

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Henrique Pereira de Lucas

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL
DERIVADO DE RESÍDUOS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Florianópolis

2021

Henrique Pereira de Lucas

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL
DERIVADO DE RESÍDUOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico
da Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: MSc. Eduarda Piaia.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira de Lucas, Henrique
Análise da viabilidade econômica da produção de
combustível derivado de resíduos dos resíduos sólidos urbanos
/ Henrique Pereira de Lucas ; orientadora, Eduarda Piaia ,
2021.
68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Resíduos Sólidos
Urbanos. 3. Combustível Derivado de Resíduos. 4. Viabilidade
Econômica. I. , Eduarda Piaia. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental. III. Título.

Henrique Pereira de Lucas

Análise da viabilidade econômica da produção de combustível derivado de resíduos dos
resíduos sólidos urbanos

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de
“Engenheiro” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 31 de outubro de 2021.

Prof. Maria Elisa Magri, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

MSc. Eduarda Piaia
Orientadora

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Willian Cezar Nadaleti, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Pelotas

Este trabalho é dedicado aqueles que me acompanharam nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Maria Aparecida Pereira, por ser uma pessoa incrível que me impressiona todos os dias, por me ensinar a ser forte em momentos difíceis e motivar quando eu não acreditava mais. Quero dizer que você é minha inspiração e sempre vou te amar.

Ao meu pai, Jorge Henrique de Lucas, foram horas e horas de conversas e obstáculos que você me ajudou a conquistar. Tivemos momentos difíceis, mas como sempre você se mostrou forte, mesmo quando isso não cabia a você, não há palavras para descrever o quanto te admiro.

Aos amigos, Eduardo Campos e Vanessa Figueiredo, por sempre se mostrarem presentes e me levarem para os melhores pagodes. Agradeço muito a amizade de vocês.

A Eduarda Piaia, por ter sido minha orientadora e colega de trabalho, por ter se dedicado a este estudo e me incentivado a todo momento. Por ser uma profissional incrível a quem me espelho.

À UFSC, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso, uma universidade maravilhosa em vários sentidos.

“Nunca teremos tempo para nos despedir direito, capriche nos encontros imperfeitos”, a Karine Caron, minha melhor amiga. São tantos momentos incríveis que é difícil descreve-los em palavras, aqui agradeço a você, por fazer parte da minha vida, por querer ir pra praia as 6hs da manhã (haha) e por aquele café de Avelã.

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos se tornou um problema para a sociedade nos últimos anos. A geração desenfreada de resíduos e o alto impacto ambiental causado desencadearam a necessidade da busca de alternativas para a reutilização desse resíduo. Devido à esta urgência, este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade de implantação de uma planta de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) em um horizonte de vinte e cinco anos de projeto a partir dos resíduos considerados rejeitos em Associações de Catadores de Materiais Recicláveis e Resíduos da Coleta Convencional para venda à indústrias cimenteiras. Assim, com a formação de quatro cenários distintos, sendo três voltados para os resíduos provenientes das Associações de Catadores e um para os resíduos da Coleta Convencional, utilizando um método de avaliação econômica através de quatro indicadores, sendo eles, Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback. O método atestou a viabilidade econômico-financeira na implantação da Planta de CDR nos quatro cenários. O investimento inicial para o Cenário 01 foi de R\$ 3.477.331,50 com tempo de recuperação de onze anos e dois meses e tecnologia de processamento de resíduos de 25t/dia. Para o Cenário 02 o investimento foi de R\$ 3.477.331,50 e tempo de recuperação em onze anos e cinco meses e tecnologia de processamento de resíduos de 25t/dia. O Cenário 03 teve tempo de retorno de dez anos e onze meses e investimento inicial R\$ 3.208.345,20 para processamento de resíduos de 20t/dia. E sete anos e dois meses para o Cenário 04 com investimento inicial de R\$ 24.681.350,00 e 300t/dia de processamento de resíduos. Assim, levando em consideração os quatro cenários aqui propostos a alternativa com melhor atratividade é o Cenário 04.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Combustível Derivado de Resíduos, Viabilidade Econômica

ABSTRACT

Solid waste management has become a problem for society in the recent years. The unrestrained generation of waste and the high environmental impact caused, triggered the need to search for different alternatives for the reuse of this waste. Due to this urgency, this work aims to evaluate the feasibility of implementing a Solid Recovered Fuel (SRF) plant in a horizon of 25 years project, from waste considered as tailings in Associations of Recyclable Material Collectors and Waste from Conventional Collection for sale to cement industries. Thus, with the formation of four distinct scenarios, three for waste from Waste Pickers Associations and one for waste from Conventional Collection, using an economic evaluation method through four indicators, namely, Minimum Acceptable Rate of Return (MARR), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback, attested to the economic and financial feasibility of implementing the SRF Plant in the four scenarios. The initial investment for Scenario 01 was R\$3,477,331.50 with a recovery time of eleven years and two months and waste processing technology of 25t/day. For Scenario 02 the investment was R\$3,477,331.50 and recovery time in eleven years and five months and waste processing technology of 25t/day. Scenario 03 had a payback time of ten years and eleven months and an initial investment of R\$3,208,345.20 for processing 20t/day of waste. And seven years and two months for Scenario 04 with an initial investment of R\$ 24,681,350 and 300 t/day of waste processing. Thus, taking into account the four scenarios proposed here, the alternative with the best attractiveness is Scenario 04.

Keywords: Municipal Solid Waste, Solid Recovered Fuel, Economic Viability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de gerenciamento geral dos resíduos sólidos municipais de Florianópolis.....	20
Figura 2 – Processos de produção do CDR.....	25
Figura 3 - Localização dos Centros Geradores de Resíduos.....	37
Figura 4 – Figura de Localização das Plantas de CDR nos municípios de São José e Biguaçu.....	40
Figura 5 – Fluxo de Caixa utilizado neste Estudo.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fornecedores de Plantas e Componente de CDR que atuam no Brasil...34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios para utilização de CDR.....	23
Tabela 2 – Cenários de produção de CDR, a parti de resíduos gerados pelas Associações de Catadores.....	33
Tabela 3 – Localização dos Centros Geradores de Resíduos.....	38
Tabela 4 – Localização das Plantas de CDR nos municípios de São José e Biguaçu e distâncias para os Centros Geradores de Resíduos.....	40
Tabela 5 – Custos de transporte durante o período.....	42
Tabela 6 – Variação de produção de RSU do município do Florianópolis.....	43
Tabela 7 – Projeção da produção de RSU durante o período de interesse.....	43
Tabela 8 – População do Município de Florianópolis.....	44
Tabela 9 – Projeção populacional do município de Florianópolis no período estudado.	45
Tabela 10 – Geração per capita projetada em comparativo aos valores encontrados no PMGIRS.	46
Tabela 11 – Indicador de recuperação de resíduos em Florianópolis.	47
Tabela 12 – Ajuste na Produção da Coleta Seletiva do estudo.	47
Tabela 13 - Cenários de produção de CDR, a partir de resíduos gerados pelas Associações de Catadores e pelos municípios da região metropolitana de Florianópolis.	48
Tabela 14 – Investimento na Implantação das Tecnologia.	50
Tabela 15 – Custos estimados com o Insumo energético.....	52
Tabela 16 – Receitas anuais provenientes da venda de CDR.....	54
Tabela 17 – Fonte dos dados para formação do Fluxo de Caixa.....	55
Tabela 18 – Fluxo de caixa encontrado para os cenários estipulados.	56
Tabela 19 – Resumo dos indicativos financeiros dos cenários estipulados.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AI - Áreas Industriais

CDR - Combustível Derivado de Resíduos

CGR - Centro de Gerenciamento de Resíduos

COMCAP - Autarquia Melhoramentos da Capita

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR - Norma Técnica Brasileira

PCI - Poder Calorífico Inferior

PMCS - Plano Municipal de Coleta Seletiva

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos de Florianópolis

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SIMA - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

VPL - Valor Presente Líquido

WTE - Waste To Energy

ZEI - Zona de Expansão Industrial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	18
3.2	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS	19
3.3	RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	21
3.4	COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUOS	22
3.5	MÉTODO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	26
3.5.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	26
3.5.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	27
3.5.3	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	28
3.5.4	Payback.....	28
4	METODOLOGIA.....	30
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	30
4.2.1	Alternativas Locacionais e Custos de Transporte	31
4.2.2	Avaliação da Oferta.....	32
4.2.3	Custos Tecnológicos.....	33
4.2.4	Custo do Insumo Energético.....	34
4.3	MODELO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1	ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E CUSTOS DE TRANSPORTE.....	37
5.2	AVALIAÇÃO DA OFERTA	42

5.2.1	Variação da Quantidade de Resíduos Gerada pelo Município de Florianópolis	42
5.2.2	Variação da População do Município e Variação da geração per capita de resíduos	44
5.2.3	Investimento em Educação Ambiental e Planos de Gerenciamento dos Resíduos do Município	46
5.3	CENÁRIOS DE OFERTA DE RESÍDUOS	48
5.4	TECNOLOGIAS	50
5.5	CUSTO DO INSUMO ENERGÉTICO	51
5.6	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
7	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos no mundo apresenta um desafio para a sociedade, tendo em vista que o aumento da qualidade de vida, o avanço tecnológico e a alta taxa de urbanização estão atreladas as mudanças de hábitos de consumo e produção de resíduos das populações. O crescimento desenfreado da geração dos resíduos sólidos, tem causado a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, além de diversos problemas à saúde (ABRAMOVAY et al, 2013).

No Brasil, a geração de resíduos sólidos registra um crescimento considerável a cada ano que passa. Em 2019, estima-se que foram coletados 65,11 milhões de toneladas de resíduos sólidos, um indicador médio de coleta per capita de 0,99 kg/hab./dia (BRASIL, 2019c). Ao mesmo tempo a taxa média de coleta seletiva apresenta valores abaixo do esperado, apesar dos avanços, registrou apenas 13,5 kg/hab./ano. Quanto à disposição final, dos 65,11 milhões de toneladas de resíduos coletados, 48,1 milhões de toneladas são dispostas em aterros sanitários, outros 15,9 milhões de toneladas são destinadas em unidades consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), além disso, apenas 1,11 milhões de toneladas apresentaram algum tipo de recuperação (BRASIL, 2019c).

Com relação a realidade do município de Florianópolis, no ano de 2020, o município coletou 205.291 toneladas de resíduos sólidos. Desse total, 188.455 toneladas são representadas por rejeitos e seguiram para os aterros, os outros 16.835 de recicláveis secos e orgânicos, obtiveram algum tipo de tratamento (FLORIANÓPOLIS, 2020d). Em relação a quantidade de resíduos desviados de aterros, o município passou por um pequeno aumento, de 7,15% para 8,2%, porém estando abaixo do esperado para alcançar as metas fixadas no plano Floripa Lixo Zero 2030 lançado pelo município em 2018 (FLORIANÓPOLIS, 2020d).

Assim, tratar e dar destino adequado à grande quantidade de resíduos sólidos tem sido um grande desafio das autoridades e gestores (COBO, 2018). Nesse sentido, a reciclagem de resíduos sólidos apesar de ser uma das estratégias de sustentabilidade urbana, não abrange todo resíduo gerado, levando a necessidade de uso novas de alternativas tecnológicas para o aproveitamento dos resíduos sólidos (ACHILLAS et al., 2011).

Neste contexto, a implementação de usinas Waste-To-Energy (WTE) tem sido a solução encontrada em diversos países para a destinação final dos resíduos sólidos que não foram aproveitados no processo de reciclagem ou compostagem. Uma das possibilidades de tecnologia WTE é o tratamento térmico por meio do Combustível Derivado de Resíduos (CDR)

(BESSI et al, 2016). O CDR é um combustível alternativo preparado a partir dos resíduos sólidos urbanos e industriais não-perigosos, obtido após operações de trituração e mistura (BRASIL, 2019d). É utilizado em algumas plantas WTE ou em sistemas de coprocessamento em fornos de cimenteiras, por exemplo, para produção de clínquer (MEYSTRE, 2016).

O coprocessamento de resíduos é uma forma eficiente de aumentar a vida útil dos aterros, trazendo benefícios ambientais, como a redução de emissões de gases de efeito estufa e a substituição de combustíveis fósseis na produção de energia (COSTA, 2014). A adoção de usinas de coprocessamento tem sido motivada pela necessidade de minimizar impactos ambientais e sociais dos aterros sanitários (MEYSTRE, 2016).

Nesse âmbito, considerando o atual cenário de geração de resíduos sólidos urbanos, e um crescente interesse por fontes de energia de menor impacto, este trabalho visa desenvolver um estudo econômico para a implantação de uma planta de CDR, a partir dos resíduos considerados rejeitos em Associação de Catadores de materiais recicláveis pelo município de Florianópolis e pelos resíduos da coleta convencional dispostos no aterro sanitário para venda a indústria cimenteiras.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a viabilidade econômica da produção de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) a partir dos resíduos do município de Florianópolis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar cenários de produção de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) no município de Florianópolis.
- Avaliar o valor a ser pago às Associações de Catadores pela separação e venda dos rejeitos para a planta de Combustível Derivado de Resíduo (CDR);
- Estimar os custos e o Payback da implantação de uma planta de Combustível Derivado de Resíduos (CDR) na região da grande Florianópolis;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Norma Técnica Brasileira (NBR) 10.004 (ABNT, 2004) define os resíduos sólidos como sendo provenientes de atividades domésticas, industriais, comercial, hospitalar, agrícola, de varrição, de serviços, lodos oriundos do tratamento de água, líquidos que possuem certas peculiaridades em sua composição, além daqueles resíduos gerados por equipamentos de controle de poluição.

A Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e concebe diretrizes que permitem ao Brasil enfrentar os problemas causados pelo manejo inadequado dos resíduos sólidos, descreve conceitualmente resíduos sólidos como:

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

Com relação a classificação dos resíduos, o art. 13 da PNRS estabelece a seguinte definição:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios (BRASIL, 2010).

Podem ainda ser classificados segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) em duas classes que levam em conta os seus riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente. Assim, de acordo com a norma os resíduos são classificados como:

- Resíduos Classe I – Perigosos: resíduos cuja propriedades físico-químicas e infectocontagiosas apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, entre outros.
- Resíduos Classe II – Não Inertes e Inertes: Divididos em A e B, são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I.
- Resíduos Classe II – A: Identificados como não inertes, possuem baixa periculosidade, mas ainda oferecem capacidade de reação química em certos meios. Apresentam uma das seguintes características: combustibilidade, solubilidade em água ou biodegradabilidade.
- Resíduos Classe II – B: Resíduos que possuem baixa capacidade de reação, ou seja, é composta por resíduos que, quando expostos à temperatura ambiente, se mostram indiferentes à exposição da água destilada ou deionizada. Por possuírem essa característica, não podem alterar a boa potabilidade da água.

Por sua vez, os resíduos cuja alternativas de tratamento e recuperação foram esgotadas são considerados rejeitos (BRASIL, 2010). Estima-se que representam aproximadamente 20% do total da coleta seletiva dos municípios brasileiros (CEMPRE, 2018). Os resíduos considerados como rejeitos, a priori, possuem uma única alternativa possível, a sua destinação para aterros sanitários (GODOY, 2013).

Ressalta-se, que a partir da apresentação das classificações dos resíduos sólidos, o presente estudo irá rotular os resíduos sólidos denominados como rejeitos, aqueles referentes aos resíduos recicláveis não aproveitados pelas associações de catadores de materiais recicláveis do município de Florianópolis, caracterizados como não perigosos e não inertes.

