Mesmo com um VPL positivo, não é suficiente para garantir a conveniência do investimento. Ao lado do valor do VPL, também a TIR deve ser considerada, juntamente com o limite exigido de lucratividade dos investidores (LUZ et al., 2015).

5.3 Contribuições

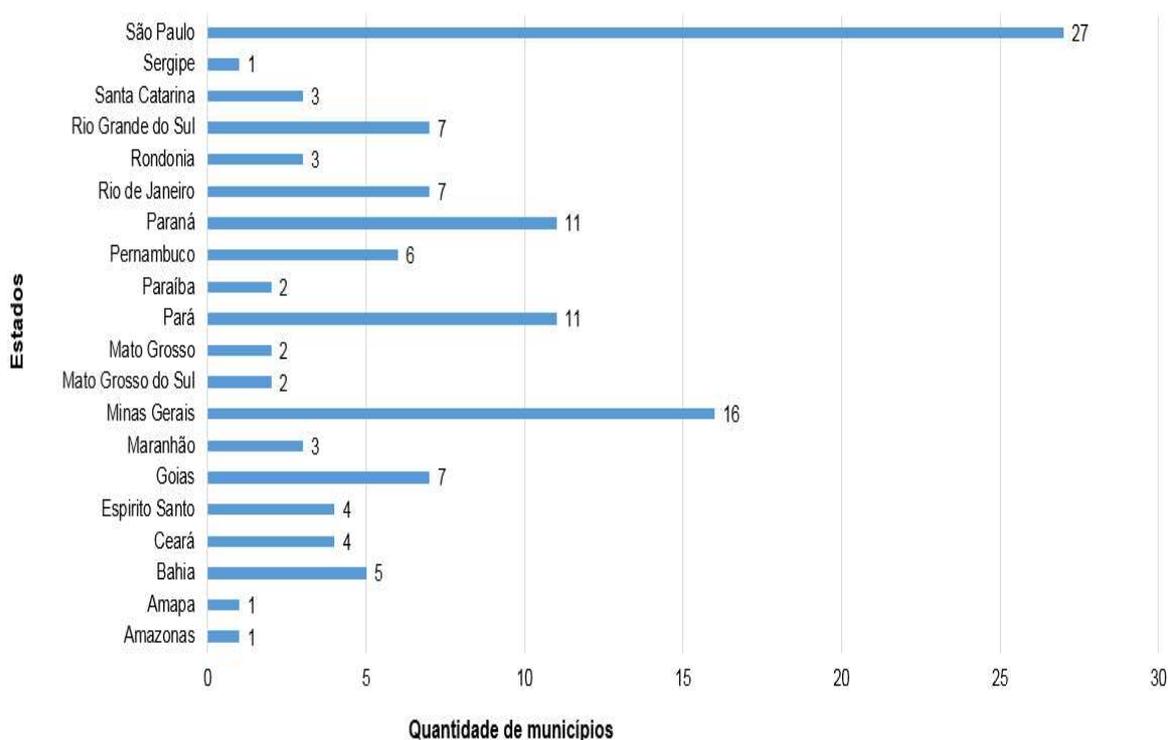
Esta seção discute as contribuições desta pesquisa sob a perspectiva prática e acadêmica. Sob a primeira perspectiva são discutidas as implicações dos resultados para os tomadores de decisões públicas, no âmbito das tomadas de decisões que envolvem o gerenciamento dos RSU. Em seguida, a discussão se volta as contribuições acadêmicas desta pesquisa, contribuindo com as pesquisas que se direcionam ao gerenciamento dos RSU.

5.3.1 Contribuições Práticas

O gerenciamento adequado dos RSU, é responsabilidade designada ao poder público local, no caso do Brasil, os gestores municipais. Assim esta pesquisa contribuiu com o levantamento dos critérios norteadores que podem suportar o processo de decisões de investimento em tecnologias WtE que tratam dos RSU. Nesta pesquisa foi possível através das entrevistas realizadas, testar estes critérios levantados, visto que é possível dizer, que serviram de apoio para a decisão de investimento da unidade de análise.

Também através deste trabalho os gestores municipais podem utilizar esta pesquisa, como um guia de referência nas decisões que atendem ao gerenciamento dos RSU em seus municípios. Visto que esta pesquisa apresentou as descrições detalhadas da unidade de análise. Sendo caracterizado o detalhamento da composição do RSU, a localização do município, o nível de umidade dos materiais, a população, enfim, características que permitem a comparação com outros municípios similares ao município em estudo de caso, assim facilitando os estudos para as decisões neste sentido.

Figura 28 – Municípios com População Estimada entre 100 a 150 mil Habitantes.



Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do IBGE 2020.

Desta forma, podendo servir como um guia para municípios com número de habitantes semelhantes, a figura 28 apresenta 123 municípios do Brasil, que se encontram com população estimada entre 100.000 a 150.000 habitantes. Esta faixa da população está relacionada com a população estimada do município de Bento Gonçalves, que conforme já descritos no capítulo 5 apresenta-se com número de habitantes estimado de 121.803, segundo os dados do IBGE de 2020.

