



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
DOUTORADO**

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM
ABORDAGEM DA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA E DA
ECONOMIA CIRCULAR: UM ESTUDO DE CASO**

Por

Samara Gonçalves Fernandes da Costa

*Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para
obtenção do grau de Doutora*



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– DOUTORADO –

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM
ABORDAGEM DA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA E DA
ECONOMIA CIRCULAR: UM ESTUDO DE CASO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora.

Samara Gonçalves Fernandes da Costa

Orientador: Prof. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C838g Costa, Samara Gonçalves Fernandes da.

Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com
abordagem da perspectiva de ciclo de vida e da economia
circular : um estudo de caso / Samara Gonçalves
Fernandes da Costa. - João Pessoa, 2023.
161 f. : il.

Orientação: Claudia Coutinho Nóbrega.
Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Resíduo sólido domiciliar. 2. Avaliação do Ciclo
de Vida - ACV. 3. Rota tecnológica - Sustentabilidade.
I. Nóbrega, Claudia Coutinho. II. Título.

UFPB/BC

CDU 628.4(043)

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMABORDAGEM
DA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA E DAECONOMIA CIRCULAR: UM
ESTUDO DE CASO**

SAMARA GONÇALVES FERNANDES DA COSTA

Tese aprovada em 18 de dezembro de 2023.

Período Letivo: 2023.2



Documento assinado digitalmente
CLAUDIA COUTINHO NOBREGA
Data: 18/12/2023 16:17:46-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof(a). Dr(a). CLAUDIA COUTINHO NÓBREGA– UFPB

Orientador(a)



Documento assinado digitalmente
ELISANGELA MARIA RODRIGUES ROCHA
Data: 22/12/2023 16:38:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof(a). Dr(a). ELISÂNGELA MARIA RODRIGUES ROCHA – UFPB

Examinador(a) Interno(a)



Documento assinado digitalmente
LARISSA GRANJEIRO LUCENA
Data: 22/12/2023 12:13:22-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof(a). Dr(a). LARISSA GRANJEIRO LUCENA – UFC

Examinador(a) Interno(a)

Prof(a). Dr(a). IRMA TERESA MERCANTE – UNCuyo

Examinador(a) Externo(a)

MERCANTE Irma
Teresa

Firmado digitalmente por
MERCANTE Irma Teresa
Fecha: 2023.12.18 22:27:03 -03'00'

Prof(a). Dr(a). MARISETE DANTAS DE AQUINO – UFC

Examinador(a) Externo(a)



Documento assinado digitalmente
MARISETE DANTAS DE AQUINO
Data: 22/12/2023 04:56:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

João Pessoa/PB

2023

AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha vida e trajetória acadêmica, foram diversas dificuldades e desafios, incluindo mudanças de temas durante o doutorado, empregos e até de país. No entanto, quando olho para trás nesta jornada, é impossível não me sentir profundamente grata pela rede de amor, apoio e inspiração que me cerca. Esta pesquisa não teria sido possível sem o carinho e o encorajamento de tantas pessoas queridas que estão ao meu lado e que conheci no caminho.

Agradeço à minha amada mãe, que, em meio a tantas dificuldades, sempre acreditou em mim e me incentivou a buscar meus sonhos, até aqueles que nem sabia que tinha. Ela acredita mais em mim do que eu mesma.

Aos meus irmãos, que estão sempre ao meu lado. Eles abraçaram essa aventura comigo e sempre estiveram disponíveis para me ajudar.

À minha avó amada, que nunca se esqueça de mim e nem do meu amor mesmo à distância.

Aos familiares, meus queridos tio(a)s pelo carinho.

À minha orientadora, Claudia Nóbrega, sou imensamente grata por sua orientação, amizade e por não ter me deixado desistir ao longo deste processo tão intenso.

