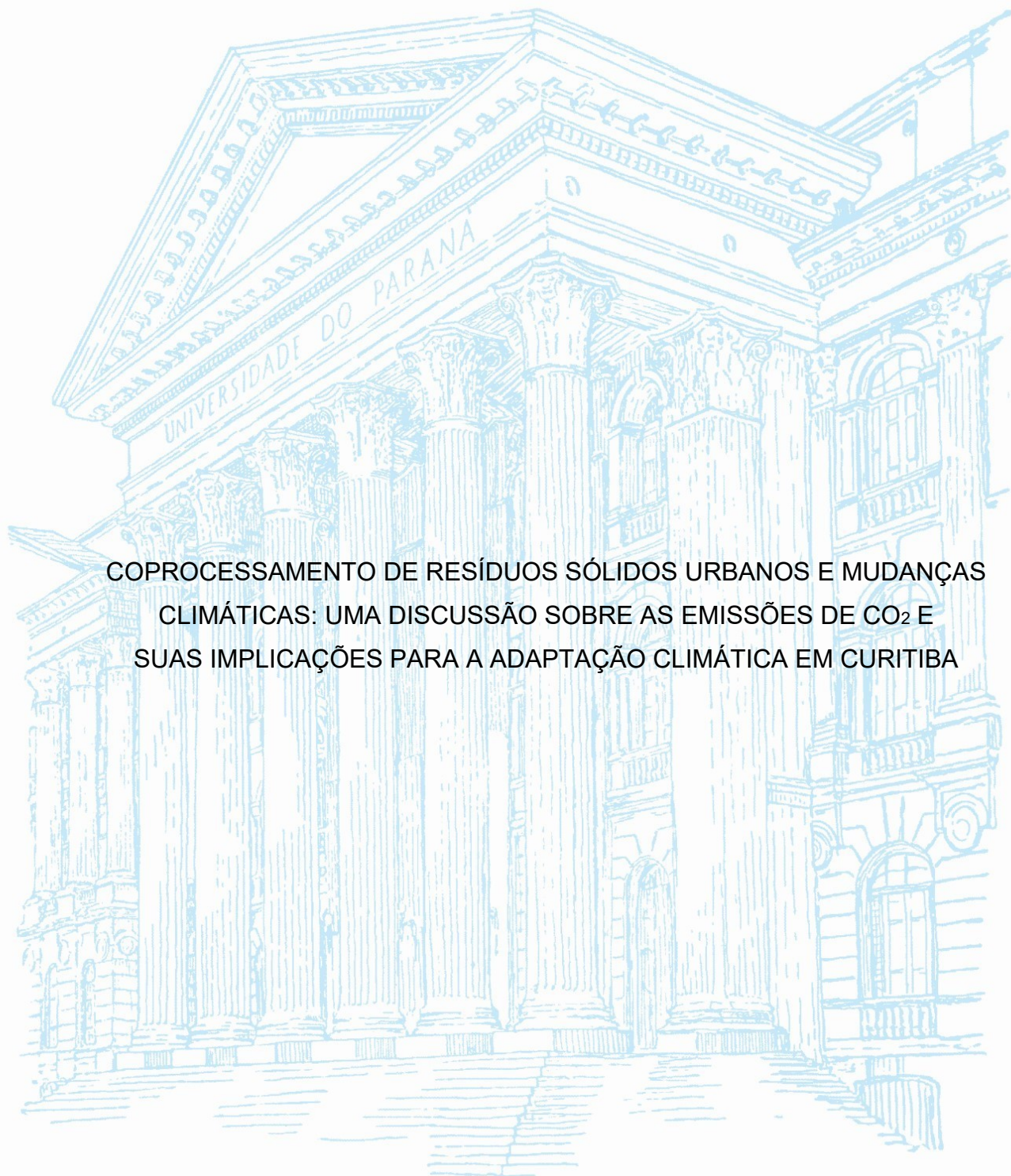


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS CRISTINE VAZ CÔRTEZ VEIGA



COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: UMA DISCUSSÃO SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂ E
SUAS IMPLICAÇÕES PARA A ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA EM CURITIBA

CURITIBA,
2025

THAÍS CRISTINE VAZ CÔRTEZ VEIGA

COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: UMA DISCUSSÃO SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂ E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA A ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA EM CURITIBA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Flávia Locateli Godoi

CURITIBA,

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

THAÍS CRISTINE VAZ CÔRTEZ VEIGA

COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
UMA DISCUSSÃO SOBRE AS EMISSÕES DE CO₂ E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A
ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA EM CURITIBA.

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 8,6, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 

Profa. Dra. Ana Flávia Locateli Godoi
Departamento de Engenharia Ambiental - UFPR

Membro(a) 1: _____

Profa. Dra. Joice Cristini Kuritza Denck Gonçalves
Departamento de Engenharia Ambiental - UFPR

Membro(a) 2: _____

Msc Leticia Uba da Silveira Maraschin
CAOP Núcleo Meio Ambiente / Urbanismo – MP/PR

Curitiba, 07 Julho de 2025

Este trabalho está sendo realizado com o incentivo da Fundação Araucária, por meio de bolsa de iniciação científica junto ao Projeto NAPI, Eixo 4: Emergência Climática. Desta forma, agradeço imensamente à Fundação Araucária por esta oportunidade.

*Dedico este trabalho a todos àqueles que pensaram em desistir, mas persistiram,
àqueles que se sentiram inadequados, mas lutaram para ter seu espaço,
e à todos aqueles que sonham com um futuro onde a natureza seja nosso guia.*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho de conclusão de curso só foi possível graças ao apoio e incentivo de muitas pessoas, às quais tem minha profunda e eterna gratidão.

Primeiramente, agradeço à minha orientadora Professora Ana Flávia Locateli Godoi, pela grande educadora que é, por sua paciência, dedicação, por me guiar ao longo deste processo, e por me acolher em momentos de grande vulnerabilidade, sempre com um olhar cuidadoso e humano. Também gostaria de agradecer ao meu professor tutor, Professor Tobias Bleninger, por seu acolhimento, aconselhamento, disponibilidade e humanidade. Sem estes grandes educadores minha conclusão de curso não seria possível, e por isso os agradeço.

Aos colegas e amigos que fiz, em especial aqueles que me acompanharam durante toda essa caminhada, em seus altos e baixos, que compartilharam das lágrimas e das risadas, sou eternamente grata em tê-los comigo. Obrigada por se tornarem a família que escolhi e por me acolherem pelo que sou.

Aos meus pais agradeço pelo apoio ao longo de todos estes anos, pelo incentivo e suporte na realização dos meus sonhos. À minha irmã, minha melhor amiga, agradeço pela escuta, pelo amor e pela compreensão incondicional, obrigada por me dar a mão durante todo este processo. Às minhas “filhotes”, Jujuba e Lilo, agradeço por serem minhas confidentes, companheiras e por fazerem da minha vida mais leve.

Agradeço em especial à minha namorada e parceira de vida, pelo afeto, compreensão, cuidado e apoio incondicional nessa jornada. Obrigada por comemorar cada vitória comigo e me dar acalento nos momentos difíceis. Obrigada por tornar até mesmo os dias mais turbulentos em um mar calmo e navegável.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse concluído, que se colocaram à disposição e nos auxiliaram. A todas elas, o meu sincero reconhecimento e gratidão.

“A Terra está dizendo: ‘Chega! Eu vou parar essa brincadeira’. O planeta está dizendo que não dá mais para viver desse jeito. [...] Nós naturalizamos a ideia de que a Terra pode ser uma lata de lixo para os nossos resíduos.”

— **Ailton Krenak**

RESUMO

Este trabalho visa discutir sobre o potencial do coprocessamento de rejeitos de reciclagem como alternativa de disposição final, aliada à estratégias de mitigação de mudanças climáticas à nível municipal. O trabalho foca nas cimenteiras da Região Metropolitana de Curitiba e o repasse de rejeitos de reciclagem para a atividade de coprocessamento. O objetivo central foi avaliar os impactos ambientais associados a essa prática, mais especificamente às emissões de gases de efeito estufa (GEE), comparando-as às emissões resultantes do envio dos mesmos resíduos para aterros sanitários. Para tanto, foi conduzido um estudo exploratório-quantitativo, com base em inventários ambientais, visitas técnicas, entrevistas com catadores e representantes de instituições públicas, além de cálculo estimado de emissões via ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol. Os resultados evidenciaram que, embora o coprocessamento possa representar uma estratégia promissora para a redução de resíduos enviados a aterros, há lacunas significativas de informação que comprometem a avaliação precisa do seu desempenho ambiental. Dentre os principais desafios, destacam-se a ausência de dados gravimétricos sobre os rejeitos, a falta de padronização na sua segregação, e a presença de resíduos com alto teor de cloro e metais pesados, que podem intensificar os impactos ambientais do processo. Além disso, a pesquisa revelou que os valores de emissões de CO₂ equivalente associados ao coprocessamento, calculados com base na composição média dos resíduos, foram superiores aos estimados para a disposição em aterro sanitário. Isso se deve, em parte, à impossibilidade de descontar frações renováveis dos resíduos por falta de dados específicos, conforme previsto pelo IPCC. Conclui-se que o coprocessamento pode ser uma alternativa viável sob determinadas condições técnicas e regulatórias, mas não deve ser encarado como solução universal. A eficácia ambiental dessa prática depende diretamente da qualidade da triagem dos resíduos, da tecnologia empregada nas cimenteiras e da existência de instrumentos de controle e fiscalização eficazes. Assim, recomenda-se o aprofundamento de estudos que considerem as especificidades dos resíduos locais, bem como o fortalecimento das políticas públicas de gestão integrada de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Coprocessamento em fornos de clínquer; Resíduos Sólidos Urbanos (RSU); Mudanças Climáticas; Emissões de CO₂; Sustentabilidade Ambiental.

ABSTRACT

This study aims to discuss the potential of co-processing of recycling residues as an alternative final disposal method, aligned with climate change mitigation strategies at the municipal level. The research focuses on cement plants in the Metropolitan Region of Curitiba and the transfer of recycling rejects for co-processing activities. The main objective was to assess the environmental impacts associated with this practice, specifically regarding greenhouse gas (GHG) emissions, by comparing them to the emissions resulting from sending the same waste to sanitary landfills. To this end, an exploratory-quantitative study was conducted based on environmental inventories, technical visits, interviews with waste pickers and representatives of public institutions, as well as estimated emission calculations using the Brazilian GHG Protocol Program tool. The results showed that, although co-processing may represent a promising strategy for reducing waste sent to landfills, significant information gaps compromise the accurate assessment of its environmental performance. Among the main challenges are the absence of gravimetric data on the rejects, the lack of standardization in their segregation, and the presence of waste with high chlorine content and heavy metals, which can intensify the environmental impacts of the process. Furthermore, the research revealed that the CO₂ equivalent emissions associated with co-processing, calculated based on the average composition of the waste, were higher than those estimated for landfill disposal. This is partly due to the inability to discount the renewable fractions of the waste due to lack of specific data, as provided by the IPCC. It is concluded that co-processing can be a viable alternative under certain technical and regulatory conditions, but it should not be considered a universal solution. The environmental effectiveness of this practice directly depends on the quality of waste sorting, the technology employed in cement kilns, and the existence of effective monitoring and control mechanisms. Thus, further studies are recommended, considering the specific characteristics of local waste, as well as the strengthening of public policies for integrated solid waste management.

Key-words: Co-processing in cement kilns; Urban Solid Waste (USW); Climate Change; CO₂ emissions; Environmental Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Fluxo de resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	6
FIGURA 02	Panorama de geração de RSU no Brasil, por região, em porcentagem e números totais para o ano de 2023.....	7
FIGURA 03	Estimativa da composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil.....	9
FIGURA 04	Cobertura de serviço de coleta municipal de RSU por região e indicador.....	11
FIGURA 05	Série Histórica da disposição final de RSU (t/ano) por região...	16
FIGURA 06	Possibilidades de destinação e disposição finais de RSU na gestão de resíduos realizada pelo município de Curitiba.....	26
FIGURA 07	Quantidade de RSU encaminhados a aterros sanitários no Município de Curitiba.(2003-2022).....	28
FIGURA 08	Emissões de GEE no setor de cimento por país e macrorregião.....	38
FIGURA 09	Série histórica da emissão de GEE pela indústria cimenteira nacional entre 1990 e 2022.....	39
FIGURA 10	Emissão Global de GEE por setor, com foco no setor cimenteiro	40
FIGURA 11	Página introdutória da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.....	43
FIGURA 12	Diagrama de escopos e emissões considerados pelo GHG Protocol.....	46
FIGURA 13	Página de cálculo para o Escopo 1: Combustão Estacionária, da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.....	59
FIGURA 14	Fluxograma esquemático das diferentes etapas da metodologia.....	62
FIGURA 15	Bag com rejeitos de reciclagem representativos dos tipos de materiais separados pelos catadores na Associação Corbélia	72
FIGURA 16	Pilhas de marmitas de isopor, dispostas no pátio da associação, à espera do transporte para coprocessamento.....	74
FIGURA 17	Alguns tipos de rejeitos segregados em bags no barracão.....	98
FIGURA 18	Rejeitos dispostos no pátio.....	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	Composição Gravimétrica dos RSU coletados no Município de Curitiba para três marcos temporais.....	24
TABELA 02	Massa de resíduos coletada em Curitiba, calculada. (anos 2023 e 2024).....	54
TABELA 03	Composição gravimétrica “expandida” do RSU coletado e enviado à aterro sanitário em Curitiba em ton/ano. (Apenas dados de interesse para a ferramenta do GHG Protocol versão 2025/1). Calculado.....	56
TABELA 04	Quantidade de Resíduos Gerados em Curitiba (ton/ano).....	57
TABELA 05	Dados compilados dos inventários de emissões atmosféricas do grupo (2016-2023).....	64
TABELA 06	Tipificação e Quantidade de combustíveis/resíduos coprocessados pela unidade fabril.....	64
TABELA 07	Tipificação e Quantidade de resíduos coprocessados pela blendeira.....	65
TABELA 08	Fatores de Emissão para Resíduos Sólidos Municipais (fração não-biomassa).....	79
TABELA 09	Emissões do Coprocessamento de rejeitos de reciclagem, Cenário de repasse MÍNIMO (350 ton/mês ou 4200 ton/ano) para o ano de 2024.....	79
TABELA 10	Emissões do Coprocessamento de rejeitos de reciclagem, Cenário de repasse MÁXIMO (450 ton/mês ou 5400 ton/ano) para o ano de 2024.....	80
TABELA 11	Emissões do Coprocessamento de rejeitos de reciclagem. Acumulado dos anos 2022, 2023 e 2024.....	80
TABELA 12	Emissões do Despejo da MASSA TOTAL DE RDO coletada em Curitiba, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2010-2024).....	81
TABELA 13	Emissões do Despejo da FRAÇÃO NÃO-BIOMASSA do RDO coletado em Curitiba, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2010-2024).....	81
TABELA 14	Emissões do despejo hipotético da quantidade MÍNIMA de rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2022-2024).....	81

TABELA 15	Emissões do despejo hipotético da quantidade MÁXIMA de rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2022-2024).....	82
-----------	--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01	Composição e características permitidas de Resíduos Sólidos para atividades de coprocessamento.....	36
QUADRO 02	Frequência de monitoramento de emissões atmosféricas na atividade de coprocessamento.....	37
QUADRO 03	Questionário 01.....	44
QUADRO 04	Questionário 02.....	45
QUADRO 05	Resultados do Questionário 02	66
QUADRO 06	Visita Técnica à blendeira: Principais informações obtidas....	70
QUADRO 07	Listagem de rejeitos de reciclagem.....	73
QUADRO 08	Visita Técnica à Associação Corbélia: Principais informações obtidas.....	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CDRU	Combustível Derivado de Resíduos Urbanos
CEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CEPE	Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONRESOL	Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos
CWB	Curitiba
EVQ	Estudo de Viabilidade de Queima
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPC	<i>Global Protocol for Community Scale Greenhouse Gas Emission Inventories</i>
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU
PLANCLIMA	Plano Municipal de Adaptação às Mudanças Climáticas de Curitiba
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMGIRS-Curitiba	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba

PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PTQ	Plano de Teste de Queima
RCC	Resíduos de Construção Civil
RCC-A	Resíduos de Construção Civil Classe A
RCC-B	Resíduos de Construção Civil Classe B
RIDE	Rede Integrada de Desenvolvimento
RM	Região Metropolitana
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RS	Resíduos Sólidos
RSA	Resíduos Sólidos Agrossilvopastoris
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNIS-RS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Resíduos Sólidos
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	O CONTEXTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	4
3.1.1	Panorama geral da geração de RSU no Brasil.....	6
3.1.2	Panorama geral da coleta de RSU no Brasil.....	9
3.1.3	Panorama geral da destinação e disposição final de RSU no Brasil.....	13
3.1.3.1	Destinação ambientalmente adequada: Reciclagem.....	17
3.1.3.2	Destinação ambientalmente adequada: Recuperação energética....	19
3.1.4	Panorama geral do gerenciamento de RSU no Município de Curitiba.....	20
3.1.4.1	Histórico do gerenciamento de RSU no Município de Curitiba.....	21
3.1.4.2	Gestão atual de RSU no Município de Curitiba.....	23
3.1.4.3	Destinação e disposição final de RSU no Município de Curitiba.....	25
3.2	O CONTEXTO DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURITIBA (PLANCLIMA)	27
3.3	O CONTEXTO DO COPROCESSAMENTO EM FORNOS DE CIMENTO.....	30
3.3.1	Aspectos legais do coprocessamento de RSU no âmbito nacional.....	33
3.3.2	Aspectos legais do coprocessamento de RSU no estado do Paraná.....	36
3.3.3	Emissões de GEE no coprocessamento de resíduos em fornos de cimento.....	38
3.4	FERRAMENTAS DE CÁLCULO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS..	41

3.4.1	A ferramenta do <i>Programa Brasileiro GHG Protocol</i>	42
3.4.1.1	Utilização da ferramenta e cálculo de emissões	43
3.4.1.1.1	Definições de Cálculo.....	44
3.4.1.1.2	Definição do Escopo.....	44
4	METODOLOGIA.....	47
4.1	COLETA DE DADOS.....	47
4.1.1	Busca documental.....	47
4.1.2	Entrevistas e contatos indiretos.....	48
4.1.3	Visitas técnicas.....	51
4.1.3.1	Visita a Blendeira (07/04/2025).....	51
4.1.3.2	Visita a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia (20/05/25).....	52
4.2	TRATAMENTO E PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	53
4.3	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA.....	57
4.3.1	Coprocessamento de rejeitos de reciclagem.....	58
4.3.2	Deposição de resíduos em aterro.....	60
5	RESULTADOS.....	62
5.1	RESULTADO DA COLETA DE DADOS	62
5.1.1	Resultado da busca documental.....	62
5.1.2	Resultados de entrevistas e contatos indiretos.....	65
5.1.3	Resultados das visitas técnicas.....	67
5.1.3.1	Visita à blendeira.....	67
5.1.3.2	Visita à Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia	70
5.2	Resultados do Cálculo de Emissões de CO ₂ e CO _{2e}	77
5.2.1	Definições	77
5.2.2	Emissões do Coprocessamento de Rejeitos	79
5.2.3	Emissões do despejo em Aterro Sanitário.....	80

6	DISCUSSÃO.....	82
6.1	A QUESTÃO DO COPROCESSAMENTO DE REJEITOS DE RECICLAGEM.....	84
6.2	Emissões de CO ₂ e e Rejeitos de Reciclagem: As alternativas avaliadas.....	87
6.3	Limitações do trabalho.....	89
6.4	Recomendação de pesquisas futuras.....	90
7	CONCLUSÃO.....	91
	REFERÊNCIAS.....	101
	ANEXO 1.....	106

INTRODUÇÃO

Desde 1988, o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado é garantido pela constituição federal brasileira a todos os cidadãos, sem distinção de classe, gênero ou raça (BRASIL, Art.225º, 1988). Uma das formas de garantia deste direito, é justamente por meio de uma gestão integrada de resíduos sólidos, que vise implementar os métodos mais adequados de reutilização, destinação e disposição finais de resíduos e rejeitos, em congruência com o conhecimento técnico-científico mais atualizado e visando, primariamente, à proteção ao meio ambiente e à saúde pública.

Dentre os diversos aspectos da gestão de resíduos, a destinação e disposição final adequadas representam os principais desafios. Estes, quando não gerenciados adequadamente, são responsáveis por diversos impactos ambientais, pela degradação do solo, contaminação de águas subterrâneas e pela criação de passivos ambientais. No Brasil, os Aterros Sanitários representam 73,7% da disposição final de RSU (SNIS, 2023) e apesar do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei Federal 14.026/2020) ter previsto o fim dos lixões no Brasil, até dezembro de 2020, o SNIS-RS constatou que, para o ano de 2022, os lixões ainda representavam 14,3% da disposição final de resíduos e rejeitos no país.

Juntamente com o avanço da política ambiental nacional e internacional, houve também um avanço no conhecimento científico acerca de mudanças climáticas globais, e a preocupação com a responsabilidade de cada setor sobre seu agravamento. Neste sentido, os resíduos sólidos têm grande contribuição na degradação do meio e nas emissões de gases de efeito estufa, sendo o setor responsável pela emissão de 91,3 milhões de toneladas de CO₂e só no ano de 2022 (SEEG, 2023).

De forma paralela, o setor cimenteiro se encontra em grande expansão no Brasil e no mundo, e demanda grandes quantidades de energia para o seu funcionamento, em especial para os fornos de produção de clínquer (PECCHIN, M. e VISEDO, G., 2019). Em 2022, cerca de 74% da energia consumida pelo setor tinha base em combustíveis fósseis, em especial o coque de petróleo (ABCP, 2022). É devido a esta necessidade expansiva de energia para a fabricação de cimento, que o

setor lidera o ranking de emissões nacionais de GEE, estando em 10º lugar em emissões totais por setor (SEEG, 2022).

É neste contexto que o coprocessamento de resíduos sólidos aparece, como uma promessa tanto para a gestão de resíduos quanto para o problema da demanda de energia e alta pegada de carbono da produção de cimento, visado enquanto uma atividade vantajosa economicamente para ambos os setores, inclusive regulamentado no Brasil, pela CONAMA nº499/2020 e incentivado pela Associação Brasileira de Cimentos Portland.

Em Curitiba e Região Metropolitana, a prática já é conhecida e toma nova forma após a aprovação do PLANCLIMA de Curitiba em 2020. O Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Curitiba, prevê a utilização do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos, em especial do rejeito dos barracões de triagem de reciclagem, como estratégia de gestão de resíduos e mitigação das emissões de GEE do município, fazendo um contraponto à disposição final destes rejeitos em aterros sanitários, que é a principal prática adotada hoje.

Apesar da prática de coprocessamento em fornos de clínquer ser difundida em diversos países, e considerada por muitos como uma atividade inerentemente mais sustentável que a disposição em aterros sanitários, ainda há muito debate no meio científico acerca de sua efetividade na mitigação de emissões de GEE, em especial de CO₂e , tanto para o setor de resíduos quanto para o setor cimenteiro. Os que questionam esta prática alegam que as instalações das cimenteiras não são desenhadas para este fim, e a carência de fiscalização e monitoramento por parte dos órgãos públicos, deixam a confiabilidade dos dados emitidos por automonitoramento a desejar, podendo representar diversos riscos à manutenção do meio ambiente equilibrado e à saúde pública (MEIRELES, 2015).

Desta forma, este trabalho visa contribuir com esta discussão, buscando entender no contexto de Curitiba e nas parcerias firmadas pelo município com cimenteiras locais, via Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos, se o coprocessamento de rejeitos de RSU em fornos de clínquer, de fato está sendo mais vantajoso do que a disposição em aterros sanitários, no que tange as emissões de CO₂ e as estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo busca contribuir para o debate acerca da destinação alternativa de rejeitos de reciclagem para coprocessamento em fornos de cimento, e a adoção desta prática como estratégia de política pública de gerenciamento de RSU em Curitiba. Por meio de uma aproximação analítica das emissões atmosféricas de CO₂ em diferentes cenários de disposição final destes rejeitos, procura-se discutir as implicações desta prática em termos de sustentabilidade ambiental e de mitigação e adaptação da cidade às mudanças climáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivos específicos de pesquisa os seguintes itens:

- I. Verificar e discutir a conformidade do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas de Curitiba (PANCLIMA, 2020) com as ações e parcerias firmadas pela prefeitura da cidade, para a gestão de resíduos sólidos urbanos e coprocessamento.
- II. Estudar uma das cimenteiras locais participante da parceria firmada com a prefeitura de Curitiba, via CONRESOL, para a implantação de coprocessamento de rejeitos de RSU vindos do Programa ECOCIDADÃO.
- III. Estimar as emissões atmosféricas de CO₂ provenientes do coprocessamento de rejeitos de RSU em fornos de cimento, e compará-las com aquelas provenientes de destinação final destes rejeitos em aterros sanitários.⁷
- IV. Avaliar as implicações da adoção da prática de coprocessamento de rejeitos de RSU em fornos de cimento para o município, em congruência com o PLANCLIMA de Curitiba e as melhores práticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas aceitas atualmente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O CONTEXTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Desde os primórdios das sociedades humanas, podemos alegar que resíduos dos mais variados são gerados e dispostos de alguma forma. Com origens diversas, estes resíduos inicialmente consistiam em orgânicos como restos de alimento, partes de animais, madeiras, restos vegetais, entre outros que eram dispostos no meio natural, muitas vezes sem nenhuma distinção ou planejamento, onde eram deixados para realizarem seu ciclo de degradação até se tornarem insumos para o solo e completar o ciclo natural destes rejeitos (CORREIA, FIGUEIREDO-DE ANDRADE, e LIMA, 2016).

Com o passar do tempo, a evolução e desenvolvimento da espécie também levou a uma modernização e maior complexibilidade das comunidades humanas, o que se traduziu, simultaneamente em uma mudança drástica na composição e quantidade de resíduos gerados por essas sociedades (FADINI e FADINI, 2001). Estes também sofreram modernização, com novas categorias, formas e estruturas moleculares. Em coletividade, o ser humano aprendeu a dominar e manipular diversas matérias-primas até então desconhecidas, como o petróleo, e novas técnicas de manipulação destas e de outras matérias-primas foram criadas, dando início a uma série de novos materiais e usos, em um ritmo e abrangência inimagináveis para as sociedades que vieram antes destas (CORREIA, FIGUEIREDO-DE ANDRADE, e LIMA, citando FILHO, 2006).