Outro ponto que este trabalho veio a contribuir para a gestão pública, sobre o aspecto de melhoria na saúde pública da população local. Conforme resposta unânime dos entrevistados, que é possível relacionar a melhoria da gestão dos RSU, com a melhora na saúde pública. O que pode inferir que os gastos que envolvem a destinação de recursos para saúde pública serão diminuídos (LUZ et al., 2015; FAZELI et al., 2016; HARAGUCHI; SIDDIQI; NARAYANAMURTI, 2019; KRYSTOSIK et al., 2020), impactando em sobra destes recursos que poderão ser investidos em outras necessidades, como educação, infraestrutura e segurança (SANTOS et al., 2019) que vem a beneficiar a população. Principalmente no caso do Brasil, um país em desenvolvimento, existindo muito a ser desenvolvidos em diferentes áreas.

Outro aspecto que se levanta quanto a contribuição governamental, vem do critério ambiental, visto que foi aqui salientado na entrevista do prefeito de Bento Gonçalves, um dos motivos que desencadeou a sua gestão para a busca de uma solução para os desafios dos RSU. Desta forma, esta pesquisa contribui para os gestores municipais, que estão dispostos a enfrentar os desafios dos RSU de maneira a solucionar, não apenas postergar os problemas, conforme apontado nas entrevistas.

Também é possível estabelecer a contribuição deste estudo no aprimoramento e melhoria das normas e legislações que norteiam os RSU e as tecnologias WtE. Visto que este trabalho destaca a importância de promulgações de leis que vem desenvolver a recuperação de energia e o gerenciamento adequado dos RSU, o que veio a contribuir também com os estudos de casos da Alemanha (ROLL; STREISSELBERGER, 2013) e da Austrália (COMMONWEALTH of AUSTRALIA, 2013), que se utilizaram da emissão de leis mais duras para reduzir os impactos dos GEE e o desenvolvimento de fontes de energia renovável. Assim este trabalho traz exemplos para os gestores públicos, da importância de desenvolvimento de um conjunto de normas e legislações, que venha a fomentar o

desenvolvimento de soluções mais adequadas para os RSU e a recuperação energética.

Na questão energética, em relação a contribuição governamental, este trabalho vem a somar os estudos que descrevem e exploram novas fontes de energia. Visto que já mencionado na revisão da literatura desta dissertação sobre a segurança energética (CHIEN BONG et al., 2017), a recuperação de energia dos RSU vem a ser uma estratégia de governo para contribuição desta segurança energética.

Sobre a contribuição do estudo para os gestores públicos, também este estudo veio a contribuir com os estudos que tratam dos aterros sanitários. Visto que neste estudo foi apontado, que não se trata de uma destinação definitiva dos RSU, visto que os aterros apresentam vários riscos, um dos motivos para os municípios serem responsáveis eternamente pela destinação dos seus RSU nos aterros sanitários. Assim foi possível apontar o questionamento neste trabalho, do quanto vulneráveis os municípios estão em relação as empresas responsáveis pelos aterros, cabe destaque para a questão do aumento de preços da destinação, que pode ocorrer, visto que hoje, no caso do Estado do Rio Grande do Sul existem poucos aterros sanitários, o que causa insegurança aos gestores municipais.

Importante destacar aqui que esta avaliação financeira-econômica foi analisada de maneira estática, visto que foram utilizadas todas as possibilidades de variação que pode impactar nos resultados destes indicadores. Assim este resultado está atrelado as premissas que foram utilizadas para os cálculos. Porém é possível citar a contribuição destes indicadores a nível de fontes de financiamentos, visto que o resultado da TIR em mais de 8% abre possibilidade de financiamento pelo Banco Mundial.

5.3.2 Contribuições Acadêmicas

Este trabalho traz contribuições acadêmicas para o tema de gerenciamento dos RSU. Primeiramente é apontado a contribuição do levantamento de critérios que suportam a decisão de investimento em tecnologias WtE. Conforme foi apresentado

o levantamento destes critérios na seção 2.5 desta dissertação, e posteriormente validado estes critérios e testados na entrevista do estudo de caso.

Outra contribuição acadêmica vem da própria lacuna levantada na revisão bibliográfica, quanto a tecnologia de pirólise, visto que se trata de uma tecnologia pouco desenvolvida nos países em desenvolvimento (LUZ et al., 2015). Desta forma, este estudo vem a contribuir academicamente com a exploração desta tecnologia em países em desenvolvimento, visto que este trabalho descreveu o processo de adesão do investimento desta tecnologia no Brasil para o tratamento adequado dos RSU A forma como foi apresentada.