Aos amigos de longa data que sempre estiveram e se fizeram presentes em todas as horas, boas e ruins! Muito obrigada por me levantarem, aguentarem, animarem..., amarem e acreditarem em mim! Em especial, a Katyanne Farias, Alex Backer, Aislan Paiva, Renata Leite, Max Silva, Ana Camila, Nathalia Aquino, Júlia Lessa, Lucila Fernandes, Heloise Rufine. Eles mesmo de longe estão sempre disponíveis para que eu nunca me sinta sozinha.

Aos amigos que fiz em Guimarães e aos que aqui reencontrei, agradeço toda força, apoio e por me acolherem nesta cidade, em especial, Graziella Saft, Larissa Damaceno, Felipe Teixeira, Rafaela Benicio, Augusto Ygor, Luciano Rietter, Marie Eugenie, Mariko Juliana, Henrique, Ximeno.

Ao Polo de Inovação em Engenharia de Polímeros (PIEP), aos meus colegas e amigos de trabalho, em especial à “equipa ECA”, que compreenderam minhas responsabilidades e me apoiaram enquanto eu buscava conciliar minhas obrigações profissionais com meus estudos. Suas colaborações e amizade foram inestimáveis.

Também quero estender meus agradecimentos a todos os trabalhadores que participaram da minha pesquisa e que compartilharam histórias difíceis e de luta. Em especial, aos garis e catadores de materiais recicláveis participantes, que, mesmo com as adversidades e vulnerabilidades sociais, se prestaram a contribuir com este estudo. Agradeço imensamente como pesquisadora e cidadã.

À EMLUR e às empresas participantes deste trabalho que disponibilizaram tempo e informações necessárias para realização desta pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal da Paraíba (UFPB), responsável por toda a minha formação acadêmica, desde a graduação, passando pelo mestrado e, agora, o doutorado. Meu reconhecimento a todos os professores, em especial, Carmem Gadelha, Hamilcar, Tarcisio Cabral, Elisangela Rocha.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro ao projeto 'Sustentabilidade de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos integrados à bioeconomia na cidade de João Pessoa/Paraíba – Brasil' - Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 - Faixa A - Grupos Emergentes e Nº 405112/2021-1."

RESUMO

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (GRSU) é um dos maiores desafios da sociedade e tem provocado graves impactos ao meio ambiente, a economia e a saúde pública além de ser considerado um entrave rumo a sustentabilidade do setor, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Assim, o objetivo principal desta pesquisa foi analisar a sustentabilidade da rota tecnológica de resíduos sólidos urbanos, de origem domiciliar, de João Pessoa/Paraíba – Brasil, sob a perspectiva do ciclo de vida e da economia circular considerando as dimensões ambiental, econômica e social. Foi utilizada a metodologia de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) que é composta pelos métodos de Avaliação do ciclo de vida ambiental (ACV), Custo do Ciclo de Vida (CCV) e Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S). Inicialmente, foi identificada a rota tecnológica do resíduo domiciliar e para realização da ACV foram desenvolvidos mais três cenários com diferentes metas de valorização dos resíduos. A ACV foi realizada através do software SIMAPRO (versão 9.2.0.2), foi selecionado o método de avaliação de impacto CML e as categorias: aquecimento global, destruição da camada de ozônio, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização. Para o aspecto econômico, foi utilizada a abordagem de CCV com levantamento dos principais custos associados à rota tecnológica existente para a coleta regular e seletiva, no ano de 2018, bem como os benefícios obtidos a partir do programa de coleta seletiva, da reciclagem e da compostagem. O desempenho econômico do programa de coleta seletiva foi analisado a partir do método de análise de benefício/custo (ABC). A ACV-S foi realizada através da aplicação de questionários com os seguintes *stakeholders*: trabalhadores, usuários e governança. A análise dos resultados da dimensão ambiental indicou que a rota tecnológica existente é o que apresenta os maiores impactos ambientais, sendo, em geral, o aterro sanitário, a coleta e o transporte as etapas que mais contribuíram. A reciclagem apresentou impactos positivos em todos os cenários analisados. Em relação aos custos, a coleta seletiva se mostrou 1,9 vezes mais cara que a regular, entretanto, os benefícios socioeconômicos são bastante positivos, entre os quais pode-se citar a geração de renda aos catadores de materiais recicláveis e o melhor desempenho ambiental pela prática da reciclagem. Além disso, a redução no consumo de energia e reduções nas emissões de CO_{2eq} foram observadas nos cenários analisados tanto pela reciclagem quanto pela prática da compostagem, proporcionando benefícios ambientais e econômicos ao setor. No desempenho social, a categoria de benefícios trabalhistas foi a que apresentou o pior resultado seguido das categorias de governança, desenvolvimento local, condições socioeconômicas, desenvolvimento profissional e igualdade de oportunidades/discriminação. A ampliação dos princípios da economia circular, como reciclagem e compostagem, contribuiu fortemente para promover a sustentabilidade do sistema ao fomentar a recuperação de matéria-prima, reduzir emissões e custos, bem como a possibilidade de melhorar a renda dos trabalhadores e suas condições de vida. O estudo concluiu que a ASCV se mostrou eficiente na avaliação conjunta dos três pilares da sustentabilidade através da mensuração de impactos ambientais, econômicos e sociais do setor além de propiciar a identificação dos principais pontos a terem maior atenção pelos tomadores de decisão.