3.2 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS

Os planos de gestão de resíduos são de responsabilidade do governo federal, estaduais e municipais e estão associados ao controle da geração, armazenamento, coleta, transporte,

processamento e disposição final e devem ser compostos por questões como reciclagem, coleta seletiva, inclusão social e participação da sociedade civil (BRASIL, 2018b).

O gerenciamento dos resíduos sólidos no município de Florianópolis é definido pelo decreto nº 17.910 de 22 de agosto de 2017, que institui o Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos de Florianópolis (PMGIRS), que passou a ser exigido após o surgimento dos novos regulamentos que estabelecem a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Política Nacional de Saneamento Básico (PNRS) (FLORIANÓPOLIS, 2017c).

Em Florianópolis o gerenciamento e operação do manejo dos resíduos sólidos é de responsabilidade da Autarquia Melhoramentos da Capital (COMCAP) (FLORIANÓPOLIS, 2017c). São realizados cinco tipos de coletas: a coleta convencional, seletiva, orgânicos, volumosos e varrição, conforme pode ser verificado na Figura 1 (FLORIANÓPOLIS, 2017c).

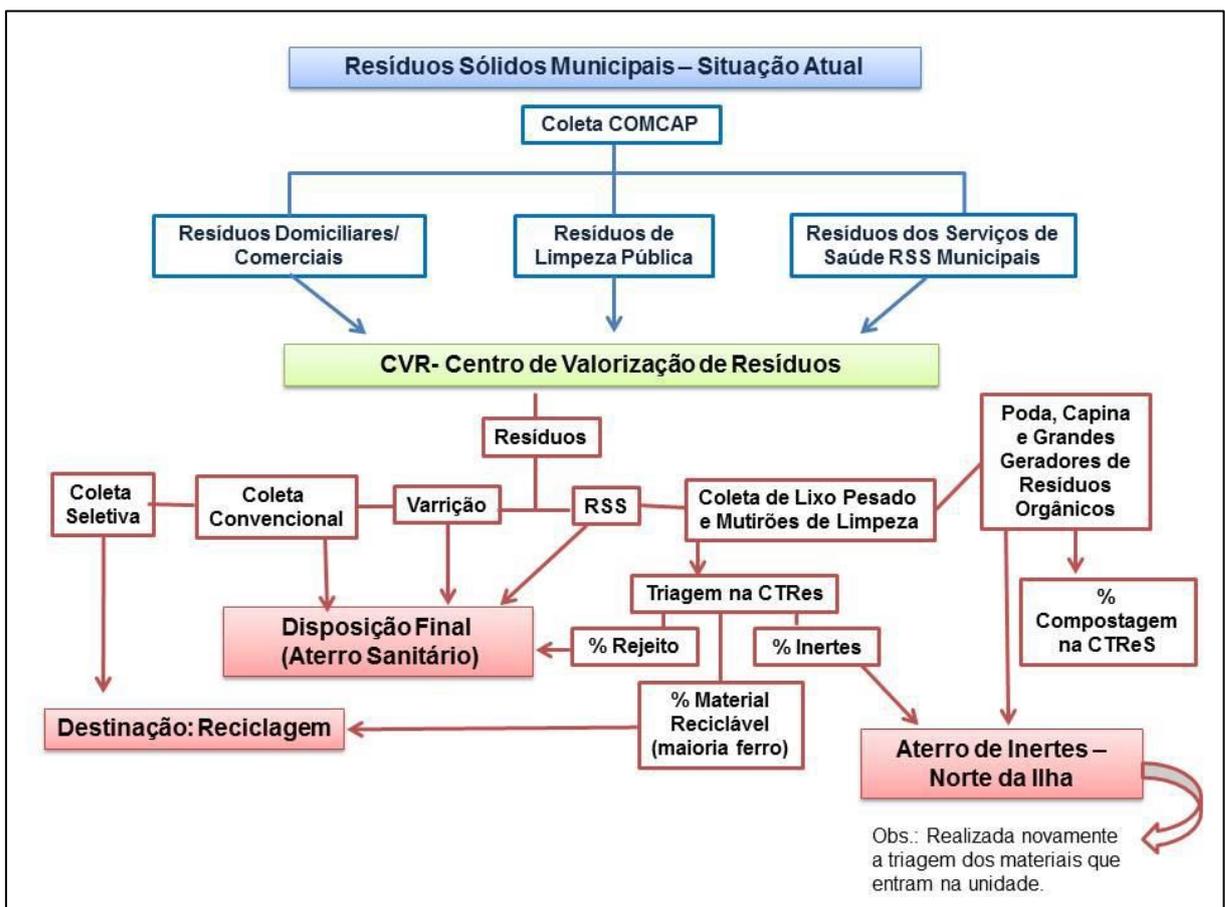


Figura 1 – Fluxograma de gerenciamento geral dos resíduos sólidos municipais de Florianópolis.
Fonte: (FLORIANÓPOLIS, 2017c)

Para controle quantitativo e de destinação de resíduos, os materiais da coleta convencional que não possuem proveitos de reutilização são encaminhados para o aterro

sanitário privado localizado em Biguaçu-SC, enquanto os materiais da coleta seletiva são remetidos a doze Associações de Catadores, sendo seis no Município de Florianópolis e seis no município de São José, que realizam a separação e a comercialização dos mesmos a empresas de reciclagem (FLORIANÓPOLIS, 2016b).

A coleta seletiva em Florianópolis é universalizada atendendo 100% dos bairros da cidade, porém somente 90% dos domicílios (FLORIANÓPOLIS, 2020e). É realizada através do sistema porta a porta e de entrega voluntária, dividida em 52 roteiros de coleta (FLORIANÓPOLIS, 2020e).

Segundo dados da COMCAP, aproximadamente 16.835 mil toneladas de resíduos foram coletadas pelo sistema porta a porta e entrega voluntária em 2020 (FLORIANÓPOLIS, 2020d). Contudo, nem todos os resíduos entregues às Associações foram comercializados para empresas de reciclagem, tendo em vista que encontram-se nos resíduos da coleta seletiva materiais que não possuem compradores ou não possuem tecnologia economicamente viável para a reciclagem na região da grande Florianópolis. Segundo Piaia (2021), os resíduos não comercializáveis representam cerca de 20% de todos resíduos recicláveis coletados.

3.3 RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, a utilização de resíduos sólidos visando à recuperação energética é instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010 em seu Art. 9º, onde poderão ser utilizadas tais tecnologias desde que seja comprovada sua viabilidade técnica e ambiental. Para adoção de alternativas de recuperação energética também faz-se necessária a implantação de programa de monitoramento de emissão de fases tóxicas, aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2010).

As tecnologias de recuperação de energia necessitam ser implantadas de modo que ocorra a reutilização completa dos materiais e da energia contida nos fluxos de resíduos de forma sustentável, podendo ser por meio da incineração, digestão anaeróbia, recuperação de gás de aterro, a gaseificação, pirólise e a produção de CDR (JUCÁ et al., 2014).

Os processos de recuperação energética dos resíduos sólidos podem ser definidos pela conversão biológica ou térmica (OGUNJUYIGBE; AYODELE; ALAO, 2017). O processo biológico consiste numa decomposição biológica da parcela orgânica dos resíduos, através de uma série de interações metabólicas com atuação de diversos grupos de microrganismos (MORATORIO; ROCCO; CASTELLI LEMEZ, 2012). Com relação ao processo térmico, este consiste na decomposição térmica da matéria inorgânica produzindo, por exemplo, produtos

combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. O calor gerado pode ser aproveitado para geração de eletricidade (BRITO, 2013).

Conhecendo as opções tecnológicas, a escolha do processo de conversão mais adequado para cada região deve levar em conta alguns fatores como as características do fluxo de material da comunidade em questão, a forma desejada de obtenção de energia, legislações ambientais e os custos operacionais e de capital (PANWAR; KAUSHIK; KOTHARI, 2011). Na Europa as opções mais difundidas em operação são as usinas WTE, em destaque para o tratamento térmico por meio do Combustível Derivado de Resíduos (CDR), que pode ser produzido a partir de pneu inservível, pellets de biomassa, lodo de esgoto, resíduos Classe 1 e 2, entre outros (RIGAMONTI et al., 2019)

3.4 COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUOS

Os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) são definidos como combustíveis preparados a partir dos resíduos sólidos urbanos e industriais não-perigosos, obtidos após operações de trituração e mistura, cuja utilização visa a recuperação de energia em algumas plantas WTE ou em sistemas de coprocessamento em fornos de cimenteiras, por exemplo, para produção de clínquer (BRASIL, 2019d).

O CDR é constituído basicamente por resíduos não-perigosos oriundos das indústrias e por Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), gerados em processos de segregação e/ou triagem, constituídos majoritariamente de papel, borracha, plástico, madeira, entre outros, e aqueles rejeitados em processos de reciclagem material (RAMA, 2010). De modo geral, tais resíduos são submetidos a processos de melhoria visando à obtenção de um material com característica homogênea. A qualidade e o valor do CDR são avaliados considerando basicamente sua característica homogênea, quantidade regularmente ofertada, seu poder calorífico, teor de umidade, granulometria e baixos teores de cloro, enxofre e metais (HASSELRIIS, 2013).

A utilização do CDR ocasiona inúmeros benefícios, dentre os quais se destaca a facilidade de armazenamento e transporte, o alto poder calorífico, a homogeneidade da composição físico-química, a baixa emissão de poluente, além de dar maior sobrevida a aterros sanitários (RADA et al., 2014). Na Europa o CDR surgiu como um potencial substituto dos combustíveis fósseis tradicionais, devido ao seu baixo custo de produção, tendo seu desenvolvimento tecnológico iniciado no Reino Unido e na Itália (RIGAMONTI et al, 2019).

Segundo Resolução Sima nº 47, de 06 de agosto de 2020 o CDR é considerado um combustível quando ele garante pelo menos as características ilustradas na Tabela 1. Ainda, a NBR 16849:2020 que trata de Resíduos Sólidos Urbanos para Fins Energéticos – Requisitos, dita que para serem considerados elegíveis ao aproveitamento energético, devem ser classificados como resíduo Classe II – Não perigoso, de acordo com ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação; possuir PCI ≥ 2750 kcal/kg, base seca; e apresentar concentração de cloro $\leq 3\%$ (CI $\leq 3\%$) e mercúrio ≤ 1 mg/kg (Hg ≤ 1 mg/kg).

Tabela 1 – Critérios para utilização de CDR

Tipologia de fontes	Poder Calorífico Inferior – PCI (kcal/kg, base seca)	Cloro (% base seca)	Temperatura (°C)
Caldeiras industriais a biomassa entre 50 e 100 t/h de vapor	≥ 2300	$\leq 0,3$	≥ 500 °C
Caldeiras industriais a biomassa > 100t/h de vapor	≥ 2300	$\leq 0,6$	≥ 550 °C
Fornos de produção de clínquer	≥ 2775	$\leq 1,0$	NA
Pirólise	≥ 2300	NA	≥ 400 °C
Gaseificação	≥ 2300	NA	≥ 750 °C
URE	NA	NA	≥ 850 °C
Fornos industriais com uso de biomassa e sem contato com a matéria-prima	-	$\leq 0,6$	≥ 500 °C

Fonte: SIMA (2020); Legenda: (NA) não aplicável.

O poder calorífico que o material dispõe representa, quimicamente, a quantidade de calor libertado por combustão por unidade de peso do resíduo. O Poder Calorífico Inferior (PCI) é aquele em que o calor de vaporização não é restituído, ou seja, escapa-se com os gases de combustão pela chaminé, sendo este o que se verifica nas instalações industriais. É este último que caracteriza e viabiliza a aptidão dos materiais/resíduos para a valorização energética (CARACOL, 2016).

Para a obtenção do CDR é necessária uma complexa linha de produção, o resultado acarreta na utilização de grandes massas de resíduos, que por fim apresentam o melhor

combustível possível. Isto é realizado por meio de diversos estágios de tratamento como peneiramento, trituração, redução de tamanho, classificação, separação, secagem e densificação, ou seja, cerca de 30% da massa de resíduos de entrada é convertida em CDR (MAMEDE, 2013). Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apresentam em média teor energético de 2.500 – 2.620 kcal/kg (SOARES, 2011), enquanto o CDR pode apresentar 4.600 kcal/kg, esse aumento significativo é resultado, por exemplo, da remoção da umidade (REZA, et al., 2013).

Assim, devido ao seu poder calorífico alto, o CDR pode ser utilizado em cimenteiras, na indústria de papel, madeireiras, além de centrais térmicas e queimadores de resíduos (REZA, et al., 2013).

O CDR pode ser adquirido através de dois processos, cada um produzindo um produto diferente, conhecido como CDR grosseiro e CDR densificado. O CDR densificado é produzido como peletes, antes é seco, e estabilizado para ser transportado, manuseado e armazenado como qualquer outro combustível sólido (MAMEDE, 2013). Ele pode ser queimado em unidades dedicadas ou em outros locais que utilizem os combustíveis sólidos (REZA, et al., 2013).

No caso do CDR grosseiro o processamento é menos sofisticado, passando somente por processo de trituração, porém, por não ser seco, o tempo de armazenamento diminui drasticamente, havendo a necessidade de uso imediato local na geração de eletricidade e/ou calor (GIZ, 2019).