Também este estudo contribui com sua abordagem quantitativa, trazida nesta dissertação na seção 5.4, com a descrição da análise financeira-econômica da tecnologia escolhida pelo município em estudo. Esta abordagem juntamente com a abordagem qualitativa veio a trazer robustez para o meio acadêmico, sobre a as tecnologias WtE, visto que na maioria dos estudos realizados até então eram avaliados de maneira separada, por exemplo uma avaliação do ponto de vista ambiental, social ou somente econômico (OUDA et al., 2016).

Em relação a escolha da tecnologia de pirólise, algumas contribuições são levantadas. Sobre a indicação desta tecnologia quanto ao aspecto social, pode corroborar com a aceitação pela sociedade local, sendo alguns motivos contributivos para este resultado. Como é o caso relacionado ao distúrbio visual, geração de ondas de calor e risco a saúde pública (KHAN; KABIR, 2020), assim este estudo vem a contribuir positivamente para os bons resultados sob este critério. Visto que isso foi avaliado e aceito pela comunidade local.

No caso do município de Bento Gonçalves, a escolha da tecnologia de pirólise não foi a única solução adotada para o gerenciamento adequado dos RSU. Visto que apenas os resíduos convencionais foram selecionados para o processo de pirólise, os resíduos reciclados foram priorizados para destinação as associações recicladoras do município, desenvolvendo um ciclo reverso para os resíduos que podem ser reciclados. Desta forma, este estudo contribui com a teoria levantada por Peeraponga; Limmeechokchai, (2016) e de Rajaifar et al. (2017), de que a reutilização e a reciclagem devem ser consideradas prioridades para os tomadores de decisões, desta forma ocorre a diminuição da extração de fontes de recursos não renováveis.

Contribuindo também com os estudos de Kumar; Samadder (2017), que observou que os lugares que apresentavam alta taxa de recuperação de energia a partir dos RSU, também apresentam altas taxas de reciclagem. Isso é percebido neste estudo, que aponta que os índices de reciclagem do município com a adesão da recuperação energética dos RSU pela tecnologia de pirólise vão elevar muito o nível de reciclagem também. Desta forma, confirmando a observação dos autores citados.

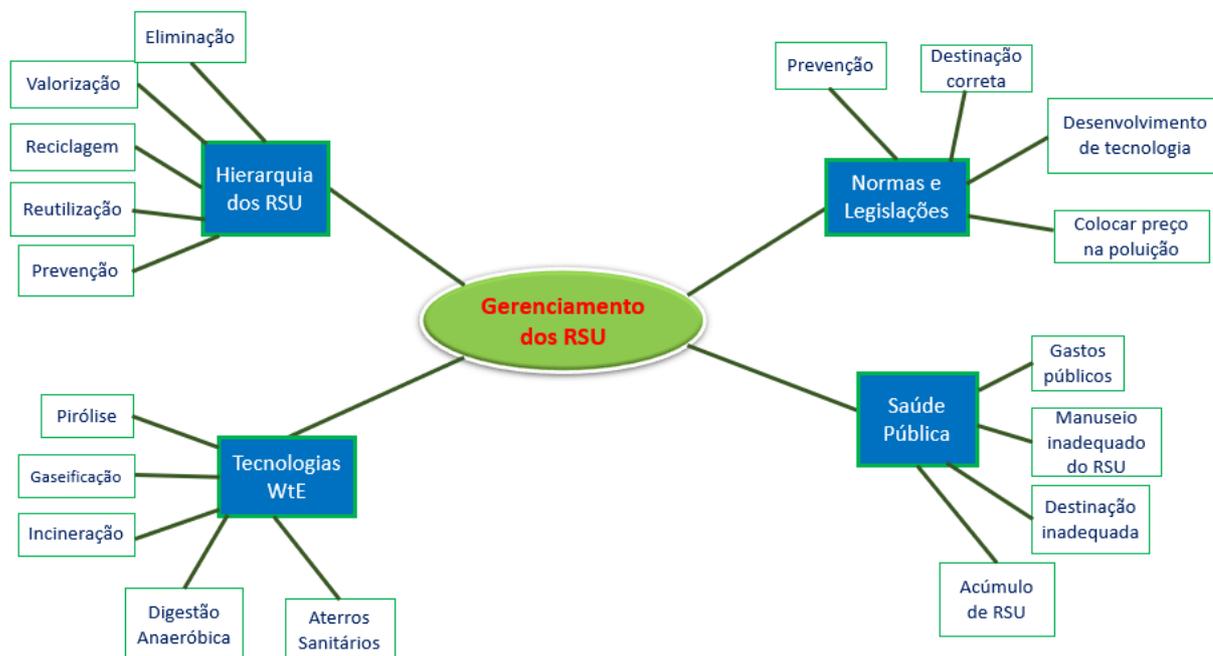
5.4 Considerações Finais ao Capítulo

Neste capítulo foram discutidos os principais achados da pesquisa em relação aos critérios que envolvem o processo de decisão de tecnologias WtE para os RSU, bem como as análises na abordagem qualitativa destes critérios e o levantamento da análise financeira-econômica deste projeto, na abordagem quantitativa.