Palavras-chave: Rota tecnológica. Resíduo sólido domiciliar. Avaliação do ciclo de vida. Custo do ciclo de vida. Avaliação do ciclo de vida social.

ABSTRACT

The management of urban solid waste (MSW) is one of society's biggest challenges and has caused serious impacts on the environment, the economy and public health, in addition to being considered an obstacle to the sustainability of the sector, especially in developing countries, such as Brazil. Thus, the main objective of this research was to analyze the sustainability of the technological route of urban solid waste, of household origin, in João Pessoa/Paraíba – Brazil, from the perspective of the life cycle and circular economy considering the environmental, economic and social dimensions. The Life Cycle Sustainability Assessment (ASCV) methodology was used, which is composed of the Environmental Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Cost (LCC) and Social Life Cycle Assessment (S-LCA) methods. Initially, the technological route for household waste was identified and to carry out the LCA three more scenarios were developed with different waste recovery targets. The LCA was carried out using the SIMAPRO software (version 9.2.0.2), the CML impact assessment method and the categories were selected: global warming, ozone layer destruction, photochemical oxidation, acidification and eutrophication. For the economic aspect, the CCV approach was used with a survey of the main costs associated with the existing technological route for regular and selective collection, in 2018, as well as the benefits obtained from the selective collection program, recycling and composting. The economic performance of the selective collection program was analyzed using the benefit/cost analysis (ABC) method. The LCA-S was carried out through the application of questionnaires with the following *stakeholders*: workers, users and governance. The analysis of the results of the environmental dimension indicated that the existing technological route is the one that presents the greatest environmental impacts, with, in general, the landfill, collection and transportation being the steps that contributed the most. recycling had positive impacts in all scenarios analyzed. Concerning costs, selective collection proved to be 1.9 times more expensive than regular collection, however, the socioeconomic benefits are quite positive, including the generation of income for collectors of recyclable materials and better environmental performance through the practice of recycling. In addition, the reduction in energy consumption and reductions in CO_{2eq} emissions. were observed in the scenarios analyzed by both recycling and the practice of composting, providing environmental and economic benefits to the sector. In social performance, the labor benefits category presented the worst result, followed by the categories of governance, local development, socioeconomic condition, professional development and equal opportunities/discrimination. The expansion of circular economy principles, such as recycling and composting, has strongly contributed to promoting the sustainability of the system by promoting the recovery of raw materials, reducing emissions and costs, as well as the possibility of improving workers' income and their living conditions. The study concludes that the ASCV proved to be efficient in the joint assessment of the three pillars of sustainability by measuring the environmental, economic and social impacts of the sector, in addition to enabling the identification of the main points that require greater attention by decision-makers