A classificação do CDR é de acordo com sua forma. Esta propriedade de especificação obrigatória, o classifica como Fluff, Pellets ou briquetes. A sua definição está de acordo com Rama (2010):

- Fluff - Material solto de baixa densidade que tem a característica de ser transportado pelo ar.
- Pellets - Produzido por aglomeração de material solto em cubo, disco ou cilindro, cujo diâmetro é geralmente inferior a 25mm
- Briquettes - Bloco ou cilindro produzido por aglomeração de material solto cujo diâmetro é geralmente superior a 25mm

De modo geral, segundo Mamede (2013) o processo básico de produção do CDR pode ser dividido em cinco estágios distintos (Figura 2), descritos a seguir:

- Recepção e armazenamento;
- Liberação e triagem;

- Refinamento do combustível;
- Preparação e combustível; e,
- Armazenamento e controle de qualidade;

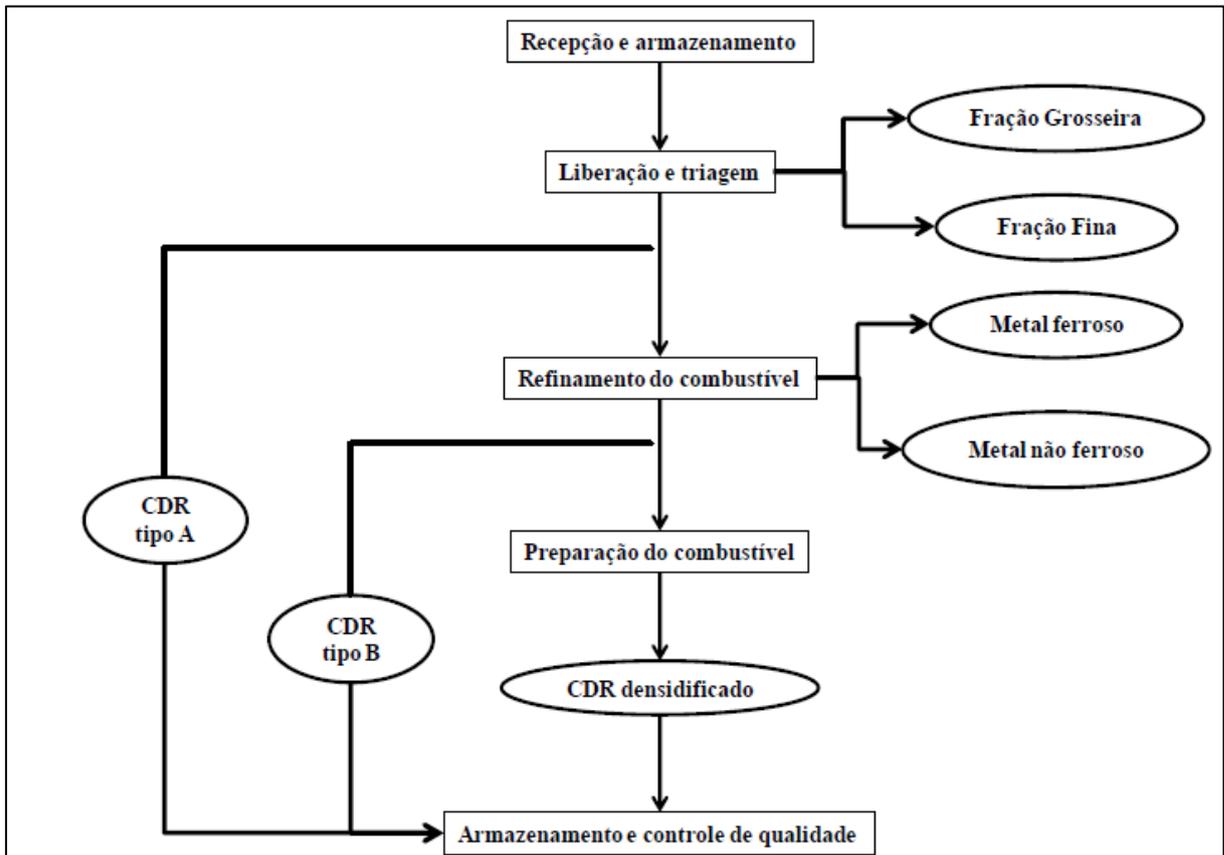


Figura 2 – Processos de produção do CDR
Fonte: MAMEDE (2013).

A grande diferença entre o CDR grosseiro e o densificado está no modo de preparação do combustível (MAMEDE, 2013).

O CDR Densificado é preparado a partir de trituração secundária reduzindo o tamanho de partícula para a operação de peletização, em conjunto com a secagem requerida para bom armazenamento e melhoramento das características de combustão. Uma vez que a fração combustível é seca, os resíduos orgânicos e inertes são facilmente peneirados, reduzindo o teor de cinzas do produto. Após este estágio o CDR densificado pode ser produzido com um teor final de cinzas de 10% em peso. O CDR densificado pode tomar forma de pelete ou briquete. A produção dos peletes, consome cerca de 35 kWh por tonelada de combustível produzido, sendo necessária o resfriamento antes do armazenamento, para remoção do calor

produzido na compressão. Tais equipamentos podem sofrer danos por contaminação de partículas densas, sendo necessário a implantação de estágios de separação magnética e separador balístico para remoção de metais ferrosos e outros materiais densos (MAMEDE, 2013).

Já o CDR grosseiro é dividido em dois estágios o Tipo A e o Tipo B. O CDR grosseiro do tipo A, é fabricado basicamente pelo processo de triagem, onde são retiradas as frações finas e as frações grossas que compõem o CDR. O restante que sobra é denominado CDR Tipo A (MAMEDE, 2013). Com relação ao CDR grosseiro Tipo B, esta passa por um processo de refinamento, no qual é submetido aos processos de redução de tamanho, através de um triturador, bem como separação magnética e classificação (MAMEDE, 2013).

3.5 MÉTODO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para determinação da análise econômica de qualquer tipo de investimento cabe a necessidade de adoção de diferentes métodos capazes de identificar, medir e valorar custos e benefícios inerentes a distintas e múltiplas alternativas de um projeto, com vistas a assegurar a viabilidade de execução de tais projetos (GOLDMAN, 2015). Assim, para tais medidas, este estudo utilizou quatro diferentes tipos de indicadores para determinação da viabilidade econômica na produção de CDR a partir de rejeitos gerados pelas associações de catadores do município de Florianópolis e pelos resíduos da coleta convencional dispostos no aterro.

3.5.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

O método Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR) são baseados em fluxos de caixa a uma determinada taxa denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA), em outras palavras, é o retorno mínimo exigido para certo projeto (SCHROEDER et al., 2005). O Taxa Mínima de Atratividade (TMA) pode ser definida de acordo com a política de cada empresa (SCHROEDER et al., 2005).

Para empresas, a taxa mínima de atratividade é relativa ao seu grau de penetração no mercado e maturidade (SOUZA, 2003). É um benchmark para as opções de investimentos sobre a premissa de que “a alternativa idealizada deve ter retorno semelhante ao valor apurado pelo índice de referência” (SOUZA, 2003).

A taxa mínima de atratividade apresenta um forte grau subjetivo. Ela poderá ser adotada como uma política geral da empresa, sendo mudada conforme o risco oferecido pelo investimento, o capital disponível para investir, o custo do capital ou até mesmo por interesses políticos e estratégicos em determinado investimento (MOTTA e CALÔBA, 2011).

3.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é o método que traz todos os valores de custos e receitas do fluxo de caixa para o período inicial, descontando uma TMA. Se o valor do VPL for positivo, a proposta é atrativa, em caso de ser apresentado como um valor negativo, deve-se desconsiderar tal proposta (SILVA et al., 2014).

O VPL é um método que leva em consideração o valor do dinheiro em um determinado tempo. Este método apresenta algumas características, como por exemplo, possibilita a aplicação a fluxos de caixa que contenham mais de uma variação de sinal (entrada e saída) e depende exclusivamente dos fluxos de caixas projetados e do custo de oportunidade do capital (NETO, 2012). Tendo como principal desvantagem a necessidade da determinação da taxa mínima de atratividade, a qual é flexível (LAPPONI, 2007).

O VPL é um valor absoluto na unidade considerada, seja ela qual for e apresentada na Equação (1) (MOTTA e CALÔBA, 2011):

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (1)$$

Onde:

i é taxa de desconto;

j é o período genérico ($j=0$ a $j=n$), percorrendo todo o fluxo de caixa;

FC_j é o fluxo genérico para $t = (0 \dots n)$ que pode ser positivo (ou seja, receitas) ou negativo (custos);

$VPL(i)$ é o valor presente líquido descontado a uma dada taxa i ;

n é o número de períodos.

3.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR), não visa a avaliação da rentabilidade absoluta, seu propósito é encontrar uma taxa específica de rendimento. A TIR representa uma taxa de desconto que iguala, no período zero, as entradas e saídas de caixa, ou seja, é uma taxa que anula o VPL (LAPPONI, 2007).

O TIR é um índice que mede a rentabilidade do investimento por uma unidade de tempo (MOTTA e CALÔBA, 2011). A Equação (2) caracteriza o TIR.

$$TIR = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0 \quad (2)$$

Onde:

i é a taxa de retorno, ou TIR;

FC_j é o fluxo de caixa genérico para $j = [0; n]$;

Unidades devem ser % ao ano ou % ao mês. A tomada de decisão pela TIR é dada por:

Se $TIR > TMA$, o projeto é economicamente viável;

Se $TIR < TMA$, o projeto é economicamente inviável;

Se $TIR = TMA$, se optem o valor do investimento mínimo proposto.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é obtida a partir de uma projeção de fluxo de caixa e faz com que o valor atualizado dos benefícios seja igual aos valores atualizados dos custos. A tomada de decisão consiste em aceitar determinado investimento quando a taxa superar o custo de oportunidade do capital definido no projeto (LAPPONI, 2007).

3.5.4 Payback

O Payback, ou período de retorno do investimento é uma análise simples e definida como a quantidade de períodos em que se leva para recuperar o investimento, trata-se de uma estimativa de quanto tempo demora para que se obtenha o retorno sobre um valor investido. De maneira geral, como este método depende apenas dos valores do fluxo de caixa, ele não deve

ser utilizado isoladamente na tomada de decisão, mas sim analisado como uma informação a mais, ou até mesmo como critério de desempate (SILVA et al. 2009).

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Florianópolis é a capital do Estado de Santa Catarina e possui área territorial de 674.844 km², estando grande parte do território situado na ilha de Santa Catarina e o restante na região continental (IBGE, 2020). O município possui população estimada de 508.826 habitantes, situado predominantemente em zona urbana (IBGE, 2020), além de receber diariamente residentes dos municípios que compõem a Grande Florianópolis, indicadores esses que influenciam diretamente no gerenciamento dos RSU do município (FLORIANÓPOLIS, 2020f).

A empresa responsável pela coleta de resíduos sólidos de Florianópolis é COMCAP, que realiza cinco tipos de coletas: a coleta convencional, seletiva, orgânicos, volumosos e varrição (FLORIANÓPOLIS, 2020b).

Segundo dados do município a coleta seletiva atualmente abrange 100% dos bairros e 90% dos domicílios (FLORIANÓPOLIS, 2020e). É realizada pelo método porta a porta e por meio de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), tais resíduos são encaminhados para doze Associações de Catadores, localizadas nos municípios de Florianópolis e São José, sendo 60% do total do município é encaminhado para a Associação de Coletores de Materiais Recicláveis de Florianópolis (ACMR) (FLORIANÓPOLIS, 2020e).

É nas Associações de Catadores que ocorre a separação e venda dos materiais recicláveis da coleta seletiva (FLORIANÓPOLIS, 2020d). Uma parcela dos resíduos encontrados em tais Associações não possui valor para reciclagem e vão diretamente para o aterro sanitário, porém, grande parte destes resíduos possuem alto poder calorífico (GARCÉS et al., 2016). Assim, é nessa fração de resíduos que este estudo propõe nos primeiros cenários que seja processado em CDR para recuperação energética em fornos de clínquer.

O Centro de Gerenciamento de Resíduos – CGR Biguaçu, localizado em Biguaçu, possui área de 86 hectares. São tratadas em torno de 470.000 toneladas de resíduos, provenientes da coleta convencional de 23 municípios (VEOLIA, 2020). É a partir desses resíduos que caracteriza a formação do Cenário 04.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

O ato de mensurar variáveis de pesquisa é a característica mais marcante e faz com que esse estudo se classifique como uma abordagem quantitativa, em que o pesquisador deve capturar as evidências da pesquisa por meio da mensuração das variáveis, pouco ou não interferindo nas mesmas. A definição de variáveis se dá antes da realização da observação ou experimentação (MARTINS, 2010).

O levantamento de dados necessários para se atingir os objetivos específicos propostos, envolveu pesquisa bibliográfica e documental.

4.2.1 Alternativas Locacionais e Custos de Transporte

A etapa de seleção e definição de áreas com potencial para implantação da Planta de CDR é fundamental para o sucesso do empreendimento. A definição do local, bem como as alternativas à área escolhida, é uma etapa decisiva para a continuação do processo de licenciamento ambiental.

A identificação de áreas adequadas para implantação deste tipo de empreendimento deve estar em consonância com o Plano Diretor e com o zoneamento dos municípios. Assim, para implantação da Planta de CDR, este estudo buscou identificar áreas que se enquadrem nas seguintes premissas:

- Localização próxima as Associações de Catadores do Município de Florianópolis para os três primeiros cenários e localização próxima ao CGR Biguaçu para o Cenário 04;
- Zoneamento compatível com a atividade a ser realizada;
- Custos de Transporte;

O plano diretor de Florianópolis é instituído pela Lei Complementar nº 482, de 17 de janeiro de 2014, no qual atribui o zoneamento adequado para cada região. Como tal plano diretor não institui zonas industriais, este estudo buscou zonas compatíveis que possam ser de interesse do município na implantação de tais unidades. Além disso, foi realizada busca por áreas no município de São José, no qual em seu plano diretor, vide Lei nº 1605, em seu art. 20, estipula zonas de uso industrial compatíveis com tal estudo. Para o Cenário 04, usou a Lei Complementar nº 12/2009 que institui o plano diretor de desenvolvimento municipal, dispõe sobre as normas, fixa objetivos e diretrizes urbanísticas do município de Biguaçu e dá outras providências.

O custo de transporte foi estipulado a partir das distâncias, capacidade de carga dos veículos de transporte, tempo de carga e tempo de transporte entre as áreas favoráveis e os

centros geradores. Para isso, foi utilizado o software *Google Earth*, no qual foi possível retirar os dados de distâncias e tempo de transporte. O tempo de carga é estipulado em 30 minutos para realização da carga do resíduo no caminhão de transporte no centro gerador e 20 minutos para descarga na Planta CDR em caminhões de 12 toneladas de capacidade. Por fim, com tais informações e com auxílio do software *Excel* para realização de cálculos, foi encontrado o custo de transporte por tonelada.

4.2.2 Avaliação da Oferta

A fim de determinar a oferta de RSU proporcionada pelo município de Florianópolis e posterior determinar os quantitativos de resíduos que podem se transformar em CDR, se fez necessário realizar algumas análises e elencar variáveis descritas abaixo, que podem influenciar na variação da oferta de resíduos. Para tais análises foi estipulado o período de produção de resíduos de 2010 a 2020.

- Variação da quantidade de resíduos gerada pelo município de Florianópolis;
- Variação da população do município;
- Variação da geração per capita de resíduos;
- Investimento em Educação Ambiental e Planos de Gerenciamento dos Resíduos do Município.

A variação da quantidade de resíduos gerada pelo município de Florianópolis foi a primeira análise realizada, a partir dela foi possível determinar a quantidade de resíduos que são dispostos em aterro, a quantidade de resíduos recicláveis coletados e a quantidade de rejeitos que são gerados a partir da triagem de resíduos recicláveis realizada pelas Associações de Catadores de Florianópolis. Além disso, o referencial bibliográfico utilizado abrangeu duas fontes de informação: a primeira foi os dados de resíduos disponibilizados pela COMCAP e os resultados do estudo realizado por Piaia (2021), no qual foram realizados junto a três Associações de Catadores de Florianópolis um levantamento gravimétrico que conseguiu determinar a porcentagem de rejeitos que possuem alto poder calorífico e podem ser transformados em CDR.

A variação da população do município foi calculada através de uma taxa média de crescimento anual da população a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e foi analisada em conjunto a variação da geração per capita de resíduos. Os dados da variação per capita foram determinados com os dados da variação da

população e da variação de resíduos, e a partir de tais resultados foi verificado a necessidade de ajustada os valores, com aqueles encontrados no Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS).

Por fim, a partir das metas estipuladas pelo município no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e o Plano Municipal de Coleta Seletiva (PMCS), foi analisado se tais planos vêm sendo cumpridos e se podem influenciar na geração dos resíduos nos próximos anos.

Após tais análises, foi constituído um quadro de cenários de produção de CDR (Tabela 2). Através dos rejeitos com alto poder calorífico encontrados após a triagem dos resíduos recicláveis das Associações de Catadores e dos resíduos provenientes da coleta convencional, foram divididos em quatro cenários, sendo os três primeiros cenários diferenciados pela taxa de confiança na oferta de resíduos para produção de CDR, que é 95% para o Cenário 01, 90% para o Cenário 02, 85% para o Cenário 03 e para o Cenário 04, abrangeu todos os resíduos de alto poder calorífico gerados na coleta convencional e dispostos no Centro de Gerenciamento de Resíduos – CGR Biguaçu.