Nota-se que os critérios trazidos neste trabalho apresentaram grande nível de importância nas decisões de investimento em tecnologia WtE para tratamento dos RSU. Bem como pode ser percebido, que sua representação pode sofrer variação dependendo do estudo de caso que for aplicado, mas cabe ressaltar que este trabalho serve como um guia para os gestores públicos municipais, quando se discute a adesão de investimento em tecnologia WtE para os RSU. Assim pode-se dizer que estes critérios servem de apoio para as decisões de investimento que envolvem o gerenciamento dos RSU, podendo variar de lugar para lugar a importância de cada critério, devido à complexidade das características que envolvem o mesmo.

Nestas discussões, análises e contribuições que este capítulo trouxe é possível estabelecer um mapa mental da relação do tema central desta dissertação, com seus grandes pilares e suas repercussões, mostrando os elos deste engajamento. Conforme apresentado na figura 29.

Figura 29 – Mapa Mental



Fonte: Elaborado pela autora.

Para que o gerenciamento adequado dos RSU ocorra nos países em desenvolvimento, as tecnologias WtE, a saúde pública, as normas e legislações e a hierarquia dos resíduos precisam fazer parte deste gerenciamento. Assim os gestores públicos têm a visão geral das decisões assertivas para o gerenciamento apropriado dos RSU.

6 CONCLUSÃO

Esta seção retoma aos objetivos traçados no início do trabalho e sintetiza as principais conclusões acerca de cada objetivo. Também se levanta as limitações da pesquisa, bem como as recomendações para pesquisas futuras.

O contexto inicial deste trabalho discutiu os desafios do gerenciamento do RSU enfrentados pelos gestores públicos, apontando a necessidade de investimentos em tecnologias WtE que suportam a resolução destes desafios. Porém o grande volume de complexidade da avaliação deste tipo de investimento torna-se bastante desafiador a gestão pública, desta forma, este trabalho assumiu o desafio de propor um guia que possa suportar a tomada de decisão sobre as tecnologias WtE para o gerenciamento dos RSU.

Para atender ao objetivo principal este trabalho aplicou a metodologia de estudo de caso único sob duas abordagens. Abordagem qualitativa para analisar os critérios levantados e abordagem quantitativa para aplicar o estudo de viabilidade financeira-econômica do projeto em estudo de caso. Foi utilizado abordagem qualitativa/quantitativa para trazer mais robustez nos achados deste trabalho. Foram traçados três objetivos específicos: i) enumerar as principais alternativas de tecnologias WtE para RSU; ii) analisar os critérios que suportam os investimentos em usinas de RSU e iii) avaliar os impactos econômicos do processo de decisão de investimento para o gerenciamento dos RSU.

Para condução das alternativas de tecnologias WtE para o tratamento de RSU, o estudo conduziu a revisão da literatura que tratou da recuperação de energia dos RSU, da qual foram enumeradas as principais tecnologias utilizadas no mundo, sendo a mais desenvolvidas para este tipo de material: incineração, pirólise, gaseificação, DA e aterros sanitários (KUMAR; SAMADDER, 2017; RAJAEIFAR et al., 2017). Também foi possível identificar no estudo de caso, a análise realizada para escolha destas tecnologias, sendo contemplada a escolha da tecnologia de pirólise.

Assim foram levantados os critérios que podem suportar a decisão de escolhas pelas tecnologias WtE para o tratamento de RSU. Foram levantados 14 critérios identificados pela revisão da literatura, sendo estes critérios validados pelos especialistas entrevistados, bem como na realização das entrevistas houve a oportunidade de validação e exclusão destes critérios, bem como a adição de novos

critérios que não haviam sido identificados pela literatura, mas que fazem parte do processo de tomada de decisão. Assim este trabalho trouxe 15 critérios, sendo eles: recuperação energética; impacto social; impacto do investimento inicial; retorno econômico do investimento; composição dos RSU; impacto ambiental; projeção da quantidade dos RSU; projeção da composição dos RSU; escolha do local da instalação da planta; escolha dos materiais a serem reciclados; nível de informação da comunidade local; impacto a saúde pública; normas e legislações dos RSU; normas e legislações de energia e educação ambiental.

Este trabalho avaliou o impacto econômico deste projeto do estudo de caso. O que revelou a viabilidade financeira-econômica do projeto do ponto de vista da gestão municipal, bem como do ponto de vista da empresa concessionária, visto que este projeto de modela de uma parceria público-privada. Esta avaliação foi importante pois corrobora com o nível de importância do critério de retorno do investimento e impacto do capital inicial, visto que se apontou como extremamente importante para o processo decisório por todos os entrevistados. Tornando-se atrativo o desenvolvimento destas tecnologias em países em desenvolvimento, conforme este estudo realizado no Brasil.