No último século, podemos observar um aumento significativo das populações humanas ao redor do mundo. Segundo o World Bank, em 2023 a população mundial foi estimada em 8,02 bilhões de pessoas em números totais. Aliado a este aumento populacional, está também o aumento na geração de resíduos sólidos. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), anualmente são produzidas 2,24 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no mundo, das quais 931 milhões são restos de alimentos não reaproveitados e 14 milhões são resíduos plásticos que tem sua disposição (direta ou indireta) nos corpos d'água, em especial nos oceanos,

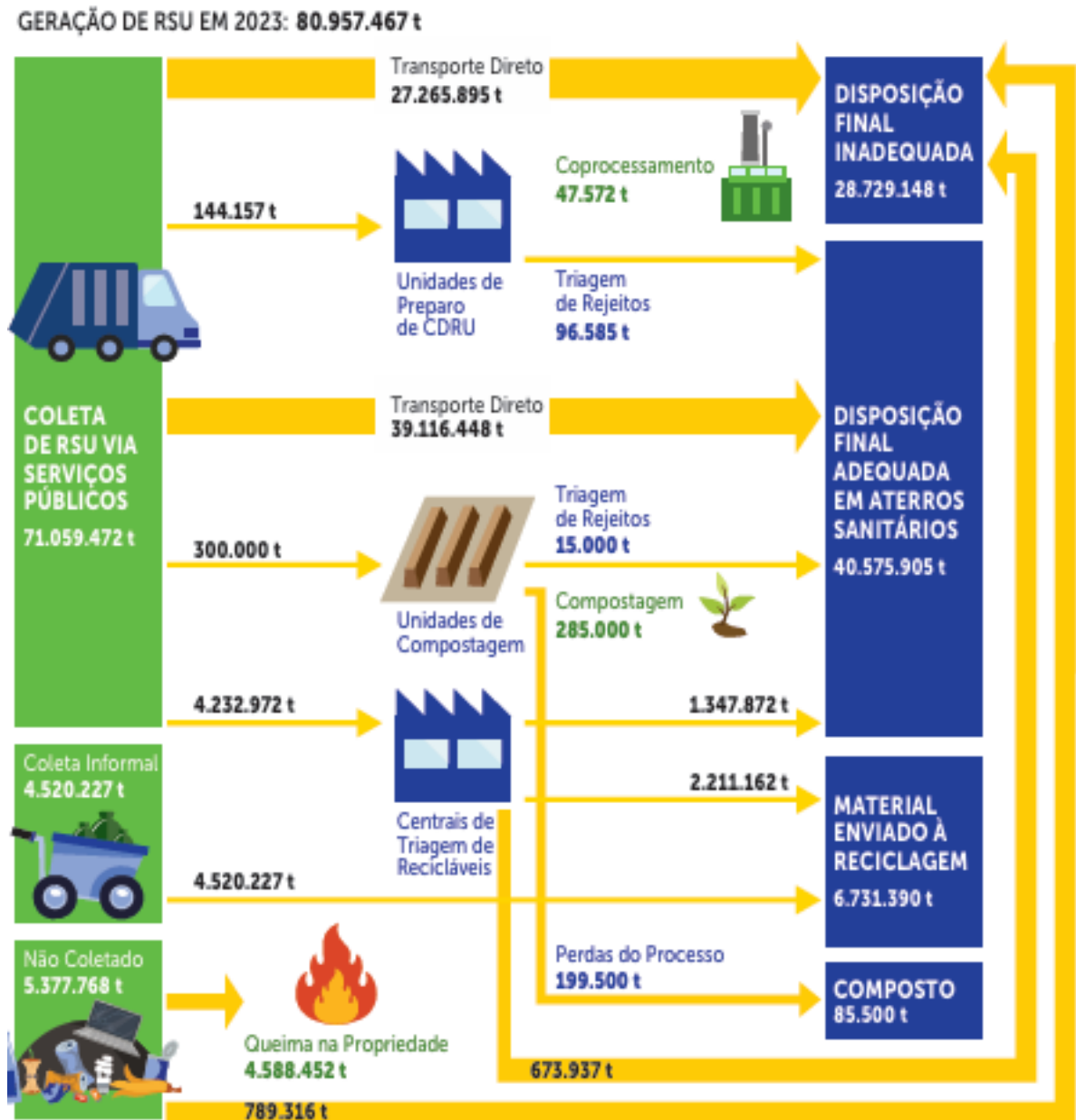
representando uma ameaça à diversas espécies e ecossistemas ao redor do planeta (ONU BRASIL, 2023).

Estes dados são alarmantes e representam a realidade das nossas sociedades modernas. No último século, também tivemos um aumento significativo da utilização pela indústria de materiais derivados de petróleo, como plásticos diversos, muitos sem reciclabilidade. Como agravante, a cultura de consumo, em especial de itens de uso único, disseminada na maior parte das comunidades humanas atuais, tem contribuído para que 99% dos itens adquiridos sejam descartados em até seis meses da sua compra (ONU BRASIL, 2018), aumentando exponencialmente a geração de resíduos de forma generalizada.

Esta é uma realidade tão significativa que, ano após ano, tem se tornado pauta central de muitas reuniões, acordos e tratados firmados globalmente, em especial quando entendemos que a produção, consumo e disposição final destes materiais contribui expressivamente para o agravamento das Mudanças Climáticas, devido à sua participação nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), degradação do meio natural e desequilíbrio ecológico.

A FIGURA 01 (ABREMA, 2024) traz o “fluxo do resíduo” na cadeia de geração de resíduos brasileira, com destaque para as quantidades estimadas de resíduo em cada etapa para o ano de 2023. Em uma breve análise da figura é possível verificar que a maior parte dos resíduos gerados no Brasil encontram sua disposição final em aterros sanitários, enquanto que somente uma pequena parcela é reciclada.

FIGURA 01 – Fluxo de resíduos sólidos urbanos no Brasil



Fonte: ABREMA. Panorama de Resíduos Sólidos (ano base 2023). p.29. 2024

A seguir exploram-se os panoramas gerais do manejo e gerenciamento de resíduos sólidos a nível nacional, regional e também para o município de Curitiba.

3.1.1 Panorama Geral da Geração de RSU no Brasil

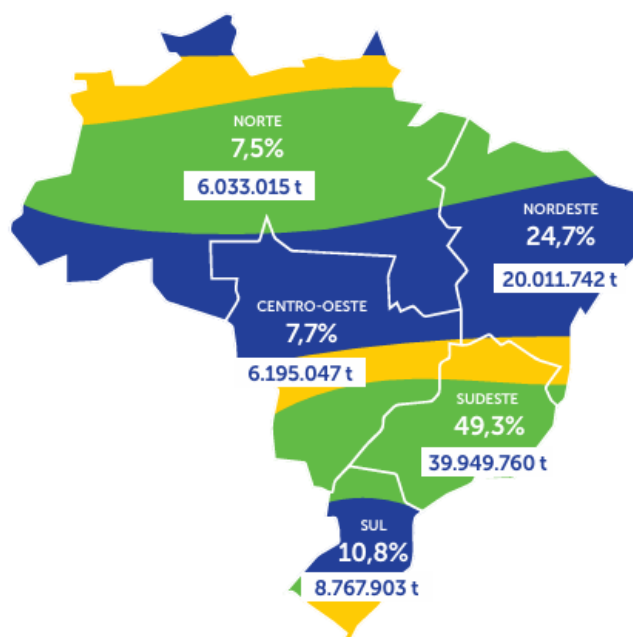
A Lei Federal nº12.305 de 2010, Art.3º, inciso XVI, define: “*resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado*

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”

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), estima-se que no ano de 2023 foram gerados aproximadamente 81 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, número este que representa uma média de geração de 382kg de RSU por habitante naquele ano (ABREMA, 2024).

Analisando a realidade da geração de resíduos sólidos no país, precisamos considerar sua grande extensão e heterogeneidade de distribuição populacional, que se traduz em uma diferença expressiva da participação regional no percentual de geração de RSU. Em 2023, a região Norte apresentava a menor participação (7,5%) nesta geração, enquanto a região Sudeste, a maior (49,3%). A região Sul fica entre as três regiões com menor taxa de participação, contribuindo com 10,8% da geração de RSU do país (ABREMA, 2024). Isto pode ser observado no panorama geral da geração de RSU no Brasil, por região, ilustrada pela FIGURA 02.

FIGURA 02 – Panorama de geração de RSU no Brasil, por região, em porcentagem e números totais para o ano de 2023.



Fonte: ABREMA, Panorama de Resíduos Sólidos (Ano base 2023). 2024.

Os resíduos gerados nacionalmente têm diversidade de classes, tipos, tratamento e destinação final. Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), os resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil têm por composição gravimétrica 45,03% de matéria orgânica, 33,6% resíduos de maioria potencialmente reciclável, e 21,1% outros resíduos diversos (dentre eles aproximadamente 15,5% de rejeitos).

Nesta composição entende-se como resíduos de matéria orgânica aqueles resíduos cujos componentes principais são restos e perdas de alimentos, madeiras e demais restos vegetais, sendo este o principal tipo de resíduo descartado atualmente no Brasil. Já “outros resíduos diversos” são aqueles resíduos sem reciclabilidade por não terem viabilidade econômica e tecnológica para tal, como por exemplo pneus inservíveis, materiais têxteis, couros, borrachas diversas, entre outros; ou por estarem contaminados. Coletivamente, estes representam 5,6% da quantidade de resíduos gerados no país (BRASIL, PLANARES 2022).

Os resíduos atualmente considerados potencialmente recicláveis são aqueles passíveis de encaminhamento à reciclagem, e ocupam uma parcela considerável dos RSU gerados no país. Entende-se por reciclagem de resíduos sólidos o disposto na PNRS, Art3º, inciso XIV: *“reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa”*.

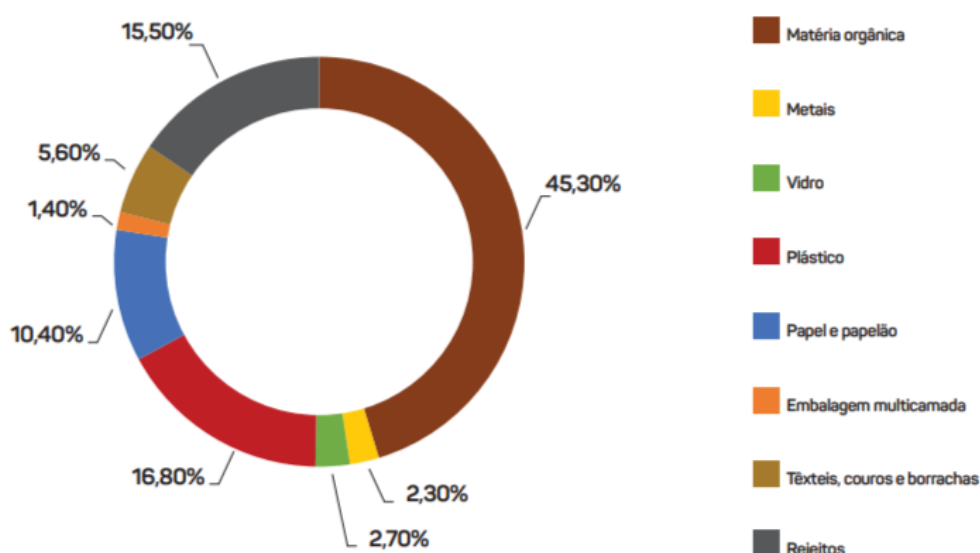
Atualmente, os principais resíduos potencialmente recicláveis gerados no Brasil são plásticos diversos (16,8%), papel e papelão (10,4%), vidros (2,7%), metais (2,3%) e embalagens multicamadas (1,4%) (BRASIL, PLANARES 2022). É importante ressaltar que nem todo material potencialmente reciclável é de fato reciclado no Brasil, muitos não tem mercado para comercialização, tem baixa reciclabilidade ou chegam contaminados aos centros de triagem de recicláveis, e desta forma muitos destes materiais acabam se tornando rejeitos, mesmo que conceitualmente pudessem ser reciclados.

Rejeitos, de acordo com a PNRS, Art3º, inciso XV são *“resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra*

possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada". Estes resíduos compõem 15,5% da geração de RSU no país, e na prática se caracterizam por todo e qualquer material que seja considerado inservível para reutilização ou reaproveitamento, como resíduos recicláveis contaminados ou sem reciclabilidade, resíduos sanitários, entre outros.

A FIGURA 03, ilustra a estimativa de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil:

FIGURA 03 – Estimativa da composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil.



FONTE:

BRASIL, PLANARES, pg19, 2022.

3.1.2 Panorama Geral da Coleta de RSU no Brasil

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), propõe que a responsabilidade no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados no Brasil seja uma responsabilidade compartilhada entre todos os entes federativos, indivíduos e corporações que compõem os geradores destes RSU. Observamos, a partir de seu Art. 3º inciso X, que o gerenciamento de resíduos sólidos se trata do *“conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e*

destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (...)”.

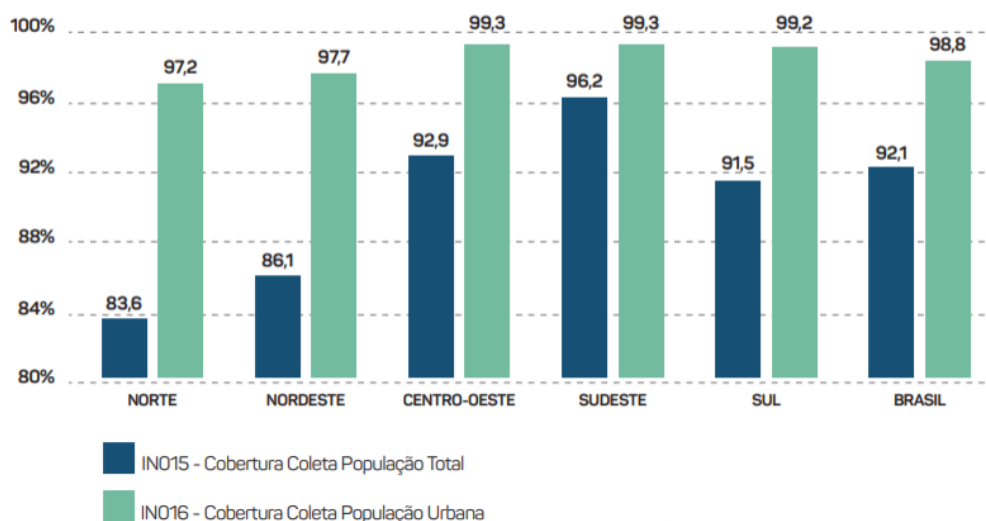
A coleta de resíduos consiste em uma série de processos que vão desde alocação dos resíduos pelos geradores em locais especificados, até a retirada dos resíduos por caminhões, carroças ou sua disposição em caçambas para recolhimento posterior, que garantem que estes resíduos possam ser transportados até locais de tratamento, triagem e destinação ou disposição final. A coleta pode ser considerada, portanto, como uma das etapas iniciais no correto manejo e gerenciamento dos resíduos gerados.

No Brasil, com a responsabilidade compartilhada entre Estados, Municípios e instituições privadas (quando aplicável), o gerenciamento de RSU depende da natureza dos resíduos e quantidades geradas. Tratando-se da coleta de resíduos instituída pelo poder público, esta também é separada por tipo de resíduo e quantidades. Para aqueles geradores que produzem quantidade de resíduos limitadas à valores especificados (pequenos geradores), a coleta e etapas posteriores do gerenciamento se tornam responsabilidade dos entes federativos em questão; já para grandes geradores, cuja geração exceda os limites estabelecidos ou cujo caráter de atividade esteja prevista para tal, a responsabilidade pela garantia de coleta, transporte e disposição final é do próprio gerador por meio de serviços privados, comprovados os Planos de Gerenciamento de Resíduos e os documentos necessários periodicamente (PNRS, 2010).

De forma geral, quanto tratamos de Resíduos Sólidos Urbanos domiciliares, as práticas de coleta, providas pelos municípios, podem ser separadas em três categorias principais: serviço direto, indireto ou ausente. Dados publicados em 2022, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, mostram que aproximadamente 83% dos domicílios brasileiros são atendidos de forma plena com coleta de RSU direta, 8,1% atendidos de forma indireta com acondicionamento em caçambas, enquanto os demais municípios não recebem atendimento de serviço de coleta de RSU (aproximadamente 8,9%). Levando-se em consideração a taxa média de geração de RSU, a quantidade de municípios com ausência de serviços de coleta demonstra a urgência na universalização do acesso a estes serviços de saneamento, retratando uma questão de importância social, ambiental e de saúde pública.

Devido a gama diversificada de políticas e programas municipais voltados ao gerenciamento de RSU, em um país continental como o Brasil, é de se esperar que haja uma discrepância no atendimento à coleta de RSU em diferentes regiões do país, porém o que se observa na prática é que o serviço é relativamente homogêneo no território nacional. Dados publicados no PLANARES 2022 (base SNIS-RS 2018, indicadores IN015 e IN016), mostram que em áreas urbanas (indicador IN016) o atendimento à população ultrapassa 97% em todas as regiões, superando a marca de 99% em três regiões, entre elas a região Sul. Em consideração à população total (indicador IN015), porém, a taxa de atendimento já não alcança níveis tão notáveis e homogêneos, estando abaixo de 87% em duas regiões do país e reduzindo à 91,5% na região Sul. Essa discrepância nas taxas de atendimento para a população total e urbana é justificada por muitos municípios pelas dificuldades enfrentadas em ofertar esses serviços em áreas rurais, isoladas e de difícil acesso, prejudicando a universalização da oferta. A FIGURA 04 ilustra as taxas apresentadas no PLANARES 2022, com relação à indicador e região:

FIGURA 04- Cobertura de serviço de coleta municipal de RSU por região e indicador



Fonte: SNIS-RS, 2019 (ano-base 2018).

Fonte: BRASIL, PLANARES, pg22, 2022.

No quesito tipo de coleta de RSU domiciliar, a separação de resíduos pode ser resumida à duas grandes categorias principais: coleta convencional e coleta seletiva. No âmbito da coleta convencional (resíduos orgânicos e rejeitos), encontramos relativa heterogeneidade ao longo do território brasileiro quanto à cobertura do serviço

disposto pelo poder público municipal, que varia de acordo com o tamanho do município, zonas territoriais (áreas mais nobres, áreas periféricas, etc) e entre tipo de área (urbana ou rural). Uma análise de dados do SNIS-RS 2018 acerca da cobertura deste tipo de serviço, observa-se uma relação diretamente proporcional entre as taxas de cobertura de coleta de RSU e o tamanho dos municípios, sendo os pequenos municípios os que mais carecem destes serviços e de aparato legal para seu gerenciamento adequado.

No âmbito da coleta seletiva (resíduos potencialmente recicláveis), é possível afirmar que os municípios brasileiros, em sua maioria, não possuem sistema de coleta seletiva ou quando o têm este é ineficiente (PLANARES, 2022). O Decreto nº 10.936/2022, estabelece que a segregação mínima requerida aos municípios para o estabelecimento de programas de coleta seletiva é a separação de resíduos em secos e úmidos. Apesar da segregação ser conceitualmente simplificada, mesmo municípios com sistema de coleta seletiva já consolidados, apresentam perda significativa de materiais potencialmente recicláveis devido principalmente a sua contaminação em alguma etapa do processo, o que os tornam inviáveis para a reciclagem e seu descarte como rejeito inevitável, contribuindo para a já alarmante quantidade de rejeitos enviados à aterros ou até mesmo lixões. Este fato, sinaliza um problema estrutural e social, que remonta a todas as etapas anteriores do processo, em especial o acesso à educação ambiental de qualidade e continuada que minimize a contaminação e garanta a reciclabilidade dos materiais.

A instituição de programas de coleta seletiva, e de programas de educação ambiental associados, são preconizados em lei e fazem parte do escopo de responsabilidades dos municípios no gerenciamento de seus resíduos sólidos urbanos. O PNRS, em seu Art. 18º estabelece as principais responsabilidades dos Municípios quanto ao gerenciamento de RSU em seus territórios:

“implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda”

(parágrafo 1º, inciso II)

(criação de) “programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos”

(parágrafo 2º, inciso X)

(criação de) “metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”

(parágrafo 2º, inciso XIV)

Desde a instituição, por meio do PNRS (2010), da obrigatoriedade de implementação de serviços de coleta seletiva nos municípios brasileiros, não foi possível, porém, observar aumento percentual significativo de programas de reciclagem por porte de municípios. De acordo com o PLANARES (2022, p24), dados do SNIS-RS/2018 estimam que 94,12% dos municípios declarantes, com mais de 1.000.000 de habitantes, dizem ter a ocorrência do serviço de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares (...), enquanto dentre os municípios com menos de 30.000 habitantes, apenas 31,5% declararam possuir iniciativas nesse sentido. Em análise regionalizada, apenas a região Sul se destaca com bons índices de oferta de serviços de reciclagem, com taxas de 58,6% nos municípios para algum tipo de coleta seletiva (PLANARES, 2022). Agravante aos índices insatisfatórios de oferta de serviços de coleta seletiva e reciclagem, a baixa reciclabilidade dos resíduos coletados prejudica a efetividade dos programas estabelecidos, sendo a taxa de recuperação de resíduos recicláveis pós coleta apenas 2,2% de acordo com o SNIS-RS/2018, evidenciando um problema que precisa ser prontamente solucionado se almejam-se que as metas estabelecidas para a melhor gestão de resíduos recicláveis sejam alcançadas em todas as instâncias.

3.1.3 Panorama Geral da Destinação e Disposição final de RSU no Brasil

Ao tratarmos do correto gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, esperamos um processo estabelecido com no mínimo: coleta, transporte, tratamento, destinação ou disposição final ambientalmente adequadas. Conceitualmente, o PLANARES (2022) expressa que a viabilidade da implementação destes serviços é

possível somente com a separação efetiva das frações seca, orgânica e rejeitos dos RSU na fonte geradora.

Os processos de destinação e disposição finais exigem além de grandes estruturas físicas e bom planejamento de zoneamento urbano, a aplicação de conhecimento técnico-científico e monitoramento constante de passivos ambientais gerados nos processos. Podemos afirmar que são nestas etapas que se concentram as principais emissões de Gases de Efeito Estufa decorrentes de RSU, poluição atmosférica, contaminação do solo e de corpos d'água, inclusive de águas subterrâneas. Além disso, quando executadas de forma inadequada representam um risco à saúde humana e animal, e ao equilíbrio ecológico local.

A PNRS, define destinação final ambientalmente adequada como aquela que *“compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, dentre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais adversos”* (Art. 3º, inciso VII). Já a disposição final é definida como a *“distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”* (Art 3º, inciso VIII).

Desta forma entendemos que a destinação final ambientalmente adequada busca estratégias de aproveitamento de resíduos e rejeitos almejando a utilização total de seus recursos. Enquanto isso, a disposição final se mostra como um serviço a ser utilizado na eventualidade em que todas as opções de reaproveitamento se mostrem exauridas. Portanto para um bom gerenciamento de RSU, quando disponíveis, a destinação adequada e seus possíveis mecanismos de ação se mostram prioritários à disposição final em Aterros Sanitários.

De acordo com o Novo Marco Legal do Saneamento (Lei 14.026/2020), fica instituído como responsabilidade dos municípios a destinação e disposição ambientalmente adequadas para os resíduos e rejeitos, respectivamente, gerados em seus territórios. Desta forma, municípios de todos os portes precisam planejar, gerenciar e monitorar as destinações e disposições finais de RSU, garantindo sua legalidade, fiscalização e conformidade com as boas práticas ambientais admitidas

para estes serviços. Esta responsabilização é de importância para garantir o encerramento de lixões no país, disposição esta que é inadequada e responsável por impactos ambientais expressivos, além de serem ausentes de qualquer controle operacional e fiscalização.

A Lei Federal 14.026/2020 preconiza o encerramento de outras atividades de disposição final, que não Aterros Sanitários, até dezembro de 2020, com exceções e extensões de prazo apenas para:

“I. – até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II. – até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III. – até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010;

IV. – até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010”

(Lei Federal nº14.026/2020, art 29º)

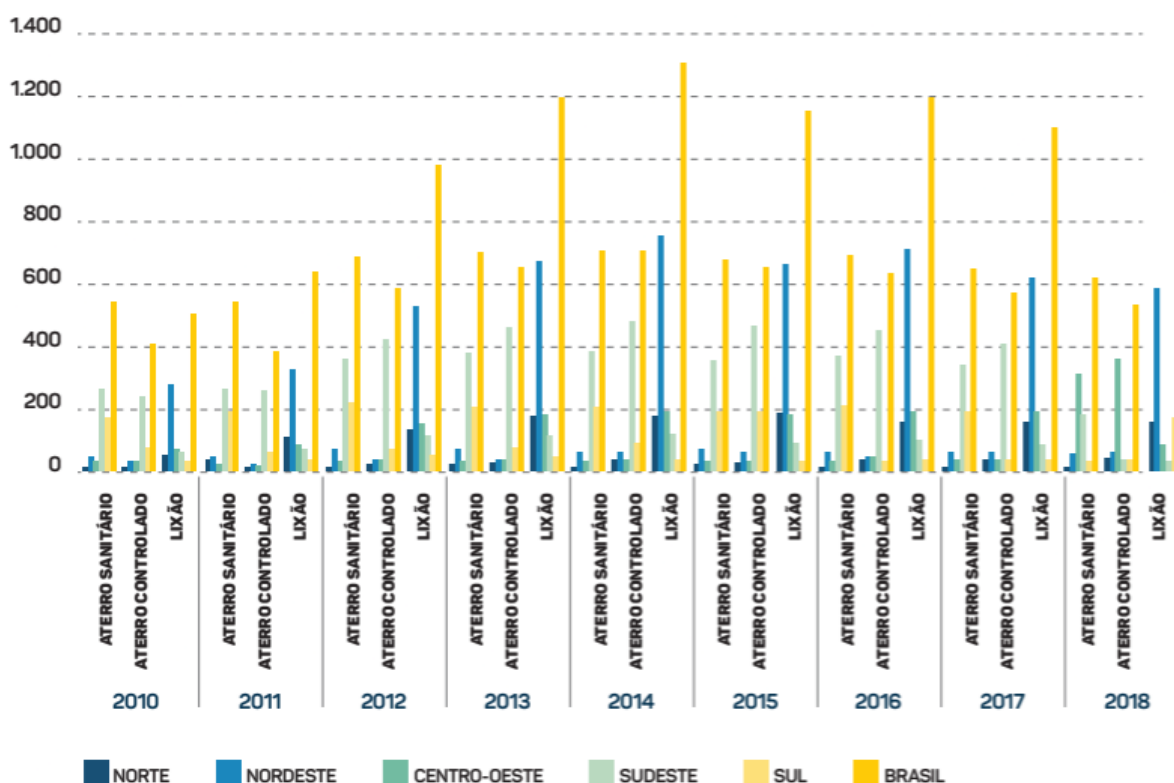
Apesar da institucionalização de um prazo de encerramento destas disposições ambientalmente inadequadas, uma quantidade expressiva de municípios ainda tem como destinação para seus resíduos lixões a céu aberto, estando muitos desses em pleno funcionamento e sem processo de encerramento iniciado.

Segundo a ABRELPE, em 2019 as taxas de disposição final adequada (aterros sanitários) foram de 59,5% em âmbito nacional, enquanto as taxas de disposição inadequada (aterro controlado e lixões) se apresentavam acima de 40%, o que naquele ano representou 80 mil toneladas de resíduos e rejeitos sendo dispostos de forma inadequada, refletindo em um grande passivo ambiental para os municípios. Já a ABREMA estima que para o ano de 2023 cerca de 28,7 milhões de toneladas de resíduos tiveram sua disposição final feita de forma inadequada, o que representou

41,5% dos RSU dispostos naquele ano, evidenciando a perpetuação deste problema ao longo dos anos.

Estes dados podem ser observados na FIGURA 05, que relaciona em série histórica a disposição final de RSU (t/ano) em nível nacional e regional.

FIGURA 05 - Série Histórica da disposição final de RSU (t/ano) por região



Fonte: SNIS-RS, 2012 a 2019 (ano-base 2010 a 2018).

Fonte: BRASIL, Planares, p41, 2022

Nesta série histórica, podemos confirmar em âmbito nacional um aumento na disposição final de RSU em aterros sanitários entre 2010-2018, desde a implementação da PNRS em 2010. Porém, uma análise regional demonstra uma possível estagnação ou lentidão na evolução dos processos de substituição de disposições finais de RSU inadequadas para Aterros Sanitários, à exceção da região Sudeste. A redução tímida na quantidade de resíduos destinados à lixões, e aumento nas quantidades de resíduos destinados a Aterros Controlados, demonstra um problema latente que não foi resolvido com a instituição da PNRS/2010. Com horizonte de resolução à longo prazo, a situação insatisfatória do gerenciamento de resíduos sólidos no país e de sua disposição final, se agrava e clama por outras

soluções tecnológicas que garantam o bom gerenciamento de RSU, dados os grandes passivos ambientais, devendo ser então de interesse público que tais soluções sejam aplicáveis à curto e médio prazo.