Keywords: Technological route. Domestic solid waste. Life cycle assessment. Life cycle cost. Assessment of the social life cycle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos Coletados, de 2017 a 2021, no Brasil.....	20
Figura 2 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Urbanos no Mundo.....	21
Figura 3 - Composição Gravimétrica Média do Resíduo Sólido Urbano coletado no Brasil.....	22
Figura 4 - Etapas do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	23
Figura 5 – População atendida com coleta domiciliar, no ano de 2020, no Brasil.....	24
Figura 6 - Composição da frota de coleta domiciliares e públicos dos municípios e tipo de veículo.....	26
Figura 7 - Tipologias de Resíduos Recicláveis Presentes na Coleta Seletiva.....	29
Figura 8 - Avaliação da sustentabilidade de ciclo de vida.....	37
Figura 9 - Ciclo de Vida de um Produto.....	39
Figura 10 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida.....	39
Figura 11 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	51
Figura 12 - Localização do município de João Pessoa/PB.....	52
Figura 13 – Fluxograma dos resíduos sólidos urbanos de João Pessoa.....	54
Figura 14 - Quantidade de Resíduo Sólido Domiciliar Gerado no Município, Período de 2014 a 2020.....	54
Figura 15 - Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de João Pessoa.....	55
Figura 16 – Rotas tecnológicas do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa	70
Figura 17 – Caminhão compactador utilizado no gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa.....	71
Figura 18 - Estação de tratamento de efluente (ETE) do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.....	73
Figura 19 – Planta de recuperação energética do biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.....	73
Figura 20 – Fronteiras e fluxo de massa para o cenário C1 do gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa.....	74
Figura 21 - Fronteiras e fluxo de massa para os cenários C2 e C3 do gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa.....	75
Figura 22 - Resultado da categoria de impacto ambiental aquecimento global cada cenário proposto.....	77
Figura 23 - Resultado da categoria de impacto ambiental aquecimento global por etapa para cada cenário proposto.....	78
Figura 24 - Resultado da categoria de impacto ambiental destruição da camada de ozônio para cada cenário proposto.....	80
Figura 25 - Categoria de impacto ambiental destruição da camada de ozônio, por etapa	80
Figura 26 - Categoria de impacto ambiental oxidação fotoquímica para cada cenário proposto.....	81
Figura 27 - Categoria de Impacto Ambiental Oxidação Fotoquímica, Por Etapa para Cada Cenário Proposto.....	82
Figura 28 - Resultado da categoria de impacto ambiental acidificação para cada cenário proposto.....	83
Figura 29 - Resultado da categoria de impacto ambiental acidificação, por etapa para cada cenário proposto.....	83
Figura 30 - Resultado da categoria de impacto ambiental- eutrofização para cada cenário proposto	84

Figura 31 - Resultado da categoria de impacto ambiental – eutrofização., por etapa para cada cenário proposto.....	85
Figura 32 - Quantidade de trabalhadores do sexo masculino e feminino na área de estudo.....	98
Figura 33 – Faixa etária dos trabalhadores da área de estudo.....	98
Figura 34 - Faixa etária dos usuários entrevistados.....	101
Figura 35 – Características socioeconômicas dos usuários entrevistados.....	102
Figura 36 – Desempenho dos indicadores de impacto social da rota tecnológica do sistema de RSD de João Pessoa.....	105
Figura 37 - Desempenho social das categorias de impacto da rota tecnológica do sistema de RSD de João Pessoa.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de impacto, indicadores e métricas para avaliação social de sistemas de gestão de resíduos.....	65
Quadro 2 - Descrição dos critérios de pontuação.....	66
Quadro 3 - Categorias de impacto, indicadores e métricas para avaliação social de sistemas de gestão de resíduos – alterações.....	67
Quadro 4 - Descrição dos critérios de pontuação – alterações.....	68
Quadro 5 – Avaliação do desempenho social da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa para o <i>stakeholder</i> trabalhador.....	96
Quadro 6 - Avaliação do desempenho social da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa para o <i>stakeholder</i> usuários.....	102
Quadro 7 – Avaliação do desempenho social da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa para o <i>stakeholder</i> autoridade municipal.....	103