Assim é possível concluir que as tecnologias WtE podem ser desenvolvidas no Brasil e apresentar viabilidade econômica dos seus projetos. Bem como é possível criar alternativas para a implantação destas tecnologias, bem como a questão dos consórcios entre municípios, consórcios entre parcerias públicos-privadas e avaliar a possibilidade de aumentar a geração de receitas da recuperação de energias dos RSU como combustível, visto que pode ser uma opção mais vantajosa para o caso dos RSU do que gerar energia. Isso deve ser avaliado nos projetos de implantação dos gestores públicos.

Conforme Aleluia; Ferrão (2017) e Kumar; Samadder (2017) é essencial desenvolver nos países em desenvolvimento as instalações de plantas de tecnologias WtE. Foi possível identificar neste estudo que a tecnologia de pirólise vai atender a viabilidade econômica pela energia gerada na planta, bem como vai aumentar os níveis de reciclagem, atendendo de forma adequada aos desafios do gerenciamento dos RSU.

6.1 Limitações da Pesquisa

Quanto as limitações este estudo limita-se quanto a possibilidade de generalizar estes resultados obtidos, visto que não permite conclusões genéricas destes achados. Porém cabe destacar, que por se tratar de um estudo de caso, foram realizadas a exploração e descrição exaustivas deste estudo, o que possibilita que sejam analisados de forma a encontrar similaridade ao estudo e podendo assim chegar aos mesmos resultados encontrados neste trabalho.

6.2 Recomendações para Pesquisas Futuras

Através deste trabalho podem ser recomendados vários trabalhos futuros, como por exemplo:

- ❖ Este trabalho levantou um conjunto de critérios que puderam suportar o processo de decisão da escolha de investimento em tecnologias WtE, assim pode ser estudado futuramente, se em outros estudos de caso estes critérios foram também suportados, o que viria a contribuir com a limitação de generalização que este estudo apresenta.
- ❖ Foi identificado que as tecnologias WtE estão em processo de desenvolvimento no Brasil, neste ponto, abre-se oportunidades de estudos que venham a discutir mais estas tecnologias no Brasil, bem como o levantamento de barreiras que possam estar impedindo este desenvolvimento.
- ❖ Na abordagem quantitativa foram utilizadas premissas estáticas para os cálculos, assim como sugestão poderia ser avaliado este projeto sobre a Simulação de Monte Carlo para uma melhor avaliação dos resultados e seus comportamentos.
- ❖ Também baseando-se neste estudo poderiam ser estudados numa abordagem quantitativa os interesses dos gestores municipais a nível nacional, para quantificar quanto estes gestores estão preocupados com o gerenciamento adequado dos RSU.
- ❖ Ainda numa abordagem quantitativa novos estudos poderiam tratar das barreiras enfrentadas pelos gestores públicos para se adequar ao gerenciamento adequado dos RSU.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419: 1992. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-8.419-NB-843-Apresentac%C3%A3o-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-RSU.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16849:2020 Resíduos sólidos urbanos para fins energéticos - Requisitos.** Disponível em: <<https://www.abntonline.com.br/consultanacional/projet.aspx?ID=28465>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Desperdício de energia atingi R\$ 61,7 bi em três anos.** Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/novidade/desperdicio-de-energia-atinge-r-617-bi-em-tres-anos/>>. Acessado em: 05 dez. 2019.

ABLP - Associação Brasileira de Limpeza Pública. **Revista Limpeza Pública ed. 99**, 2018. Disponível em: <http://www.ablp.org.br/revistaPDF/edicao_0099.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2014. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2014/>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2019. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2019/>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

ABDEL-SHAFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 27, n. 4, p. 1275–1290, 2018.

ALELUIA, J.; FERRÃO, P. Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries. **Waste Management**, v. 69, p. 592–608, 2017.

ASSI, A. et al. Zero-waste approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, 2020.

AYDI, A. et al. Assessment of electrical generation potential and viability of gas collection from fugitive emissions in a Tunisian landfill. **Energy Strategy Reviews**, v. 8, p. 8–14, 2015.

AZEVEDO, B. D.; SCAVARDA, L. F.; CAIADO, R. G. G. Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 1377–1386, 2019.

BARAN, B.; MAMIS, M. S.; ALAGOZ, B. B. Utilization of energy from waste potential in Turkey as distributed secondary renewable energy source. **Renewable Energy**, v. 90, p. 493–500, 2016.

BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; DA SILVA, T. R. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 150–164, 2014.

BERNARDES, E.; MUNIZ JUNIOR, J.; NAKANO, D. **Pesquisa Qualitativa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 1. ed. São Paulo: 2019, 2019.

BEYENE, H. D.; WERKNEH, A. A.; AMBAYE, T. G. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. **Renewable Energy Focus**, v. 24, n. March, p. 1–11, 2018.