Apesar de ser uma prática comum no manejo de rejeitos de RSU, a disposição final em Aterros Sanitários também não contribui para a melhor utilização dos recursos naturais, sendo uma solução melhorada dos lixões que por meio de técnica, controle e fiscalização tenta mitigar e reduzir alguns impactos ambientais, mas que não categoriza um bom uso dos recursos naturais, ou uma boa adaptação das cidades às mudanças climáticas. É neste contexto que as metas estabelecidas no PLANARES de 2022, instituem a necessidade de “reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada” (META 4), sendo a taxa de recuperação de RSU (massa total) em 2020 de 2,2% no âmbito federal e 4,7% na região Sul. A meta estabelece para 2024 uma recuperação de 13,6% e 17,1% para as taxas nacional e regional sul respectivamente, e uma projeção de 48,1% e 66,7%, para 2040 também no panorama nacional e regional sul respectivamente.

Considerando as tendências mundiais e as metas definidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, é possível correlacionar a tendência crescente pela busca de expansão do uso dos diversos processos de destinação adequada que visem melhor utilização dos recursos de RSU e rejeitos, como a reciclagem e o reaproveitamento energético.

3.1.3.1 Destinação Ambientalmente Adequada: Reciclagem

De forma a garantir esta expansão de processos de destinação adequada que melhor representem o uso consciente de recursos naturais e reaproveitamento de RSU, o PLANARES também traz como meta instituída “*aumentar a recuperação da fração seca dos RSU*” (META 6). Com base nos dados de reciclagem de 2020, a taxa nacional de reciclagem da fração seca de RSU se encontrava em apenas 2,2%, sendo na região Sul de 4,7% (base: % em relação à massa total de RSU). Estes dados denunciam uma falha sistêmica na implementação dos serviços de coleta seletiva e reciclagem ao longo do país, além da necessidade de implementação de uma cultura

de reciclagem, em contrapartida a cultura do desperdício e não segregação de resíduos.

De certo ponto de vista, resolver a questão da reciclagem se inicia antes mesmo da geração do resíduo, no pré-consumo, olhando-se para o próprio processo de idealização e manufatura de embalagens. Escolhas inteligentes e ambientalmente atentas, que visem priorizar materiais com alta reciclabilidade e biodegradabilidade, além de designs compatíveis com o mercado de pós-consumo e reciclagem, aumentam as chances de resíduos chegarem até as unidades de triagem e serem de fato reciclados. Programas e ações de educação ambiental quando eficientes e contínuos também podem contribuir para uma maior adesão da população à reciclagem e à correta separação de materiais, o que por sua vez contribui para um maior aproveitamento dos materiais coletados pelos sistemas de coleta seletiva, e por consequência em maiores taxas de reciclagem. O acondicionamento e coleta adequados, prezando a integridade dos resíduos, também garante maior reciclabilidade dos materiais e influencia diretamente nas taxas de reciclagem em escalas municipais, estaduais e nacionais.

Para além da reciclabilidade dos materiais, também é parte fundamental a valorização da cadeia de reciclagem como um todo, principalmente em seu caráter socioeconômico, por meio da formalização de cooperativas e associações de catadores de recicláveis, e de catadores individuais, bem como o aumento de investimentos e repasses econômicos a estes prestadores de serviço. Estes, geralmente provêm de camadas mais vulneráveis e precarizadas da sociedade brasileira, e veem na triagem e valoração de materiais recicláveis uma renda.

A taxa de valoração monetária de cada tipo de material depende de inúmeros fatores, em grande parte ditados pelo mercado consumidor destes materiais, possuindo grande variação de preços e procura ao longo do ano e a depender da região. Desta forma muitos materiais que em dado momento são comprados pelo mercado e garantem renda para estes catadores, em outros não tem valor comercial minimamente atrativo. Esta é uma das formas que os materiais recicláveis acabam por serem descartados como rejeitos, dificultando seu retorno ao ciclo produtivo e sobrecarregando aterros.

Apesar da PNRS prever a integração de catadores de materiais recicláveis no suporte ao ciclo de vida de materiais (Art7º, inciso XII) e desta forma esses serem agentes cruciais no retorno destes resíduos ao ciclo produtivo e para a redução da utilização de recursos naturais e recursos de origem fóssil; os números de catadores e cooperativas no país ainda é baixo e muitos municípios ainda não possuem programas efetivos de integração destes catadores na cadeia de reciclagem. Segundo o SNIS-RS/2019, as associações e cooperativas de catadores de recicláveis são responsáveis pela coleta de 36,8% da massa total de resíduos potencialmente recicláveis no país, que na região Sul este percentual cai para 24,5%.

3.1.3.2 Destinação Ambientalmente Adequada: Recuperação Energética

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022) define-se recuperação energética de resíduos como “*a conversão de resíduos sólidos em combustível, energia térmica ou eletricidade, por meio de processos, tais como digestão anaeróbia, recuperação de gás de aterro sanitário, incineração e coprocessamento*”. A PNRS (2010) também preconiza a utilização destes processos como soluções equivalentes à destinação ambientalmente adequada para rejeitos e materiais cuja reciclagem não se mostra técnica ou economicamente viável, como é o caso de pneus inservíveis e alguns rejeitos de reciclagem (PNRS, Art. 9º, inciso I).

Similarmente à outras soluções de destinação e disposição final adequadas, é necessária a realização periódica de monitoramentos e análise das emissões atmosféricas provenientes da queima de rejeitos, a fim de garantir a viabilidade técnica do processo implementado, em conformidade com as legislações vigentes acerca de gases poluentes específicos e material particulado, além das metas estabelecidas de redução de emissão de GEE por setores industriais e pela federação.

Sabemos por meio do PLANARES/2022 que o Governo Federal Brasileiro tem grande interesse na recuperação energética como aliada ao melhor gerenciamento de resíduos sólidos no país, instituindo como meta “*aumentar a recuperação e aproveitamento energético por meio de tratamento térmico de RSU*”. Além disso é esperado que estes projetos tragam resultados como a redução de emissões de GEE,

e um aumento na transação de créditos de carbono, que viabilizem mais investimentos no setor e o aumento da abrangência deste tipo de serviço no polo nacional.

Um exemplo de processo de Recuperação Energética bem disseminado é o coprocessamento de rejeitos, amplamente utilizado por indústrias cimenteiras ao redor do mundo, também, como alternativa economicamente viável de substituição de combustíveis. O PLANARES/2022 define coprocessamento como *“uma tecnologia de destinação final de resíduos sólidos urbanos em fornos que contribui para a preservação de recursos naturais por substituir matérias-primas e combustíveis fósseis”*. Desta forma, o poder público entende o coprocessamento como uma alternativa de destinação adequada para resíduos e rejeitos que de outra forma teriam sua disposição final em Aterro Sanitários.

3.1.4 Panorama Geral do Gerenciamento de RSU no Município de Curitiba

A capital do estado do Paraná, um dos três estados que compõem a Região Sul do Brasil, se apresenta como a cidade polo do conjunto de 29 municípios que compõem a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) ou popularmente conhecida como Grande Curitiba. O Município conta com área total de 432,17 km², situada à 25°25'40" de latitude e 49°16'23" de longitude, e disposta na cabeceira da Bacia do Rio Iguaçu. Segundo dados do IBGE (2022), a população curitibana é de 1.773.733 habitantes em números totais, ocupando a posição de 8º maior cidade do país em número de habitantes, e a maior cidade da região Sul.

Curitiba conta em seu arcabouço legal com diversos decretos e leis municipais que discorrem sobre o gerenciamento de resíduos sólidos. O Decreto Municipal nº 1.7853/2021 afirma que *“no Município de Curitiba, a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos de qualquer espécie ou natureza em suas etapas, compreendendo segregação na origem, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, transbordo, reutilização, transformação, reciclagem, tratamento e disposição final dos rejeitos, processar-se-á em condições voltadas para a promoção da saúde, da sustentabilidade, conservação e prevenção de danos ao meio ambiente de acordo com as normas técnicas e legislação vigente”* (Art 1º, et al), e também reforça em seus Artigos 9º e 10º o que está preconizado na PNRS acerca das responsabilidades do

município com a coleta pública e gerenciamento de RSU domiciliares com “*qualidade, regularidade e universalidade*”.

Neste decreto também são estabelecidos os limites que definem pequenos geradores de RSU em Curitiba, sendo: 600 L/semana para resíduos de Coleta Convencional, Seletiva e Resíduos de Construção Civil Classe B (resíduos recicláveis para outras destinações); 1000 L/mês para resíduos vegetais; 500 L/2 meses para Resíduos de Construção Civil Classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados); 10 unidades de resíduos perigosos e 10kg de inseticidas. (Decreto Municipal nº 1.753/2021, Art10º, incisos I a VIII). Quaisquer valores de geração de RSU que ultrapassem os limites estabelecidos neste decreto, configuram um grande gerador de RSU, e implicam na obrigatoriedade de apresentação junto à Secretaria de Meio Ambiente, de Plano de Gerenciamento de Resíduos individualizado e equivalente à natureza da atividade geradora, contendo serviços de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação e disposição finais ambientalmente adequadas.

Assim como preconizado na Lei Federal nº11.445/2007 e na PNRS/2010, Curitiba tem seu próprio Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. O PMGIRS-Curitiba, criado em 2010 teve sua primeira revisão em 2013 para a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Curitiba. A última revisão, publicada em 2023, teve enfoque no alinhamento do PMGIRS-Curitiba com os objetivos do Plano Municipal de Adaptação às Mudanças Climáticas (PLANCLIMA) e às metas, programas e ações definidas no PNRS de 2022” (CURITIBA, PMGIRS, 2023).

3.1.4.1 Histórico do Gerenciamento de RSU no Município de Curitiba

O histórico do gerenciamento de RSU em Curitiba tem seu início no ano de 1881, quando os primeiros serviços públicos de limpeza, coleta e disposição final de resíduos se instalaram. Sem serviços de limpeza pública eficientes, a cidade apresentava graves problemas de saneamento básico e a disposição final dos resíduos acontecia em um lixão onde atualmente se localiza o Círculo Militar do Paraná. No ano de 1964, diversos serviços de limpeza pública, coleta e disposição de resíduos já se encontravam consolidados no município, e uma área para disposição

de resíduos e rejeitos foi instituída, conhecido como Lixão da Lamenha Pequena (funcionamento: 1964-1989), na divisa entre Curitiba e Almirante Tamandaré. Este lixão foi posteriormente substituído pelo Aterro de Curitiba ou Aterro da Caximba (funcionamento: 1989-2010), na divisa com o município de Fazenda Rio Grande.

A coleta seletiva passou a ser instituída na capital paranaense em 1989, e logo foi associada à programas sociais de incentivo à segregação e entrega voluntária de resíduos como o Programa Câmbio Verde, onde a população podia trocar resíduos recicláveis por produtos de hortifruti. Este e outros programas de “compra de lixo” se concentravam em áreas periféricas do município onde os serviços de coleta de RSU por caminhões não ocorria ou era dificultado. (CURITIBA, PMIRS, 2022).

Em 2001 ficou instituído o Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (CONRESOL), que conta com a participação de 24 municípios da RMC. O CONRESOL tem como objetivo “*organizar e proceder ações e atividades para a gestão do sistema de tratamento e disposição ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos*” dos municípios participantes (CURITIBA, PMGIRS, 2023).

Adicionando aos programas de coleta seletiva, em 2007 deu-se início ao Programa ECOCIDADÃO, que tem como objetivo “*promover a formalização e apoio às cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis*”. (CURITIBA, PMGIRS, 2023). Em 2015, a SMMA instituiu o sistema de credenciamento de cooperativas e associações de catadores de recicláveis, para o recebimento direto dos recicláveis coletados pelos caminhões de coleta seletiva do município nos galpões do programa, tornando as cooperativas e associações as responsáveis principais pela triagem, gestão e venda destes materiais.

A entrega voluntária de resíduos ganhou novos sistemas, em 2019 com a criação de ECOPONTOS, para entrega voluntária de resíduos variados e que posteriormente, também se tornaram pontos de compostagem comunitária. Atualmente há 11 ECOPONTOS espalhados pelo município, priorizando áreas precarizadas e bairros com menor alcance de coleta de resíduos por caminhões porta a porta (CURITIBA, PMIRS, 2022).

3.1.4.2 Gestão Atual de RSU no Município de Curitiba

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de 2023, Curitiba oferece serviços de coleta, transporte e disposição final de resíduos domiciliares em 100% do seu território. Muitos programas e ações implementadas em anos anteriores foram continuadas e sobreviveram às mudanças de gestão de prefeituras e secretarias de meio ambiente. Desta forma programas como o Programa Lixo que Não é Lixo, Câmbio Verde e ECOCIDADÃO, que estabelecem a gestão da coleta seletiva no município e os ECOPONTOS ainda estão ativos e acessíveis à população.

No caso dos serviços de responsabilidade do município, estes são oferecidos apenas à pequenos geradores, como residências e pequenos comércios. Para estes geradores, a coleta pode ocorrer de forma direta (porta a porta) ou indireta (pontos de recolhimento), e é dividida entre coleta “comum” (rejeitos e orgânicos) e coleta de recicláveis. Além disso também há a possibilidade de entrega de resíduos de diversos tipos nos pontos de recolhimento (ECOPONTOS), que recebem também eletrônicos, orgânicos compostáveis, RCC, madeiras, entre outros resíduos (CURITIBA, PMRIS 2023).

Os resíduos orgânicos e rejeitos, coletados pela “coleta comum” feita pelos caminhões da prefeitura, são atualmente levados à dois aterros sanitários para disposição final: um no CIC e outro em Fazenda Rio Grande (RMC), sendo este último o principal. Já os resíduos potencialmente recicláveis, coletados pela coleta de “lixo que não é lixo” continuam a ser encaminhados diretamente para os galpões do Programa ECOCIDADÃO para triagem e demais etapas.

Atualmente o Programa ECOCIDADÃO conta com 50 Associações e Cooperativas de catadores de materiais recicláveis credenciadas. Cada uma tem seu parque ECOCIDADÃO próprio e encontram-se espalhadas em diversos bairros do município. Nestes galpões, os resíduos são segregados por meio de catação individual ou coletiva, e separados em fardos por tipo de material, para posterior comercialização. Cada Associação e Cooperativa tem sua forma de organização e de funcionamento, inclusive acerca do rateio dos valores adquiridos na venda destes materiais. Aqueles materiais que eventualmente não tem reciclabilidade, que estejam

contaminados, ou que não possuem mercado de compra/venda, são considerados rejeitos e devolvidos à prefeitura para posterior encaminhamento à aterros sanitários, ou, em alguns casos, vendidos a empresas privadas com interesse nestes rejeitos para reaproveitamento energético.

Além de sistemas bem consolidados de gestão integrada de resíduos sólidos, Curitiba ainda conta com programas de educação ambiental, como o Família Folha, cujo foco é a educação ambiental da população geral acerca da correta segregação de resíduos secos e úmidos, garantindo a reciclabilidade dos resíduos potencialmente recicláveis e reduzindo a disposição destes em aterros.

Apesar desses sistemas dispostos, o PMGIRS-Curitiba de 2023 traz resultados pouco expressivos em termos de percentual de resíduos coletados, segregados e recuperados. Entre os anos de 2003-2022 a população curitibana teve aumento de 6,5% em números totais, a coleta de RSU teve aumento de 7,6% enquanto a coleta seletiva sofreu um aumento de apenas 0,86%. Dados do SNIS/2022 mostram que a coleta de RSU per capita em Curitiba encontrava-se em 0,84 kg/hab/dia, com taxa de recuperação de apenas 2,70%, evidenciando a necessidade de revisão das estratégias e ações implementadas a etapas anteriores à coleta.

A composição gravimétrica dos resíduos coletados em Curitiba segue a tendência nacional, com maioria expressiva de resíduos orgânicos, seguida de materiais diversos não diferenciados e plásticos. A TABELA 1, disponibilizado no PMGIRS/2022, traz a comparação temporal da proporção gravimétrica dos resíduos coletados em Curitiba:

TABELA 01 - Composição Gravimétrica dos RSU coletados no Município de Curitiba para três marcos temporais.

MATERIAIS	2010	2017	2021
METAIS NÃO FERROSOS	0,82%	0,56%	0,89%
METAIS FERROSOS	1,88%	0,85%	0,76%
PAPELÃO	6,03%	4,31%	1,18%
PAPEL	15,90%	18,72%	1,72%
TETRA PACK	1,08%	0,91%	1,37%
PLÁSTICO DURTO	7,80%	4,24%	8,18%
PLÁSTICO FILME	10,01%	13,26%	4,12%
OUTROS MATERIAIS	0,64%	9,4%	17,19%
TRAPO	4,51%	4,04%	6,99%
BORRACHA	1,95%	0,41%	0,97%
MADEIRA	0,82%	1,62%	1,05%
VIDRO	4,64%	1,23%	2,60%
ORGÂNICOS	37,73%	38,12%	45,01%

Fonte: CURITIBA, PMGIRS, p37, 2023.

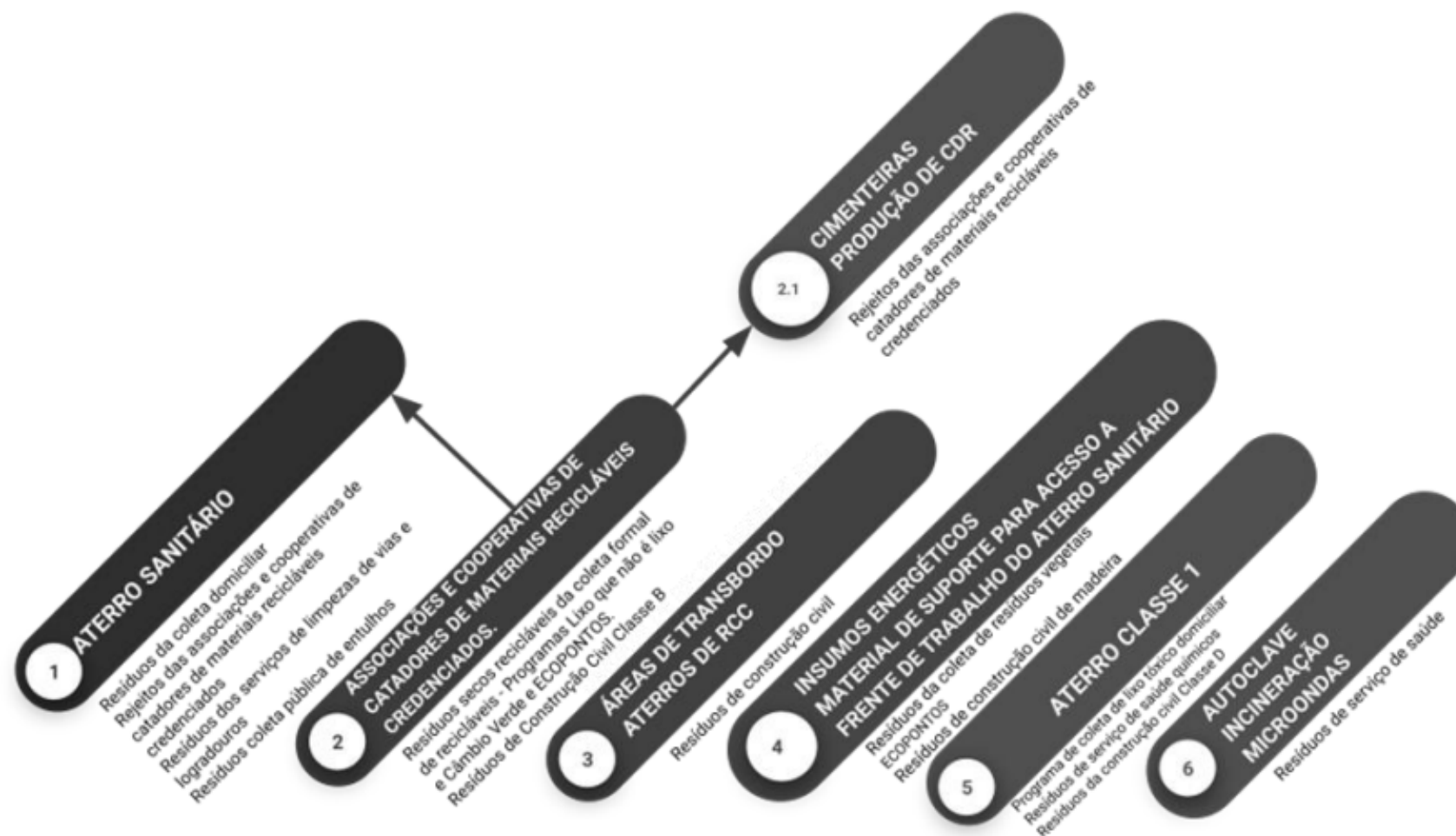
3.1.4.3 Destinação e Disposição Final de RSU no Município de Curitiba

De acordo com o PMGIRS/2023, Curitiba trabalha com algumas formas de destinação final para os resíduos gerados no município, que vão desde tratamentos térmicos, uso de aterros sanitários, reaproveitamento energético, e repasse para cimenteiras para produção de CDR. A FIGURA 06, ilustra as possibilidades de destinação e disposição final na gestão de RSU do Município.

Mesmo com uma gama de alternativas, a disposição final em Aterro Sanitário ainda é a alternativa principal na gestão de resíduos no município. Até 2010, Curitiba destinava seus resíduos à um aterro próprio, o Aterro Sanitário de Curitiba ou Aterro da Caximba, encerrado ao final daquele ano. Este aterro já foi alvo de diversas polêmicas que permeiam sua gestão, manutenção, funcionamento e encerramento. Mais recentemente, ele se tornou palco principal do Programa Curitiba Mais Energia, com a instalação de um parque de painéis solares, popularmente conhecido como a “Pirâmide Solar da Caximba”. O projeto é parte integrante das medidas da prefeitura para mitigação e adaptação da cidade às mudanças climáticas, como preconizado no PLANCLIMA de Curitiba (CURITIBA, PMGIRS 2023).

Com o encerramento do Aterro da Caximba, o município passou a encaminhar os resíduos coletados para dois aterros privados: o Aterro da Essencis, no bairro CIC, e o Aterro da Fazenda Rio Grande, administrado pela empresa Estre Ambiental. Segundo o PMGIRS/2023 o órgão responsável pela contratação destes aterros é a CONRESOL (Consórcio Intermunicipal para a Gestão dos Resíduos), já que ambos os aterros são gerenciados por empresas particulares e atendem não só o município de Curitiba, mas alguns municípios da RMC.

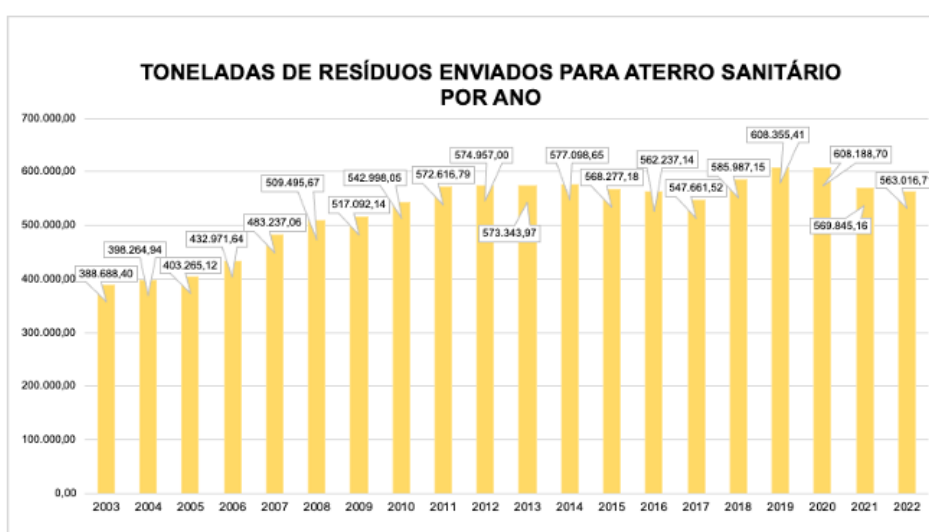
FIGURA 06 - Possibilidades de destinação e disposição finais de RSU na gestão de resíduos realizada pelo município de Curitiba



Fonte: CURITIBA, PMGIRS, p.73, 2023

Apesar das diversas iniciativas de reaproveitamento e recuperação de resíduos dispostas na FIGURA 06, Curitiba ainda destina quantidades expressivas de RSU diretamente para os aterros sanitários, como demonstram os dados do PMGIRS/2023. Na FIGURA 07 podemos observar que, no período entre 2003 e 2022, mantém-se uma tendência geral de crescimento da quantidade de RSU encaminhados à aterros, sendo seu pico alcançado em 2019 com a disposição de 608.355,41 toneladas de RSU em aterros.

FIGURA 07 – Quantidade de RSU encaminhados a aterros sanitários no Município de Curitiba.(2003-2022)



Fonte: CURITIBA, PMGIRS, p.74, 2023

3.2 O CONTEXTO DO PLANO DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURITIBA (PLANCLIMA)

Quando tratamos da identificação e percepção das mudanças climáticas e seus impactos, Curitiba se destaca dentre as cidades brasileiras por seus projetos e ações já implementadas e consolidadas. A participação política dos diversos atores da gestão municipal na questão pode ser evidenciada pela presença constante de representantes municipais em fóruns e eventos nacionais e internacionais há pelo menos uma década, além do município receber e sediar diversos outros eventos.

Em 2009, com a criação do Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas (Decreto Municipal nº1.186/2009), o município sediou o primeiro evento cujo objetivo exclusivo era debater, discutir e propor medidas mitigatórias e de adaptação da cidade

às mudanças climáticas. Em 2018, o município assinou a Carta de Compromisso da Cidade de Curitiba, juntamente com a Meta 2020 do Grupo C40 “*Grandes Cidades para a Liderança do Clima*” de Planejamento de Ação Climática, firmando o compromisso com ações sustentáveis e redução de emissões de GEE. (PLANCLIMA, 2020) A partir dessas ações, o município deu início a elaboração do Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas em Curitiba (PLANCLIMA), em 2019.

Aprovado em 2020 pelo Decreto Municipal nº 1.670/2020, o PLANCLIMA de Curitiba é um documento cujo objetivo principal é tornar Curitiba “*até 2050, uma cidade neutra em emissões, resiliente frente aos riscos climáticos, inclusiva e vibrante, com engajamento e responsabilidade compartilhada entre toda a sociedade*” (CURITIBA, PMGIRS, et al) Desta forma, ele traz inicialmente um panorama do cenário atual do município em relação as emissões de GEE por setores, ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas já implementadas, pontos de melhoria, além de estabelecer diretrizes, metas e planos de trabalho necessários para o alcance dos acordos firmados de redução de emissões de GEE municipais. Elaborado pela Prefeitura Municipal de Curitiba, o documento também teve contribuição de instituições privadas como a Copel e a Sanepar, da sociedade civil (via Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas), e da Global Shapers (CURITIBA, PLANCLIMA, 2020).

No eixo temático dos resíduos sólidos, o inventário de GEE realizado pelo Governo municipal de Curitiba, via SMMA, em 2019 (ano base 2016), evidenciou que 10,8% das emissões de GEE do município estavam diretamente relacionadas à gestão de RSU, sendo este o terceiro principal setor contribuinte nos índices de emissão atmosférica de GEE municipais, com 90.910 toneladas de CO₂ equivalente emitidos naquele ano. A metodologia utilizada para as estimativas feitas foi o Protocolo Global para Inventário de Comunidades e Cidades - Global Protocol for Community Scale Greenhouse Gas Emission Inventories, ou GPC (CURITIBA, PLANCLIMA 2020).

Na etapa de elaboração de planos de redução de emissões e mitigação de impactos, o PLANCLIMA/2020 sugere a necessidade de redução da quantidade de resíduos encaminhados à aterros sanitários, reaproveitamento do biogás, além de melhorias na gestão, serviços de coleta e aumento nas taxas de reciclagem de RSU.

Com base nessa sugestão, o PMGIRS-Curitiba/2023 já traz diretrizes e estratégias de trabalho em congruência com o PLANCLIMA/2020, trazendo enfoque

na intensificação de programas de educação ambiental já estabelecidos, redução das quantidades totais de resíduos orgânicos e rejeitos encaminhados para disposição final em Aterros Sanitários, com metas de redução de 25% até 2030, e aumento das taxas de reciclagem.