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileiras de Normas Técnicas
ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANCAT – Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
ACV-S – Avaliação do Ciclo de Vida Social
ASCARE-JP – Associação dos Catadores de Recicláveis de João Pessoa
ASCV – Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
ASMJP – Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa
ASTRAMARE – Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis
CCV – Custo do Ciclo de Vida
CEP/HULW – Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Lauro Wanderley
CNS – Conselho Nacional de Saúde
EC – Economia Circular
EMLUR – Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana
EPI – Equipamentos de Proteção Individual
GEE – Gases de Efeito Estufa
GRSU – Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU – Organização das Nações Unidas
PACJP – Plano de Ação Climática de João Pessoa
PACJP – Plano de Ação Climática de João Pessoa
PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos
PNMC – Política Nacional sobre Mudanças Climáticas
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PSILCA – Product Social Impact Life Cycle Assessment
RSD – Resíduos Sólidos Domésticos
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SAM – Subcategory Assessment Method
SHDB – Social Hotspot Database
TCR – Taxa de Coleta de Resíduos
TMB – Tratamento Mecânico Biológico
UFPB – Universidade Federal da Paraíba
UNEP – Programa das Nações Unidas para o Ambiente

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Vantagens e Desvantagens da Compostagem.....	30
Tabela 2 - Principais Métodos de Avaliação de Impacto e suas Características.....	41
Tabela 3 - Fator de caracterização das principais categorias de impacto ambiental.....	42
Tabela 4 - Categorias de Stakeholder e as Subcategorias de Impacto Sugeridas pela UNEP/SETAC.....	48
Tabela 5 - Divisão de bairros por lote de cada prestadora de serviços no município de João Pessoa.....	53
Tabela 6 - Metas do Plano Municipal Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de João Pessoa para expansão na recuperação dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	56
Tabela 7 – Composição dos custos e benefícios, diretos e indiretos, do programa de coleta seletiva no município de João Pessoa.....	62
Tabela 8 – Bairros de João Pessoa Atendidos pelo Programa de Coleta Seletiva.....	71
Tabela 9 - Quantidades de resíduos recuperados nos núcleos e na Central de Triagem por tipologia. no ano de 2018.....	72
Tabela 10 - Quantidade de Resíduos Sólidos Domiciliares tratados no município por tipo de tratamento final nos cenários analisados.....	75
Tabela 11 - Consumo de água, eletricidade, diesel e arame nas etapas núcleo, central de triagem, compostagem e aterro sanitário.....	76
Tabela 12 – Processos utilizados para modelagem da avaliação do ciclo de vida da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa.....	76
Tabela 13 - Custos diretos, anuais e mensais, envolvidos no programa de Coleta Seletiva do município de João Pessoa no ano de 2018.....	87
Tabela 14 - Valores médios da venda de materiais recicláveis pelas associações de materiais recicláveis em João Pessoa.....	88
Tabela 15 – Benefícios diretos com a venda de resíduos recicláveis (V) pelas associações de coleta seletiva no ano de 2018.....	89
Tabela 16 – Benefícios diretos com a venda de resíduos recicláveis (V) pelas associações de coleta seletiva no ano de 2018 para os cenários alternativos.....	89
Tabela 17 – Benefícios indiretos do programa de coleta seletiva em João Pessoa.....	90
Tabela 18 - Relação Benefício/Custo da coleta seletiva, considerando-se benefícios diretos e indiretos e custos diretos.....	90
Tabela 19 - Energia economizada devido à coleta seletiva no município de João Pessoa..	91
Tabela 20 - Quantidade evitada de emissão de gases do efeito estufa (GEE) em toneladas de CO ₂ eq por tipo de material para a rota tecnológica existente em 2018.....	92
Tabela 21 - Créditos de carbono a partir da não emissão de gases de efeito estufa (GEE) no aterro sanitário de João Pessoa no ano de 2018.....	94
Tabela 22 - Número de profissionais entrevistados.....	95