BITTENCOURT, E. S. et al. Forecasting of the unknown end-of-life tire flow for control and decision making in urban solid waste management: A case study. **Waste Management and Research**, v. 38, n. 2, p. 193–201, 2020.

BODRA, M. E. F. DO A.; DALLARI, S. G. A saúde e a iniciativa privada na Constituição Federal de 1988: princípios jurídicos. **Revista de Direito Sanitário**, v. 20, n. 3, p. 240–260, 2020.

BROUN, R.; SATTLER, M. A comparison of greenhouse gas emissions and potential electricity recovery from conventional and bioreactor landfills. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. July 2014, p. 2664–2673, 2016.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. Waste to energy - key element for

sustainable waste management. **Waste Management**, v. 37, p. 3–12, 2015.

CARRARO, C.; FAVERO, A.; MASSETTI, E. “Investments and public finance in a green, low carbon, economy”. **Energy Economics**, v. 34, n. SUPPL.1, p. S15–S28, 2012.

CAUCHICKI, M. P. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CHAKRABORTY, M. et al. Assessment of energy generation potentials of MSW in Delhi under different technological options. **Energy Conversion and Management**, v. 75, p. 249–255, 2013.

CHAND MALAV, L. et al. A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: Current practices, challenges, and future opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 123227, 2020.

CHIEN BONG, C. P. et al. Review on the renewable energy and solid waste management policies towards biogas development in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, n. December 2016, p. 988–998, 2017.

COELHO, E. K. F.; MATEUS, G. R. A capacitated plant location model for Reverse Logistics Activities. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1165–1176, 2017.

COELHO, L. M. G.; LANGE, L. C. Resources , Conservation and Recycling Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 438–450, 2018.

COGUT, A. OPEN BURNING OF WASTE : A GLOBAL HEALTH DISASTER. **R20 REGIONS OF CLIMATE ACTION**, n. October, 2016.

CRUVINEL, VANESSA RESENDE NOGUEIRA, N. et al. Health conditions and occupational risks in a novel group : waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. **BMC Public Health**, v. 19, p. 1–15, 2019.

DALL’ AGNOLL, A. L. B. et al. The perception of municipal managers on the management of urban solid waste. **Ciencia e Natura**, v. 41, n. 19, p. 1–8, 2019.

DALMO, F. C. et al. Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 461–474, 2019.

DHAR, H.; KUMAR, S.; KUMAR, R. A review on organic waste to energy systems in India. **Bioresource Technology**, v. 245, n. June, p. 1229–1237, 2017.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science**

research: método de pesquisa para o avanço da ciência e da tecnologia. 1. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2015.

FAZELI, A. et al. **Malaysia's stand on municipal solid waste conversion to energy: A review** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.

FERRONATO, N.; TORRETTA, V. Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, 2019.

FETENE, Y. et al. Valorisation of solid waste as key opportunity for green city development in the growing urban areas of the developing world. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 6, p. 7144–7151, 2018.

FEYZI, S. et al. Multi- criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. **Sustainable Cities and Society**, v. 47, n. March, p. 101513, 2019.

FLETCHER, S. M. et al. Water supply infrastructure planning decision-making framework to classify multiple uncertainties and evaluate flexible design. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 143, n. 10, p. 1–9, 2017.

FREITAS, W. R. S.; JABBOUR, C. J. . Utilizando Estudo De Caso (S) Como Estratégia De Pesquisa Qualitativa : Boas Práticas E Sugestões Using Case Study (les) As Strategy of Qualitative Research : Good Practices and Suggestions. **Estudo & Debate**, v. 18, n. 2, p. 7–22, 2011.

FRIEDRICH, E.; TROIS, C. Current and future greenhouse gas (GHG) emissions from the management of municipal solid waste in the eThekweni Municipality - South Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4071–4083, 2016.

GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, v. 29, n. 8, p. 2227–2239, 2009.

GODOY, A. S. Reftetindo sobre critérios de qualidade da pesquisa qualitativa. **Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 3, n. 2, p. 80–89, 2005.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 220–232, 2013.

HADIDI, L. A.; OMER, M. M. A financial feasibility model of gasification and anaerobic digestion waste-to-energy (WTE) plants in Saudi Arabia. **Waste Management**, v. 59, p. 90–101, 2017.

HARAGUCHI, M.; SIDDIQI, A.; NARAYANAMURTI, V. Stochastic cost-benefit analysis of urban waste-to-energy systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 224, p. 751–765, 2019.

HAREGU, T. N. et al. An assessment of the evolution of Kenya ' s solid waste management policies and their implementation in Nairobi and Mombasa : analysis of policies and practices. **Environment & Urbanization**, v. 29, n. 2, p. 515–532, 2017.

HASSELL, J. M. et al. Urbanization and Disease Emergence : Dynamics at the Wildlife – Livestock – Human Interface. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 1, p. 55–67, 2017.