Tabela 2 – Cenários de produção de CDR, a partir de resíduos gerados pelas Associações de Catadores.

Período	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
	(ton/ano)	(ton/ano)	(ton/ano)	(ton/ano)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.2.3 Custos Tecnológicos

O tratamento de resíduos através do CDR apresenta uma variada gama de rotas tecnológicas. Muitas delas encontram-se implantadas em outros países, onde operam em condições diversas e com bons resultados. No Brasil ainda são poucas as soluções implantadas.

Para realização do presente estudo foram consultadas algumas empresas fornecedoras de plantas e componentes para tratamento mecânico de resíduos com atuação no Brasil listados na Quadro 1. Para solicitação da tecnologia e valores de implantação e manutenção, foram usados os resultados de ton/dia dos cenários encontrados no item 5.3.

Quadro 1 – Fornecedores de Plantas e Componente de CDR que atuam no Brasil.

Empresa	País de Origem	Contato
Bianna Recycling	Portugal	servicos@bianna.pt
Bruno Industrial	Brasil	comercial@bruno.com.br
Edtech Trituradores	Brasil	edtech.ind.br/consultoria
Jaguar Equipamentos	Brasil	contato@jaguarequipamentos.com
Maquina Solo	Brasil	contato@maquinasolo.com.br
Recimac	Brasil	comercial@recimac.com.br
Siebert	Brasil	siebert.com.br/entre-em-contato-com-a-siebert/
Sutil Maquinas	Brasil	sutil@sutilmaquinas.com.br
PICVISA	Espanha	info@picvisa.com

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Também foram realizadas consultas em projetos similares produzidos por cooperativas e consórcios, listados a seguir:

- Consórcio Intermunicipal Para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos - CONRESOL (2020).
- Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Regional do Vale do Rio Grande - CONVALE (2018).

Além disso, foi realizado uma pesquisa de mercado para determinar os demais custos que irão compor os componentes da planta de CDR.

4.2.4Custo do Insumo Energético

Como dito anteriormente o Insumo Energético possui duas fontes distintas para os cenários estipulados neste estudo, para os primeiros cenários são aqueles resíduos com alto poder calorífico descartados após triagem dos resíduos recicláveis nas Associações de Catadores de Florianópolis, já os do Cenário 04 são aqueles advindos da coleta convencional e dispostos no aterro sanitário de Biguaçu. Assim, este item visa determinar os valores a serem pagos as Associações de Catadores e aos municípios pelos resíduos destinados a Planta de CDR.

Neste contexto, visto que a destinação de tais resíduos para a Planta de CDR irá gerar uma cadeia de benefícios, desde o aumento da arrecadação das Associações, diminuição dos custos de aterramento para os municípios, aumento da vida útil do aterro, entre outros. Para

determinar o preço a ser pago pelos resíduos descartados pelas Associações de Catadores nos primeiros cenários, em tendência aos benefícios elencados anteriormente, resolveu-se atrelar este a um valor médio de armazenagem, conforme aqueles encontrados no Relatório Parcial 03 do Plano Municipal de Coleta Seletiva, que trata da Identificação da Realidade Municipal Quanto a Coleta Informal e Levantamento dos Locais de Triagem Existentes. Assim, foi aplicado um valor a 5% do custo de aterramento por tonelada praticado pelo município. Já para o Cenário 04, foi levado em consideração uma parceria com os municípios, neste sentido, não será contabilizado o valor da matéria prima para este cenário.

4.3 MODELO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A avaliação econômica foi realizada com auxílio do Software *Excel* e utiliza os indicadores: Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback do investimento.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA), considerada como o valor mínimo necessário para pagar e obter recursos não possui fórmula única, assim, para este estudo foi utilizado como base o mesmo valor utilizado por Conresol (2020), no qual foi fixado em 9,37%.

O Valor Presente Líquido (VPL) foi calculado conforme Equação (3), no qual foi utilizado o Fluxo de Caixa para vida útil do projeto.

$$VPL = \frac{F1}{(1 + TMA)^1} + \frac{F2}{(1 + TMA)^2} + \frac{Fn}{(1 + TMA)^n} \dots - IN \quad (3)$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido de um Fluxo de Caixa;

n: número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndio do fluxo de caixa.

Fn: cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em n.

IN: investimento inicial.

O cálculo da Taxa Mínima de Atratividade (TIR) é semelhante ao do valor presente líquido, sendo no lugar de fixar uma taxa de desconto, iguala o VPL à zero. A Equação (4) permite o cálculo da TIR;

$$TIR = \frac{F1}{(1 + TMA)^1} + \frac{F2}{(1 + TMA)^2} + \frac{Fn}{(1 + TMA)^n} \dots - IN = 0 \quad (4)$$

Onde:

TIR: Taxa Interna de Retorno.

n: número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndio do fluxo de caixa.

Fn: cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em n.

IN: investimento inicial.

O Payback foi calculado conforme Equação (5).

$$Payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Resultado\ Médio\ do\ Fluxo\ de\ Caixa} \quad (5)$$

Por fim, foi realizada uma análise conjunta dos indicadores econômicos atribuído a cada cenário de forma a determinar a análise mais vantajosa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E CUSTOS DE TRANSPORTE

Os centros geradores de resíduos e as cimenteiras que receberam o CDR são essenciais neste estudo e sua localização é fato determinante para escolha do local de implantação da planta de CDR, uma vez que a matéria prima será transportada desses centros para a planta e da planta para as cimenteiras. Ao todo são doze Associações de Catadores, sendo seis localizadas no município de Florianópolis e seis no município de São José, além do Centro de Gerenciamento de Resíduos – CGR Biguaçu, este último fonte de resíduos da coleta convencional que formou o Cenário 04. O CGR Biguaçu recebe resíduos de 23 municípios, que totalizam 1.500 toneladas diárias de resíduos, totalizando 45.000 toneladas de resíduos de Classe II por mês (VEOLIA, 2020). A localização dos centros pode ser observada na Figura 3 e Tabela 3.

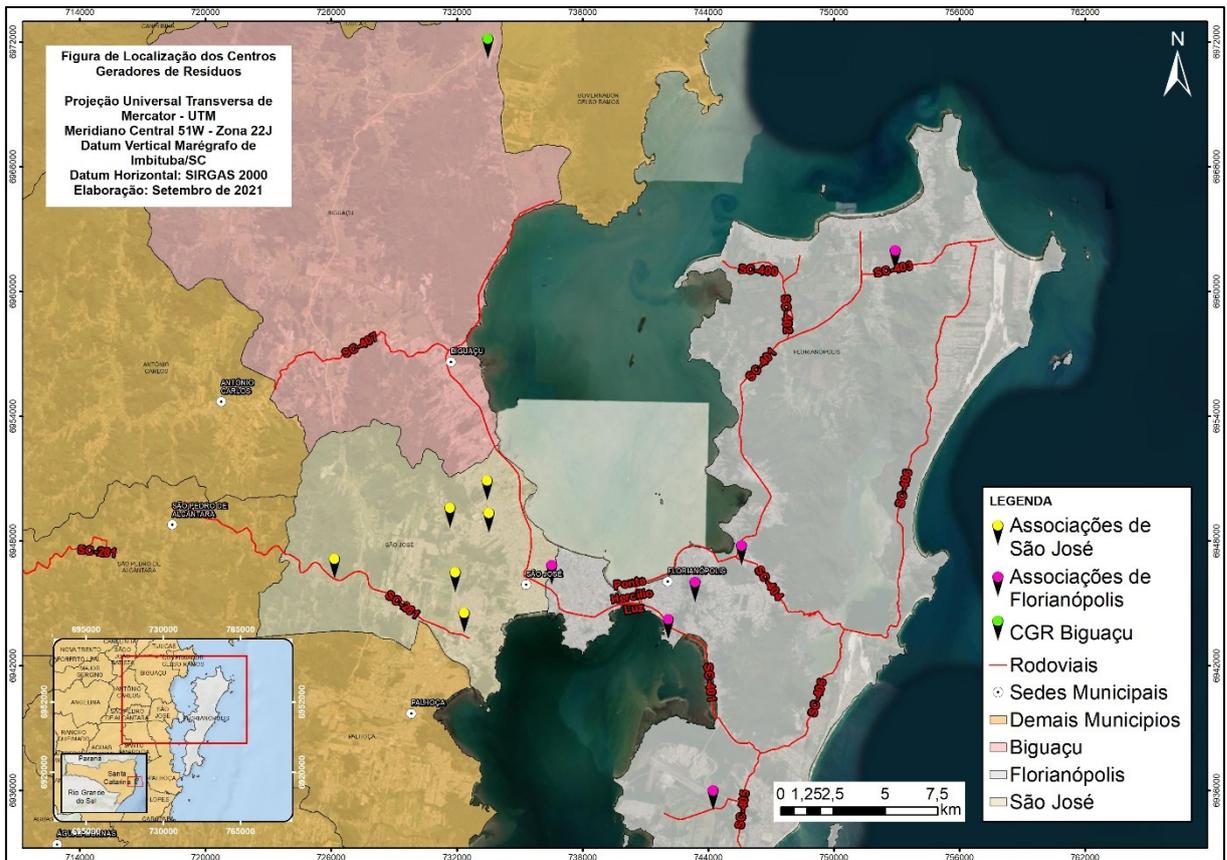


Figura 3 - Localização dos Centros Geradores de Resíduos
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 3 – Localização dos Centros Geradores de Resíduos

Centro Gerador de Resíduo	Abreviatura	Coordenada UTM		Endereço Próximos
		Longitude	Latitude	
Associação de Recicladores Esperança - ARESP	ARESP	736529,86	6945880,30	Rua Joaquim Nabuco nº 3000, Monte Cristo
Associação de Coletores de Materiais Recicláveis - ACMR	ACMR	745590,97	6946825,84	Rodovia Admar Gonzaga, 72, SC-404, Itacorubi, Florianópolis, CEP 88.034-900
Associação de Catadores de Recicláveis do Alto da Caieira e Serrinha - RECICLA FLORIPA	RECICLA FLORIPA	743374,71	6945073,39	Servidão da Felicidade s/nº, Alto da Caieira (Transcaieira) CEP 88.020-420
Associação Beneficente - SULRECICLA	SULRECICLA	744240,96	6935049,25	Rodovia Aparício Ramos Cordeiro nº 1500, km 3, Tapera
A Cooperativa de Trabalho Beneficente de Coletores de Materiais Recicláveis Renascer 4R – Renascer	Renascer	752686,85	6958414,83	Estr. Cristóvão Machado de Campos, Nº 2827, Vargem Grande, CEP 88052-600
Associação de Catadores Amigos da Natureza	ACMN	742095,82	6943286,28	Rua José Maria da Luz, nº 263, José Mendes, Florianópolis/SC, CEP 88021-000
SORECICLA - Associação de Catadores e Coletoras de Materiais Recicláveis	SORECICLA	731675,65	6948628,16	Rua Francisco Torquato da Rosa, s/n, Potecas CEP 88.119-290
ACARELI - Associação Comunitária Aparecida Reciclagem de Lixo Sócio-Cultural	ACARELI	726156,86	6946173,19	Rodovia SC 281 (SC 407), Sertão do Imarui CEP 88.123-001
Associação de Catadores de Materiais Recicláveis - ELORECICLA	ELORECICLA	733452,17	6949946,07	Rua Leonel Felisbino da Silva, Arcias, São José/SC, CEP 88.113-837
Associação Beneficente de Coletores de Materiais Recicláveis Nascimento - ABECAN	ABECAN	733527,92	6948387,94	Rua Vitalino Luz da Silva, quadra 6, lote 9, bairro Ipiranga, CEP 88.111-535
Associação de Recicladores de Materiais Recicláveis Machado - ARM	ARM	732355,99	6943574,70	Rua Adelino Bosqueti, 762, Picadas do Sul CEP 88.106-120
Associação Beneficente PLASANI	PLASANI	731378,40	6942829,84	Rua Aderbal Ramos da Silva, nº 249, Distrito Industrial, CEP 88.104-790
Centro de Gerenciamento de Resíduos – CGR Biguaçu	CGR Biguaçu	733478,36	6971178,66	Guaporanga, Biguaçu - SC

Fonte: Florianópolis (2020e).

Com as localizações dos Centros Geradores de Resíduos, a definição do local de implantação da planta considerou os Planos Diretores em vigor dos municípios de São José e Florianópolis para definição do local de instalação da Planta de CDR, referente aos Cenários de 01 a 03, e o Plano Diretor de Biguaçu para implantação da Planta de CDR do Cenário 04.

Nos Cenários 01, 02 e 03 a planta de CDR foi alocada na Rua Leo Paulo no bairro Areias, em São José, zona classificada como Áreas Industriais (AI), conforme art. 20 da Lei nº 1605/1985 que dispõe sobre o Zoneamento de Uso e Ocupação do Território do Município de São José, visto que a legislação do município de Florianópolis apresenta restrições em sua totalidade na implantação de indústrias em seu território. Para o Cenário 04, a planta ficou localizada na Alameda Rio Quinta dos Ganchos, no bairro Guaporanga em Biguaçu, apontada pela Lei Complementar nº 71/2014 como Zona de Expansão Industrial (ZEI).

Visto que a Planta de CDR trará benefícios ao município, desde o aumento na arrecadação de impostos, da vida útil do aterro, da diminuição dos custos de aterramento dos resíduos, ofertas de emprego, entre outros, a alocação das plantas nos quatro cenários buscou zonas de uso industrial em áreas públicas, desocupadas, sem projetos de uso e sem necessidades de revitalização. Neste sentido, os custos de compra de terreno não serão contabilizados neste estudo. A localização escolhida para as plantas pode ser verificada na Figura 4 e Tabela 4.