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 HIPÓTESE	18
1.3 ESTRUTURA DA TESE	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: CONCEITOS E ASPECTOS GERAIS.....	19
<i>2.1.1 Geração e composição gravimétrica</i>	<i>20</i>
2.2 ETAPAS DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	22
<i>2.2.1 Coleta e Transporte.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.2 Triagem</i>	<i>26</i>
<i>2.2.3 Tratamento e Disposição Final.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.4 Reciclagem</i>	<i>28</i>
<i>2.2.5 Compostagem.....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.6 Aterro Sanitário</i>	<i>31</i>
2.3 SUSTENTABILIDADE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ECONOMIA CIRCULAR	33
2.4 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA (ASCV) NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	36
<i>2.4.1 Avaliação do Ciclo De Vida (ACV) – Dimensão Ambiental</i>	<i>38</i>
<i>2.4.2 Custo do Ciclo de Vida (CCV) - Dimensão Econômica.....</i>	<i>44</i>
<i>2.4.3 Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) - Dimensão Social.....</i>	<i>46</i>
3 METODOLOGIA.....	51
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
3.2 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA	53
3.3 DEFINIÇÃO DOS STAKEHOLDERS	55
3.4 METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA – ACV	58
<i>3.4.1 Objetivo e escopo.....</i>	<i>58</i>
<i>3.4.2 Inventário do ciclo de vida</i>	<i>58</i>
<i>3.4.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida</i>	<i>59</i>
3.5 METODOLOGIA APLICADA AO CUSTO DE CICLO DE VIDA (CCV).....	60
<i>3.5.1 Custo do Ciclo de Vida (CCV)</i>	<i>61</i>
<i>3.5.1.1 Definição do objetivo e escopo.....</i>	<i>61</i>
<i>3.5.1.2 Inventário do Custo do Ciclo de Vida</i>	<i>62</i>
<i>3.5.1.3 Avaliação do Impacto do Custo do Ciclo de Vida da coleta seletiva.....</i>	<i>63</i>
<i>3.5.1.4 Interpretação do Custo do Ciclo de Vida.....</i>	<i>63</i>
<i>3.5.1.5 Outros benefícios econômicos</i>	<i>63</i>
3.6 METODOLOGIA APLICADA PARA A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA-SOCIAL (ACV-S)	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1. ROTA TECNOLÓGICA DO RESÍDUO SÓLIDO DOMICILIAR DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA E ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS.....	70
4.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA.....	75
A ASCV É COMPOSTA PELAS ACV, CCV E ACV-S DESENVOLVIDAS SEPARADAMENTE E INTERPRETADAS, POSTERIORMENTE, DE FORMA CONJUNTA.	75
<i>4.2.1 Avaliação do ciclo de vida – ambiental</i>	<i>75</i>
<i>4.2.2 Custo de Ciclo de Vida</i>	<i>85</i>
<i>4.2.3 Avaliação do Ciclo de Vida Social.....</i>	<i>94</i>
<i>4.2.4 Análise integrada e Economia Circular</i>	<i>107</i>

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
REFERÊNCIAS	111
APÊNDICE A - RESUMO DAS EMISSÕES EM TODAS AS CATEGORIAS ANALISADAS	121
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS TRABALHADORES DA EMPRESA PRIVADO-PÚBLICA DE COLETA URBANA, EMPRESA DE RECICLAGEM E DO ATERRO SANITÁRIO.....	122
APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO APLICADO AOS TRABALHADORES ATRAVESSADORES/SUCATEIROS	132
APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS.....	138
APÊNDICE F – ENTREVISTA EMLUR.....	144
APÊNDICE G – ENTREVISTA EMPRESA ATERRO SANITÁRIO.....	150
APÊNDICE H – ENTREVISTA EMPRESA DE COLETA PRIVADA.....	154
APÊNDICE I – ENTREVISTA EMPRESA DE RECICLAGEM.....	158