ISLAM, K. M. N. Municipal solid waste to energy generation: An approach for enhancing climate co-benefits in the urban areas of Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 2472–2486, 2018.

JULIANELLI, V. et al. Resources , Conservation & Recycling Interplay between reverse logistics and circular economy : Critical success factors-based taxonomy and framework. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 158, n. November 2018, p. 104784, 2020.

KHAN, I.; KABIR, Z. Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for sustainability assessment. **Renewable Energy**, v. (In Press), p. 1–14, 2020.

KINOBE, J. R. et al. Reverse logistics system and recycling potential at a landfill : A case study from Kampala City. **Waste Management**, v. 42, p. 82–92, 2015.

KNOKE, T.; GOSLING, E.; PAUL, C. Use and misuse of the net present value in environmental studies. **Ecological Economics**, v. 174, n. July 2019, 2020.

KRYSTOSIK, A. et al. Solid Wastes Provide Breeding Sites, Burrows, and Food for Biological Disease Vectors, and Urban Zoonotic Reservoirs: A Call to Action for Solutions-Based Research. **Frontiers in Public Health**, v. 7, n. January, p. 1–17, 2020.

KUMAR, A.; SAMADDER, S. R. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 69, p. 407–422, 2017.

KUMAR, S. **Municipal Solid Waste Management in Developing Countries**. 1. ed. New York: 2016, 2016.

KUMAR, S. et al. Challenges and opportunities associated with waste

management in India. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 3, p. 1–11, 2017.

KUNG, C. C.; MU, J. E. Prospect of China's renewable energy development from pyrolysis and biochar applications under climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, n. March, p. 109343, 2019.

LEME, M. M. V. et al. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 8–20, 2014.

LIMA, P. D. M. et al. Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, v. 78, p. 857–870, 2018.

LOHRI, C. R. et al. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 16, n. 1, p. 81–130, 2017.

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. **Waste Management**, v. 37, p. 26–44, 2015.

LOZANO, R. et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. **The Lancet**, v. 380, n. 9859, p. 2095–2128, 2013.

LUZ, F. C. et al. Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil. **Energy Conversion and Management journal**, v. 103, p. 321–337, 2015.

MAMEDE, M. C. DOS S. Avaliação Econômica e Ambiental do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos no Brasil. **Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas.**, 2013.

MARGALLO, M. et al. Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. **Science of the Total Environment**, v. 689, p. 1255–1275, 2019.

MARTEN, R. et al. An assessment of progress towards universal health coverage in Brazil, Russia, India, China, and South Africa (BRICS). **The Lancet**, v. 384, n. 9960, p. 2164–2171, 2014.

MELARÉ, A. V. DE S. et al. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. **Waste Management**, v. 59, p. 567–584, 2017.

MESJASZ-LECH, A. Municipal Waste Management in Context of Sustainable Urban Development. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 151, p. 244–256, 2014.

MESJASZ-LECH, A. Reverse logistics of municipal solid waste - Towards zero waste cities. **Transportation Research Procedia**, v. 39, n. 2018, p. 320–332, 2019.

MORSELLI, L. et al. Environmental impacts of waste incineration in a regional system (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective. **Journal of Hazardous Materials**, v. 159, n. 2–3, p. 505–511, 2008.

MUKHERJEE, C. et al. A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 119, n. November 2019, 2020.

MUÑOZ-ZANZI, C. et al. Leptospira Contamination in Household and Environmental Water in Rural Communities in Southern Chile. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 22, p. 6666–6680, 2014.

MÜNSTER, M.; LUND, H. Comparing Waste-to-Energy technologies by applying energy system analysis. **Waste Management**, v. 30, n. 7, p. 1251–1263, 2010.

MURPHY, J. D.; MCKEOGH, E. Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. **Renewable Energy**, v. 29, n. 7, p. 1043–1057, 2004.

MUZENDA, E. A discussion on waste generation and management trends in South Africa. **International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences**, v. 2, n. 2, p. 105–112, 2014.

NAN, L.; HAN, R.; XIAOHUI, L. Bibliometric analysis of research trends on solid waste reuse and recycling during 1992–2016. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, n. December 2017, p. 109–117, 2018.

NOR FAIZA, M. . et al. Solid Waste: Its Implication for Health and Risk of Vector Borne Diseases. **Journal of Wastes and Biomass Management**, v. 1, n. 2, p. 14–17, 2019.

OGUNJUYIGBE, A. S. O.; AYODELE, T. R.; ALAO, M. A. Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: An assessment of feasibility, potential and technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, n. May 2016, p. 149–162, 2017.

OU DA, O. K. M. et al. Waste to energy potential: A case study of Saudi

Arabia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 328–340, 2016.

PAIM, J. et al. The Brazilian health system: History, advances, and challenges. **The Lancet**, v. 377, n. 9779, p. 1778–1797, 2011.

PAN, S. Y. et al. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 409–421, 2015.