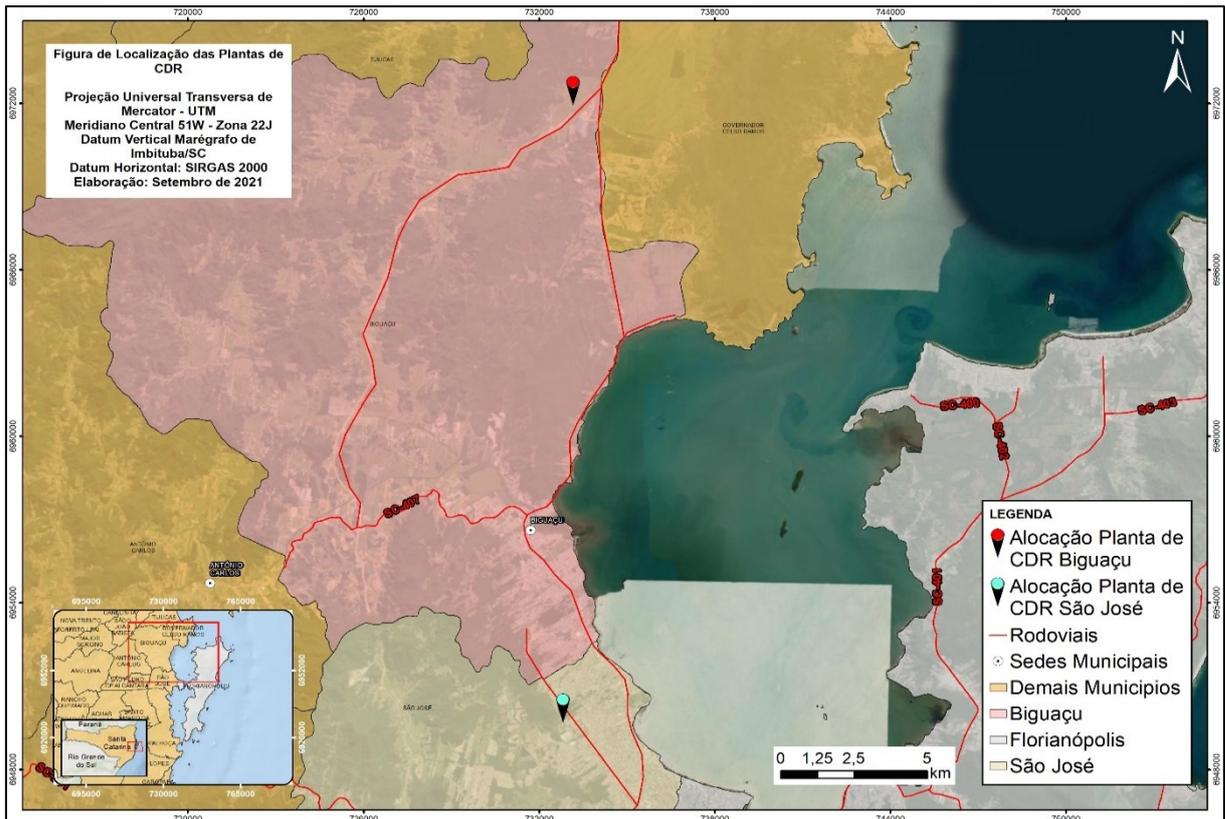


Figura 4 – Figura de Localização das Plantas de CDR nos municípios de São José e Biguaçu.
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 4 – Localização das Plantas de CDR nos municípios de São José e Biguaçu e distâncias para os Centros Geradores de Resíduos.

Plantas de CDR	Coordenada UTM		Endereço Próximos	Centro Gerador de Resíduo	Distância do Centro Gerador a Planta de CDR (km)
	Longitude	Latitude			
São José	732823	6949677	Rua Leo Paulo, Areias, CEP 88113-880	Associação de Recicladores Esperança - ARESP	8,00
				Associação de Catadores de Recicláveis do Alto daCaeira e Serrinha - RECICLA FLORIPA	18,00
				Associação Beneficente - SULRECICLA	25,00
				Cooperativa de Trabalho Beneficente de Coletores de Materiais Recicláveis Renascer 4R – Renascer	40,00
				Associação de Catadores Amigos da Natureza	16,00
				SORECICLA - Associação deCatadores e Coletorasde Materiais Recicláveis	4,00
				ACARELI - Associação Comunitária Aparecida	12,00

Plantas de CDR	Coordenada UTM		Endereço Próximos	Centro Gerador de Resíduo	Distância do Centro Gerador a Planta de CDR (km)
	Longitude	Latitude			
				Reciclagem de Lixo Sócio-Cultural	
				Associação de Catadores de Materiais Recicláveis - ELORECICLA	2,00
				Associação Beneficente de Coletores de Materiais Recicláveis Nascimento - ABECAN	3,00
				Associação de Recicladores de Materiais Recicláveis Machado - ARM	10,00
				Associação Beneficente PLASANI	13,00
				Associação de Coletores de Materiais Recicláveis - ACMR	22,00
Biguaçu	733478	6971178	Alameda Rio Quinta dos Ganchos, Guaporanga	Centro de Gerenciamento de Resíduos – CGR Biguaçu	2,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

No presente estudo foram verificados os principais caminhos e as respectivas distâncias que interligam os centros geradores até as unidades previstas para implantação das Plantas de CDR em estudo para definição de custos de transporte. Para cada cenário considerou-se o total das distâncias percorridas pelos veículos transportadores e a quantidades de resíduos média que cada centro de gerador possui. Como dito anteriormente, o maior centro gerador de resíduos para os cenários 01, 02 e 03 é a Associação de Coletores de Materiais Recicláveis (ACMR), que recebe em torno de 60% dos materiais recicláveis do município, os demais 40% divididos entre as outras Associações.

Para os cenários 01, 02 e 03, considerou-se que os veículos de transporte tenham capacidade de carga para 12 toneladas com consumo de combustível de 3 km/L, fixando o preço do óleo diesel em R\$ 4,61 (preço de setembro de 2021), e que será realizado em média uma rota de 180 km/dia para o Cenário 01, de 170 km/dia para o Cenário 02 e para o Cenário 03 uma rota de 155 km/dia, o custo médio por tonelada ficou em torno de R\$ 51,00, R\$ 47,00 e R\$ 42,00 respectivamente. Ainda, estão acoplados a este valor a manutenção dos veículos e o custo de mão de obra, os resultados podem ser vistos na Tabela 5.

O Cenário 04 levou em consideração os mesmos indicativos dos primeiros cenários, porém a quantidade de resíduos que gira em torno de 300 toneladas/dia e a pequena distância

entre o CGR Biguaçu e a Planta, constituiu um custo anual de transporte dos resíduos para Planta de CDR de R\$ 4,50 por tonelada/ano.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos custos de transporte para cada cenário durante a vida útil da planta.

Tabela 5 – Custos de transporte durante o período

Período	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
2022	R\$ 84.558,00	R\$ 73.837,00	R\$ 62.328,00	R\$ 495.000,00
2023	R\$ 88.791,00	R\$ 77.503,00	R\$ 65.436,00	R\$ 495.000,00
2024	R\$ 93.228,00	R\$ 81.404,00	R\$ 68.712,00	R\$ 495.000,00
2025	R\$ 97.920,00	R\$ 85.493,00	R\$ 72.156,00	R\$ 495.000,00
2026	R\$ 102.816,00	R\$ 89.723,00	R\$ 75.726,00	R\$ 495.000,00
2027	R\$ 107.916,00	R\$ 94.235,00	R\$ 79.548,00	R\$ 495.000,00
2028	R\$ 113.322,00	R\$ 98.935,00	R\$ 83.496,00	R\$ 495.000,00
2029	R\$ 118.983,00	R\$ 103.870,00	R\$ 87.696,00	R\$ 495.000,00
2030	R\$ 124.950,00	R\$ 109.087,00	R\$ 92.064,00	R\$ 495.000,00
2031	R\$ 131.172,00	R\$ 114.539,00	R\$ 96.684,00	R\$ 495.000,00
2032	R\$ 137.751,00	R\$ 120.273,00	R\$ 101.514,00	R\$ 495.000,00
2033	R\$ 144.636,00	R\$ 126.289,00	R\$ 106.596,00	R\$ 495.000,00
2034	R\$ 151.878,00	R\$ 132.587,00	R\$ 111.888,00	R\$ 495.000,00
2035	R\$ 159.477,00	R\$ 139.214,00	R\$ 117.516,00	R\$ 495.000,00
2036	R\$ 167.433,00	R\$ 146.170,00	R\$ 123.396,00	R\$ 495.000,00
2037	R\$ 175.797,00	R\$ 153.502,00	R\$ 129.528,00	R\$ 495.000,00
2038	R\$ 184.620,00	R\$ 161.163,00	R\$ 136.038,00	R\$ 495.000,00
2039	R\$ 193.851,00	R\$ 169.247,00	R\$ 142.842,00	R\$ 495.000,00
2040	R\$ 203.541,00	R\$ 177.707,00	R\$ 149.982,00	R\$ 495.000,00
2041	R\$ 213.690,00	R\$ 186.590,00	R\$ 157.458,00	R\$ 495.000,00
2042	R\$ 224.400,00	R\$ 195.896,00	R\$ 165.354,00	R\$ 495.000,00
2043	R\$ 235.620,00	R\$ 205.719,00	R\$ 173.586,00	R\$ 495.000,00
2044	R\$ 247.401,00	R\$ 215.965,00	R\$ 182.280,00	R\$ 495.000,00
2045	R\$ 259.743,00	R\$ 226.775,00	R\$ 191.394,00	R\$ 495.000,00
2046	R\$ 272.748,00	R\$ 238.102,00	R\$ 200.970,00	R\$ 495.000,00
2047	R\$ 286.365,00	R\$ 250.040,00	R\$ 211.008,00	R\$ 495.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.2.AVALIAÇÃO DA OFERTA

Conforme mencionado anteriormente a avaliação da oferta de resíduos durante a vida útil do projeto se deu a partir de análise de cinco indicativos, apresentados a seguir.

5.2.1Variação da Quantidade de Resíduos Gerada pelo Município de Florianópolis

Foi verificado a variação da quantidade de resíduos gerada pelo município de Florianópolis durante o período de dez/2010 a dez/2020, os dados encontrados são disponibilizados pela COMCAP e podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Variação de produção de RSU do município do Florianópolis

Período	Produção de RSU (ton)	Taxa de Crescimento Anual (%)	Produção Coleta Seletiva (ton)	Taxa de Crescimento Anual (%)
2010	155.943	-	7.565	-
2011	164.237	5,31	9.830	29,94
2012	174.740	6,39	11.378	15,74
2013	181.881	4,08	11.755	3,31
2014	191.994	5,56	11.936	1,53
2015	202.258	5,34	12.127	1,6
2016	203.021	0,37	11.701	-3,51
2017	203.262	0,11	11.580	-1,03
2018	209.318	2,97	11.085	-4,27
2019	212.303	1,42	13.483	21,63
2020	205.291	-3,3	12.178	-9,79
Mediana Anual	-	3,52	-	1,56

Fonte: Florianópolis (2020d).

A análise foi feita a partir da mediana, visto que são encontrados valores extremos de variação na coleta anual no período observado, e que a mediana se trata de uma média onde se faz o descarte dos valores extremos, reduzindo as variações mais elevadas ao longo da amostra.

Os valores encontrados foram de 3,52% a.a. de crescimento anual na produção de RSU e 1,56% a.a. na produção da coleta seletiva, com base neste indicativo foi determinado o crescimento da produção dos resíduos ao longo da vida útil do projeto, fixado em 25 anos.

Ao longo das análises são realizados ajustes na tabela de projeção (Tabela 7), conforme os resultados são encontrados. Visto que é necessário definir uma oferta inicial e a partir desse valor estipular as projeções indicadas, esta foi fixada no ano de 2019 com uma produção de RSU de 212.303 toneladas e, isto, devido a pandemia causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2), que ocasionou na paralização da coleta seletiva de março a junho de 2020.

Tabela 7 – Projeção da produção de RSU durante o período de interesse.

Período	Produção de RSU (ton)	Produção Coleta Seletiva (ton)
2022	212.303	13.483
2023	219.776	13.693

Período	Produção de RSU (ton)	Produção Coleta Seletiva (ton)
2024	227.512	13.907
2025	235.521	14.124
2026	243.811	14.344
2027	252.393	14.568
2028	261.277	14.795
2029	270.474	15.026
2030	279.995	15.260
2031	289.851	15.499
2032	300.054	15.740
2033	310.615	15.986
2034	321.549	16.235
2035	332.868	16.489
2036	344.585	16.746
2037	356.714	17.007
2038	369.270	17.272
2039	382.269	17.542
2040	395.724	17.815
2041	409.654	18.093
2042	424.074	18.376
2043	439.001	18.662
2044	454.454	18.953
2045	470.451	19.249
2046	487.011	19.549
2047	504.153	19.854

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Conforme pode ser observado na Tabela 7 durante o período do projeto a coleta de RSU chegou a 504.153 toneladas em 2047, enquanto a coleta seletiva chegou a 19.854 toneladas em 2047.

5.2.2 Variação da População do Município e Variação da geração per capita de resíduos

Para obtenção dos dados-base populacionais do município de Florianópolis, foi consultado o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os valores obtidos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – População do Município de Florianópolis.

Ano	População Total (hab)	Taxa de Crescimento Anual (%)
1991	255.390	-
2000	342.315	3,78

Ano	População Total (hab)	Taxa de Crescimento Anual (%)
2007	396.723	2,27
2010	421.240	2,20
2017	485.838	2,19
2020	508.826	1,58
Média Anual		2,40

Fonte: IBGE (2020)

A taxa média de crescimento anual da população urbana utilizada é de 2,40% a.a. e corresponde ao crescimento médio obtido nos censos de 1991 a 2010 e na projeção populacional realizada pelo IBGE nos anos de 2017 e 2020. A projeção populacional foi aplicada ao longo dos 25 anos estipulados pelo projeto e pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Projeção populacional do município de Florianópolis no período estudado.

Período	População Estimada (hab)	Período	População Estimada (hab)
2022	508.826	2035	692.578
2023	521.038	2036	709.200
2024	533.543	2037	726.221
2025	546.348	2038	743.650
2026	559.460	2039	761.498
2027	572.887	2040	779.774
2028	586.636	2041	798.488
2029	600.716	2042	817.652
2030	615.133	2043	837.276
2031	629.896	2044	857.370
2032	645.014	2045	877.947
2033	660.494	2046	899.018
2034	676.346	2047	920.594

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com base nos dados de população total da projeção encontrada na Tabela 9 e da projeção de produção de RSU e coleta seletiva, foi verificado a geração per capita de resíduos entre os anos de 2022 a 2047. Os valores encontrados foram postos a prova em comparativo aos dados no PMGIRS de Florianópolis entre os anos de 2020 a 2035. A geração per capita calculada neste estudo apresenta uma aproximação satisfatória do projetado pelo PMGIRS, sendo que para os anos finais é observado tendência de crescimento da geração maior que neste

estudo, deste modo, resolveu-se não realizar os ajustes dos valores de geração per capita calculado e manter os aqui encontrados.

Tabela 10 – Geração per capita projetada em comparativo aos valores encontrados no PMGIRS.

Período	Geração per capita RSU (kg/hab.dia)	Geração per capita RSU PMIGRS Florianópolis (kg/hab.dia)
2022	1,183	1,141
2023	1,196	1,163
2024	1,209	1,185
2025	1,223	1,207
2026	1,236	1,229
2027	1,250	1,251
2028	1,263	1,273
2029	1,277	1,295
2030	1,291	1,317
2031	1,305	1,339
2032	1,319	1,361
2033	1,334	1,383
2034	1,348	1,405
2035	1,363	1,427
2036	1,378	1,449
2037	1,393	1,471
2038	1,408	1,493
2039	1,424	1,515
2040	1,439	1,537
2041	1,455	1,559
2042	1,471	1,581
2043	1,487	1,603
2044	1,503	1,625
2045	1,520	1,647
2046	1,536	1,669
2047	1,553	1,691

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.2.3 Investimento em Educação Ambiental e Planos de Gerenciamento dos Resíduos do Município

O estudo considera as atividades e planos de resíduos praticados pelo município que resultem em uma menor geração de resíduos, maior reutilização de produtos, maior separação de resíduos para a coleta seletiva e diminuição do descarte irregular.

Neste contexto, o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS) estabelecido em 2016, possui meta reciclar 60% dos resíduos secos gerados em

2030 chegando a um montante de 54.000 toneladas de recicláveis secos desviados dos aterros. Tal projeto ganhou força com a implementação do Decreto nº 18.646 de 2018, que instituiu o Programa Florianópolis Capital Lixo Zero. Assim, de forma a alcançar as metas estipuladas, o município investiu 10 milhões de reais para acelerar as metas do Programa Florianópolis Capital Lixo Zero (REDAÇÃO ND, 2020), uma vez que os indicadores dos últimos anos apresentaram uma média de alcance da meta de 53,49% (Tabela 11).