Dentre as diretrizes dispostas no PMGIRS-Curitiba/2023, destaca-se a Diretriz 01: *“Não geração, redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem”*, relacionada aos ODS4, ODS7, ODS11, ODS12, ODS13, ODS16 e ODS17; a Estratégia de Implementação 04: *“Apoiar estudos que visem o aproveitamento energético de rejeitos como CDRU (combustível derivado de resíduo)”*, e a Diretriz de Trabalho 05: *“Fomento a destinação de rejeitos, oriundos de associações/cooperativas de catadores (Programa ECOCIDADÃO), para uso como CDRU”* (CURITIBA, PMGIRS, p.132, 2023).

Com metas estabelecidas pelo PMGIRS-Curitiba/2023, em cenários de curto prazo (até 2026), médio prazo (2027-2030) e longo prazo (2031-2035), o município espera reduzir a taxa de rejeitos enviados para aterros sanitários em 5% (C.1), 20% (C.2) e 30% (C.3) no curto, médio e longo prazo respectivamente. Uma alternativa de grande destaque já adotada e intensificada pela prefeitura do município nos últimos anos é o envio de rejeitos para produção de CDRU por cimenteiras, por meio de parcerias firmadas entre o CONRESOL e cimenteiras da região. De fato, em 2019 já era amplamente noticiado em veículos de notícias locais, e no site da Prefeitura de Curitiba, que a mesma estaria firmando uma parceria com cimenteiras locais via CONRESOL, em especial a Votorantim Cimentos – Unidade de Rio Branco do Sul, para a destinação de rejeitos de RSU advindos dos galpões do Programa ECOCIDADÃO para reaproveitamento energético como CDRU, em processo de coprocessamento em fornos de cimento.

De forma relativamente conflitante à estas parcerias firmadas recentemente para reaproveitamento energético, também são estabelecidas pelo PMGIRS-Curitiba/2023 metas de redução no envio de rejeitos de RSU para os galpões do Programa ECOCIDADÃO, para 3% (B.1) 10% (B.2) e 50% (B.3) no curto, médio e longo prazo respectivamente, dando um caráter temporário à estas parcerias de reaproveitamento de rejeitos para coprocessamento em fornos de cimento, firmadas pela prefeitura.

Segundo o PMGIRS/2023, em maio de 2023 foi assinado um Termo de Cooperação Técnica entre o consórcio, Instituto Ambiental do Paraná e a Associação Brasileira de Cimentos Portland, para viabilizar a operação de utilização dos rejeitos dos municípios do CONRESOL pelas cimenteiras, em processos de coprocessamento de CDRU.

3.3 O CONTEXTO DO COPROCESSAMENTO EM FORNOS DE CIMENTO

Com o aumento da geração de resíduos em escala global, a necessidade de implementação de soluções tecnológicas que promovam um melhor aproveitamento e destinação dos resíduos gerados se faz extremamente necessária. Neste contexto, uma solução que ganha destaque mundialmente é o coprocessamento de resíduos, em especial o coprocessamento em fornos de produção de cimento ou fornos de clínquer.

De acordo com o *World Business Council For Sustainable Development* (WBCSD), coprocessamento é o *“uso adequado de resíduos em processos de manufatura com o propósito de recuperação de energia e/ou recurso, resultando na redução do uso de combustíveis convencionais e/ou materiais por substituição.”* (WBCSD, 2015, tradução livre). Desta forma, para o WBCSD o processo é visto em caráter de recuperação energética ou agregação à produtos de cimento, a depender de sua composição, colaborando para a sustentabilidade financeira do processo.

Em contrapartida, a Resolução CONAMA nº499/2020 define coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer como: *“destinação final ambientalmente adequada que envolve o processamento de resíduos sólidos como substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento”* (Art. 3º, inciso III), dando à esta atividade um caráter de solução tecnológica de tratamento e destinação final de resíduos sólidos.

Na prática, independente da visão dada ao processo, os resíduos submetidos à queima em fornos de cimento para coprocessamento precisam passar por um pré-tratamento para adquirirem as propriedades de interesse no processo. MILANEZ (2008), afirma que para que seja possível o coprocessamento de resíduos sólidos,

estes precisam ser anteriormente misturados a outros combustíveis como o coque de petróleo, em um processo denominado *blendagem*, formando os chamados *blends* ou misturas, compostos estes que possuem ao final as propriedades de queima desejadas. Isso é corroborado com a legislação, que veta a utilização de resíduos sólidos *in natura* em atividades de coprocessamento (CONAMA nº499/2020 Art1º).

No Brasil, a prática de coprocessamento data da década de 90, sendo iniciada majoritariamente nos estados do Sudeste e Sul, em especial São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul. Atualmente, 38 das 57 fábricas de cimento integradas, instaladas em solo brasileiro, tem licença para a realização de atividades de coprocessamento de resíduos (SNIC, 2024), contribuindo para que de 1999 a 2021 já tenham sido coprocessados cerca de 22,7 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 2,4 milhões de toneladas foram coprocessados apenas no ano de 2021 (ROADMAP, 2023).

MEIRELES A. R. (2015) afirma que no âmbito brasileiro, o coprocessamento se mostra como uma solução muito atraente para a indústria, com grande potencial de redução de custos de operação por reaproveitamento energético, mas também uma solução cômoda para os gestores públicos, reduzindo custos de destinação e disposição final de resíduos e rejeitos diversos. Além disso, a indústria cimenteira está submetida à variabilidade de produção, de acordo com o mercado externo e interno, tendo assim grande capacidade ociosa, o que torna o coprocessamento uma alternativa atraente para aumentar o uso das instalações e um faturamento secundário pela cobrança de serviços de tratamento de resíduos, chegando em alguns casos a ser 10% do faturamento total (MILANES B., 2008).

LIMA, SOUZA, PINHEIRO e FILHO (2008) ao falar da gestão de custos ambientais na Votorantim Cimentos – Unidade Sobral, citam que desde 2005 o grupo coloca seus investimentos na implementação e gestão de processos de coprocessamento de RSU, com os objetivos de redução de custo de produção e melhorias na imagem pública perante a sociedade civil e os órgãos públicos de meio ambiente.

Esta melhora na imagem pública é de grande interesse do setor, devido à natureza altamente poluente associada à esta atividade. A produção de cimento é responsável pela emissão de material particulado, amônia, cloro, óxidos de nitrogênio

e enxofre, compostos orgânicos voláteis; metais pesados como cromo, chumbo, arsênio, mercúrio, antimônio e manganês, além da possível formação de dioxinas e furanos, e da emissão de GEE como o CO e CO₂ (MEIRELES, 2015).

Neste contexto, o setor entende que o coprocessamento de resíduos seria uma boa alternativa para solucionar a dependência de combustíveis fósseis do setor, representando não só uma “redução” da sua participação nas mudanças climáticas globais, mas também trazendo caráter mais “sustentável” ao processo de fabricação do cimento. (ROADMAP, 2019). Esta linha de raciocínio é defendida pelo setor cimenteiro, dado que segundo o Panorama do Coprocessamento de 2022 (ano base 2021) da Associação Brasileira de Cimentos Portland (ABCP), os combustíveis fósseis ainda representam 74% (em poder calorífico kcal/kg) dos combustíveis utilizados na indústria cimenteira e o principal custo na produção do cimento; consolidando a ideia de que o consumo energético demandado para alimentação dos fornos de clínquer é a principal desvantagem e problemática do setor com relação a sua sustentabilidade econômica e ambiental até hoje (ROCHA, LINS e SANTO, 2011).

Apesar de ser aclamado como uma solução extremamente positiva para os problemas de alto consumo de combustíveis fósseis pelo setor, e como alternativa dita mais “vantajosa” de destinação final de resíduos sólidos urbanos em comparação à aterros sanitários, MEIRELES (2015) afirma que o coprocessamento ainda é um processo que carece unanimidade entre pesquisadores e estudiosos nas áreas de resíduos sólidos e emissões atmosféricas. De um lado alguns pesquisadores acreditam que este processo não geraria impactos significativos ao meio ambiente sendo, na verdade, uma alternativa com menor impacto que a disposição de resíduos em aterros. Outros, porém, defendem que não há ainda estudos suficientes para afirmar que o coprocessamento é de fato uma alternativa eficaz e segura, com ganhos ambientais significativos, e que os limites estabelecidos em legislação e o monitoramento destas atividades precisam ser melhorados e intensificados, além de serem mais rígidos, para que se possa, então, fazer tais afirmações. Neste sentido MILANEZ (2008), também pontua que o *blend* de resíduos ou CDR utilizado, tem três vias de incorporação: uma parte é destruída no forno, outra incorporada ao clínquer, e uma última é volatilizada e emitida para a atmosfera sendo esta, exatamente a que preocupa alguns estudiosos da área. É nela que as emissões de poluentes

atmosféricos ocorrem, sendo em sua maioria de notório impacto no meio ambiente e na saúde humana.

Outra questão, pontuada por MEIRELES (2015), se trata da segurança de operação dos processos de coprocessamento de resíduos, que devem ter em regime de monitoramento contínuo de hidrocarbonetos totais e de monóxido de carbono, emitidos nos fornos de clínquer. Desta forma seria possível estimar os compostos orgânicos voláteis emitidos na atividade, uma vez que estão diretamente relacionados as condições de operação do forno. Também poderia ser debatida a capacidade de diversas fábricas de realizarem o monitoramento de suas emissões, uma vez que em muitas há uma dificuldade no controle de material particulado emitido, sendo então passível de questionamento se as mesmas conseguem manter os níveis de emissão de outros poluentes dentro dos limites de conformidade e segurança descritos na legislação, durante sua operação normal. Apesar das fábricas terem obrigatoriamente, em sua concepção para caráter de licenciamento, a presença de sistemas de filtros diversos e de controle ambiental nas chaminés dos fornos de clínquer, não é possível afirmar sobre a capacidade destes de impedir emissões de poluentes perigosos e de GEE, uma vez que seus sistemas são criados primariamente para a produção de cimento e não para queima de resíduos, e desta forma seus sistemas de filtração também não são desenhados para este fim.

3.3.1 Aspectos legais do Coprocessamento de RSU no âmbito nacional

Apesar do interesse econômico neste tipo de processo, a implementação de coprocessamento de RSU em indústrias cimenteiras não é um processo trivial, e está submetido a diversas questões legais de licenciamento, monitoramento e fiscalização, que abrangem desde a origem e tratamento dos resíduos utilizados, a comprovação de ganhos energéticos e ambientais, testes de queima e controle de qualidade e monitoramento de emissões atmosféricas.

No âmbito federal, o coprocessamento de resíduos está submetido à Resolução CONAMA nº499/2020, que estabelece o procedimento para emissão de licença ambiental para a atividade em fornos de clínquer, bem como os parâmetros

ambientais a serem seguidos em termos de emissões atmosféricas de poluentes. Para o licenciamento da atividade de coprocessamento, tanto em plantas novas de produção de cimento quanto aquelas já consolidadas, a resolução prevê os seguintes estudos: Estudo de Viabilidade de Queima (EVQ) para a licença prévia, Plano de Teste em Branco e Relatório de Teste em Branco para a licença de instalação, Plano de Teste de Queima (PTQ) e Relatório de Teste de Queima para a licença de operação.

Dois passos principais no processo de licenciamento terão destaque nesta revisão: o Teste em Branco e o Teste de Queima. No teste em branco, a fábrica deve operar dentro da normalidade, sem a utilização de combustíveis alternativos e as emissões atmosféricas monitoradas e medidas. Após a análise das emissões, é dado um parecer acerca da conformidade do processo com os parâmetros estabelecidos de emissões atmosféricas em legislação. Tendo parecer positivo, outro teste é autorizado: o Teste de Queima, que consiste em repetir a operação, mas desta vez adicionando os combustíveis alternativos na proporção desejada pela empresa, sendo as emissões atmosféricas monitoradas novamente. Caso as emissões estejam dentro dos limites permitidos na legislação, é concedida a licença de operação do coprocessamento e o processo pode incorporar as práticas operacionais da empresa (CONAMA nº499/2020).

Além disso, devem ser comprovados os ganhos energéticos e ambientais de implementação do coprocessamento, mostrando-o como uma vantagem não só operacional, mas também na gestão de resíduos, como descrito em resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente nº499 de 2020.

Em termos de ganhos ambientais, a resolução entende sua caracterização quando há:

I - a redução de emissão de substâncias poluentes, gases de efeito estufa, entre outros;

II - a eliminação ou a redução da necessidade de disposição final de resíduos;

III - a despoluição de áreas ou cursos hídricos;

IV - do coprocessamento se apresentar como uma tecnologia ambientalmente mais adequada e segura para a destinação final do resíduo; dentre outros.

(CONAMA nº499/2020, Art. 11º, parágrafo 4º, et al)

Em seu Artigo 1º, parágrafo 2º, a mesma resolução determina que “os resíduos sólidos urbanos, os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços e os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico podem ser destinados para coprocessamento, desde que sejam previamente submetidos à triagem, classificação ou tratamento”. Com essa premissa, podemos concluir que a legislação brasileira não autoriza a utilização de resíduos *in natura* para fins de coprocessamento. Na prática, as indústrias necessitam realizar a blendagem, produzindo *blends* ou Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), que são misturas de resíduos pré-selecionados e tratados de forma a atenderem padrões de utilização, como composição gravimétrica, umidade, tamanho das partículas de resíduo, entre outras.

Observando o Artigo 5º e Anexo II, da mesma resolução, encontramos um impasse ao tratarmos de rejeitos advindos de unidades de reciclagem. Ao contrário de outros tipos de resíduos urbanos, rejeitos de reciclagem estão eximidos da necessidade de cumprimento de critérios de licenciamento para coprocessamento de RSU, a citar: “*não estão sujeitos a aplicação desta resolução: resíduos provenientes do processo de triagem das cooperativas e associações de catadores e triadores de materiais recicláveis submetidos a alguma forma de separação prévia de resíduos recicláveis, e que atendam aos requisitos constantes do forno já licenciado para coprocessamento de CDR.*” (CONAMA nº499/2020).

Além disso, a Resolução CONAMA nº499/2020 não estabelece frequência de monitoramento de emissões atmosféricas ou prevê repetição de testes de queima periódicos, deixando a cargo de cada órgão ambiental a determinação de frequência e solicitação de medidas quando lhes convém. A resolução também prevê, em seu Artigo 39º, que mesmo quando solicitado pelo órgão ambiental pertinente, o relatório requerido é de caráter de automonitoramento. MEIRELES (2015) interpreta esta como uma falha na legislação, uma vez que tratando-se de resíduos sólidos urbanos, a composição é altamente variável, colaborando para uma gama diversa de poluentes atmosféricos que podem ser emitidos pelas chaminés dos fornos e que, sem um

controle continuado e adequado, contribuem para práticas com grande potencial de dano ambiental e à saúde humana.

3.3.2 Aspectos legais do Coprocessamento de RSU no estado do Paraná

No Paraná, o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer está submetido à Resolução CEMA nº076/2009 que estabelece em seu Artigo 2º que a atividade está sujeita a Autorização Ambiental, expedida pelo órgão ambiental do estado, hoje denominado Instituto Água e Terra (IAT). Nesta resolução também são estabelecidos no Artigo 4º a composição e características permitidas para os resíduos coprocessados, sendo o QUADRO 1 um resumo dos valores dispostos no Art. 4º desta resolução:

QUADRO 1 - Composição e características permitidas de Resíduos Sólidos para atividades de coprocessamento

TIPO DE RS	FINALIDADE	PARÂMETRO	OBSERVAÇÃO
ENERGÉTICOS OU MISTURA DE RESÍDUOS	Substituição de combustível	PCS > 1500 kcal/kg	-
DESTINADOS À MISTURA	Substituição de combustível	PCS > 1000 kcal/kg	Autorizado somente para mistura à outros resíduos com maior PCS
RS SEM ESPECIFICAÇÃO	Substituição de matéria-prima de cimento	Soma de óxidos acima de 50% (base seca): Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO, MgO, K ₂ O e Na ₂ O	Limite estabelecido no Art 3º, inciso XI

RS SEM ESPECIFICAÇÃO	Indeterminada	Teor de mineralizadores entre 0,5% e 30% para fluoretos, P₂O₅, CuO, ZnO, LiO₂, TiO₂; Soma de óxidos mínima de 15% (base seca): Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, K₂O e Na₂O	Limite estabelecido no Art 3º, inciso XI
---------------------------------	---------------	--	--

FONTE: Resolução CEMA 076/2009, Art.4º (adaptado).

Quanto às emissões atmosféricas advindas do coprocessamento e seu monitoramento, a Resolução CEMA nº076/2009 estabelece que os parâmetros a serem seguidos são aqueles dispostos na Resolução SEMA nº054/2006 Artigos 32º e 33º, e na Portaria IAP nº001/2008. Desta forma, a Resolução SEMA nº054/2006 determina a frequência de monitoramento destas emissões, preenchendo a lacuna presente na CONAMA 499/2020, e assim estabelecendo:

QUADRO 2 - Frequência de monitoramento de emissões atmosféricas na atividade de coprocessamento.

FREQÜÊNCIA DE MONITORAMENTO	ITENS AVALIADOS
MONITORAMENTO CONTÍNUO	Pressão interna Temperatura dos gases: forno Temperatura dos gases: entrada do precipitador Vazão: alimentação de resíduos Emissões atmosféricas: Material Particulado, O₂, CO, NO_x, THC
MONITORAMENTO SEMESTRAL	Emissões atmosféricas: SO_x, PCOPs, HCl/Cl₂, HF, Hg, Pb, Cd, TI Somatório: As+Be+Co+Ni+Se+Te Somatório: As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+ +Sb+Se+Sn+Te+Zn
MONITORAMENTO BIANUAL	Dioxinas e furanos

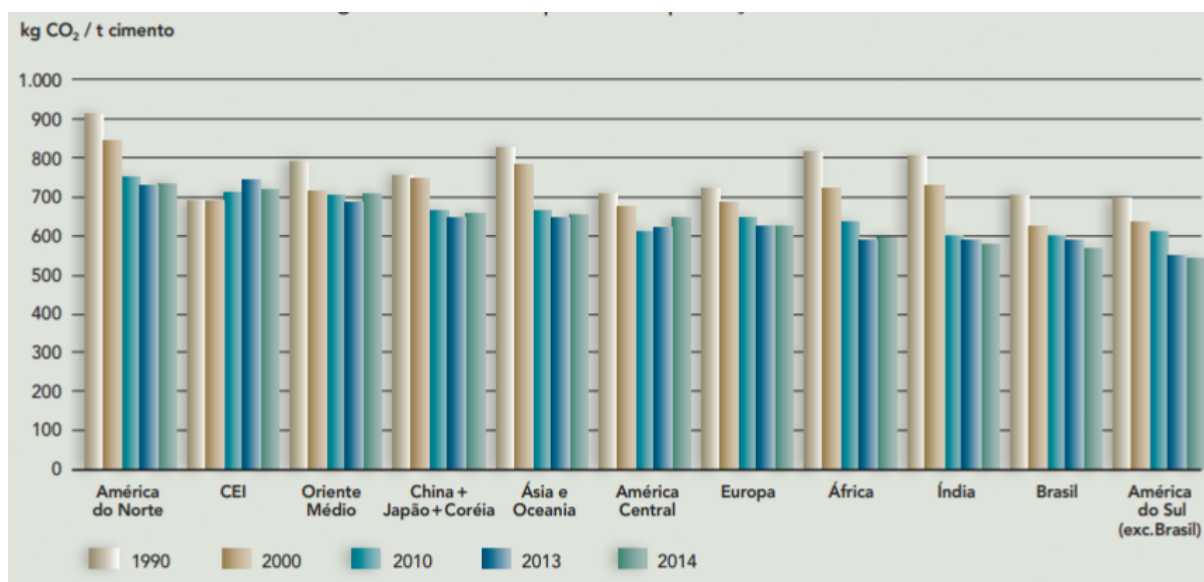
FONTE: Resolução SEMA nº054/2006, Artigo 33º, adaptado.

Já a Portaria IAP nº001/2009 estabelece o conteúdo mínimo requerido nos relatórios de automonitoramento de emissões atmosféricas, além de orientações para o registro das emissões. Nesta podemos observar que para monitoramento contínuo é esperado relatórios mensais com tais medições, bem como um plano elaborado pelo próprio empreendimento para contenção de emissões e readequação dos parâmetros em inconformidade com a legislação vigente.

3.3.3 Emissões de GEE no coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer

O setor industrial como um todo tem grande participação na geração de passivos ambientais, além de terem papel relevante nas taxas de emissão de GEE que intensificam Mudanças Climáticas ao redor do mundo. Em 2016, só o setor industrial contribuiu com 5,6% das emissões mundiais totais de GEE (tCO₂e), sendo a indústria cimenteira responsável por 56,57% destas emissões, representando 3% das emissões totais mundiais (WRI, 2020). A FIGURA 08, abaixo ilustra as emissões específicas da produção de cimento, em caráter comparativo mundial.

FIGURA 08 - Emissões de GEE no setor de cimento por país e macrorregião.



FONTE: PECCHIO, M.; VISEDO, G., p19, 2019.

Neste sentido, no panorama mundial podemos verificar que o Brasil está entre os 10 maiores emissores de CO₂ por tonelada de cimento produzido, com emissões maiores que as de todos os outros países da América do Sul somados. Do ponto de

vista nacional, a indústria cimenteira ocupa o 10º lugar no ranking de atividades com maior emissão de GEE, sendo o estado do Paraná o 3º maior gerador neste ramo de atividade, com a emissão de 3.624.060 tCO₂e em 2022 (SEEG, 2022).

Dados da série histórica disponibilizada no Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2022) e ilustrados pela FIGURA 6, demonstram variações nas emissões de GEE pela indústria cimenteira nacional ao longo dos anos, atingindo seu pico em 2014 com a emissão de 42.529.619 tCO₂e. Após este período, as emissões sofreram redução vertiginosa, até retomarem seu aumento entre os anos de 2019 e 2021. As variações podem estar relacionadas à volatilidade do mercado de cimento com variabilidade na produção nacional, ao controle e monitoramento de emissões de GEE pelos estados e aos dados disponibilizados.

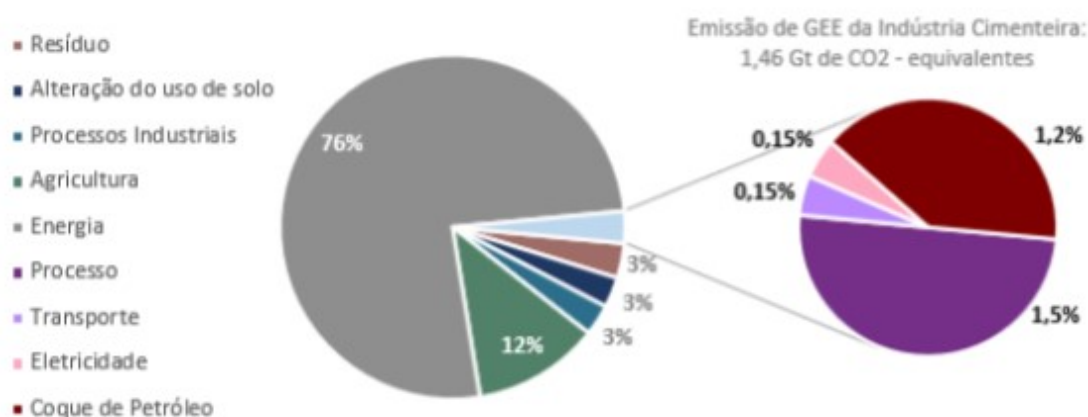
FIGURA 09 - Série histórica da emissão de GEE pela indústria cimenteira nacional entre 1990 e 2022.



Fonte: Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima, 2022.

A indústria cimenteira, como um todo, tem suas emissões de GEE concentradas no seu consumo energético, sendo 50% das emissões relacionadas ao processo produtivo em si, 40% no processo de clínquerização e 10% dividido entre transporte e uso de eletricidade (PRADO, 2021). A FIGURA 10, a seguir, ilustra a divisão das emissões atmosféricas no processo de fabricação de cimento

FIGURA 10 - Emissão Global de GEE por setor, com foco no setor cimenteiro.



FONTE: PRADO, J. E. A. (2021)

PRADO J. E. A. (2021) em seu estudo “*Análise do potencial de mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa do Coprocessamento de Resíduos Sólidos*” discorre sobre as emissões de GEE pela cimenteira de Sobradinho, no Distrito Federal, pertencente ao grupo Votorantim Cimentos. Para tal, a autora usa o método de Análise de Ciclo de Vida, para averiguar a contribuição da atividade de coprocessamento de resíduos sólidos diversos nas emissões de GEE totais do cimento portland produzido, e assim determinar qual cenário de substituição parcial de coque de petróleo por resíduos se mostrava mais vantajoso, e se de fato esta atividade era a melhor alternativa para a redução destas emissões. Neste estudo a autora considera valores de emissão padronizados pela *Cement Sustainability Initiative (CSI)* para o coprocessamento de RSU, RSI e RSA, não considerando possíveis variabilidades na composição do resíduo coprocessado.

Como resultado deste estudo foi verificado que o cenário de substituição com RSU em 30% gerou emissões atmosféricas de 398,60kg/1Gcal de CO₂ e 2,95kg/1Gcal de CH₄, enquanto o cenário sem substituição (100% coque de petróleo) gerou emissões de 398,55kg/Gal de CO₂ e 3,91kg/Gcal de CH₄, representando uma redução de apenas 5,24% nas emissões de CO₂e. A própria autora afirma, que apesar de o RSU ser o único tipo de resíduo que se mostrou um bom substituinte em questão de emissões de GEE, isso se deu principalmente pela menor produção de CH₄ na queima deste resíduo, e pela proximidade entre o ponto de geração de resíduos e a cimenteira estudada. Além disso o cenário de substituição por RSU foi o que apresentou maior consumo de energia elétrica por Gcal gerada, devido a necessidade de preparação

mecanizada do RSU previamente à sua utilização nos fornos de clínquer. Outro ponto a se destacar é que são necessárias maiores quantidades totais de resíduos para se atingir valores de calor adequados para a realização do processo de queima nos fornos de cimento. Desta forma apesar de, representativamente, o coprocessamento de RSU ter resultado em uma redução do CO₂e, não foi possível afirmar com satisfatório grau de certeza que a atividade de coprocessamento em si resulta em uma redução indiscutível na emissão de GEE, dadas as particularidades geográficas, operacionais, processuais, entre outras, a que cada caso está submetido, e que devem ser levadas em conta nos cálculos de emissões de GEE e análises comparativas.

3.4. FERRAMENTAS DE CÁLCULO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Há uma vasta gama de ferramentas de cálculo de emissões atmosféricas atualmente. Em sua grande maioria essas ferramentas tem como base os relatórios e softwares disponibilizados pelos grupos de trabalho do IPCC (ONU) e os diversos parâmetros adotados por estes. Dentre esta gama de ferramentas de cálculo disponíveis, podemos encontrar ferramentas por setor, por tipo de atividade e também por país.

Para o caso específico do estudo do coprocessamento de rejeitos de reciclagem e comparativo com o aterramento de resíduos proposto por este trabalho, foram escolhidas três ferramentas em potencial para o cálculo de emissões de CO₂ e CO₂e, são elas: Programa Brasileiro *GHG Protocol*, GCCA Stationary Combustion Tool (v 4.1), e CSI-CO₂ Protocol (WRI+WBCSD).

As principais características que diferem cada uma destas ferramentas são o tipo de aplicação, o detalhamento dos dados de entrada, e a adaptação para a realidade brasileira. No caso da ferramenta CSI-CO₂ Protocol (WRI+WBCSD) esta atua somente para o setor cimenteiro, e demanda um grande detalhamento de dados como por exemplo a proporção de substituição de combustíveis fósseis, inventários anteriores, dados da produção de cimento, entre outros. Já a GCCA Stationary Combustion Tool (v 4.1) atua somente para o Escopo 1 – Categoria de combustão estacionária, e exige menor detalhamento dos dados. Por fim, a ferramenta do

Programa Brasileiro *GHG Protocol* é a mais abrangente das três, atuando para diversos setores, escopos e categorias e sendo adaptada para a realidade brasileira. Nesta, o cálculo de emissões de combustão estacionária não exige um detalhamento tão robusto dos dados, o que é uma vantagem para casos onde os dados são limitados.