PANEPINTO, D. et al. Environmental Performances and Energy Efficiency for MSW Gasification Treatment. **Waste Biomass Valorizat**, v. 6, p. 123–135, 2014.

PEERAPONGA, P.; LIMMEECHOKCHAI, B. Waste to Electricity Generation in Thailand : Technology , Policy , Generation Cost , and Incentives of Investment. **ENGINEERING JOURNAL**, v. 20, n. 4, p. 171–177, 2016.

PSOMOPOULOS, C. S.; BOURKA, A.; THEMELIS, N. J. Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. **Waste Management**, v. 29, n. 5, p. 1718–1724, 2009.

RAJAEIFAR, M. A. et al. Electricity generation and GHG emission reduction potentials through different municipal solid waste management technologies: A comparative review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, n. May, p. 414–439, 2017.

RAMESH, S. et al. Municipal solid waste management in Bangalore and the concept of mini biogas plant in urban localities. **Proceedings of the 3rd IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2013**, p. 468–473, 2013.

RASHID, A. et al. Ecological footprint of Rawalpindi ; Pakistan ' s fi rst footprint analysis from urbanization perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 362–368, 2018.

RATHI, S. Alternative approaches for better municipal solid waste management in Mumbai , India. **Waste Biomass Valorizat**, v. 26, p. 1192–1200, 2006.

REBEHY, P. C. P. W. et al. Innovative social business of selective waste collection in Brazil : Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 462–473, 2017.

ROLL, H.; STREISSELBERGER, L. Germany at the forefront of energy from waste: What can the UK learn? **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management**, v. 166, n. 1, p. 3–13, 2013.

SANDHU, K. Historical trajectory of waste management; an analysis using the

health belief model. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 25, n. 5, p. 615–630, 2014.

SANTOS, J. O. DOS. **VALUATION: um guia prático**. Saraiva ed. São Paulo: [s.n.].

SANTOS, R. E. DOS et al. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 231, n. April 2018, p. 198–206, 2019.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. “**Research Methods for Business Students**” **Chapter 4: Understanding research philosophy and approaches to theory development**. 8. ed. New York: p. 128-170; 2019.

SCARLAT, N. et al. **Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas** **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2015.

SCAVARDA, A. et al. A proposed healthcare supply chain management framework in the emerging economies with the sustainable lenses: The theory, the practice, and the policy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 141, n. October 2018, p. 418–430, 2019.

SELLITTO, M. A. et al. Rice husk and scrap tires co-processing and reverse logistics in cement manufacturing. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, n. 1, p. 141–162, 2013.

SHANE, A.; GHEEWALA, S. H.; KAFWEMBE, Y. Urban commercial biogas power plant model for Zambian towns. **Renewable Energy**, v. 103, p. 1–14, 2017.

SHI, H. et al. Characterization, thermochemical conversion studies, and heating value modeling of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 48, p. 34–47, 2016.

SILVA, L. J. DE V. B. DA et al. Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential. **Renewable Energy**, v. 149, p. 1386–1394, 2020.

SUKHOLTHAMAN, P.; SHIRAHADA, K. Technological challenges for effective development towards sustainable waste management in developing countries: Case study of Bangkok, Thailand. **Technology in Society**, v. 43, p. 231–239, 2015.

TAGLIAFERRI, C. et al. Life cycle assessment of conventional and advanced two-stage energy-from-waste technologies for methane production. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, n. 2016, p. 144–158, 2016.

TAN, S. T. et al. Energy, economic and environmental (3E) analysis of waste-to-energy (WTE) strategies for municipal solid waste (MSW) management in Malaysia. **Energy Conversion and Management**, v. 102, p. 111–120, 2015.

TOZLU, A.; ÖZAHİ, E.; ABUŞOĞLU, A. **Waste to energy technologies for municipal solid waste management in Gaziantep** **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2016.

WAINAINA, S. et al. Bioresource Technology Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. **Bioresource Technology**, v. 301, n. January, p. 1–14, 2020.

YAP, H. Y.; NIXON, J. D. A multi-criteria analysis of options for energy recovery from municipal solid waste in India and the UK. **Waste Management**, v. 46, p. 265–277, 2015.

YECHIEL, A.; SHEVAH, Y. Optimization of energy generation using landfill biogas. **Journal of Energy Storage Journal**, v. 7, p. 93–98, 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: 2015, 2015.

ZAMAN, A. U. Comparative study of municipal solid waste treatment technologies. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 225–234, 2010.

ZAMAN, A. U.; LEHMANN, S. Urban growth and waste management optimization towards “zero waste city”. **City, Culture and Society**, v. 2, n. 4, p. 177–187, 2011.

ZELLER, V. et al. Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level. **Waste Management**, v. 83, p. 83–94, 2019.

ZORPAS, A. A.; LASARIDI, K. Measuring waste prevention. **Waste Management**, v. 33, n. 5, p. 1047–1056, 2013.