Tabela 11 – Indicador de recuperação de resíduos em Florianópolis.

Ano	Recicláveis secos desviados do Aterro Sanitário (%)	Meta mínima de Desvio dos Recicláveis Secos (%)	Em relação a meta (%)
2016	13,45	18,00	74,72
2017	11,37	20,00	56,85
2018	10,52	24,00	43,83
2019	14,77	30,00	49,23
2020	15,85	37,00	42,83
Média	13,19	26,00	53,49

Fonte: Florianópolis (2020d)

Assim, visto que tal meta é ambiciosa e vem recebendo atenção do município, foi realizado um ajuste na geração da coleta seletiva em um crescimento anual de 5%. Os valores encontrados ficaram 40% abaixo da meta factível do PMGIRS, porém são valores mais seguros, uma vez que o município vem apresentando uma média dos indicadores menor do que a estipulada pelo plano, os resultados podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 – Ajuste na Produção da Coleta Seletiva do estudo.

Período	Produção Coleta Seletiva (ton)	Produção Coleta Seletiva ajustada (ton)
2022	13.483	14.157
2023	13.693	14.865
2024	13.907	15.608
2025	14.124	16.389
2026	14.344	17.208
2027	14.568	18.069
2028	14.795	18.972
2029	15.026	19.921
2030	15.260	20.917
2031	15.499	21.962
2032	15.740	23.061
2033	15.986	24.214
2034	16.235	25.424
2035	16.489	26.695

Período	Produção Coleta Seletiva (ton)	Produção Coleta Seletiva ajustada (ton)
2036	16.746	28.030
2037	17.007	29.432
2038	17.272	30.903
2039	17.542	32.448
2040	17.815	34.071
2041	18.093	35.774
2042	18.376	37.563
2043	18.662	39.441
2044	18.953	41.413
2045	19.249	43.484
2046	19.549	45.658
2047	19.854	47.941

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.3 CENÁRIOS DE OFERTA DE RESÍDUOS

A partir dos resultados encontrados nos itens anteriores foi possível determinar os cenários estipulados para este estudo (Tabela 13). Conforme exposto anteriormente o enfoque do trabalho são os resíduos descartados pelas Associações de Catadores que possuem alto poder calorífico, para tal utilizou-se dos resultados encontrados por Piaia (2021) para determinar a porcentagem de resíduos que podem ser encaminhados para a planta de CDR. Assim, tem-se que a média de rejeitos descartados anualmente pelas Associações é de 20,45% do montante total de recicláveis e que 60,29% desses rejeitos, podem ser encaminhados para a produção de CDR (PIAIA, 2021).

Os resultados encontrados foram divididos em quatro cenários distintos, sendo os três primeiros cenários voltados ao município de Florianópolis e variando com uma taxa de confiança da oferta de resíduos de 95%, 90% e 85% respectivamente. A oferta de resíduos para o Cenário 04 não levou em consideração a variação de resíduos durante o período do projeto, sendo fixada em uma demanda base estipulada em 300 ton/dia, assim, totalizando em uma oferta anual de 110.000 toneladas. Os resultados encontrados nos cenários de produção de resíduos para o CDR são observados na Tabela 13.

Tabela 13 - Cenários de produção de CDR, a partir de resíduos gerados pelas Associações de Catadores e pelos municípios da região metropolitana de Florianópolis.

Período	Cenário 01 (ton/ano)	Cenário 02 (ton/ano)	Cenário 03 (ton/ano)	Cenário 04 (ton/ano)
2022	1.658	1.571	1.484	110.000
2023	1.741	1.649	1.558	110.000
2024	1.828	1.732	1.636	110.000
2025	1.920	1.819	1.718	110.000
2026	2.016	1.909	1.803	110.000
2027	2.116	2.005	1.894	110.000
2028	2.222	2.105	1.988	110.000
2029	2.333	2.210	2.088	110.000
2030	2.450	2.321	2.192	110.000
2031	2.572	2.437	2.302	110.000
2032	2.701	2.559	2.417	110.000
2033	2.836	2.687	2.538	110.000
2034	2.978	2.821	2.664	110.000
2035	3.127	2.962	2.798	110.000
2036	3.283	3.110	2.938	110.000
2037	3.447	3.266	3.084	110.000
2038	3.620	3.429	3.239	110.000
2039	3.801	3.601	3.401	110.000
2040	3.991	3.781	3.571	110.000
2041	4.190	3.970	3.749	110.000
2042	4.400	4.168	3.937	110.000
2043	4.620	4.377	4.133	110.000
2044	4.851	4.595	4.340	110.000
2045	5.093	4.825	4.557	110.000
2046	5.348	5.066	4.785	110.000
2047	5.615	5.320	5.024	110.000
Média	3.260	3.088	2.917	110.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os resultados garantem um fornecimento anual médio para o Cenário 01 de 3.260 toneladas, de 3.088 toneladas para o Cenário 02, de 2.917 toneladas para o cenário 03 e por fim de 110.000 toneladas de resíduos para o Cenário 04.

As tecnologias para processamento de CDR são catalogadas em uma certa quantidade de resíduo por ton/dia, assim, para auxiliar foi dividido a quantidade ofertada de resíduos máxima que cada cenário vai exercer no último ano da vida útil estipulada. Os Cenários 01 e 02 processaram 25 ton/dia no ano 2047, o Cenário 03 irá processar 20 ton/dia e por último o Cenário 04 irá processar 300 ton/dia de resíduos.

5.4 TECNOLOGIAS

Para determinação das tecnologias mais acessíveis para este estudo foram submetidos a nove (9) empresas, explicitadas no Quadro 1, com atuação no Brasil, orçamentos nos quais deveriam seguir os seguintes critérios:

- Material a ser processado: Resíduos Classe II;
- Tamanho Médio do Material na Entrada: 255 mm (PIAIA, 2021).
- Tamanho do Material Desejado na Saída: 25 mm a 50 mm (RAMA, 2010)
- Capacidade de Processamento Cenários 01 e 02: 25 toneladas/dia ou 6600 toneladas/ano (conforme média mensal do ano de 2047 de 468 ton/mês para o Cenário 01 e 444 ton/mês para o Cenário 02, com funcionamento de 22 dias por mês).
- Capacidade de Processamento Cenário 03: 20 toneladas/dia ou 5.280 toneladas/ano (conforme média mensal do ano de 2047 de 419 ton/mês, com funcionamento de 22 dias por mês).
- Capacidade de Processamento Cenário 04: 300 toneladas/dia ou 110.000 toneladas/ano (conforme média mensal de 9.000 toneladas, com funcionamento de 30 dias por mês).

Tendo em vista que grande parte das empresas não enviaram as informações conforme solicitado, as tecnologias utilizadas seguiram o resultado orçamentário de preço global com informações passadas pelas empresas EDTECH - sistemas e tecnologia em trituração de resíduos e RECIMAC Indústria e Comércio Ltda. Ficou definido que para os Cenários 01, 02 e 03 o valor do investimento é de R\$ 185,00 por tonelada e para o Cenário 04 o valor de R\$ 150,00 por tonelada, o resumo do custo do investimento tecnológico pode ser conferido na Tabela 14.

Tabela 14 – Investimento na Implantação das Tecnologia.

Tipo	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
Tecnologia	R\$ 1.221.000,00	R\$ 1.221.000,00	R\$ 976.800,00	R\$ 16.500.000,00
Manutenção Equipamentos (1,5% do investimento)	R\$ 18.315,00	R\$ 18.315,00	R\$ 14.652,00	R\$ 247.500,00
Estoque permanente de Peças de Reposição	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00	R\$ 150.000,00
Contentores abertos de armazenagem (4 unidades) (Almoverde X.I.C 30 de 30 m3)	-	-	-	R\$ 256.000,00

Tipo	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
Contentores abertos de armazenagem (2 unidades) (Almoverde X.I.C 15 de 15 m ³)	R\$ 64.000,00	R\$ 64.000,00	R\$ 64.000,00	-
Edifício de Produção e Armazenagem (2500 m ²) (R\$ 1000,00 m ²)	-	-		R\$ 2.500.000,00
Edifício de Produção e Armazenagem (800 m ²) (R\$ 1000,00 m ²)	R\$ 800.000,00	R\$ 800.000,00	R\$ 800.000,00	-
Manutenção edificação a cada 5 anos	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00	R\$ 100.000,00
Caminhões Transporte de Resíduos (Transresíduos - CAMINHÃO ROLL ON ROLL OFF - Capacidade 12 toneladas) (4 unidades) sendo duas no ano 1 e duas no ano 12	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	-
Caminhões Transporte de Resíduos (Transresíduos - CAMINHÃO ROLL ON ROLL OFF - Capacidade 12 toneladas) (6 unidades)	-	-	-	R\$ 3.000.000,00
Sub total 1	R\$ 3.223.315,00	R\$ 3.223.315,00	R\$ 2.975.452,00	R\$ 22.753.500,00
Demais Custos (10% do investimento do Sub total 1)	R\$ 322.331,50	R\$ 322.331,50	R\$ 297.545,20	R\$ 2.275.350,00
Sub total 2 (- os custos de manutenção)	R\$ 3.477.331,50	R\$ 3.477.331,50	R\$ 3.208.345,20	R\$ 24.681.350,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A composição dos custos de implantação seguiu com a análise de outros componentes de forma a completar as tecnologias. O custo de manutenção e peças de desgastes dos trituradores e demais, foram concedidas pelo fornecedor com importação da empresa Forrec Recycling Systems e executada RECIMAC Indústria e Comércio Ltda. Os demais custos foram estabelecidos através de pesquisa de mercado, além disso, foi reservado um valor de 10% do investimento total para demais custos não estabelecidos aqui, tais como licenciamento ambiental, mão de obra, entre outros, conforme Rama (2010).

De certa forma, os custos aqui estabelecidos compõem a maior parte do investimento da Planta de CDR e a partir deles será possível determinar a viabilidade de implantação de cada cenário estabelecido.

5.5 CUSTO DO INSUMO ENERGÉTICO

Este item visa determinar o valor a ser pago pelo insumo energético utilizado na planta de CDR. Para isso, foi utilizado duas premissas diferentes para cada Cenário estipulado.

Para os três primeiros cenários, foram elencadas algumas vantagens que formularam o preço aqui estimado por tonelada. Considera assim que com a destinação dos rejeitos pelas associações para a planta ajudará o município a alcançar as metas de desvio de aterro instituídas pelo PMGIRS, irá extinguir os custos de aterramento desses resíduos, que segundo dados da

Prefeitura do Município de Florianópolis, o custo de aterramento em 2019, foi de R\$ 161,00 por tonelada e chegou em R\$ 158,00 no ano de 2020. Assim, foi considerado o valor de R\$ 7,90 por tonelada, sendo 5% dos custos de aterramento do ano de 2020, valor aproximado dos custos de armazenagem dos resíduos nas Associações, conforme Florianópolis (2016g).

Para o cenário 04, foi considerado uma parceria com a administradora do aterro e os municípios, visto que o desvio dos resíduos do aterro irá causar uma série de benefícios a administradora e aos municípios. Desta forma, os custos estimados com o insumo energético podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 – Custos estimados com o Insumo energético.

Período	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
2022	R\$ 13.098,20	R\$ 12.410,90	R\$ 11.723,60	R\$ -
2023	R\$ 13.753,90	R\$ 13.027,10	R\$ 12.308,20	R\$ -
2024	R\$ 14.441,20	R\$ 13.682,80	R\$ 12.924,40	R\$ -
2025	R\$ 15.168,00	R\$ 14.370,10	R\$ 13.572,20	R\$ -
2026	R\$ 15.926,40	R\$ 15.081,10	R\$ 14.243,70	R\$ -
2027	R\$ 16.716,40	R\$ 15.839,50	R\$ 14.962,60	R\$ -
2028	R\$ 17.553,80	R\$ 16.629,50	R\$ 15.705,20	R\$ -
2029	R\$ 18.430,70	R\$ 17.459,00	R\$ 16.495,20	R\$ -
2030	R\$ 19.355,00	R\$ 18.335,90	R\$ 17.316,80	R\$ -
2031	R\$ 20.318,80	R\$ 19.252,30	R\$ 18.185,80	R\$ -
2032	R\$ 21.337,90	R\$ 20.216,10	R\$ 19.094,30	R\$ -
2033	R\$ 22.404,40	R\$ 21.227,30	R\$ 20.050,20	R\$ -
2034	R\$ 23.526,20	R\$ 22.285,90	R\$ 21.045,60	R\$ -
2035	R\$ 24.703,30	R\$ 23.399,80	R\$ 22.104,20	R\$ -
2036	R\$ 25.935,70	R\$ 24.569,00	R\$ 23.210,20	R\$ -
2037	R\$ 27.231,30	R\$ 25.801,40	R\$ 24.363,60	R\$ -
2038	R\$ 28.598,00	R\$ 27.089,10	R\$ 25.588,10	R\$ -
2039	R\$ 30.027,90	R\$ 28.447,90	R\$ 26.867,90	R\$ -
2040	R\$ 31.528,90	R\$ 29.869,90	R\$ 28.210,90	R\$ -
2041	R\$ 33.101,00	R\$ 31.363,00	R\$ 29.617,10	R\$ -
2042	R\$ 34.760,00	R\$ 32.927,20	R\$ 31.102,30	R\$ -
2043	R\$ 36.498,00	R\$ 34.578,30	R\$ 32.650,70	R\$ -
2044	R\$ 38.322,90	R\$ 36.300,50	R\$ 34.286,00	R\$ -
2045	R\$ 40.234,70	R\$ 38.117,50	R\$ 36.000,30	R\$ -
2046	R\$ 42.249,20	R\$ 40.021,40	R\$ 37.801,50	R\$ -
2047	R\$ 44.358,50	R\$ 42.028,00	R\$ 39.689,60	R\$ -
Total	R\$ 669.580,30	R\$ 634.330,50	R\$ 599.120,20	R\$ 0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tais valores representam um retorno alto para as Associações ao olharmos para os 25 anos de vida útil do projeto, devendo chegar a um total de R\$ 669.580,30 para o cenário 01, R\$ 634.330,50 para o cenário 02 e R\$ 599.120,20 para o cenário 03, se considerarmos que tais resíduos descartados só representavam despesas as Associações e ao município.

Para município o retorno é maior, se levarmos em consideração que os custos de aterramento em 2020 ficaram em R\$ 158,00 por tonelada para o município de Florianópolis e em média R\$ 150,00 para os municípios que destinam os seus resíduos para o aterro, o desvio de tais resíduos, representam uma economia total de R\$ 13.391.606,00 para o Cenário 01, R\$ 12.686.610,00 para o Cenário 02, R\$ 11.982.404,00 para o Cenário 03 e por fim o montante de R\$ 205.920.000,00 para o Cenário 04.

O retorno financeiro com o desvio de tais resíduos representa uma grande economia para os municípios, podendo se tornar investimentos na melhoria da coleta de resíduos, em campanhas que visam a redução dos resíduos, em centros de triagem de recicláveis, que além de beneficiar os municípios resultaria numa maior oferta de resíduos para a Planta de CDR. Além disso, os custos do insumo são um fator determinante para definição da viabilidade de implantação de uma Planta de CDR, visto que o preço de venda do CDR neste estudo variou de R\$ 175,00 a R\$ 295,00 por tonelada.