Considerando a extensão dos dados necessários, as limitações da pesquisa e a adaptação ao contexto brasileiro, optou-se pela utilização da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol para o cálculo das emissões para os cenários de coprocessamento e de disposição em aterro sanitário.

3.4.1. A ferramenta do *Programa Brasileiro GHG Protocol*

A metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol é uma ferramenta criada em 2008, pela parceria público-privada entre a FGVces, WRI, Ministério do Meio Ambiente (MMA/GOVBR), Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, World Business Council for Sustainable Development, CEBDS, e outras instituições privadas. (FGV EAESP, disponível online) Dentre as diversas ferramentas disponibilizadas na página online do Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV, destacam-se o Registro Público de Emissões, Diretrizes e Notas Técnicas para a utilização e aplicação dos métodos de cálculo de emissões, e a ferramenta de cálculo de emissões atmosféricas de GEE.

A motivação para a escolha desta ferramenta, para os cálculos a serem realizados neste trabalho, se dá pela sua adaptabilidade. Inspirada na metodologia já consolidada mundialmente, *Greenhouse Gas (GHG) Protocol*, a ferramenta traz adaptações importantes na ferramenta original, aproximando-a para o contexto brasileiro e, assim, tornando as estimativas de emissões atmosféricas mais compatíveis com a nossa realidade.

A ferramenta, disponibilizada para download de forma gratuita, pode ser obtida por meio do preenchimento de um formulário do tipo Google Forms com informações básicas do usuário. Esta é atualizada periodicamente, desta forma faz-se necessário o download anual da ferramenta para garantir a qualidade dos resultados obtidos.

Trata-se de uma planilha Excel (formato .xlsx) automatizada, com indicações de quais células podem ser editadas durante sua utilização, e com fatores de emissão já definidos com base em estudos do IPCC, US-EPA e DEFRA. (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2025) Estes fatores de emissão podem ser modificados para atenderem as necessidades do usuário, porém dadas as limitações desta pesquisa, estes não serão modificados, mantendo-se os valores padronizados.

FIGURA 11 - Página introdutória da ferramenta do *Programa Brasileiro GHG Protocol*



Ferramenta GHG Protocol
Versão 2025.0.1

Orientações

- (A) O primeiro passo para a utilização da ferramenta é a escolha do ano inventariado. Esta escolha é essencial, pois há fatores de emissão que variam com base no ano escolhido.
- (B) Preencha somente as células **LARANJA CLARO** das abas da Ferramenta.
- (C) Atente-se para a utilização das unidades corretas nos dados inseridos. Se necessário, converta as unidades utilizando a aba 'Fatores de Conversão' antes de preencher a planilha.
- (D) Utilize a notação do sistema brasileiro de unidades de medida, utilizando "." para designar milhares e seus múltiplos e "," para designar decimais.
- (E) O Menu de Navegação, presente na parte superior de todas as abas da Ferramenta, pode ser utilizado para facilitar a navegação do usuário.
- (F) Orientações para cada método de cálculo estão incluídas no cabeçalho de cada aba.

Nome da organização:	Atividade de Coprocessamento de rejeitos de reciclagem (RSU)
Endereço da organização:	
Ano inventariado:	2024
Nome do responsável:	
Telefone do responsável:	
Data de preenchimento:	

Legenda de cores

	Células a serem preenchidas pelo usuário com os dados da organização
	Emissões Escopo 1 (tCO ₂ e)
	Emissões Escopo 2 (tCO ₂ e)
	Emissões Escopo 3 (tCO ₂ e)
	Emissões de CO ₂ biogênico (tCO ₂)
	Remoções de CO ₂ biogênico (tCO ₂)

Fonte: Ferramenta de Inventário de Emissões de GEE do *Programa Brasileiro GHG Protocol*, versão 2025/1. Print de tela ilustrativo.

3.4.1.1 Utilização da ferramenta e cálculo de emissões

Para a utilização da ferramenta da forma correta, é necessário ter um conhecimento prévio acerca do cálculo de emissões de GEE e de como utilizar a

ferramenta. Entre os conhecimentos necessários é preciso saber como delimitar quais atividades serão inseridas, como definir o escopo e categorias, quais tipos de combustíveis/resíduos/produtos serão considerados para cada atividade em questão, e como aplicar essas definições na ferramenta.

Para isso, o Programa Brasileiro GHG Protocol tem materiais disponíveis para download no site da FGVes, além de treinamentos anuais com capacitação para colaboradores das empresas que desejam participar do Registro Público de Emissões do ano vigente. Os treinamentos são pagos, e ocorrem de forma remota, no primeiro trimestre do ano, sendo direcionados a empresas de diversos portes, ONGs e Governos.

A título de poder se capacitar para a utilização da metodologia que será aplicada neste trabalho, a autora participou de um curso promovido pela Associação Paranaense de Engenheiros Ambientais do Paraná (APEAM/PR), intitulado “Curso de Inventário de Gases de Efeito Estufa”, com carga horária de 10h presenciais, cujo objetivo era capacitar os associados com o conhecimento básico necessário para o uso da ferramenta do *Programa Brasileiro GHG Protocol* no inventário de GEE.

3.4.1.1.1 Definições de Cálculo

Para o cálculo realizado neste trabalho foram consideradas as atividades de coprocessamento em fornos de cimento e de deposição em aterro. A aplicação da metodologia GHG Protocol depende de definições iniciais que regem o tratamento dos dados e os limites operacionais de cálculo. Dentre estas definições estão: Definição do Escopo (1, 2 ou 3), Definição da Categoria (diversas), Definição do tipo de combustível/resíduo e a preparação e tratamento dos dados de alimentação da planilha.

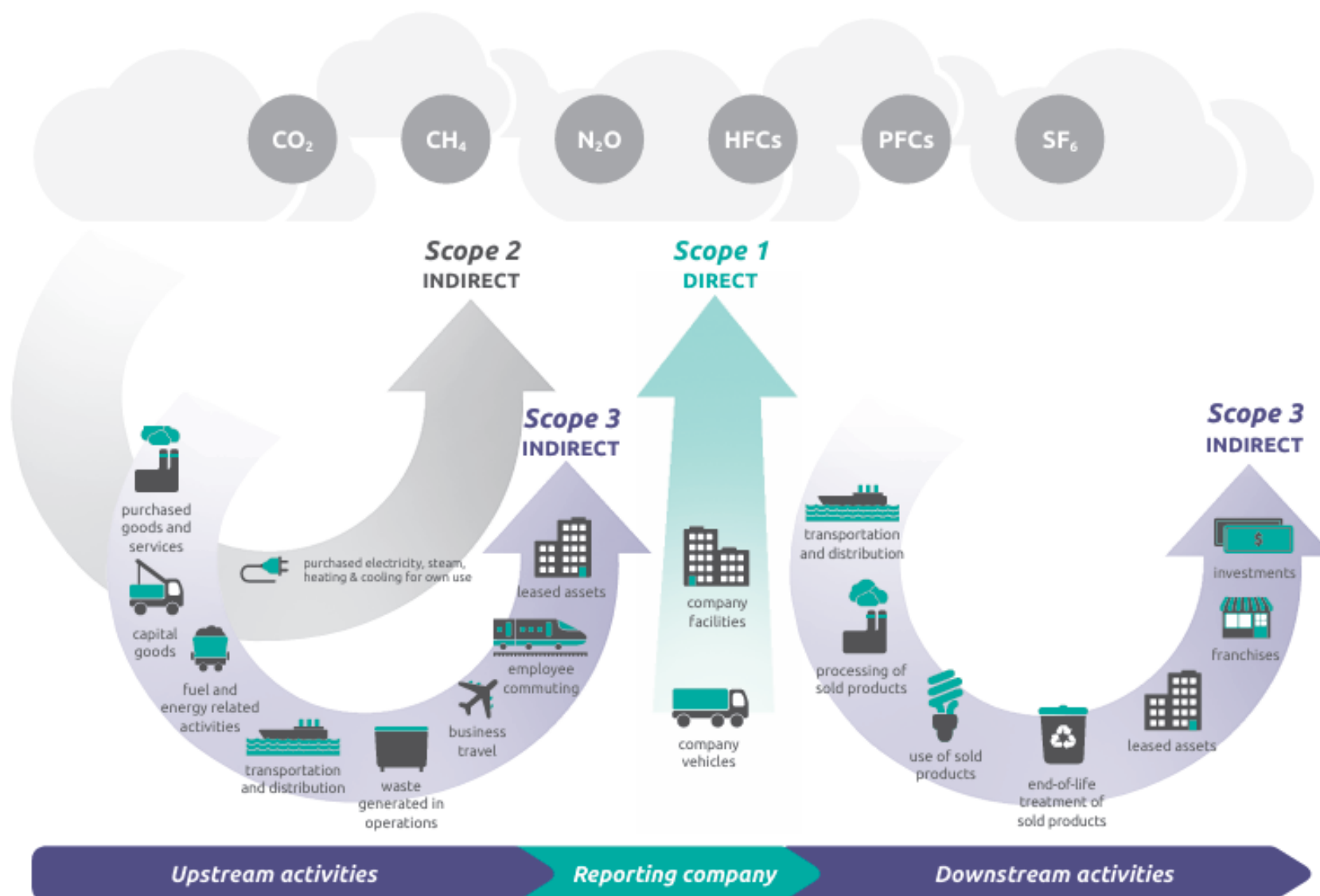
4.3.1.1.2 Definição do Escopo

No estudo e cálculo das emissões de GEE, são consideradas três diferentes categorias, intituladas “escopos”. Cada escopo determina e caracteriza o tipo de

emissão considerada, e consequentemente como os dados disponíveis são tratados, bem como quais fatores de emissão serão aplicados.

Na metodologia do GHG Protocol, “Escopo 1” trata das emissões diretas de GEE, advindas de estruturas, processos, veículos e demais fontes de emissão que sejam de controle e responsabilidade da organização analisada, exceto emissões advindas da combustão de biomassa e de compostos que não estão integrados ao Protocolo de Kyoto (a exemplo: CFCs, HCFCs, NOx). O “Escopo 2” faz menção as emissões indiretas de GEE, advindas somente do consumo de energia elétrica e térmica por parte da organização. Por fim, o “Escopo 3” diz respeito a emissões indiretas de GEE, advindas de atividades da organização cujas fontes de emissão não estão sob seu controle, como por exemplo a produção de matéria-prima para suas atividades. (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2008). A FIGURA 11 ilustra os diversos escopos considerados pela metodologia e suas categorias

FIGURA 12 - Diagrama de escopos e emissões considerados pelo GHG Protocol.



Fonte: EPA Center for Corporate Climate Leadership (US). 2025

4. METODOLOGIA

Dado o contexto que as mudanças climáticas impõem sobre a nossa sociedade, o presente trabalho visa contribuir para a discussão sobre a estratégia de redução de emissões de CO₂ no setor de resíduos, por meio do estudo de caso da implementação da atividade de coprocessamento de rejeitos de reciclagem de Curitiba, como parte integrante das estratégias do plano de adaptação do município às mudanças climáticas (PLANCLIMA).

Para tal, propôs-se a realizar uma análise aproximada das emissões de CO₂ em cenários com e sem coprocessamento de rejeitos de RSU, sendo para o cenário de disposição final sem coprocessamento considerada a disposição final padrão para RSU no município: aterro sanitário.

A metodologia definida para a realização deste estudo foi embasada na revisão bibliográfica, e a definição da ferramenta de cálculo foi feita com base no detalhamento dos dados, e cálculo de emissões atmosféricas nos diferentes cenários. A escolha se deu pelas limitações já esperadas para a coleta de dados, e desta forma foram pré-selecionadas três ferramentas renomadas e consolidadas.

4.1. COLETA DE DADOS

A coleta de dados se deu em três frentes: busca documental de domínio público, contato direto e/ou entrevista com pessoas envolvidas no processo e/ou responsáveis técnicos, e visitas técnicas in loco.

4.1.1. Busca documental

A primeira etapa da coleta de dados, caracterizada pela busca documental online se debruçou sobre dados públicos da principal unidade fabril que realiza o coprocessamento para o município e sobre demais dados da própria secretaria de meio ambiente do município. O objetivo foi encontrar documentos que pudessem tratar de estudos ou projetos pré/pós implementação do coprocessamento, licenças ambientais expedidas, documentos que trouxessem dados sobre a quantidade de resíduos encaminhados para coprocessamento, e dados de emissões atmosféricas

que datassem da implementação desta atividade no contexto deste trabalho. As buscas ocorreram em sites online de domínio público como o site da Prefeitura de Curitiba, Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA/Curitiba), Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SEDEST/PR) e Sistema de Gestão Ambiental (SGA/PR) do Instituto Ambiental do Paraná (IAT/PR) além do site do Painel de Indicadores de Mudanças Climáticas de Curitiba (FIEP/PR) e o Registro Público de Emissões (GHG Protocol Brasil e FGV). Durante esta primeira etapa, foi possível encontrar alguns documentos de licenciamento ambiental, como licenças de instalação e de operação das atividades de coprocessamento de RSU e dos inventários de emissões atmosféricas da unidade fabril considerada para o estudo deste trabalho.

4.1.2. Entrevistas e contatos indiretos

Para a execução da segunda etapa da coleta de dados foram realizadas duas atividades principais: Primeiro, a criação de questionários que serviriam para a realização de entrevistas e como roteiro base para reuniões e conversas, e, segundo, contato via e-mail com responsáveis técnicos do setor de meio ambiente da cimenteira e servidores da secretaria de meio ambiente de Curitiba do setor de resíduos e educação ambiental para a realização destas conversas e agendamento de visitas técnicas.

A criação dos questionários levou em consideração as três principais metodologias de inventário de emissões de CO₂ para combustão estacionária encontradas, com diferentes graus de especificidade: Programa Brasileiro *GHG Protocol*, GCCA Stationary Combustion Tool (v 4.1), e CSI-CO₂ Protocol (WRI+WBCSD). Desta forma, as perguntas do roteiro de entrevista foram elaboradas visando a obtenção dos dados de alimentação das planilhas de cálculo supracitadas, e o critério de escolha entre qual questionário viria a ser utilizado e, consequentemente, qual metodologia de cálculo seria adotada, se deu principalmente por meio do nível de cooperação dos entrevistados e da extensão dos dados compartilhados pelos entrevistados e dos dados obtidos via primeira etapa de coleta de dados.

O contato com as unidades fabris se deu com representantes do setor de meio ambiente e, posteriormente, da unidade de blendagem da empresa. O objetivo do contato foi buscar entender o funcionamento do processo de coprocessamento nas unidades, preencher as lacunas de informação dos indicadores de emissão de CO₂ com foco nos efeitos da implementação da parceria público-privada para coprocessamento de RSU do município de Curitiba, e obter informações quantitativas e qualitativas sobre os resíduos recebidos e seu fluxo na unidade. Foi estabelecido contato com a principal unidade que realiza este tipo de serviço na Grande Curitiba, e o questionário proposto se encontra no QUADRO 03 abaixo:

QUADRO 03 – Questionário 01

Questionário 01 – Atividade de Coprocessamento	Público: Unidade Fabril
PARTE 01: Sobre o processo	
1. Como ocorre o processo de fabricação de clínquer na planta? 2. Quantos fornos operam atualmente? 3. Quais combustíveis são utilizados nos fornos? 4. Há a utilização de combustíveis alternativos? a. Dentre os combustíveis fósseis, quais são comumente utilizados? b. Entre os combustíveis alternativos quais são comumente utilizados? c. É utilizado algum combustível derivado de resíduo para coprocessamento? d. Em média, quanto é utilizado de cada tipo de combustível nos fornos de clínquer durante a operação dos fornos? e. Foi observada uma redução no consumo total de combustíveis fósseis com a utilização de combustíveis alternativos? De quanto foi essa redução?	
PARTE 02: Sobre o uso de combustível derivado de resíduos (CDR)	
1. Há quanto tempo a adoção do coprocessamento de resíduos sólidos urbanos acontece? É um processo fixo na operação? É realizado em todos os fornos? 2. Este CDR já vem para a fábrica blendado ou esta é uma etapa realizada na planta? 3. Em média quanto CDR é consumido durante a clínquerização? 4. Qual a proporção de CDR utilizado em relação aos combustíveis alternativos totais? 5. Foram necessárias adaptações na infraestrutura para sua adoção? 6. Como a utilização de CDR alterou a dinâmica de controle operacional nos fornos? 7. A adoção do coprocessamento trouxe vantagem operacional para a fábrica?	

Devido a diversas dificuldades enfrentadas nas tentativas de comunicação com representantes da indústria cimenteira, não foi possível aplicar o Questionário 01 proposto em quaisquer tipos de abordagens. Em ocasiões diversas mensagens e e-mails foram enviados aos representantes dos setores de meio ambiente, sem resposta, e reuniões previamente sugeridas não tiveram prosseguimento. Em momentos que o contato pôde ser estabelecido, a principal dificuldade se concentrou

na obtenção de dados quantitativos sobre a atividade proposta e seus impactos, uma vez que muitas destas informações são consideradas sigilo empresarial e não puderam ser discutidas ou disponibilizadas. Em decorrência destes fatos, o contato via e-mail/whatsapp com a unidade fabril não atendeu às expectativas e necessidades da pesquisa. Isto pôde ser revertido parcialmente durante a etapa de visita técnica à blendeira, que será abordada posteriormente neste trabalho.

Já o contato com a SMMA-Curitiba foi estabelecido diretamente com servidores da Gerência de Educação Ambiental, setor responsável pelo Programa ECOCIDADÃO e, por consequência, pela implementação do repasse de rejeitos para coprocessamento. Este contato teve, também, como objetivo a obtenção de dados qualitativos sobre os resíduos encaminhados para coprocessamento, além do estabelecimento de apoio logístico para a realização de visitas técnicas em associações no Programa ECOCIDADÃO.

Do contato com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente era esperado realizar um levantamento quantitativo dos rejeitos de reciclagem repassados para coprocessamento, informações acerca do grau de implementação da parceria, e informações específicas sobre a caracterização gravimétrica dos rejeitos. Para tal, foi feita uma entrevista via e-mail, utilizando-se o questionário disposto no QUADRO 04 a seguir:

QUADRO 04 – Questionário 02

Questionário 02: Repasse de rejeitos de reciclagem	Público: SMMA
PARTE 01: Sobre as cooperativas e associações de catadores	
1. Todas as cooperativas do programa ECOCIDADÃO participam do programa de repasse de rejeitos para coprocessamento? 2. Quantas delas participam? O que as qualifica para participarem do programa 3. Qual o ganho para as cooperativas e associações de catadores ao aderirem a esse tipo de programa? 4. Quais orientações estas cooperativas devem seguir para possibilitar a separação destes rejeitos, a fim de serem viáveis para coprocessamento?	
PARTE 02: Sobre os materiais e repasses de rejeitos para coprocessamento	
1. Atualmente, quantas empresas estão em parceria com a prefeitura para possibilitar o coprocessamento de rejeitos de reciclagem? 2. Com que frequência estes rejeitos são repassados? 3. Em números totais, qual a quantidade de rejeitos repassados mensalmente/anualmente? 4. Quais materiais geralmente são enviados nestes repasses? 5. Como é determinado quais materiais serão classificados como rejeito para coprocessamento? 6. Há dados sobre os tipos e suas quantidades específicas disponíveis?	

- a. São enviados plásticos, pneus inservíveis ou outros materiais similares?
7. Após o repasse, a prefeitura possui algum controle sobre qual fração deste rejeito é realmente utilizada no coprocessamento?

A entrevista com a SMMA-Curitiba foi considerada satisfatória, uma vez que as perguntas feitas foram respondidas em sua totalidade. Algumas informações foram disponibilizadas apenas de forma genérica, mas as lacunas de informações puderam ser preenchidas posteriormente na etapa de visita técnica a um dos galpões do Programa ECOCIDADÃO.

4.1.3. Visitas técnicas

A terceira e última frente da coleta de dados consistiu na realização de visitas técnicas: uma na principal blendeira da região que recebe os rejeitos de RSU do município, e outra, na Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia. Devido novamente a dificuldades apresentadas pela empresa estudada, não foi possível realizar visita técnica à unidade fabril de produção de cimento e desta forma não foi possível visualizar o coprocessamento na prática.

A seguir têm-se a descrição das visitas técnicas realizadas no ano de 2025, assim como os relatos dos responsáveis que nos acompanharam.

4.1.3.1 Visita a Blendeira (07/04/2025)

Realizada em 07 de abril de 2025, a primeira visita técnica se concentrou na visita as instalações da principal blendeira da grande Curitiba, atualmente a responsável exclusiva pelo fornecimento de CDR à cimenteira estudada, que por sua vez é a principal atuante no coprocessamento de rejeitos de RSU do município. A nova instalação, que faz parte de um grande grupo já consolidado no mercado de cimento e de coprocessamento de resíduos, foi inaugurada em abril de 2024 como parte do programa de expansão da atividade de coprocessamento pelo grupo, que

tem como meta a substituição térmica de 53% do combustível fóssil por combustíveis alternativos, incluso a biomassa e o combustível de resíduo, até 2030. (Fonte: Informação verbalizada pelo responsável técnico da unidade de blendagem, corroborado pelo site oficial do grupo).

Apesar da unidade visitada ter sido recém-inaugurada na região, as atividades de blendagem e coprocessamento de resíduos realizadas pelo grupo empresarial datam da década de 1990, quando todas as etapas do processo eram realizados nas próprias instalações da cimenteira. Isso limitava a quantidade processada, e restringia o foco principal no tratamento de resíduos Classe 1, Classe 2A e 2B, a exemplo: resíduos industriais, resíduos contaminados, resíduos de construção civil, madeiras e pneus inservíveis.

Com a inauguração das novas instalações, a blendagem e preparação do CDR passou a ser realizada exclusivamente na blendeira, sendo somente a atividade de coprocessamento realizada na cimenteira. Segundo encarte da própria blendeira, atualmente eles realizam o coprocessamento dos seguintes materiais: EPIs, estopas, embalagens diversas contaminadas, sólidos diversos com e sem contaminação, tecidos, solos contaminados, cavaco e serragem de madeira, além de pneus inservíveis.

Com isso, foram firmados novos acordos com prefeituras e consórcios, como o CONRESOL, para a expansão das atividades de coprocessamento pelo grupo, inclusive com o encaminhamento direto de rejeitos de reciclagem dos barracões do ECOCIDADÃO para a blendeira, conforme previsto nas estratégias do PLANCLIMA.

O objetivo da visita foi entender o funcionamento geral da blendeira, conhecer o caminho dos resíduos desde a sua chegada na planta até a produção final de CDRU e coprocessamento, e buscar preencher as lacunas de informação dos dados sobre este CDRU e o coprocessamento realizado pela cimenteira.

4.1.3.2 Visita a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia (20/05/25)

Realizada em 20 de maio de 2025, a visita à Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia foi realizada com o suporte logístico da Gerência de

Educação Ambiental da SMMA-Curitiba, e com o acompanhamento de servidores da secretaria. O objetivo da visita foi conhecer uma das associações do Programa ECOCIDADÃO que já realizam o repasse de rejeitos para coprocessamento de forma consistente, entender quais materiais são considerados pelos catadores como rejeitos, qual o grau de implementação da parceria e preencher lacunas de informação acerca da quantidade e tipificação gravimétrica dos rejeitos repassados, e qual o retorno que este repasse tem trazido para as Associações.

4.2. TRATAMENTO E PREPARAÇÃO DOS DADOS

Para uma correta aproximação no cálculo de emissões proposto foram necessárias algumas etapas de preparação dos dados obtidos, dadas as limitações encontradas e lacunas a serem preenchidas.

A partir de conversa realizada com servidores da prefeitura, tomou-se conhecimento que a atividade de repasse de rejeitos de reciclagem às cimenteiras coprocessadoras já ocorre há três anos consecutivos, considerados aqui os anos de 2022, 2023 e 2024. Por outro lado, dados numéricos acerca dos números totais de resíduos coletados em Curitiba só se encontraram disponibilizados pelo PMGIRS/2023 até o ano de 2022, tornando-se necessário uma aproximação, calculada, da massa de resíduos domiciliares coletada para os anos de 2023 e 2024, com base na taxa de crescimento populacional de Curitiba e a população do CENSO IBGE 2022 (Portal IBGE Cidades). Aplicou-se a relação de cálculo fornecida pelo dataSUS, vide EQUAÇÃO 01, onde P_t é a população total, P_0 é a população inicial e “n” corresponde a quantidade de anos no período considerado. Curitiba apresentou uma taxa de crescimento populacional de 1,55%/ano, desta forma a população calculada para o ano de 2023, representou 101,55% multiplicando pela população informada para 2022. Já para o ano de 2024, o próprio Portal Cidades do IBGE dá a estimativa populacional para este período, sendo este o valor adotado para o ano.

$$r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100$$

EQ. 01 (dataSUS)

Finalizada esta etapa, foram calculadas então as quantidades de resíduos coletados (total e RDO) para estes anos, com base nas taxas de geração de resíduo reportadas no SNIS/2022 para o município, sendo 0,84 kg/hab/dia para resíduos totais e 0,76 kg/hab/dia para resíduos domiciliares. Desta forma, foram obtidos via cálculo e posterior conversão de unidades os valores dispostos na TABELA 02 a seguir:

TABELA 02 - Massa de resíduos coletada em Curitiba, calculada. (anos 2023 e 2024)

Massa considerada	2023	2024
Total (ton)	552265,61	560840,38
RDO (ton)	499668,89	507427,01

Com a obtenção destes dados foi possível complementar as informações trazidas na FIGURA 07 (PMGIRS/2023) referentes à quantidade total de resíduos gerados pelo município por ano. Para o contexto deste trabalho, porém, consideraremos apenas os resíduos sólidos domiciliares (RDO), uma vez que no contexto do coprocessamento de rejeitos de RSU do Programa ECOCIDADÃO, estamos tratando de resíduos de reciclagem via SEPARE (Caminhões da Prefeitura) e não consideraremos aqueles resíduos advindos de resíduos sólidos públicos (RPU). Desta forma, foi necessário realizar um novo ajuste nos dados, separando a fração de RDO da quantidade total reportada no PMGIRS/2023. Para tal, os valores reportados foram ajustados por meio da taxa de geração de RDO (SNIS, 2022) previamente mencionada, que pode ser interpretada como a proporção de 90,48% RDO/massa total de resíduos. Os valores obtidos de RDO para os anos de 2010 a 2024, para o município de Curitiba, podem ser observados na TABELA 02.

Da mesma forma, a tipificação gravimétrica dos resíduos de Curitiba, dispostos na TABELA 1 (PMGIRS/2023) traz dados para apenas três marcos temporais: 2010, 2017 e 2021. Assim, fez-se necessário o preenchimento das lacunas de informações para a correta aplicação do método e para minimizar os erros de aproximação. A fim de agilizar o tempo de trabalho, foram selecionados apenas os dados referentes aos tipos de resíduos descritos na ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol: papel, papelão, trapos, borracha, madeira e resíduos orgânicos. Todos os demais resíduos (resíduos não listados na plataforma como plásticos diversos, vidros, tetra pack, etc) são classificados pela plataforma como “Outros resíduos inertes”, e tem sua

gravimetria calculada automaticamente a partir da diferença para se atingir 100% de resíduos, comparada ao somatório dos resíduos autodeclarados.

Com o auxílio de uma planilha Excel Online aplicou-se o método de regressão linear via fórmula “*FORECAST.LINEAR*” para o preenchimento dos dados, considerando-se os três marcos mencionados da seguinte forma: Para o intervalo de 2011 a 2016 tomou-se como base os anos 2011 e 2017, para o intervalo de 2018 a 2020 e de 2022 a 2024 tomou-se como base os anos 2017 e 2021. Aqui julgou-se relevante a segmentação dos dados base para a aplicação do método, uma vez que há diferenças significativas nas porcentagens de cada tipo de resíduo por período, e desta forma a não-segmentação deixaria de considerar esta tendência e poderia contribuir para a propagação de erros ao cálculo.