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos é um dos maiores desafios da sociedade atual (Bruhn *et al.* 2023; Iqbal *et al.* 2020). O modelo econômico no qual vivemos é baseado em uma economia linear, orientada pela lógica de extrair, produzir, utilizar e descartar (Rebehy *et al.* 2023). Esse modelo produz práticas insustentáveis de produção e consumo, que associados a elevada taxa de urbanização e crescimento populacional humano, resultam no aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), tornando o planeta uma unidade habitacional de resíduos (Mandpe *et al.*, 2022).

Estima-se que a produção global de RSU seja de 2,01 bilhões de toneladas por ano, devendo aumentar para 3,4 bilhões de toneladas em 2050 (Kaza *et al.*, 2018). A maior parte dessa massa é “perdida” em aterros sanitários ou lixões, culminando em desperdício de recursos naturais (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Essa problemática é intensificada nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, onde as infraestruturas locais e os sistemas de gerenciamento de RSU nem sempre conseguem acompanhar os maiores volumes gerados (Liikanen *et al.*, 2018).

A má administração desses resíduos, juntamente com o descarte inadequado, pode acarretar problemas ambientais, como poluição do ar, do solo e da água, além de questões de saúde pública e segurança para a população, devido à exposição a substâncias tóxicas. Também pode atrair vetores responsáveis pela transmissão de doenças (Ghosh *et al.*; 2023; Hoang *et al.*, 2022). Além disso, existem reflexos maiores, como exposto no estudo de Edwards *et al.* (2017), que relataram impactos devido ao esgotamento de recursos naturais e danos ao ecossistema.

Segundo o documento “*Bridging the Gap in Solid Waste Management: Governance Requirements for Results*” do Banco Mundial, publicado no ano de 2021, estima-se que mais de 80% dos plásticos nos oceanos provêm de RSU não geridos adequadamente e, além da poluição, os resíduos sólidos contribuem para as emissões de gases de efeito estufa (GEE). O setor de resíduos sólidos gerou cerca de 1,6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (CO_{2eq.}) em 2016, ou seja, cerca de 5% das emissões globais. Sem melhorias nos sistemas, prevê-se que as emissões aumentem para 2,6 bilhões de toneladas de CO_{2eq.} até 2050 (World Bank, 2021).

Diante desse cenário, é urgente a busca por formas de conservação dos recursos naturais e tem se intensificado o estudo de diferentes métodos de manejo dos RSU mais sustentáveis. Esses métodos devem ser capazes de lidar com todos os materiais no fluxo de geração e descarte de forma efetiva, economicamente viável, socialmente aceitável e sustentável de forma a não

comprometer as necessidades da atual e futuras gerações, bem como ter foco na preservação, reutilização e reciclagem de recursos, em detrimento da eliminação destes (Bui *et al.*, 2022).

Esta preocupação é refletida na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, um acordo entre países para garantir o bem-estar humano, proteger o meio ambiente em harmonia com o avanço tecnológico e os meios de sustento da população (United Nations, 2015). Foram estabelecidos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 169 metas que representam compromissos internacionais relacionados ao combate à pobreza e desigualdade, redução da fome, mudanças climáticas, disponibilidade energética, proteção da fauna e flora, produção e consumo sustentáveis, dentre outros.