5.6 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para cada cenário instituído foi realizado um estudo econômico-financeiro para determinar a viabilidade de implantação da Planta de CDR, para isso foi utilizado o fluxo de caixa projetado para o período de concessão.

Porém, para dar início é preciso levar em consideração algumas premissas quanto a venda e produção de CDR. Assim, será pressuposto que:

- O preço de venda do CDR é de R\$ 295,00 por tonelada, para os Cenários 01, 02, 03, com poder calorífico inferior médio de 5430 kcal/kg (PIAIA, 2021) e produção de CDR em 75% da massa de resíduos de entrada (RAMA, 2010). A composição do valor foi conforme Paula (2019), em conjunto aos estudos feitos no âmbito do ProteGEEr (projeto de cooperação técnica entre o Brasil e a Alemanha para promover uma gestão sustentável e integrada dos resíduos sólidos urbanos), intitulado “Combustível Derivado de Resíduos (CDR): uma alternativa tecnológica”, no qual para CDR com PCI > 5.000 kcal/kg o potencial valor de

venda é de 25% do valor do coque de petróleo que é de US\$220 ou R\$1181,60, em valores de setembro de 2021.

- Para o Cenário 04, o preço de venda do CDR é de R\$ 175,00 por tonelada, com poder calorífico inferior estimado de 3600 kcal/kg e produção de CDR em 24% da massa de entrada de RSU (CONRESOL, 2020). A composição do valor foi conforme o Paula (2019), no qual para CDR com PCI > 3.250 kcal/kg e < 4.000 kcal/kg o potencial valor de venda é de 15% do valor do coque de petróleo que é de US\$220 ou R\$1181,60 em valores de setembro de 2021.
- Para investimentos neste setor, recomenda-se que sejam considerados TMA equivalentes aqueles observados em empreendimentos de porte características semelhantes, que correspondeu a 9,37% a.a. (CONRESOL, 2020).
- A manutenção de equipamentos e dos edifícios apontada na Tabela 14 é de periodicidade bianual e quinquênio respectivamente, e não entrará como custo de Investimento Inicial (IN).
- Não foi considerado nos valores correntes, qualquer ajuste a inflação nos anos de vida útil do projeto.

As receitas provenientes da venda do CDR são observadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Receitas anuais provenientes da venda de CDR.

Período	Cenário 01 (R\$/ano)	Cenário 02 (R\$/ano)	Cenário 03 (R\$/ano)	Cenário 04 (R\$/ano)
2022	R\$ 366.832,50	R\$ 347.583,75	R\$ 328.335,00	R\$ 4.620.000,00
2023	R\$ 385.196,25	R\$ 364.841,25	R\$ 344.707,50	R\$ 4.620.000,00
2024	R\$ 404.445,00	R\$ 383.205,00	R\$ 361.965,00	R\$ 4.620.000,00
2025	R\$ 424.800,00	R\$ 402.453,75	R\$ 380.107,50	R\$ 4.620.000,00
2026	R\$ 446.040,00	R\$ 422.366,25	R\$ 398.913,75	R\$ 4.620.000,00
2027	R\$ 468.165,00	R\$ 443.606,25	R\$ 419.047,50	R\$ 4.620.000,00
2028	R\$ 491.617,50	R\$ 465.731,25	R\$ 439.845,00	R\$ 4.620.000,00
2029	R\$ 516.176,25	R\$ 488.962,50	R\$ 461.970,00	R\$ 4.620.000,00
2030	R\$ 542.062,50	R\$ 513.521,25	R\$ 484.980,00	R\$ 4.620.000,00
2031	R\$ 569.055,00	R\$ 539.186,25	R\$ 509.317,50	R\$ 4.620.000,00
2032	R\$ 597.596,25	R\$ 566.178,75	R\$ 534.761,25	R\$ 4.620.000,00
2033	R\$ 627.465,00	R\$ 594.498,75	R\$ 561.532,50	R\$ 4.620.000,00
2034	R\$ 658.882,50	R\$ 624.146,25	R\$ 589.410,00	R\$ 4.620.000,00
2035	R\$ 691.848,75	R\$ 655.342,50	R\$ 619.057,50	R\$ 4.620.000,00
2036	R\$ 726.363,75	R\$ 688.087,50	R\$ 650.032,50	R\$ 4.620.000,00

Período	Cenário 01 (R\$/ano)	Cenário 02 (R\$/ano)	Cenário 03 (R\$/ano)	Cenário 04 (R\$/ano)
2037	R\$ 762.648,75	R\$ 722.602,50	R\$ 682.335,00	R\$ 4.620.000,00
2038	R\$ 800.925,00	R\$ 758.666,25	R\$ 716.628,75	R\$ 4.620.000,00
2039	R\$ 840.971,25	R\$ 796.721,25	R\$ 752.471,25	R\$ 4.620.000,00
2040	R\$ 883.008,75	R\$ 836.546,25	R\$ 790.083,75	R\$ 4.620.000,00
2041	R\$ 927.037,50	R\$ 878.362,50	R\$ 829.466,25	R\$ 4.620.000,00
2042	R\$ 973.500,00	R\$ 922.170,00	R\$ 871.061,25	R\$ 4.620.000,00
2043	R\$ 1.022.175,00	R\$ 968.411,25	R\$ 914.426,25	R\$ 4.620.000,00
2044	R\$ 1.073.283,75	R\$ 1.016.643,75	R\$ 960.225,00	R\$ 4.620.000,00
2045	R\$ 1.126.826,25	R\$ 1.067.531,25	R\$ 1.008.236,25	R\$ 4.620.000,00
2046	R\$ 1.183.245,00	R\$ 1.120.852,50	R\$ 1.058.681,25	R\$ 4.620.000,00
2047	R\$ 1.242.318,75	R\$ 1.177.050,00	R\$ 1.111.560,00	R\$ 4.620.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O Valor Presente Líquido (VPL) foi calculado conforme Equação (3), no qual foi utilizado o Fluxo de Caixa exemplificado na Figura 5 e Tabela 17,

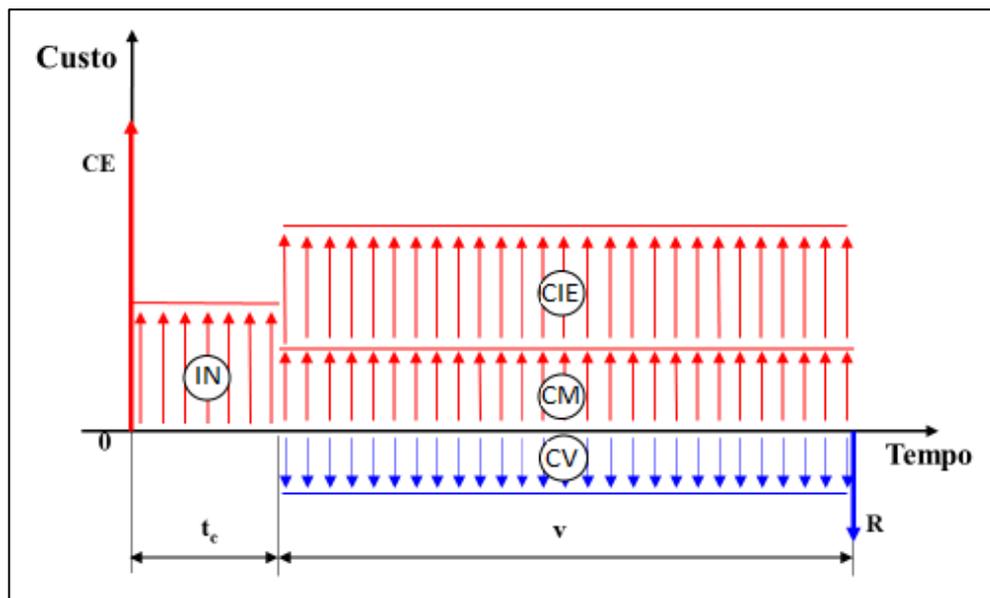


Figura 5 – Fluxo de Caixa utilizado neste Estudo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 17 – Fonte dos dados para formação do Fluxo de Caixa.

Parâmetros	Fonte dos Resultados
V – Vida Útil da Instalação [anos];	25
IN – Investimento Inicial [R\$/ano];	Subtotal 2 encontrados na Tabela 15.

CM – Custo de Manutenção [R\$/ano];	Custo de manutenção da Tabela 15 e descontado a cada dois anos, início 2025. Custo de transporte na Tabela 14 e Custo do insumo energético encontrado na Tabela 16.
CV – Valor de Venda do CDR [R\$/ano];	Valores encontrados na Tabela 17
Tc– Tempo de Construção [anos]	1 ano

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 18 apresenta o fluxo de caixa acumulado do sistema como um todo e reúne todas as receitas provenientes da venda de CDR, custos operacionais, de manutenção, de transporte e investimento inicial. Os valores em vermelho representam um fluxo de caixa negativo, ou seja, o abatimento do investimento inicial foi sendo realizado ano após ano até ser completamente quitado, não sendo contabilizado lucro durante esse período.

Tabela 18 – Fluxo de caixa encontrado para os cenários estipulados.

Período	Cenário 01 (R\$/ano)	Cenário 02 (R\$/ano)	Cenário 03 (R\$/ano)	Cenário 04 (R\$/ano)
2022	-R\$ 3.527.331,50	-R\$ 3.527.331,50	-R\$ 3.258.345,20	-R\$ 24.781.350,00
2023	-R\$ 3.244.680,15	-R\$ 3.253.020,35	-R\$ 2.991.381,90	-R\$ 20.656.350,00
2024	-R\$ 2.947.904,35	-R\$ 2.964.902,15	-R\$ 2.711.053,30	-R\$ 16.531.350,00
2025	-R\$ 2.654.507,35	-R\$ 2.680.626,50	-R\$ 2.431.326,00	-R\$ 12.653.850,00
2026	-R\$ 2.327.209,75	-R\$ 2.363.064,35	-R\$ 2.122.381,95	-R\$ 8.528.850,00
2027	-R\$ 1.983.677,15	-R\$ 2.029.532,60	-R\$ 1.797.845,05	-R\$ 4.403.850,00
2028	-R\$ 1.641.250,45	-R\$ 1.697.680,85	-R\$ 1.471.853,25	-R\$ 526.350,00
2029	-R\$ 1.262.487,90	-R\$ 1.330.047,35	-R\$ 1.114.074,45	R\$ 3.598.650,00
2030	-R\$ 864.730,40	-R\$ 943.949,00	-R\$ 738.475,25	R\$ 7.723.650,00
2031	-R\$ 465.481,20	-R\$ 556.869,05	-R\$ 358.679,55	R\$ 11.601.150,00
2032	-R\$ 26.973,85	-R\$ 131.179,40	R\$ 55.473,40	R\$ 15.726.150,00
2033	R\$ 433.450,75	R\$ 315.803,05	R\$ 490.359,70	R\$ 19.851.150,00
2034	R\$ 898.614,05	R\$ 766.761,40	R\$ 932.184,10	R\$ 23.728.650,00
2035	R\$ 1.406.282,50	R\$ 1.259.490,10	R\$ 1.411.621,40	R\$ 27.853.650,00
2036	R\$ 1.939.277,55	R\$ 1.776.838,60	R\$ 1.915.047,70	R\$ 31.978.650,00
2037	R\$ 2.480.583,00	R\$ 2.301.822,70	R\$ 2.428.839,10	R\$ 35.856.150,00
2038	R\$ 3.068.290,00	R\$ 2.872.236,85	R\$ 2.983.841,75	R\$ 39.981.150,00
2039	R\$ 3.685.382,35	R\$ 3.471.263,20	R\$ 3.566.603,10	R\$ 44.106.150,00
2040	R\$ 4.315.006,20	R\$ 4.081.917,55	R\$ 4.163.841,95	R\$ 47.983.650,00
2041	R\$ 4.995.252,70	R\$ 4.742.327,05	R\$ 4.806.233,10	R\$ 52.108.650,00
2042	R\$ 5.709.592,70	R\$ 5.435.673,85	R\$ 5.480.838,05	R\$ 56.233.650,00
2043	R\$ 6.441.334,70	R\$ 6.145.472,80	R\$ 6.174.375,60	R\$ 60.111.150,00
2044	R\$ 7.228.894,55	R\$ 6.909.851,05	R\$ 6.918.034,60	R\$ 64.236.150,00

Período	Cenário 01 (R\$/ano)	Cenário 02 (R\$/ano)	Cenário 03 (R\$/ano)	Cenário 04 (R\$/ano)
2045	R\$ 8.055.743,10	R\$ 7.712.489,80	R\$ 7.698.876,55	R\$ 68.361.150,00
2046	R\$ 8.905.675,90	R\$ 8.536.903,90	R\$ 8.504.134,30	R\$ 72.238.650,00
2047	R\$ 9.817.271,15	R\$ 9.421.885,90	R\$ 9.364.996,70	R\$ 76.363.650,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pela análise econômico-financeira, a implantação da Planta de CDR a partir de resíduos descartados pelas Associações de Catadores de Florianópolis mostrou-se financeiramente viável (Tabela 19) quando o fluxo de caixa da proposta foi submetido a uma taxa de desconto/TMA de 9,37% a.a. Por apresentar VPL positivo na ordem de R\$ 525.659,97 para o Cenário 01, R\$ 404.448,31 para o Cenário 02 e R\$ 575.241,02 para o Cenário 03. Além disso, a TIR de cada cenário apresentou valores acima do TMA proposto, corroborando ainda mais para a viabilidade financeira do projeto, os valores encontrados foram de 10,87%, 10,50% e 11,09% respectivamente para os três primeiros cenários.

O tempo de recuperação para o capital financeiro investido foi de onze anos e dois meses para o Cenário 01, onze anos e cinco meses para o Cenário 02 e dez anos e onze meses para o Cenário 03, sendo considerado um investimento com retorno de longo prazo (PAULA, 2019).

Os valores são mais promissores quando tratamos com o Cenário 04, que considera aqueles resíduos dispostos no aterro e provenientes da coleta convencional, quando submetido a uma taxa de desconto de 9,37% a.a. Apresentou VPL positivo de R\$ 13.784.038,08 e TIR de 15,97%, valor muito acima do TMA proposto. Além do mais, o tempo de recuperação do investimento é mais rápido em comparação aos primeiros cenários, sendo de sete anos e dois meses. A Tabela 19 representa o resumo dos indicativos financeiros dos cenários propostos.

Tabela 19 – Resumo dos indicativos financeiros dos cenários estipulados.

Indicativo	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
Taxa mínima de atratividade (TMA)	9,37%	9,37%	9,37%	9,37%
Taxa interna de retorno (TIR)	10,87%	10,50%	11,09%	15,97%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 525.659,97	R\$ 404.448,31	R\$ 575.241,02	R\$ 13.784.038,08
<i>Payback</i>	11 anos e 2 meses	11 anos e 5 meses	10 anos e 11 meses	7 anos 2 meses

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao analisarmos os resultados temos valores semelhantes nos primeiros cenários, de certa forma, tais cenários foram montados para uma análise de risco levando em consideração a oferta de resíduos proporcionada pelas Associações de Catadores à Planta de CDR, em proporções de 95% a 85% da variação da quantidade de resíduos encontradas no item 5.3. Nas proporções analisadas notou-se uma viabilidade nos três cenários sendo que o Cenário 03 apresentou os melhores indicativos. Tal diferença está exclusivamente ligada aos altos custos de transporte encontrados para cada cenário. Neste caso, apesar de ser viável economicamente o tempo de retorno está muito além dos encontrados por outros projetos semelhantes e até mesmo ao se comparar ao Cenário 04.