A aplicação do método trouxe, na maior parte, uma boa aproximação ao comportamento esperado para as taxas de variação por tipo de resíduo em cada período desejado, a exceção dos dados de papel no período de 2023 e 2024 e papelão de 2022 a 2024. Nestes, o método gerou valores negativos, que não condizem com a realidade observada, e implicam a presença de erros associados. De fato, há a redução considerável destes materiais entre os anos de 2017 e 2021, que criam uma tendência acentuada de redução. Questionada por nós acerca desta redução atípica, a prefeitura comentou que os dados refletiam a realidade, e que estas flutuações foram influenciadas pelo preço de comercialização de alguns materiais, como o papel e papelão que tiveram uma desvalorização no período entre 2010 e 2017 e por consequência foram menos triados pela reciclagem. Já o período entre 2017 e 2021 apontou uma tendência contrária, com valorização destes materiais e uma mudança de comportamento no consumo e geração de resíduos da população frente à pandemia de COVID-19 e o pós-pandemia. Com a falta de dados atualizados, que possam representar de forma mais fiel a composição dos resíduos para os anos de interesse, optou-se pela replicação do último valor positivo obtido para cada um dos períodos mencionados. Desta forma, foi gerada uma nova base de dados de gravimetria “expandida” para os anos de 2010 a 2024, considerando-se a tendência apresentada nos marcos temporais disponibilizados.

TABELA 03 – Composição gravimétrica “expandida” do RSU coletado e enviado à aterro sanitário em Curitiba em ton/ano. (Apenas dados de interesse para a ferramenta do GHG Protocol versão 2025/1). Calculado.

Ano	Trapo	Borracha	Madeira	Orgânicos	Papelão	Papel	Papel+Papelão**
2010*	4,51%	1,95%	0,82%	37,73%	6,03%	15,90%	21,93%
2011	4,44%	1,73%	0,93%	37,79%	5,78%	16,30%	22,09%
2012	4,38%	1,51%	1,05%	37,84%	5,54%	16,71%	22,24%
2013	4,31%	1,29%	1,16%	37,90%	5,29%	17,11%	22,40%
2014	4,17%	1,07%	1,28%	38,06%	5,05%	17,51%	22,56%
2015	4,13%	0,85%	1,28%	38,12%	4,80%	17,91%	22,71%
2016	4,04%	0,63%	1,51%	38,12%	4,56%	18,32%	22,87%
2017*	4,18%	0,41%	1,62%	39,84%	4,31%	18,72%	23,03%
2018	4,78%	0,55%	1,48%	41,56%	3,53%	14,47%	18,00%
2019	5,51%	0,69%	1,34%	43,29%	2,75%	10,22%	12,96%
2020	6,25%	0,87%	1,19%	45,01%	1,96%	5,97%	7,93%
2021*	6,99%	0,97%	1,05%	46,73%	1,18%	1,72%	2,90%
2022	7,73%	1,11%	0,91%	48,45%	0,40%	1,72%***	2,12%
2023	8,46%	1,25%	0,76%	48,45%	0,40%***	1,72%***	2,12%
2024	8,46%	1,25%	0,76%	48,45%	0,40%***	1,72%***	2,12%

*REF: PMGIRS-Curitiba/2023

**formato de entrada estabelecido pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol

*** valores adotados

Por fim, fez-se o cálculo da quantidade de resíduos (fração não-biomassa) que compunham os RDO gerados no município, para serem utilizados posteriormente na comparação com as emissões geradas pela via de coprocessamento. Para tal, tomou-se como base a gravimetria expandida calculada anteriormente, considerando-se fração não-biomassa todos os resíduos descritos que não se enquadram na categoria de resíduos biodegradáveis. Desta forma foram excluídos os resíduos: orgânicos, madeiras, borrachas, papéis e papelões. Para este trabalho, considerou-se “borracha”, a borracha natural (latex), dado que a borracha vulcanizada de pneus inservíveis tem tratamento e disposições específicas em Curitiba, que não o aterro sanitário; além disso, a ferramenta considera em conjunto os resíduos “borracha e couro”, trazendo o entendimento de que este campo considera a fração da borracha que é biodegradável. Além disso, não há detalhamento de quais tipos de resíduos têxteis são considerados fração biomassa pela ferramenta, dado que alguns tecidos naturais podem ser biodegradáveis, enquanto tecidos sintéticos tem baixa ou nula degradabilidade. Desta forma, para corroborar com a lista de materiais enviados como rejeito para coprocessamento,, para fins de cálculo a porcentagem de materiais têxteis

(ou trapos) será considerada tanto na etapa de cálculo dos resíduos totais, como dos resíduos fração não-biomassa.

Assim, para o tratamento destes dados e a determinação da quantidade de resíduos de fração não-biomassa dentre os resíduos gerados em Curitiba, subtraiu-se da porcentagem total de resíduos à soma das porcentagens dos resíduos supracitados, para cada ano, gerando uma nova taxa “%fração não biomassa”, a qual foi aplicada à massa de RDO calculada anteriormente, gerando uma nova base de dados com a massa de RSU (fração não-biomassa) em ton/ano para o município.

TABELA 04 – Quantidade de Resíduos Gerados em Curitiba (ton/ano)

Ano	Massa total (PMGIRS/2022)	Massa de RDO, calculada	Fração não-biomassa (RDO), calculada	% Fração não- biomassa (RDO), calculada
2010	542.998,10	491.304,60	184.583,20	37,57%
2011	572.616,80	518.103,70	194.096,40	37,46%
2012	574.957,00	520.221,10	194.332,30	37,36%
2013	573.344,00	518.761,60	193.231,30	37,25%
2014	577.098,70	522.158,90	193.937,30	37,14%
2015	568.277,20	514.177,20	190.421,90	37,03%
2016	562.237,10	508.712,20	187.852,90	36,93%
2017	547.661,50	495.524,10	182.452,00	36,82%
2018	585.987,20	530.201,20	212.783,00	40,13%
2019	608.355,40	550.440,00	239.138,60	43,45%
2020	608.188,70	550.289,10	257.301,40	46,76%
2021	569.845,20	515.595,90	258.158,90	50,07%
2022	563.016,70	509.417,50	250.289,60	49,13%
2023	552.265,60	499.689,90	236.903,00	47,41%
2024	560.840,40	507.448,40	240.581,30	47,41%

4.3. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

Com os dados tratados e preparados para serem utilizados, foi possível então dar andamento na aplicação da ferramenta de cálculo de emissões de GEE do Programa Brasileiro GHG Protocol, e estimar as emissões de CO₂ e CO₂e para os cenários de coprocessamento e de deposição em aterro. A fim de possibilitar e enriquecer a comparação dos resultados obtidos, foram realizadas quatro aplicações

da ferramenta, nos seguintes cenários: Coprocessamento com repasse mínimo de rejeitos, Coprocessamento com repasse máximo de rejeitos, Deposição em aterro considerando massa total de RDO, Deposição em aterro considerando apenas fração não-biomassa.

4.3.1. Coprocessamento de rejeitos de reciclagem

Para o cenário de coprocessamento de rejeitos de reciclagem, foram realizados dois cálculos diferentes, em cenários de extremos: um para o cenário de repasse mínimo mensal de rejeitos do programa ECOCIDADÃO, outro para o cenário de repasse máximo mensal de rejeitos, considerando-se cada um dos termos para o período de um ano consecutivo separadamente. Os valores considerados foram obtidos na segunda etapa de coleta de dados via contato com a prefeitura.

Devido à falta de disponibilidade de dados mês a mês das quantidades de rejeitos repassados, ou dados anuais já concretizados, não há como prever qual o desvio com relação à média que os dados anuais apresentam. Desta forma, optou-se pela adoção dos cálculos em cenários de extremos ao invés da média, a fim de possibilitar uma melhor discussão e análise dos diversos cenários. Além destes dados, também foram consideradas as definições feitas para a atividade com relação à escopo e categoria de emissão, para o tipo de resíduo/combustível e o setor da atividade estudada.

Estes dados foram então adicionados à planilha de cálculo, em suas respectivas células, como representado na FIGURA 12, onde as células em laranja correspondem àquelas que o usuário precisa entrar com os dados ou selecioná-los.

Com a entrada destes dados, a ferramenta calcula automaticamente as emissões em termos de toneladas dos gases CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ e NF₃ para cada escopo, além de em termos de toneladas métricas de CO₂ equivalente para cada gás, e totais. Ao final, a ferramenta gera um resumo consolidado com as emissões totais, por escopo desagregado por categorias, e de eventuais gases não contemplados no Protocolo de Kyoto.

FIGURA 13 – Página de cálculo para o Escopo 1: Combustão Estacionária, da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol



Abas gerais: Introdução, Resumo, Fatores de emissão, Fatores variáveis, Fugitivas - GEE não Quiloto, Aeroportos, Fatores de conversão

Escopo 1: Combustão estacionária, Combustão móvel, Emissões fugitivas, Processos industriais, Atividades agrícolas, Mudanças no uso do solo, Resíduos sólidos, Efluentes

Escopo 2: Eletricidade (localização), Perdas T&D (localização), Compra de Energ. Térmica, Eletricidade (esc. compra), Perdas T&D (esc. compra)

Escopo 3: Categorias de Escopo 3, Transp & Distr upstream, Resíduos sólidos gerados, Efluentes gerados, Viagens a negócios, Emissões casa-trabalho, Transp & Distr downstream

Consolidação para preenchimento no Registro Público de Emissões (RPE)

Ano do inventário: 2024

Combustão estacionária

Passo 1. Indique a finalidade das atividades da organização inventariante ¹

Fatores de emissão para o setor:	Manufatura ou Construção
----------------------------------	--------------------------

¹ O cálculo é efetuado somente quando selecionado o setor de atividade que mais se adequa às atividades da organização.
Os setores listados seguem o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) e o Inventário Nacional. Para mais informações, consulte a aba "Fatores de Emissão".
Caso a organização atue em mais de um setor, selecione aquele que melhor representa a atividade exercida pelas fontes de emissão estacionárias.
Caso existam diversas unidades de operação em setores muito distintos, utilize uma planilha para cada unidade.

Passo 2. Indique a quantidade total de combustível consumido para cada unidade, local, ou ponto (de acordo com o tipo de combustível) na Tabela 1.
Se necessário, converta o dado de consumo para coincidir com as unidades apresentadas.
Obs: a queima de óleo lubrificante usado é proibida no Brasil de acordo com a Resolução CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005.

Tabela 1. Fontes estacionárias de combustão

Registro da fonte	Descrição da fonte	Combustível utilizado	Quantidade consumida	Unidades	O combustível utilizado é formado por:	
					Combustível fóssil	Biocombustível
Mínimo	Repasso rejeito ECOCIDADÃO mínimo	Resíduos Municipais (fração não-biomassa)	4.200,00	Toneladas	Resíduos Municipais (fração não-biomassa)	-
Total						

Fonte: Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol, v.2025/1. Reprodução de print de tela.

4.3.2. Deposição de resíduos em aterro

O cálculo de emissões resultantes da deposição em aterro na ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol prevê a utilização de séries temporais de aproximadamente 30 anos, conforme orientação do IPCC, devido ao tempo de degradação dos resíduos aterrados e sua contínua emissão até total decomposição. No caso deste trabalho, devido a limitação de dados, serão adotadas duas séries temporais: de 2010 a 2024 (14 anos) para a coleta de RDO em Curitiba, e de 2022 a 2024 (2 anos) para os rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO. Desta forma, para ambas as abordagens, os resultados obtidos serão apenas uma aproximação das emissões potenciais geradas pelos resíduos considerados.

Para o cálculo de emissões para o Escopo 1 - Resíduos Sólidos e Efluentes, a ferramenta apresenta cinco passos subsequentes, que devem ser seguidos em sua totalidade para melhor representar a emissão da massa de resíduos considerada. No primeiro passo, o usuário deve selecionar a localidade (UF/Cidade) da disposição final de resíduos, que geram automaticamente dados climáticos como temperatura média local (°C), precipitação anual (mm/ano) e potencial de evapotranspiração (mm/ano), com referência a dados do INMET (2018). Apesar do aterro principal utilizado pelo município ser localizado na Fazenda Rio Grande, Região Metropolitana de Curitiba, esta localidade não estava disponível na ferramenta, e desta forma adotaremos para fins de cálculo a localidade PR/Curitiba

Em seguida, no segundo passo, o usuário adiciona os dados de quantidade de resíduos enviadas para o aterro em sua base úmida, em ton/ano para cada ano inventariado. Neste trabalho, realizaremos o cálculo das emissões advindas da deposição em aterro em quatro etapas: As duas primeiras - cálculo para a massa de RDO total gerada em Curitiba e cálculo para a fração não-biomassa da massa de RDO coletada (TABELA 03), serão realizadas para entender a contribuição de cada fração do resíduo nas emissões de GEE e discutir questões relacionadas; e as duas últimas - cálculo para a quantidade mínima e máxima de rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO (QUADRO 03) - serão realizadas para realizar uma aproximação do quanto de CO₂e seria emitido nos anos de implementação da iniciativa, caso este rejeito fosse enviado para despejo em aterro sanitário.

No terceiro passo, são adicionados dados sobre a composição do resíduo, em porcentagem, com relação à sua massa total para cada ano inventariado. Os materiais de entrada considerados neste passo são: papéis/papelão, resíduos têxteis, resíduos alimentares, madeira, resíduos de jardim e parque, fraldas, borracha e couro, lodo de esgoto doméstico, lodo industrial. Também são considerados no cálculo materiais como plásticos, metais, vidros, cinzas, sujeira, poeira, solos, lixo eletrônico, entre outros, categorizados como “outros materiais inertes”, cuja porcentagem é calculada automaticamente como valor residual, com base no total de 100% menos a soma dos demais percentuais inseridos. Ao final deste passo, a ferramenta calcula o Carbono Orgânico Degradável (DOC) para cada ano inventariado. Para a aplicação da ferramenta, no cenário de deposição da massa de RDO total gerada em Curitiba foi considerada a composição disposta na TABELA 02, enquanto para o cenário de deposição apenas da fração não-biomassa do RDO e dos rejeitos de reciclagem, considerou-se a composição destes como a parcela de materiais têxteis descritos na tabela e o restante como “outros materiais inertes”.

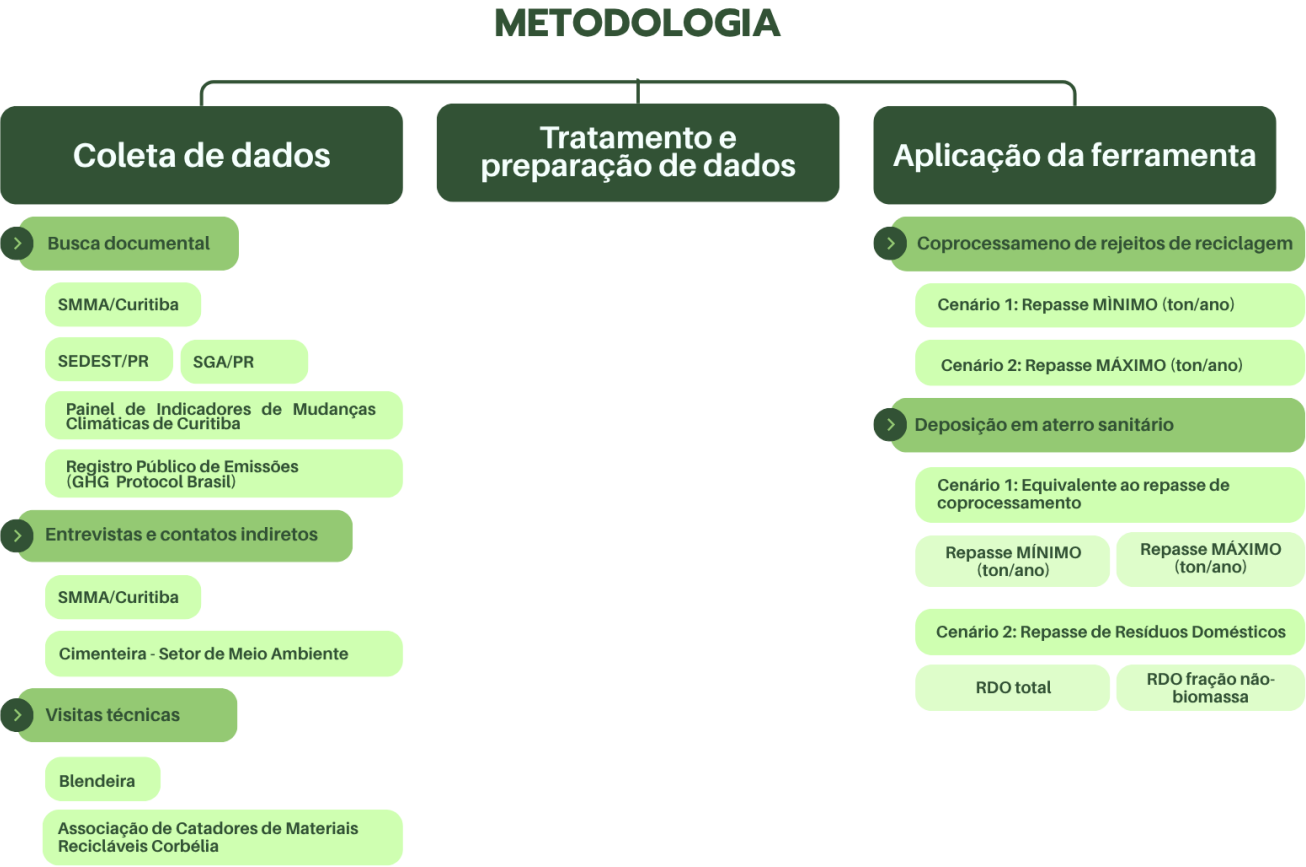
Em seguida é avaliada a qualidade da disposição de resíduos (passo 04), a partir da aplicação de conceitos de A à H, com a seguinte classificação: A – Aterro Sanitário, B – Aterro Semi-aeróbio, C – Aterro Semi-aeróbio (mal manejado), D – Aterro com aeração ativa, E – Aterro com aeração ativa (mal manejado), F – Aterro com profundidade maior ou igual à 5m, G – Aterro com profundidade menor que 5m, e H – Aterro sem classificação. A partir destes conceitos, a ferramenta adota fatores de correção de metano e de oxidação, dados estes relevantes na degradação dos resíduos. Além disso, neste passo são solicitados dados relacionados ao percentual de concentração de biogás, entre 0 e 1, os quais caso não sejam de conhecimento do usuário são automaticamente preenchidos com o padrão adotado pelo IPCC, de 0,5. Para este trabalho, em ambos os cenários, adotaremos a qualidade da disposição de resíduos de Curitiba com conceito A para todos os anos inventariados, uma vez que estes são encaminhados para Aterro Sanitário já bem estabelecido, e a concentração de biogás utilizada será a padronizada pelo IPCC.

Por fim, é avaliada a recuperação de metano no aterro onde os resíduos são depositados, em tCH_4 para cada ano inventariado, além do destino deste metano (opções: queima em flare, geração de energia). A ferramenta orienta a, caso esses

dados sejam desconhecidos, deixar estes dados em branco, e é o que foi feito neste trabalho.

Ao final destes passos é gerada uma tabela que resume ano a ano as emissões de metano, emissões de CO₂e provenientes da decomposição dos resíduos e emissões de CO₂ biogênico decorrentes da queima do CH₄ capturado, caso haja.

FIGURA 14 – Fluxograma esquemático das diferentes etapas da metodologia.



Fonte: A autora. 2025.

5. RESULTADOS

5.1 RESULTADO DA COLETA DE DADOS

A partir da aplicação das diferentes frentes de coleta de dados, foi possível obter dados simplificados acerca das quantidades de rejeitos repassados das

associações de catadores para a atividade de coprocessamento nas cimenteiras da região. Algumas lacunas de informação, infelizmente, não puderam ser preenchidas, como o conhecimento acerca da tipificação gravimétrica destes rejeitos, o que influenciou diretamente na escolha da metodologia de cálculo aplicada e nos resultados obtidos. Além disso, os valores totais de rejeitos repassados são aproximações disponibilizadas pelos entrevistados, e não foram fornecidos documentos que corroborassem com as afirmações feitas. Desta forma, os cálculos de emissão apresentados são apenas uma aproximação ilustrativa, a fim de estudar as possibilidades de disposição final de rejeitos de reciclagem propostas e abrir portas para este debate.

A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada frente de coleta de dados descritas anteriormente.

5.1.1 Resultado da busca documental

A primeira etapa da coleta de dados, se debruçou sobre a busca e análise documental de domínio público, e obteve como principal resultado o acesso aos inventários de emissões de GEE da principal unidade fabril cimenteira que realiza o coprocessamento de rejeitos de reciclagem do município de Curitiba, bem como as emissões totais no Brasil do grupo empresarial.

Os inventários disponíveis para consulta no Registro Público de Emissões, datados dos anos 2016 a 2023, trazem os números totais de emissões em CO₂e do grupo no Brasil (por escopo e categoria), além de dados para cada uma das unidades fabris no país (apenas por escopo), dentre elas a unidade cimenteira da região metropolitana de Curitiba. A TABELA 05 a seguir traz um Compilado das informações contidas nestes inventários.

TABELA 05 – Dados compilados dos inventários de emissões atmosféricas do grupo (2016-2023)

Ano	Emissões totais do grupo no Brasil.		Emissões específicas da unidade fabril da RMC
	Escopo 1 (tCO ₂ e)	Combustão Estacionária (tCO ₂ e)	Escopo 1 (tCO ₂ e)
2016	13.300.456,196	4.512.468,848	3.168.143,158
2017	12.279.286,492	3.999.931,610	2.846.854,640
2018	12.878.684,128	3.979.328,366	2.770.191,547
2019	11.718.238,498	3.800.805,962	2.631.696,283
2020	13.019.374,523	4.084.758,976	2.976.215,179
2021	14.555.971,656	4.817.975,954	3.554.408,762
2022	13.880.798,423	4.409.392,186	3.434.064,277
2023	13.379.664,303	4.235.018,147	3.165.703,793

Fonte: Registro Público de Emissões. Acesso em Maio de 2025.

Infelizmente os inventários disponíveis não trazem dados especificados da combustão estacionária da unidade fabril estudada. Também não há, nos relatórios, outros dados quantitativos específicos acerca da substituição de combustíveis fósseis por CDRU via coprocessamento, apesar de em alguns anos o coprocessamento ser mencionado no relatório dentre as “medidas de sustentabilidade” tomadas pela empresa, mas sem maiores detalhes.

Para além destes inventários foi possível encontrar licenças de instalação (LI) e de operação (LO) expedidas pelo Instituto Água e Terra (IAT/PR), para a adoção de atividades de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos, detalhadas como “*coprocessamento de resíduo Classe 1, 2A, 2B, em fornos de clínquer, mistura, pré-condicionamento incluso CDRU - Combustível Derivado de Resíduo Urbano*” (IAT, 2023), garantidas à blendeira e à unidade fabril da RMC.

Com expedição em agosto de 2021 (válida até agosto de 2025), a Renovação de LO para atividade de coprocessamento pela unidade fabril da RMC, traz em seu texto as quantificações de combustíveis/resíduos coprocessados dispostos na TABELA 06.

TABELA 06 - Tipificação e Quantidade de combustíveis/resíduos coprocessados pela unidade fabril

Tipo de resíduo/combustível	Quantidade/dia
Outros Combustíveis (incluindo misturas)	336.000 L
Resíduo contendo outras substâncias perigosas	2.000 kg
Resíduos contendo outras substâncias perigosas	5.000 kg
Resíduos orgânicos não abrangidos em 160305	2.000 kg

Fonte: Renovação de Licença de Operação nº249066-R2, IAT/PR, 2021, et al.

Já para a blendeira, que deu início às suas operações em 2024, foram obtidas duas documentações: a Licença de Instalação (Julho/2023) e de Operação (Março/2024), as quais ambas trazem em seu texto a tipificação de resíduos coprocessados dispostos na TABELA 07

TABELA 07 - Tipificação e Quantidade de resíduos coprocessados pela blendeira

Tipo de resíduo	Quantidade/dia	Documento
Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo)	13,70 kg	LO
Borrachas	3,00 kg	LI
Embalagens de vidro	1.50 kg	LI
Frações leves e poeiras contendo substâncias perigosas	49,32 kg	LO
Misturas de resíduos contendo, pelo menos, um resíduo perigoso	5,48 kg	LO
Outros resíduos (incluindo misturas de materiais) do tratamento mecânico de resíduos	150.000,00 kg	LI
Outros resíduos não anteriormente especificados	657,53 kg	LO
Outras frações não anteriormente especificadas	30,00 kg (LI) 5,48 kg (LO)	LI e LO
Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas	5,48 kg	LO
Resíduos contendo outras substâncias perigosas	16,00 kg	LI
Resíduos líquidos aquosos contendo substâncias perigosas	1.369,86 L	LO

Fonte: Licença de Instalação nº300449/2023 e de Operação nº317575/2024, IAT/PR (adaptado)

Por meio da análise da TABELA 06 é possível observar que alguns itens variam entre as licenças, tendo materiais como as borrachas e embalagens de vidro retirados da licença de operação, enquanto outros materiais como absorventes e materiais filtrantes adicionados. Além disso, o item “outras frações não anteriormente especificadas”, que se refere à resíduos industriais não especificados, tem variação nas quantidades diárias coprocessadas entre as diferentes licenças.

Adicionalmente, ambas as licenças da unidade em questão trazem em seu item 3.5 “Emissões atmosféricas” a descrição da presença de 1 (uma) chaminé, com limite de emissão anual de material particulado total (MPt) de 250 mg/Nm³, sendo este o único parâmetro de emissão atmosférica estipulado nas licenças expedidas.

5.1.2 . Resultados de entrevistas e contatos indiretos

Na segunda frente de coleta de dados, infelizmente não foi possível obter informações advindas do setor de meio ambiente da cimenteira, devido a dificuldades na comunicação que tornaram inviável a aplicação do Questionário 01 de entrevista.

Desta forma, foi possível obter informações advindas apenas do Questionário 02, direcionado à SMMA/Gerência de Educação Ambiental. No QUADRO 05, a seguir é possível verificar as respostas concedidas via e-mail, por um dos servidores da secretaria.

QUADRO 05 – Resultados do Questionário 02

Questionário 02 - Respostas concedidas SMMA		Público:
PARTE 01: Sobre as cooperativas e associações de catadores		
Perguntas	Respostas	
Todas as cooperativas do programa ECOCIDADÃO participam do programa de repasse de rejeitos para coprocessamento? (Se não) Quantas delas participam?	Sim, as 50 participam	
O que as qualifica para participarem do programa?	Devem seguir as orientações corretas de separação para evitar que não estejam presentes nos rejeitos/CDRU materiais proibidos no coprocessamento, conforme legislação.	
Qual o ganho para as cooperativas e associações de catadores ao aderirem a esse tipo de programa?	O material que não tem valor econômico para as associações, os indesejáveis, antes sempre foi destinado para aterro sanitário, porém com essa ação esse material é então desviado para um uso/destinação mais nobre: coprocessamento. Além do ganho ambiental de evitar aterrar o resíduo, e utilizar como combustível nas cimenteiras (evitando uso apenas de Coque), tem também o ganho financeiro de R\$ 50,00 por tonelada que eles recebem no envio desse material.	
Quais orientações estas cooperativas devem seguir para possibilitar a separação destes rejeitos, a fim de serem viáveis para coprocessamento?	Eles realizam uma triagem mais cuidadosa desse material, para evitar presença de materiais que não possam ir para coprocessamento	
PARTE 02: Sobre os materiais e repasses de rejeitos para coprocessamento		
Perguntas	Respostas	
Atualmente, quantas empresas estão em parceria com a prefeitura para possibilitar o coprocessamento de rejeitos de recicla-gem?	3 cimenteiras: Itambé, Votorantim e Supremo/ Margem	
Com que frequência estes rejeitos são repassados?	seg - sabado	
Em números totais, qual a quantidade de rejeitos repassados mensalmente/ anualmente?	Em média no último ano, foram coprocessadas mensalmente de 350-450 toneladas mensais.	