Assim, levando em consideração os quatros cenários aqui propostos a alternativa com melhor atratividade é o Cenário 04, apesar de promissoras os três primeiros cenários apresentam tempo de recuperação do investimento muito longo, comparado aos resultados encontrados por outros autores.

Os resultados obtidos no Cenário 04 corroboram com aqueles apresentados por Rama (2010), quando analisou o período de recuperação do capital investido na produção de CDR, no qual observou que o investimento realizado foi recuperado em cinco anos para um investimento inicial de € 2.741.300 ou R\$ 17.806.946 em um horizonte de tempo de nove anos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração as premissas adotadas neste estudo, nota-se que a produção de CDR a partir dos resíduos considerados rejeitos pelas Associações de Catadores de Florianópolis é viável financeiramente e tende trazer benefícios tanto ao município, quanto as Associações. Porém, foi verificado que dentre os cenários a média de recuperação do investimento é longa, em torno de onze anos, tais efeitos são encontrados devido à baixa oferta de resíduos nos primeiros anos de funcionamento da Planta, podendo ser contornada com a utilização de resíduos provenientes da coleta convencional a fim de completar o limite de processamento de resíduos da tecnologia de 25t/dia.

Dentre os cenários, aquele com os melhores indicativos foi o Cenário 04, onde é utilizado resíduos oriundos da Coleta Convencional e disposto no aterro sanitário. O estudo utiliza em torno de 20% dos resíduos dispostos no aterro CGR – Biguaçu para produção de CDR, mostrando que ainda há uma grande oferta de resíduos que podem ser tratados através da Compostagem, Digestão Anaeróbica, Triagem e Reciclagem, Incineração, CDR, entre outros. Tais resultados, corroboram com aqueles encontrados pelo Consórcio Intermunicipal da Região Metropolitana de Curitiba (CONRESOL, 2020), que apresenta um sistema integrado e descentralizado de tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos. São vantagens apresentadas no novo Marco Legal do Saneamento, que prevê o exercício de serviços por gestão associada, mediante consórcio público ou convênio de cooperação, para desenvolvimento de regiões metropolitanas sobretudo para ganho de escala em projetos de gestão de resíduos.

Apesar dos números serem promissores para implantação da Planta de CDR, a legislação recente, a falta de dados gravimétricos dos resíduos dos municípios e a carência de dados das características químicas dos resíduos sólidos como o teor de cinzas, teor de umidade, cloro, zinco, cobre, cromo, cádmio, mercúrio, entre outros, são alguns dos empecilhos encontrados atualmente que dificultam os investimentos nesse setor.

A utilização de resíduos que seriam dispostos em aterros para produção de CDR, constitui o cumprimento de uma das etapas da PNRS. Porém, é importante ressaltar, o cumprimento da hierarquia de gerenciamento de resíduos proposta pela PNRS em seu Art. 9, que prioriza a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

7 CONCLUSÃO

Os centros geradores de resíduos são essenciais neste estudo e sua localização é fato determinante para escolha do local de implantação da planta de CDR. Nos Cenários 01, 02 e 03 a planta de CDR foi alocada no bairro Areias, em São José, zona classificada como Áreas Industriais (AI). Para o Cenário 04, a planta ficou localizada no bairro Guaporanga em Biguaçu, apontada pela Lei Complementar nº 71/2014 como Zona de Expansão Industrial (ZEI).

Para os cenários os três primeiros cenários, o custo de transporte médio por tonelada ficou em torno de R\$ 51,00, R\$ 47,00 e R\$ 42,00 respectivamente. Para o Cenário 04 o custo de transporte dos resíduos para Planta de CDR foi R\$ 4,50 por tonelada.

Na análise da variação de resíduos que será destinado a planta de CDR, resultou na formação de quatro cenários distintos, sendo os três primeiros cenários voltados ao município de Florianópolis que garantiram um fornecimento anual médio para o Cenário 01 de 3.260 toneladas, de 3.088 toneladas para o Cenário 02, de 2.917 toneladas para o cenário 03 e por fim de 110.000 toneladas de resíduos para o Cenário 04, fixada em uma demanda base estipulada em 300 ton/dia provenientes do aterro sanitário de Biguaçu.

As tecnologias utilizadas seguiram o resultado orçamentário de preço global ficando definido que para os Cenários 01, 02 e 03 o valor do investimento é de R\$ 185,00 por tonelada, resultando em um investimento inicial de R\$ 3.477.331,50 para os Cenários 01 e 02, R\$ 3.208.345,20 para o Cenário 03 e para o Cenário 04 o valor de R\$ 150,00 por tonelada com investimento inicial em R\$ 24.681.350,00.

O custo do valor a ser pago as Associações de Catadores de Florianópolis ficou definido em R\$ 7,90 por tonelada, sendo 5% dos custos de aterramento do município de Florianópolis no ano de 2020.

Pela análise econômico-financeira, a implantação da Planta de CDR a partir de resíduos descartados pelas Associações de Catadores de Florianópolis mostrou-se financeiramente viável. O tempo de recuperação para o capital financeiro investido foi de onze anos e dois meses para o Cenário 01, onze anos e cinco meses para o Cenário 02 e dez anos e onze meses para o Cenário 03, sendo considerado um investimento com retorno de longo prazo. Os valores são mais promissores quando tratamos com o Cenário 04, com tempo de recuperação do investimento mais rápido em comparação aos primeiros cenários, sendo de sete anos e dois meses.

Conclui-se então, que os cenários, diferenciados para a quantidade de resíduo produzido, permitiram avaliar para uma gama de variações as respostas relativas e seus custos associados.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira nº NBR 10.004, de 31 de maio de 2004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, RJ.

_____. Norma Brasileira nº NBR 16.849, de 10 de fevereiro de 2020. Resíduos sólidos urbanos para fins energéticos - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ.

ABRAMOVAY, Ricardo, SPERANZA, Juliana Simões, e PETITGAND, Cécile. Lixo Zero. Gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera. São Paulo: Planeta Sustentável: Instituto Ethos, 2013.

ACHILLAS, Ch.; VLACHOKOSTAS, Ch.; MOUSSIOPOULOS, N.; BANIAS, G.; KAFETZOPOULOS, G.; KARAGIANNIDIS, A.. Social acceptance for the development of a waste-to-energy plant in an urban area. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 55, n. 9-10, p. 857-863, jul. 2011. Elsevier BV.

BESSI, C.; LOMBARDI, L.; MEONI, R.; CANOVAI, A.; CORTI, A.. Solid recovered fuel: an experiment on classification and potential applications. *Waste Management*, [S.L.], v. 47, p. 184-194, jan. 2016. Elsevier BV.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, DF, 23 dez. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 15 ago. 2021.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Coleta Seletiva. 2018b. Disponível em:<<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiaisreciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento.html>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

_____. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto. Brasília: SNIS, 2019c.

_____. Portaria Interministerial nº 274, de 30 de abril de 2019. Disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos referida no § 1º do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2010 e no art. 37 do Decreto nº 7.404, de 2010. Brasília, DF, 02 maio 2019d. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-interministerial-n%C2%BA-274-de-30-de-abril-de-2019-86235505>>. Acesso em: 15 ago. 2021.

BRITO, Adailton Pereira de. Análise econômica preliminar da implantação de incinerador de resíduos sólidos urbanos na região de Bauru. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

CARACOL, Pedro Miguel de Oliveira. Avaliação da viabilidade dos combustíveis derivados de resíduos Caso de estudo da indústria cimenteira. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa, 2016.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Pesquisa Ciclosoft 2018**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosoft/id/8>>. Acesso em 19 out. 2021.

COBO, S. DOMINGUEZ-RAMOS, A. IRABIEN, A. From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. Resources, Conservation and Recycling, v. 135, p. 279–295, 2018.

CONRESOL - CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira (EVTE)**. Curitiba: Conresol, 2020. 120 p. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00290035.pdf>. Acesso em: 24 out. 2021.

COSTA, João Miguel Bandeira. Coprocessamento de CDR no processo de produção de cimento. 2014. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química e Bioquímica, Engenharia Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2014.

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura Municipal de. Plano Municipal de Coleta Seletiva: Produto 01. Relatório Parcial 1 – Diagnóstico contendo: origem e volume dos resíduos, formas de destinação e disposição final adotadas e o modelo atual de coleta seletiva. Florianópolis: Prefeitura, 2014. 165 p. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/24_08_2016_15.21.39.ef559b0ca6f64db680871cecce918378.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2021.

_____. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano Municipal de Coleta Seletiva: Produto 1: Relatório Parcial 2 – Caracterização dos Resíduos Sólidos da Coleta Convencional e Seletiva. 2016a. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/24_08_2016_15.27.09.9b56b5b392c9a3ed272b055da90b836c.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2021.

_____. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano Municipal de Coleta Seletiva: Produto 8: Versão Final do Plano de Coleta Seletiva. 2016b.

_____. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. 2017c.

_____. Autarquia de Melhoramentos da Capital Comcap. 2020d. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=indicadores+da+geracao+d e+residuos&menu=6&submenuid=1414>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

_____. Autarquia de Melhoramentos da Capital Comcap. 2020e. Disponível em: <<https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?pagina=servpagina&menu=2&i d=260>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

_____. Autarquia de Melhoramentos da Capital Comcap. 2020f. Disponível em: <<https://www.pmf.sc.gov.br/sistemas/comcap/indicadores.php#:~:text=A%20coleta%20d omiciliar%20de%20res%20%C3%ADduos,100%25%20da%20cidade%20de%20Florian%20C3%B 3polis.&text=A%20produ%20%C3%A7%C3%A3o%20m%20%C3%A9dia%20mensal%20de,em%20 50%25%20o%20peso%20coletado.>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

_____. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano Municipal de Coleta Seletiva: Produto 1: Relatório Parcial 3 – Identificação da realidade municipal quanto a coleta informal e levantamento dos locais de triagem existentes. 2016g.

GARCÉS, Diego *et al.* Evaluation of the potential of different high calorific waste fractions for the preparation of solid recovered fuels. **Waste Management**, [S.L.], v. 47, p. 164-173, jan. 2016. Elsevier BV.

GIZ, Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (Org.). Caderno Temático: Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: Plansab - Plano Nacional de Saneamento Básico, 2019. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/3-CadernotematicoRecuperacaoEnergeticadeRSU.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

GODOY, M.R.B. (2013) Dificuldades para aplicar a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil. Caderno de Geografia, v. 23, n. 39.

GOLDMAN, Pedrinho. Viabilidade de Empreendimentos imobiliários: modelagem técnica, orçamento e risco de incorporação, Pedrinho Goldman. – São Paulo, Pini 2015.

HASSELRIIS, Flyod; MAHONEY, Patrick F.. Waste-to-Energy using Refuse-Derived Fuel. In: M. KALTSCHMITT et al. Renewable Energy Systems, New York: Springer Science Business Media, 2013, p. 1561-1603.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

JUCÁ, J. F. T.; LIMA, J. D.; MARIANO, M. O. H.; FIRMO, A. L. B.; LIMA, D. G. A.; LUCENA, L. F. L.; FARIAS, P. R. R.; JUNIOR, F. H. C.; CARVALHO, E. H.; FERREIRA, J. A.; REICHERT, G. A. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jabotão dos Guararapes: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

SCHROEDER, Jocimari Tres; SCHROEDER, Ivanir; COSTA, Reinaldo Pacheco da; SHINODA, Carlos. O CUSTO DE CAPITAL COMO TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE NA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO. **Revista Gestão Industrial**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 33-43, 1 jun. 2005. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR).

SILVA, Diogo Aparecido Lopes; CARDOSO, Eridson Aristides da Cunha; VARANDA, Luciano Donizeti; CHRISTOFORO, André Luís; MALINOVSKI, Ricardo Anselmo. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 185-193, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

SOUZA, Acilon Batista de. **Projetos de investimentos de capital: elaboração, análise e tomada de decisão**. São Paulo: Atlas, 2003

MAMEDE, Mauricio Cuba dos Santos. **Avaliação Econômica e Ambiental do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos no Brasil**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2013.

MARTINS, Roberto A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: Paulo Augusto Cauchick Miguel (Organizador). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MEYSTRE, Josué de Almeida. **Análise do Coprocessamento de Resíduo Sólido Urbano na Indústria de Cimento Portland no Brasil**. 2016. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

MORATORIO, D.; ROCCO, I.; CASTELLI LEMEZ, M. **Conversión de residuos sólidos urbanos en energía**. **Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica**, v. 10, p. 115–126. ago. 2012. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/335340914.pdf>>. Acesso em: 15 de set. 2021.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de Investimentos: tomada de decisão em investimentos industriais**. São Paulo: Atlas, 2006.

NEWNAM, G. D.; LAVELLE P. J., **Fundamentos de Engenharia Econômica**, Rio de Janeiro, LTC, 2000.

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*, [S.L.], v. 80, p. 149-162, dez. 2017.

PANWAR, N.L.; KAUSHIK, S.C.; KOTHARI, Surendra. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 1513-1524, abr. 2011. Elsevier BV.

PAULA, Alaim. **Recuperação Energética RSU Coprocessamento CDR como uma Alternativa Tecnológica**, 2019. Disponível em: <http://protegeer.gov.br/images/documents/455/Combust%C3%ADvel%20derivado%20de%20res%C3%ADduos_Alaim%20de%20Paula.pdf>. Acesso em: 05 out 2021.

PIAIA, Eduarda. **Uso de Rejeitos da Coleta Seletiva de Materiais Recicláveis para Produção de Combustível Derivado de Resíduos - CDR**. 2021. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

RADA, Elena Cristina et al. Economic viability of srf co-combustion in cement factory. *Upb Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, Trento, n. 76, p. 199-206, 2014.

RAMA, António Carlos Canaveira de Oliveira. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE RESÍDUOS**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão, Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2010.

REZA, Bahareh et al. Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management. *Resources, Conservation And Recycling*, [s.l.], v. 81, p.105-114, dez. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913002164>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

REDAÇÃO ND (Florianópolis). **Florianópolis investe R\$ 10 milhões para acelerar metas de lixo zero**. 2020. Disponível em: <https://ndmais.com.br/infraestrutura/florianopolis-investe-r-10-milhoes-para-acelerar-metas-de-lixo-zero/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

RIGAMONTI, Lucia; BORGHI, Giulia; MARTIGNON, Giovanna; GROSSO, Mario. Life cycle costing of energy recovery from solid recovered fuel produced in MBT plants in Italy. *Waste Management*, [S.L.], v. 99, p. 154-162, nov. 2019. Elsevier BV.

SOARES, E.L.S.F. (2011) Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. 133p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

SRISAENG, Narawute; TIPPAYAWONG, Nakorn; TIPPAYAWONG, Korrakot Y.. Energetic and Economic Feasibility of RDF to Energy Plant for a Local Thai Municipality. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 110, p. 115-120, mar. 2017. Elsevier BV.

VEOLIA (Santa Catarina). **Em 2019, Veolia Brasil recebeu mais de 470 mil toneladas de resíduos no CGR Biguaçu**. 2020. Disponível em: <https://www.veolia.com/latamib/pt/noticias/em-2019-veolia-brasil-recebeu-mais-de-470-mil-toneladas-de-residuos-no-cgr-biguacu>. Acesso em: 05 ago. 2021.