	No ano de 2024 totalizou aproximadamente 5.000 toneladas
Quais materiais geralmente são enviados nestes repasses?	Materiais sem valor econômico para as associações revenderem, rejeitos do processo de separação deles e caracterizados como CDRU
Como é determinado quais materiais serão classificados como rejeito para coprocessamento?	Rejeitos do próprio processo de triagem, que podem ser coprocessados conforme legislação
Há dados sobre os tipos e suas quantidades específicas disponíveis?	Específicos por tipologia que compõe o rejeito não.
São enviados plásticos, pneus inservíveis ou outros materiais similares?	Pneus podem ser encontrados, mas acredito que tenham linhas específicas de aproveitamento desse material antes de chegar nas associações, caso existentes podem ser enviados. Plásticos sujos, sem condição de reciclagem ou valor econômico para associação, e outros, também podem ser encontrados.
Após o repasse, a prefeitura possui algum controle sobre qual fração deste rejeito é realmente utilizada no coprocessamento?	Para fins de controle do programa e pagamento é feita a verificação na balança, na entrada das cimenteiras, e depois contabilizado mensalmente o quantitativo

Fonte: Relato feito por servidor da Gerência de Educação Ambiental da SMMA-Curitiba, em contato via e-mail, na íntegra.

5.1.3 . Resultados das visitas técnicas

Das visitas técnicas, constituintes da terceira etapa, foram obtidos dados quantitativos e informações acerca do funcionamento da parceria, grau de implementação e outros dados qualitativos acerca do processo nos pontos de segregação e de preparação do blend para coprocessamento.

5.1.3.1 Visita à blendeira

De acordo com relato do responsável técnico que nos acompanhou na visita, previamente à chegada de qualquer material na planta, é feita uma validação técnica do material a ser recebido, e o licenciamento deste material. O licenciamento é feito por empresa e por material, sendo que, para qualquer material novo é necessário dar

entrada em um novo licenciamento. Em seguida é realizada uma amostragem de carga teste, e análise em laboratório próprio para averiguar padrões como umidade, níveis de cloro, e outros compostos preconizados na Resolução CEMA nº76/PR. Segundo o representante da blendeira, os valores limitantes dos fornos de cimento utilizados, determinam o máximo de 0,5% de cloro no CDR. Uma vez aprovada a carga teste e o licenciamento, a blendeira passa a receber o material para coprocessamento de forma regular. Ao chegar na planta, os caminhões são pesados e as documentações como MTR, nota fiscal, SNIHR e outros são verificadas. Também é feita uma inspeção e validação visual da carga, e, caso haja incompatibilidade com as documentações, a mesma não é liberada para entrada no pátio, e é retornada imediatamente para a empresa de origem.

Para o caso dos rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO, o responsável técnico nos relatou que a blendeira recebe em torno de 1 a 2 caminhões por dia, o que configura um fluxo médio de entrada de aproximadamente 5 ton/dia de rejeitos diversos, que apresentam perfil sazonal na quantidade e tipo. Por se tratar de uma carga diversa e heterogênea, após a validação e liberação da carga, esta é disposta no chão do galpão principal, onde passa por uma segunda inspeção manual, que funciona como mecanismo de qualidade e segurança a fim de se garantir que materiais impedidos de serem coprocessados não sejam encaminhados de forma errônea.

A Resolução CEMA nº76/PR que rege o coprocessamento no estado, estabelece em seu artigo 3º que não é permitido o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos ou domiciliares brutos. De fato, pôde-se verificar que os rejeitos passam por uma série de trituradores de diferentes gramaturas até sua transformação de rejeito bruto à fragmentos. Adicionalmente, a depender da característica da carga, novas amostras podem ser retiradas e analisadas no laboratório, para que a carga possa ser destinada à baia correta de acordo com suas características físico-químicas, como por exemplo: maior teor de cloro, maior umidade, maior poder calorífico, entre outros.

De acordo com o responsável técnico, o *blend* (ou mistura) que irá compor o combustível derivado de resíduo urbano (CDRU) só é feito posteriormente, de acordo com as necessidades da produção de cimento. Para a preparação da mistura é feito um balanço de massa, levando-se em conta as características físico-químicas

analisadas anteriormente, que determina quantas “pás” de cada carga e tipo de resíduo (separados em diferentes baias), será adicionado ao *blend*. Após a realização da mistura, uma última análise é realizada em laboratório para averiguar a conformidade dos parâmetros de saída, para então transportar o *blend* até a unidade de fabricação de cimento, onde é utilizada como CDR no forno de cimento.

Na ocasião da visita, não havia sido recebida ainda a carga de rejeitos do Programa ECOCIDADÃO do dia, porém, havia uma baia com os rejeitos já processados, de cargas anteriores, à espera para serem adicionados ao *blend*. Nesta carga pôde-se visualizar diversas partes de materiais como: embalagens de margarina e similares, garrafas do tipo pet diversos, alguns blisters de medicamentos, embalagens tetrapak e longa vida, embalagens multicamada, papelões e papéis, trapos, entre outros. Quando questionados sobre alguns destes materiais observados nos foi informado que estes estavam contaminados e por isso podiam ser coprocessados, mas não foi informado se há um conhecimento ou controle acerca de qual tipo de contaminação estes rejeitos de RSU estão submetidos que os caracterizam para destinação final por coprocessamento (ao invés da reciclagem do material). Além disso também puderam ser visualizadas baias separadas para pneus, metais e rejeitos para encaminhamento à aterro ou outra disposição, como a exemplo pilhas e baterias diversas, lâmpadas e outros.

Outra questão que nos chamou a atenção foi a separação dos pneus em uma baia separada, a qual o responsável nos informou que ficam à espera do acúmulo de volume de material adequado para o posterior encaminhamento diretamente à cimenteira, devido aos trituradores que eles possuem na planta da blendeira serem inadequados para a trituração de pneus e desta forma sofrem demasiado desgaste, assim estes materiais têm um tratamento diferenciado dos outros tipos de resíduo.

Durante a visita não foi possível obter dados sobre medições de emissões atmosféricas após a implementação do coprocessamento de rejeitos de RSU, como indicadores ambientais, variações nas emissões, ou informações sobre possíveis alterações que possam ter sido necessárias nas estruturas de filtros dos fornos de cimento. Quando questionado sobre estas informações, o responsável técnico pela blendeira informou que este tipo de informação é de responsabilidade do setor de meio ambiente do grupo, o qual não esteve disponível para esclarecer nossos

questionamentos, nem para visita à fábrica de cimento, como já comentado anteriormente.

No quadro QUADRO 06 temos um compilado das informações obtidas durante a visita técnica à blendeira, em abril de 2025.

QUADRO 06 – Visita Técnica à blendeira: Principais informações obtidas.

Visita Técnica 01 – Blendeira: Resumo de informações obtidas (Abril de 2025)	
Assunto	Dados obtidos
Materiais blendados e posteriormente coprocessados pela cimenteira	EPIs, estopas, embalagens diversas contaminadas, sólidos diversos com e sem contaminação, tecidos, solos contaminados, cavaco e serragem de madeira, e pneus inservíveis. Mais recentemente rejeitos secos de RSU.
Parâmetros físico-químicos considerados	Poder calorífico, umidade e cloro (lim 5%) definidos pela cimenteira. Outros parâmetros seguem a CEMA nº76.
Quantidade de rejeitos vindo do Programa ECOCIDADÃO (Curitiba)	1 a 2 caminhões de rejeitos de reciclagem por dia, aproximadamente 5 ton/dia
Mistura ou blend	Feito de acordo com a necessidade do forno, por meio de um balanço de massa.
Mecanismos de controle	Documentação, pesagem, validação visual, análises em laboratório próprio

5.1.3.2 Visita à Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia

A Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia atua há 12 anos na região do bairro São Miguel, em Curitiba, e conta com cerca de 14 associados, tendo como representante e líder um senhor conhecido pela comunidade como “Seu Dirceu”. O barracão, adquirido via financiamento pelo BNDES através de Fundo Socioambiental, possui estrutura completa com três áreas de trabalho, cozinha, banheiros com vestuário e chuveiros, sala administrativa e sala de descanso. Além

disso, a associação possui carreta própria para transporte de resíduos e alguns maquinários como uma esteira de trabalho, uma extrusora de isopores e uma prensa. Isso garante que a associação mantenha suas atividades de forma perene e tenha uma atuação contínua na comunidade, gerando emprego, renda e segurança financeira para as famílias envolvidas.

Além do recebimento de materiais potencialmente recicláveis cedidos pela Prefeitura de Curitiba via Programa ECOCIDADÃO, a associação também possui parcerias estratégicas com o CEASA e a Risotolândia. Essas parcerias têm o objetivo de complementar a renda dos catadores, em especial nos meses com menor volume de RSU via SEPARE (Caminhões da Prefeitura), o que segundo o relato de Seu Dirceu ocorre nos meses entre Junho e Setembro. Essas parcerias têm impacto direto no volume e na tipificação dos rejeitos encaminhados para coprocessamento, uma vez que para o caso da Associação Corbélia, agregam significativamente no volume mensal encaminhado para este tipo de destinação final.

Na associação, o trabalho de catação é feito em grupo, os materiais separados são pesados diariamente e o valor rateado entre todos os colaboradores, sendo que cada catador recebe sua parcela correspondente aos dias trabalhados. Para criar este fluxo de trabalho, na catação é utilizada uma esteira levemente inclinada, onde dois catadores ficam no topo abrindo os sacos de lixo, enquanto os demais fazem a catação manual e separam os materiais por tipo, em bags.

Para materiais como vidros/cacos e papelão, por motivos de logística os mesmos são dispostos em caçambas no pátio até serem transportados para o reciclador. Materiais como plásticos diversos e metais finos (exemplo: latas) são separados por subtipos, prensados em fardos e dispostos no pátio para posterior transporte. Isopores limpos são dispostos em uma ala separada onde se encontra a máquina extrusora para serem processados, enquanto isopores sujos são adicionados aos rejeitos. No dia da visita a máquina extrusora não estava em operação, mas o responsável relatou que quando há mais pessoas trabalhando no dia uma pessoa fica responsável pelo uso da máquina. O produto extrusado é armazenado para posterior venda.

Com relação aos rejeitos, estes são separados apenas entre secos e orgânicos (úmidos), não havendo outros subtipos de separação. Assim, todos os rejeitos secos

são encaminhados para coprocessamento, enquanto os rejeitos orgânicos são encaminhados para disposição final em aterro sanitário. Desta forma, todos os materiais que são considerados rejeitos secos são dispostos em um mesmo bag, sendo posteriormente colocados no pátio à espera do transporte para a blendeira e cimenteiras.

Segundo relato do Seu Dirceu são considerados rejeitos, pelos associados, materiais que não têm mercado para venda, também conhecidos como materiais “sem reciclabilidade”, a exemplo dos plásticos “estralantes” e fitas adesivas; além disso materiais muito sujos e/ou contaminados de alguma forma também são considerados rejeitos.

FIGURA 15 – Bag com rejeitos de reciclagem representativos dos tipos de materiais separados pelos catadores na Associação Corbélia



Fonte: Arquivo Pessoal da autora. Maio de 2025.

No QUADRO 07, é possível verificar uma lista de materiais considerados rejeitos secos, pelos associados, e assim, passíveis de encaminhamento para coprocessamento. Além disso o ANEXO 1 traz outras fotografias do arquivo pessoal da autora, tiradas durante a visita à associação, que ilustram os materiais segregados como rejeitos.

QUADRO 07 – Listagem de rejeitos de reciclagem.

Lista de rejeitos de reciclagem enviados para coprocessamento

- Madeiras diversas (exemplo: pallet)
- Pneus inservíveis
- Marmitas de isopor sujas
- Plástico tipo filme ou bolha
- Fita adesivas de diversos tipos
- Fitolhos de plástico (exemplo: cortina de festa, fitinhas de proteção de entrega)
- Garrafas de plástico “estralhantes” (BOPP)
- Garrafas de PET fino coloridas vermelha/rosa/laranja (sem mercado de compra)
- Embalagens multicamada (exemplo: sagadinho, bolacha, café, molhos, etc)
- Embalagem plástica fina (exemplo: pacote de macarrão, arroz, toalha umedecida, etc)
- Bandejas de isopor de carnes e frios
- Embalagens plásticas “estralantes” (exemplo: embalagens de padaria, etc)
- Roupas e outros itens têxteis
- Outros materiais diversos sem destinação específica (exemplo: chapas de plástico, etc)

Fonte: Relato do líder da Associação, feito durante visita técnica em Maio de 2025.

Segundo relato do líder da associação, cerca de 70% dos rejeitos que chegam na associação vão para coprocessamento, totalizando um valor aproximado de 30 ton/mês (só naquela associação), enviados para a blendeira e demais cimenteiras da região. No caso particular da Associação Corbélia, o maior volume de rejeitos enviados para coprocessamento é composto pelas marmitas de isopor da Risotolândia, provenientes do presídio municipal, quando estão muito sujas e sem condições de serem extrusadas. Assim, a tipificação e o volume de rejeitos secos daquela associação pode não ser replicável à outras associações do Programa ECOCIDADÃO.

FIGURA 16 – Pilhas de marmitas de isopor, dispostas no pátio da associação, à espera do transporte para coprocessamento.



Fonte: Arquivo Pessoal da autora. Maio de 2025.

Apesar dos associados terem conhecimento acerca de quais materiais serão considerados rejeitos, não foi possível verificar a presença de documentos ou materiais de orientação nas dependências da associação que oficializem esta orientação, tornando a catação de rejeitos subjetiva ao conhecimento adquirido dos associados. Tal atividade se caracteriza então pela variabilidade no processo de separação dos materiais, especialmente aqueles ditos “contaminados”, uma vez que o conceito de contaminação não está estipulado de forma técnica e padronizada para todas as associações, e depende do julgamento dos próprios associados. Um exemplo que podemos destacar são embalagens com resquícios de substâncias como margarinas, maioneses e molhos que, em algumas associações, são

descartadas imediatamente como rejeito e em outras os associados recorrem à limpeza deste material para garantir sua reciclagem.

Assim, observou-se de forma geral que alguns materiais acabam sendo encaminhados para coprocessamento mesmo que não façam parte da lista disposta no QUADRO 07, devido a estas diferenças no manejo dos resíduos e a falta de uma padronização e orientações visuais nas dependências da associação que possam ser replicáveis a todas as associações. Em decorrência, durante a visita pôde-se visualizar chapas de plásticos e metais maleáveis diversos, inclusive a presença de uma mochila escolar de rodinhas inteira, na área de rejeitos a serem encaminhados para coprocessamento, indicando que materiais diferenciados que fogem do conhecimento por parte dos catadores acerca de como proceder, são categorizados como rejeitos e podem ser enviados para coprocessamento, tendo em vista que não há por parte da associação mecanismos de controle formais estabelecidos que regem esta segregação de rejeitos, tornando a decisão de segregação de cada item subjetiva.

Segundo relato do líder da associação, a transportadora faz a coleta dos rejeitos secos, madeiras e pneus inservíveis, duas vezes na semana, enviando este material para duas cimenteiras diferentes da região. Apesar de terem conhecimento de quais cimenteiras são favorecidas pela catação destes rejeitos, a associação não tem controle ou conhecimento específico sobre qual proporção de material vai para cada uma delas. O pagamento pelo serviço de catação destes rejeitos, de todas as associações, é concentrado em apenas em um líder, Seu Dirceu, que posteriormente faz o repasse do valor proporcional para cada associação.

Com relação à adesão ao encaminhamento dos rejeitos, nos foi informado pelo servidor da prefeitura que a iniciativa funciona de forma consistente há apenas 1 (um) ano, e que nos 02 (dois) anos anteriores foram realizados apenas períodos de teste para validação da atividade. Segundo relato do servidor, antes da implementação da iniciativa, a prefeitura realizou uma visita técnica as instalações de uma das cimenteiras que realiza a atividade de coprocessamento, com a presença de todos os líderes das associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis de Curitiba, com o objetivo de mostrar como o processo funciona e qual destino os rejeitos teriam. Apesar disso, ainda se relata resistência por parte de algumas associações, à adesão completa a esta iniciativa, sob a alegação de que estariam

“queimando o material deles” e que isso os prejudicaria financeiramente. O servidor reiterou que apenas materiais sem possibilidade de reciclagem estariam sendo enviados para coprocessamento e que a resistência se tratava de um não entendimento do processo, por parte de algumas poucas associações e resistência a mudanças na forma de trabalho.

Já na visita à Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia, também foram obtidos dados quantitativos e qualitativos sobre os rejeitos encaminhados à coprocessamento. No QUADRO 08 temos um compilado destas informações.

QUADRO 08 – Visita Técnica à Associação Corbélia: Principais informações obtidas.

Visita Técnica 02 – Associação Corbélia: Resumo de informações obtidas (Maio de 2025)	
Assunto	Dados obtidos
Tempo de atuação	12 anos
Associados	14 (quatorze)
Tempo de atuação no repasse de rejeitos de reciclagem para coprocessamento	1 (um) ano oficialmente, 2 (dois) anos de teste.
Trabalha com outras parceiras?	Sim, CEASA e Risotolândia
Fluxo de trabalho	Em grupo, por meio do uso de esteira e catação manual em grupo.
Manejo dos materiais	vidros/cacos e papelão: são dispostos em caçambas no pátio; plásticos diversos e metais finos: separados por subtipos, prensados em fardos e dispostos no pátio; isopores limpos: extrusados e dispostos em sala separada; rejeitos: dispostos em bags ou sacos de lixo no pátio
Manejo de rejeitos	Separação entre secos e orgânicos. Rejeitos secos vão para coprocessamento, rejeitos orgânicos vão para aterro sanitário.
Quantidade de rejeitos enviados para coprocessamento	30 ton/mês (média), 70% dos rejeitos totais

Materiais enviados para coprocessamento	Dispostos no QUADRO 05
Principal material enviado para co-processamento	Marmitas de isopor da Risotolândia
Retorno para a associação	R\$50,00/ton, em média R\$1500,00/mês

5.2 Resultados do Cálculo de Emissões de CO₂ e CO₂e

A seguir são apresentados os resultados da aplicação da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol, a partir dos dados obtidos nas etapas de coleta de dados e de preparação e tratamento de dados, fazendo-se as considerações já mencionadas para cada caso.

5.2.1 Definições

Para o estudo de caso ao qual este trabalho se debruça, ambas as atividades de coprocessamento de rejeitos de RSU em forno de cimento e deposição de RSU em aterro são classificadas como atividades de Escopo 1, dado que as emissões de GEE, inclusos CO₂ e CO₂e, são de responsabilidade e controle das organizações em questão.

Desta forma definem-se as seguintes categorias pertencentes ao Escopo 1:

“Combustão estacionária: emissões de GEE provenientes da queima de combustível, em que ocorre sua oxidação. A energia gerada pela combustão geralmente é utilizada para produzir vapor de água ou energia elétrica. A fonte de emissão é estacionária, ou seja, não se trata de um meio de transporte. Exemplos: caldeiras, fornos, queimadores, turbinas, aquecedores, incineradores, motores, geradores, explosivos, flares, etc.

(...)

Resíduos sólidos e efluentes líquidos: emissões de GEE provenientes do tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos. As emissões podem ocorrer por decomposição em aterros sanitários, processo de compostagem, tratamento de efluentes, entre outros. A emissão decorrente da incineração de resíduos também está incluída nessa categoria. Exemplos: compostagem de resíduos alimentares (CO₂ e CH₄), manejo de dejetos de animais (CH₄, N₂O), tratamento de esgoto (CH₄ e N₂O), resíduos aterrados (CH₄), incineração de resíduos perigosos (CO₂, CH₄ e N₂O), etc.”

*Nota Técnica versão 4.0, 2018
Equipe do Programa Brasileiro GHG Protocol et al.*

Adicionalmente, as Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol (2018), para o setor de minérios, especificamente o setor de cimento e cal, categorizam como escopo 1 e combustão estacionária: *“processos realizados no forno de clínquer, secagem de matérias-primas e produção de energia”*., corroborando assim, com a categorização da atividade de coprocessamento de rejeitos de RSU em fornos de cimento nas especificações definidas acima. Já a atividade de deposição em aterro de resíduos (e rejeitos) entram, conseqüentemente, na categoria de “Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos”

A própria ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol determina dois tipos de Resíduos Municipais: fração biomassa e fração não-biomassa, com base em definições do IPCC. Para o caso da atividade de coprocessamento de rejeitos de reciclagem entende-se que o combustível considerado será a fração não-biomassa do RSU, assim definido:

“Resíduos Municipais (fração não-biomassa): Incluem resíduos gerados por domicílios, indústrias, hospitais e setor terciário, que são incinerados em instalações específicas e utilizados com propósitos energéticos. Apenas a fração não-biodegradável do combustível deve ser incluída.”

*Plataforma do Programa Brasileiro GHG Protocol,
versão 2025/1. et al.*

A plataforma também traz fatores de emissão padronizados por tipo de combustível/resíduo/produto, a serem utilizados para a aplicação das equações de

cálculo da planilha. Para os Resíduos Municipais (fração não-biomassa) os fatores de emissão também têm embasamento em determinações do IPCC, e podem ser resumidos na TABELA 08 a seguir:

TABELA 08 - Fatores de Emissão para Resíduos Sólidos Municipais (fração não-biomassa)

Fator de Emissão	Valor (REF:IPCC, 2006)	Unidade
Poder calorífico inferior (PCI)	10	GJ/t
Densidade	1000	kg/t
CO ₂	91700	kg/TJ
CH ₄ (Setor Manufatura ou Construção)	30	kg/TJ
N ₂ O (Setor Manufatura ou Construção)	4	kg/TJ

Fonte: Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol, v.2025/1, REF: IPCC 2006

5.2.2 Emissões do Coprocessamento de Rejeitos

Para o cálculo das emissões advindas do coprocessamento de rejeitos, aqui considerados Resíduos Municipais (fração não-biomassa), foram consideradas as quantidades mínimas e máximas dispostas no QUADRO 03, corrigidos para valores anuais, além das considerações já mencionadas na descrição da metodologia, considerando-se a atividade de coprocessamento como Escopo 01 - Combustão Estacionária e pertencente ao setor de Manufatura ou Construção. Desta forma, foram obtidos os resultados dispostos nas TABELAS 09 e 10 que seguem:

TABELA 09 - Emissões do Coprocessamento de rejeitos de reciclagem, Cenário de repasse **MÍNIMO** (350 ton/mês ou 4200 ton/ano) para o ano de 2024

GEE	Em tonelada de gás	Em tonelada métricas de CO ₂ equivalente
CO ₂	3.851,400	3.851,400
CH ₄	1,260	35,280
N ₂ O	0,168	44,520
TOTAL		3.931,200

Reprodução: Relatório gerado pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.

TABELA 10 - Emissões do Coprocessamento de rejeitos de reciclagem, Cenário de repasse **MÁXIMO** (450 ton/mês ou 5400 ton/ano) para o ano de 2024

GEE	Em tonelada de gás	Em tonelada métricas de CO ₂ equivalente
CO ₂	4.951,800	4.951,800
CH ₄	1,620	45,360
N ₂ O	0,216	57,240
TOTAL		5.054,400

Reprodução: Relatório gerado pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.

Considerando que não haja alterações nas quantidades máximas e mínimas de rejeitos repassados para coprocessamento, e o período total de implementação da iniciativa (2022, 2023, 2024), a TABELA 11 traz o acumulado de emissões para o período total.

TABELA 11 - Emissões do Coprocessamento de rejeitos de reciclagem. Acumulado dos anos 2022, 2023 e 2024.

Cenário	Emissão acumulada (tCO ₂ e)
Mínimo	11.793,6
Máximo	15.163,2

5.2.3 Emissões do despejo em Aterro Sanitário

O cálculo das emissões advindas do despejo em aterro sanitário dos resíduos coletados em Curitiba, ocorreu em duas partes, como já mencionado anteriormente: Cálculo do despejo da massa total de RDO coletado em Curitiba, e cálculo do despejo da fração não biomassa do RDO coletado, ambos para a série temporal de 2010 a 2024. As quantidades de resíduos em tonelada/ano, a composição do resíduo, classificação do aterro, considerações e demais valores corrigidos já foram abordados na etapa de metodologia. Desta forma, as TABELAS 11 e 12 demonstram o cálculo aproximado das emissões para cada um dos cenários mencionados.

TABELA 12 - Emissões do Despejo da MASSA TOTAL DE RDO coletada em Curitiba, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2010-2024)

GEE	Em tonelada de gás	Em tonelada métricas de CO ₂ equivalente
CO ₂	-	-
CH ₄	19.739,705	552.711,726
N ₂ O	-	-
TOTAL		552.711,726

Reprodução: Relatório gerado pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.

TABELA 13 - Emissões do Despejo da FRAÇÃO NÃO-BIOMASSA do RDO coletado em Curitiba, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2010-2024)

GEE	Em tonelada de gás	Em tonelada métricas de CO ₂ equivalente
CO ₂	-	-
CH ₄	513,642	14.381,989
N ₂ O	-	-
TOTAL		14.381,989

Reprodução: Relatório gerado pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.

Similarmente, o cálculo das emissões advindas do despejo em aterro sanitário dos rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO, ocorreu em dois cenários: considerando-se a quantidade mínima de rejeitos ano a ano, e a quantidade máxima de rejeitos. Ambos os cenários foram calculados para os anos 2022, 2023 e 2024, dado o comparativo com o período de implementação do repasse para coprocessamento relatado. As quantidades de resíduos em tonelada/ano, a composição do resíduo, classificação do aterro, considerações e demais valores corrigidos já foram abordados na etapa de metodologia. Desta forma, as TABELAS 14 e 15 demonstram o cálculo aproximado das emissões para cada um dos cenários mencionados.

TABELA 14 - Emissões do despejo hipotético da quantidade **MÍNIMA** de rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2022-2024)

GEE	Em tonelada de gás	Em tonelada métricas de CO ₂ equivalente
CO ₂	-	-
CH ₄	2,772	77,612
N ₂ O	-	-
TOTAL		77,612

Reprodução: Relatório gerado pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.

TABELA 15 - Emissões do despejo hipotético da quantidade **MÁXIMA** de rejeitos de reciclagem do Programa ECOCIDADÃO, em Aterro Sanitário conceito A. Cálculo aproximado. (2022-2024)

GEE	Em tonelada de gás	Em tonelada métricas de CO ₂ equivalente
CO ₂	-	-
CH ₄	3,564	99,787
N ₂ O	-	-
TOTAL		99,787

Reprodução: Relatório gerado pela ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol.

6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho revelaram de diversas formas o potencial e as fragilidades que permeiam as estratégias governamentais de manejo de resíduos sólidos urbanos, e qual o papel destas nas mudanças climáticas globais. De um lado, temos uma demanda crescente por soluções alternativas de disposição final de resíduos e rejeitos, em especial aqueles com baixa ou nenhuma biodegradabilidade, com foco na erradicação de lixões, aumento do tempo de vida de aterros e busca por um crescimento do percentual de recuperação de resíduos. Paralelamente temos setores industriais e de manufatura, como o cimenteiro, que veem nas alternativas propostas uma via econômica, que auxilia seus programas de sustentabilidade e em muitos casos reduz custos energéticos e de operação.

Esta demanda por soluções alternativas, na perspectiva governamental, não é por acaso, se trata de uma tendência mundial que se torna a cada ano uma necessidade mais pungente. Com cerca de 8 bilhões de habitantes, a produção de RSU mundial já beira os 2,3 bilhões de toneladas/dia; dos quais metade se concentra em 30 países, sendo a concentração proporcional ao nível de desenvolvimento do país. (ONU, 2024) O Brasil, infelizmente, não está longe nas estatísticas, com a geração de 221 mil toneladas/dia de RSU, concentrada nas áreas mais urbanizadas e em especial na região sudeste, cuja contribuição chega a 39,9% (ABRELPE, 2024).

O crescimento na geração de resíduos é uma questão multifatorial, que perpassa questões socioeconômicas, demográficas e culturais. Em seu estudo *“The impact of socioeconomic factors on municipal solid waste generation in São Paulo, Brazil”*, VIEIRA V. H. A. e MATHEUS D. R. (2017), avaliam diferentes indicadores

socioeconômicos na geração de resíduos e concluem que desigualdades sociais são os principais fatores que contribuem à geração de RSU, com destaque para regiões densamente populadas e urbanizadas. Além disso, a geração de RSU acompanha diretamente a renda per capita, sendo até três vezes maior nas parcelas da sociedade com alta renda, quando comparadas com àquelas mais vulneráveis economicamente (IPCC, 2007).

Isso também se reflete na adequação dos governos estaduais e municipais às políticas de manejo de resíduos sólidos e nos investimentos necessários para o bom funcionamento destes mecanismos de saneamento básico. Quando olhamos para municípios grandes e ricos, o repasse econômico para este setor pode representar um custo de apenas 3%, enquanto para municípios menores e pobres este pode representar até 15% do orçamento municipal (ABREMA, 2024).

Quando abordamos questões culturais, aqui definidas como “as diversas formas de saber, ser e fazer, em comum por um grupo de diferentes pessoas” (OMS, 2022) entramos em questões ainda mais complexas, que no contexto de resíduos sólidos, na atualidade, enfrentam mudanças culturais globais, impulsionadas pelo modelo econômico disposto e que incentivam a comodidade, consumismo e descartabilidade de produtos e materiais, contribuindo diretamente para o aumento das quantidades de resíduos gerados a nível mundial (UNEP, 2019).

Enfrentar essa tendência demanda políticas bem definidas e resilientes, que agem à longo prazo para incentivar a responsabilidade coletiva. É imperativo que estas políticas resistam as trocas de governo e as tendências para que as iniciativas colocadas em prática tenham tempo hábil para moldar fatores subjetivos como costumes, moral e valores; importantes na formação do indivíduo e no seu comprometimento com a manutenção de um meio ambiente saudável. O acesso à educação ambiental crítica e continuada, também é um fator determinante sobre os padrões de consumo, de geração e segregação de resíduos, bem como a manutenção da limpeza pública. À exemplo da “Família Folha”, programa curitibano de educação ambiental voltado especialmente ao público infantil e familiar, diversas iniciativas governamentais podem moldar a cultura e participação da população local quando se trata do manejo de resíduos sólidos, tanto na segregação e coleta, quanto na aceitação da implementação de diversas alternativas de coleta, tratamento e disposição final de resíduos.

6.1 A QUESTÃO DO COPROCESSAMENTO DE REJEITOS DE RECICLAGEM

O estudo de práticas de coprocessamento em fornos de cimento, ainda se apresenta limitado a certos tipos de combustíveis alternativos, como a biomassa, o gás natural e resíduos de construção civil. Na excepcionalidade de estudos que abordem resíduos sólidos municipais para a composição do CDR, a maioria considera frações totais deste RSU (biomassa e não-biomassa juntos), havendo poucos estudos expressivos que façam distinção entre a fração não-biomassa, como os rejeitos de reciclagem.

Em geral, a fração seca dos resíduos sólidos municipais é altamente heterogênea, como pôde ser verificado na lista de rejeitos de reciclagem relatada no QUADRO 03 o que torna a busca por alternativas de manejo e disposição final um desafio para todas as instâncias governamentais. Na teoria, isto também exigiria um maior rigor e controle, mas na prática o que vemos é que em diversos cenários a gravimetria da fração seca, bem como a composição de cada material ali presentes podem ser dados desconhecidos ou pouco aprofundados, tornando este um objeto de difícil manejo e gerenciamento, sendo passível de impactos ambientais não contabilizados ou subjugados.

Um exemplo disso, são os dados de composição gravimétrica dos resíduos de Curitiba, disponibilizados no PMGIRS/2023 que traz marcos temporais de apenas 3 anos distintos, e não apresenta dados explícitos sobre as quantidades de RSU fração não-biomassa coletados no município. Desta forma os dados tiveram que ser extrapolados para obtermos aproximações para todos os períodos de interesse. Além disso, nos dados de composição gravimétrica do RSU total a categoria com maior percentual de resíduos é intitulada “outros materiais” (17,19% em 2021), não especificando o tipo ou composição destes resíduos. Quando falamos dos rejeitos de reciclagem repassados para o coprocessamento, não há dados disponíveis acerca da tipificação destes rejeitos, apenas suas quantidades médias, o que também inviabilizou uma análise mais precisa sobre a composição e potencial energético destes materiais.

A ausência de detalhamento quanto aos “outros materiais” não especificados, bem como a indisponibilidade de dados gravimétricos referentes aos rejeitos de reciclagem, compromete significativamente a avaliação do desempenho ambiental do coprocessamento proposta neste trabalho. Essa lacuna evidencia a fragilidade das estratégias atualmente adotadas para a disposição final desses resíduos. Embora as licenças ambientais emitidas incluam categorias gerais de resíduos, a falta de padronização e de especificidade na classificação dificulta a quantificação precisa das frações biogênica e não biogênica presentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU) encaminhados ao coprocessamento — um dado fundamental para a estimativa acurada das emissões reais de dióxido de carbono geradas durante o processo.

Esse aspecto adquire uma relevância crítica quando falamos de resíduos plásticos, isopores, embalagens multicamadas e resíduos ricos em PVC. A fração plástica do RSU, em particular, apresenta o maior poder calorífico dentre os possíveis componentes do RSU, chegando a 24.213,17 kJ/kg (PIAIA et al., 2021), e desta forma se torna um material de grande interesse para o coprocessamento. Em contrapartida, estes resíduos aumentam significativamente os níveis de cloro (HCl), dioxinas e furanos no processo de combustão, além de poderem conter metais pesados e organoclorados, poluentes que podem não ser totalmente destruídos no processo de queima. (ROCHA et al., 2011) Apesar disso, HASANBEIGI & BHADBHADHE (2023) afirmam que sob condições específicas, a substituição de 20% de carvão ou coque por CDR e materiais plásticos poderia reduzir as emissões de CO₂ de 2% a 4%, demonstrando que apesar de viável em contextos específicos a redução de emissões de CO₂ é pequena na introdução de materiais plásticos. Outros fatores devem ser estudados e levados em consideração para poder se afirmar com certeza que a substituição por parcelas plásticas é de fato vantajosa ambientalmente.

Outros estudos, como o “Environmental Analysis on Co-Processing of Domestic Waste in Cement Kiln” de YANG X. (2020), afirmam que a etapa de pré-tratamento dos resíduos sólidos urbanos, cujas taxas de umidade e heterogeneidade são altas, levam a um aumento de 3,46% do consumo de carvão por tonelada de clínquer produzido, devido a necessidade de secagem mecanizada do material, o que em contrapartida resulta em um aumento de 0,8% das emissões de CO₂, com a utilização do coprocessamento de RSU.

Apesar das limitações e ponderações aqui colocadas, os dados consolidados das licenças ambientais e das visitas técnicas realizadas indicam que já está em vigor o uso regular e institucionalizado do coprocessamento como rota de valorização energética de rejeitos de reciclagem em Curitiba. A parceria entre as associações de catadores, o poder público e a indústria cimenteira, evidenciada na integração do PROGRAMA ECOCIDADÃO com três cimenteiras da RMC, aponta para uma busca por parte do poder público de alinhar possíveis ganhos ambientais a benefícios sociais e econômicos. O incentivo financeiro de R\$50,00 por tonelada, embora modesto, representa uma alternativa viável quando comparada com a disposição dos rejeitos em aterro, e contribui para a redução da destinação inadequada de resíduos. Por outro lado, é necessário ressaltar que iniciativas como esta também necessitam de cautela e monitoramento, a fim de evitar a competição desigual entre o ganho econômico proveniente do envio de materiais para coprocessamento e a reciclagem destes mesmos materiais. Tal conduta se faz ainda mais pertinente no contexto curitibano, no qual já é observado por parte de algumas associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis certa resistência à adesão ao programa de repasse de rejeitos para coprocessamento, sugerido pela prefeitura, demonstrando um receio já estabelecido de que o mercado de recicláveis deixe de se tornar competitivo, colocando em risco a fonte de renda de um grupo extensivamente marginalizado. Desta forma, é imperativo que o retorno financeiro do coprocessamento jamais ultrapasse aquele do mercado reciclador, premissa essa amparada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual prioriza a reciclagem de materiais e enxerga o reaproveitamento energético como tratamento e/ou disposição final de resíduos.

6.2 Emissões de CO₂e e Rejeitos de Reciclagem: As alternativas avaliadas

Analisando estudos que abordam a utilização de RSU no coprocessamento em fornos de cimento, podemos ver um consenso favorável ao coprocessamento, com estudos afirmando que a substituição do carvão e coque de petróleo em aproximadamente 40% por combustíveis alternativos como o CDR poderia representar a redução de 33% de emissões de CO₂ e uma economia de R\$4,6 milhões/ano para a indústria cimenteira (VERDIANI et al, 2025). Estes estudos,

porém, não consideram a separação do RSU em fração biomassa e não-biomassa, e falham ao não abordar a composição do resíduo municipal utilizado no estudo, bem como adaptações necessárias nas instalações para acomodar a queima dos resíduos plásticos, por exemplo.

Neste trabalho realizamos o cálculo aproximado de emissões de CO₂ advindas da combustão estacionária de resíduos sólidos municipais considerando apenas a fração não-biomassa, especificamente rejeitos de reciclagem. O período considerado está diretamente relacionado ao tempo de implementação da iniciativa (3 anos), e desta forma a aplicação da ferramenta do Programa Brasileiro resultou em uma emissão acumulada estimada de 15.163,2 tCO₂e ao longo de três anos, considerando as quantidades máximas de rejeito enviadas anualmente. Em contraste, as emissões estimadas para o despejo hipotético desses mesmos rejeitos em aterros sanitários Conceito A foram expressivamente menores, variando entre 77,61 tCO₂e (cenário mínimo) e 99,79 tCO₂e (cenário máximo), conforme demonstrado nas tabelas apresentadas.

A diferença substancial pode parecer contraditória ao que se é esperado para a atividade de coprocessamento e o consenso literário, e levanta importantes questionamentos sobre os reais benefícios climáticos do coprocessamento para este tipo específico de resíduo. Algumas hipóteses explicam essa aparente contradição:

(i) ao considerar “Resíduos Municipais (fração não-biomassa)” a ferramenta assume a composição dos resíduos coprocessados como majoritariamente de origem fóssil (plásticos e embalagens não recicláveis), o que gera emissões diretas de CO₂ durante a queima;

(ii) a eficiência considerada pela ferramenta ao adotarmos Conceito A para os cenários de disposição em aterro sanitário, que contam com sistemas de captação e tratamento de biogás, reduzem substancialmente as emissões de metano (CH₄), principal gás de efeito estufa emitido por resíduos orgânicos;

(iii) o perfil temporal das emissões, pois enquanto no coprocessamento elas ocorrem de forma imediata, no aterro são diluídas ao longo do tempo

(iv) a baixa biodegradabilidade dos rejeitos de reciclagem que, apesar de terem grande volume, sofrem pouca ou nenhuma decomposição em aterros e desta forma

tem pouca ou nenhuma contribuição nas emissões totais de CO₂e no cenário de disposição em aterro.

Além disso, a ausência de dados específicos sobre a composição dos rejeitos encaminhados ao coprocessamento impediu o desconto das frações renováveis nas emissões de CO₂, como é permitido pelo IPCC em inventários de GEE. Com isso, a estimativa gerada para o coprocessamento pode ter sido superestimada, ao passo que os resíduos mais estáveis e menos biodegradáveis nos aterros contribuíram com emissões mais baixas do que o normalmente esperado para resíduos urbanos em geral.

Esses resultados sugerem que, embora o coprocessamento represente uma opção interessante de valorização energética, com o desvio de rejeitos para aterros, nem sempre essa rota é a mais eficiente em termos de mitigação climática, sobretudo quando se lida com resíduos predominantemente fósseis, secos e de composição desconhecida. Ao mesmo tempo, a confiabilidade ambiental no coprocessamento depende do controle rigoroso dos resíduos admitidos, das emissões geradas durante a queima e do monitoramento contínuo das chaminés e cinzas, sugerindo que um aprimoramento destas ferramentas de controle pode trazer benefícios ambientais e os esclarecimentos necessários.

Cabe aqui a ponderação acerca do expressivo interesse do poder público em promover o desvio de rejeitos que anteriormente seriam destinados a aterros sanitários, direcionando-os para formas alternativas de destinação final, dentre as quais o coprocessamento se apresenta como uma das principais estratégias adotadas. Tal interesse revela-se pertinente, uma vez que a disposição final de resíduos em aterros sanitários constitui uma atividade de elevado impacto ambiental, contribuindo significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) responsáveis pelas mudanças climáticas globais. Adicionalmente, a operação e o gerenciamento de aterros sanitários impõem elevados custos à administração pública, ao mesmo tempo em que geram passivos ambientais de longo prazo, cujos efeitos perduram mesmo após o encerramento das atividades desses empreendimentos. Os resultados obtidos neste trabalho também corroboram com esta perspectiva, tendo em vista que o resultado aproximado de geração de CO₂e proveniente do RDO disposto em aterros sanitários foi de 552.711,726 tCO₂e, sendo que somente a fração

não-biomassa poderia contribuir com até 14.381,989 tCO₂e, para o período estudado (2010-2024).

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de prolongar a vida útil dos aterros existentes, como forma de evitar a implantação de novas unidades e, conseqüentemente, a degradação de áreas adicionais. Nesse contexto, os rejeitos oriundos da atividade de reciclagem emergem como um desafio, uma vez que, por apresentarem baixa ou nula degradabilidade, ocupam considerável volume nos aterros, contribuindo para a sua rápida saturação sem oferecer retorno energético ou ambiental.

6.3 Limitações do trabalho

É fundamental reconhecer as limitações às quais este estudo esteve sujeito e que, de certa forma, podem ter influenciado os resultados obtidos nos cenários de coprocessamento e aterramento de rejeitos provenientes da reciclagem. Dentre essas limitações, destacam-se as dificuldades enfrentadas na cooperação entre os agentes envolvidos, tanto do setor público quanto do setor privado, o que comprometeu significativamente o grau de detalhamento dos dados necessários para a realização dos cálculos.

No que se refere ao setor privado, informações relativas ao controle de emissões e a estudos internos sobre os possíveis impactos da adoção do coprocessamento por parte das cimenteiras não foram disponibilizadas, tampouco acessíveis por outras vias. Em diversas ocasiões, observou-se a ausência total de colaboração por parte das empresas tanto para contato quanto para visita às instalações. No âmbito público, identificou-se uma carência significativa de dados concisos e completos — em alguns casos, inexistentes — relacionados ao repasse de rejeitos para o coprocessamento. Além disso, a ausência de um controle rigoroso sobre a classificação dos materiais considerados como rejeitos e posteriormente encaminhados às cimenteiras compromete a confiabilidade dos resultados obtidos, especialmente no que se refere ao cálculo das emissões associadas à disposição em

aterros, dado que tampouco foi possível confirmar as informações por meio de documentos oficiais de quaisquer tipos. A necessidade de manejar excessivamente os dados com o intuito de suprir tais lacunas informacionais podem ter introduzido erros acumulativos, comprometendo a fidelidade dos resultados em relação à realidade observada.

Adicionalmente, cabe ressaltar que este trabalho se limitou à quantificação das emissões diretas de gases de efeito estufa em cada um dos cenários analisados, não contemplando uma avaliação do ciclo de vida dos rejeitos nem considerando emissões indiretas relacionadas às etapas de manipulação, transporte externo e interno, entre outros aspectos relevantes.

Ainda assim, apesar das limitações descritas, o presente estudo cumpre seu objetivo de fomentar a reflexão crítica sobre a adoção do coprocessamento como principal estratégia de gestão dos rejeitos oriundos da reciclagem, contribuindo para o debate em torno da viabilidade ambiental e operacional dessa prática.

6.4 Recomendação de pesquisas futuras

Com o objetivo de aprofundar a compreensão sobre a temática abordada, recomenda-se a realização de pesquisas que visem preencher as lacunas de informação identificadas ao longo deste estudo, especialmente no que se refere à atualização dos dados sobre a composição dos resíduos no município de Curitiba e dos rejeitos atualmente encaminhados ao coprocessamento.

Adicionalmente, destaca-se o interesse público na realização de Análises de Ciclo de Vida (ACV) aplicadas ao coprocessamento dos rejeitos provenientes do PROGRAMA ECOCIDADÃO. A comparação entre os resultados dessas análises e os de outras formas de tratamento e disposição final de resíduos permitiria avaliar, de maneira mais abrangente e fundamentada, se o coprocessamento constitui, de fato, a alternativa com maior potencial de ganhos ambientais. Tal abordagem seria essencial para verificar sua efetividade frente aos desafios contemporâneos de mitigação das mudanças climáticas, e as estratégias dispostas no PLANCLIMA-

Curitiba, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo trazer luz à discussão do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e sua relação com as mudanças climáticas globais, dando ênfase ao coprocessamento de rejeitos provenientes da triagem de recicláveis, no contexto do município de Curitiba e no âmbito do Programa ECOCIDADÃO. A análise, conduzida a partir da coleta de dados junto a agentes públicos, da associação de catadores e empresa de blendagem visitadas, e da aplicação de cálculos com base na ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol, visou estimar as emissões de CO₂e associadas aos cenários de coprocessamento e disposição final em aterros sanitários.

Os resultados obtidos sugerem que o coprocessamento pode representar uma alternativa ambientalmente viável para a destinação dos rejeitos recicláveis, especialmente quando considerado o contexto de saturação dos aterros sanitários e os altos custos operacionais e ambientais associados à sua manutenção. No entanto, não se pode afirmar com alto grau de certeza que o coprocessamento de rejeitos de reciclagem seja, de forma generalizada, a melhor opção disponível. Sua efetividade e sustentabilidade dependem de uma série de condicionantes, como a composição dos resíduos, a eficiência dos sistemas de controle de emissões, a rastreabilidade dos materiais e a articulação entre os setores envolvidos. Para se tornar uma opção com ganhos ambientais claros, primeiro se faz necessária um melhor gerenciamento de RSU nas etapas anteriores à disposição final, como uma melhor e maior triagem e padronização dos rejeitos segregados nas associações, que ainda é carregado de subjetividades.

A ausência de dados atualizados sobre a composição gravimétrica dos rejeitos, bem como a dificuldade de acesso a informações detalhadas por parte das cimenteiras e da administração pública, constitui limitações relevantes que comprometem a precisão dos resultados apresentados. Além disso, este estudo limitou-se à análise das emissões diretas de GEE, não abrangendo aspectos mais

amplos como o ciclo de vida dos resíduos, impactos socioeconômicos ou viabilidade econômica em escala regional.

Diante dessas considerações, conclui-se que o coprocessamento de rejeitos de reciclagem deve ser compreendido como uma alternativa potencial dentro de um conjunto mais amplo de estratégias para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, ao invés de uma solução única ou definitiva. Recomenda-se, o aprofundamento das pesquisas sobre o tema, com foco em Avaliações de Ciclo de Vida (ACV) e na construção de bases de dados mais robustas e transparentes.

Espera-se que este trabalho contribua para o avanço do debate técnico e político sobre o papel do coprocessamento e da adoção de parcerias estratégicas público-privadas para o enfrentamento dos desafios ambientais relacionados à gestão dos resíduos urbanos no contexto das mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS

- ABCP. **Panorama do coprocessamento: uma tecnologia sustentável.** São Paulo: ABCP, 2020. Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2020/10/Panoramaco_processamento_2020_bx.pdf. Acesso em: jun. 2025.
- ABCP. **Panorama do coprocessamento: uma tecnologia sustentável.** São Paulo: ABCP, 2022. Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2023/05/Panorama_Coprocessamento_2022_Ano_Base_2021_v2.pdf. Acesso em: jun. 2025.
- ABREMA. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil.** 2023. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: jun. 2025.
- ARAUJO, G. J. F. O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 8, n. 57, p. 52–61, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17271/2318847285720202069>. Acesso em: jun. 2025.
- BRUHN, N. C. P. et al. Recyclable waste in Brazilian municipalities: a spatial-temporal analysis before and after the national policy on solid waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 421, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138503>. Acesso em: jun. 2025.
- CORREIA, J. N. ; FIGUEIREDO-DE-ANDRADE, C. A.; LIMA, N. B. Lixo e reciclagem: a percepção ambiental de estudantes de escolas públicas e privadas do município de Bom Jesus do Itabapoana (RJ). *Perspectivas Online: Ciências Humanas e Sociais Aplicadas*, v. 15, n. 6, p. 53–65, 2016. Disponível em: https://www.perspectivasonline.com.br/humanas_sociais_e_aplicadas/article/download/972/772/3413. Acesso em: jun. 2025.
- CRUZ, M. C. et al. Coprocessamento: reutilização de resíduos industriais na produção de cimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO CIMENTO, 1., 2023. Anais [...]. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbcc/article/view/3671/3651>. Acesso em: jun. 2025.
- FADINI, P. S. ; FADINI, A. A. B. Lixo: desafios e compromissos. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Edição Especial de Maio*, 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/lixo.pdf>. Acesso em: jun. 2025.
- FREITAS, S. S. F.; NÓBREGA, C. C. N. Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 293–300, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000769>. Acesso em: jun. 2025.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 17, n. 6, p. 1503–1510, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL, MCID. **Diagnóstico Temático: manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL, MCID. **Painel: manejo dos resíduos sólidos urbanos 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/rs>. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL, MCID. **SNIS-RS: série histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL, MMA. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.html. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL, MMA. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Altera a Lei nº 11.445/2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL, MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares**. Brasília: MMA, 2022. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. **Decreto nº 10.936**, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. **Decreto nº 11.043**, de 13 de abril de 2022. Altera o Decreto nº 10.936/2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm. Acesso em: jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: jun. 2025.

HASANBEIGI, A. ; **BHADBHADHE, N.** Emissions impacts of alternative fuels combustion in the cement industry. San Francisco: Global Efficiency Intelligence,

2023. Disponível em: <https://www.globalefficiencyintel.com/reports/emissions-impacts-of-alternative-fuels-in-cement>. Acesso em: jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020: em discussão**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br>. Acesso em: jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024: versão 4**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br>. Acesso em: jun. 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2023: synthesis report**. Longer report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-synthesis-report/>. Acesso em: jun. 2025.

KLESHCHOV, A. **et al.** Environmental potential analysis of co-processing waste in cement kilns. *Journal of Ecological Engineering*, v. 20, n. 7, p. 51–58, 2019. DOI: 10.12911/22998993/109478.

KRENAK, AILTON. **Entrevista concedida a Vera Magalhães**. Roda Viva. São Paulo: TV Cultura, 06 jul. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pP3c2bOdk6o>. Acesso em: jun. 2025.

MEIRELES, A. R. Coprocessamento de resíduos em uma cimenteira de Cantagalo, RJ: investigação documental de um inquérito civil do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/11027>. Acesso em: jun. 2025.

MEYSTRE, L. **Analyse environnementale du co-processing des déchets dans l'industrie du ciment en Suisse**. 2016. Thèse (Master) – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2016. Disponível em: <https://infoscience.epfl.ch/record/220032>. Acesso em: jun. 2025.

MILANEZ, B. ; **FERNANDES, L. O.**; PORTO, M. F. S. A co-incineração de resíduos em fornos de cimento: riscos para a saúde e o meio ambiente. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p. 2143–2152, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232009000600021>. Acesso em: jun. 2025.

MILANEZ, B. ; **FONSECA, I. F.** Justiça climática e eventos climáticos extremos: uma análise da percepção social no Brasil. *Revista Terceiro Incluído*, v. 1, n. 2, p. 82–100, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/teri/article/view/17842/10673>. Acesso em: jun. 2025.

ONU BRASIL. **Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial**. 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/81186-humanidade-produz-mais-de-2-bilh%C3%B5es-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial>. Acesso em: jun. 2025.

ONU BRASIL. **Mundo joga um caminhão de lixo, por minuto, nos oceanos**. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/03/1812152>. Acesso em: jun. 2025.

PIAIA, E. **et al.** Potencialidades do uso energético de combustíveis derivados de resíduos sólidos urbanos (CDRu) na indústria brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 31., 2021, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: ABES, 2021. Disponível em: <https://abes-dn.org.br>. Acesso em: jun. 2025.

PONGELUPPE, P. C. **et al.** Municipal solid waste management (MSWM) in Brazil: drivers and best practices towards to circular economy based on European Union and BSI. *Journal of Cleaner Production*, v. 401, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136591>. Acesso em: jun. 2025.

RAMMÊ, R. **A política da justiça climática: conjugando riscos, vulnerabilidades e injustiças decorrentes das mudanças climáticas**. *Revista de Direito Ambiental*, v. 65, p. 367, 2015. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37763988/RTDoc_-_A_POLITICA_DA_JUSTICA_CLIMATICA-libre.pdf. Acesso em: jun. 2025.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; ESPÍRITO SANTO, B. C. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 1–10, jan./mar. 2011. DOI: 10.1590/S1413-41522011000100001.

THIN, G. L. **et al.** Overview of municipal solid wastes-derived refuse-derived fuels for cement co-processing. *Alexandria Engineering Journal*, v. 64, p. 153–174, 2023. DOI: 10.1016/j.aej.2022.11.053.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy planet, healthy people**. Nairobi: Cambridge University Press, 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK582037/>. Acesso em: jun. 2025.

VERDIANI, V. B. **et al.** Visão geral sobre o processo de coprocessamento na indústria do cimento no Brasil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 25, e014905, jan./dez. 2025. DOI: 10.1590/s1678-862120250004014905.

VIEIRA, V. H. A. M.; MATHEUS, D. R. The impact of socioeconomic factors on municipal solid waste generation in São Paulo, Brazil. *Waste Management & Research*, v. 35, n. 10, p. 1–7, 2017. DOI: 10.1177/0734242X17744039.

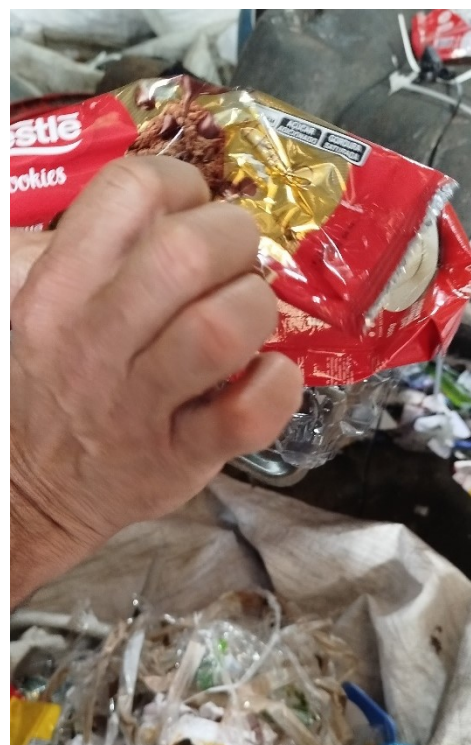
VIGNA, L. ; **FRIEDRICH, J.** ; GE, M. 4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor. World Resources Institute Brazil (WRI), 2020. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>. Acesso em: jun. 2025.

WORLD BANK. **World development indicators: global population**. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=SP.POP.TOTL&country=WLD>. Acesso em: jun. 2025.

YANG, X. **et al.** Environmental analysis on co-processing of domestic waste in cement kiln. Materials Science Forum, v. 975, p. 1527–1533, 2020. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.975.1527.

ANEXO 1 – Imagens registradas na visita técnica à Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Corbélia, em Curitiba, com foco nos rejeitos enviados para coprocessamento.

FIGURA 17 – Alguns tipos de rejeitos segregados em bags no barracão.



FIGURAS 18 – Rejeitos dispostos no pátio