Segundo Yay (2015), para construir soluções voltadas à promoção da sustentabilidade no setor de resíduos, é necessário a mentalidade do ciclo de vida que proporciona uma visão mais holística e integrada de todas as etapas, impactos, agentes e recursos envolvidos, e está presente no conceito de economia circular (EC). A EC busca manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor dentro do ciclo de vida do sistema (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Assim, reduz a necessidade de extração de matérias-primas virgens, por meio de processos de minimização de resíduos e prolongamento da vida útil do produto.

Em sistemas de RSU, ao apoiar a transição para uma economia circular, procura-se contribuir para a sustentabilidade ambiental, econômica e social, em especial, para o ODS 12, que trata explicitamente de reduzir a geração de resíduos por meio da EC e suas ações de prevenção, redução, reciclagem e reuso de resíduos; e para o ODS 11, referente a cidades e comunidades sustentáveis, que reforça a importância da gestão municipal como essencial para a implementação de estratégias de sustentabilidade voltadas à destinação adequada dos resíduos, considerando a recuperação das frações recicláveis e orgânicas (ODSBRASIL, 2022).

Segundo Pérez *et al.* (2018), os países desenvolvidos têm aplicado essas abordagens e investido em sistemas de gestão voltados à promoção da hierarquia de resíduos (não geração, redução, reutilização, reciclagem e valorização energética do resíduo) para maximizar sua volta à cadeia produtiva. A União Europeia, por exemplo, tem exigido de seus Estados-Membros uma gestão sustentável por meio de diretrizes e políticas voltadas para uma transição ao modelo de EC para o setor (Magrini; D'Addato; Bonoli, 2020).

Em países em desenvolvimento, apesar da forma dominante de gestão de resíduos sólidos ainda ser a disposição final em aterros sanitários (Ferronato *et al.*, 2022; Polzer *et al.*, 2016), estima-se que, desde o final da década de 1990, houve melhorias na disponibilidade de infraestruturas e nos aspectos técnicos do tratamento de resíduos (Rebehy *et al.*, 2023).

No Brasil, por exemplo, o marco legal para a gestão de resíduos sólidos veio com a publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 10.936 no ano de 2022. A PNRS foca na gestão integrada e no gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos para maior sustentabilidade, através da promoção da hierarquia de resíduos; estabelecimento da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto; extinção de lixões; e inclusão dos catadores de materiais recicláveis nas atividades relacionadas (Brasil, 2022a).

O município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, está em processo de expansão urbana e com possibilidades de ajustes em sua tendência de crescimento para um modelo mais sustentável. Políticas e planos foram desenvolvidos para estimular a sustentabilidade do setor de resíduos e que estabelecem metas voltadas a EC como a promoção da hierarquia dos resíduos com vistas, principalmente, a reduzir a quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário por meio de práticas de compostagem e expansão da coleta seletiva. Apesar da existência de uma estrutura política no setor, na prática, os números na cidade ainda são incipientes e carecem de informações mais realísticas sobre o atual estado de gerenciamento dos resíduos. Além disso, a seleção entre alternativas de rotas tecnológicas de resíduos exige considerar aspectos de desempenho ambiental, viabilidade econômica e aceitação social integrando às condições locais (Asefi *et al.*, 2020).

Neste processo, é necessário criar e estudar instrumentos para monitorar, avaliar e apoiar a transição para um modelo mais sustentável e circular. Além disso, percebe-se a falta de critérios de desempenho para avaliar os impactos ambientais, econômicos e sociais das práticas existentes para escolhas das mesmas considerando as características específicas da localidade, o que é um problema identificado no estudo de Peiris e Dayarathne (2023) para países em desenvolvimento.

Assim, a busca por sistemas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) devido à necessidade de métodos e ferramentas de avaliação para desempenho ambiental e de sustentabilidade (Finkbeiner *et al.*, 2010). A ASCV permite identificar os impactos negativos e positivos de aspectos ambientais, econômicos e sociais de produtos/serviços ao longo do seu ciclo de vida para usar em processos de tomada de decisão (UNEP; SETAC, 2011).

Devido à ausência de um marco normativo sobre ASCV, alguns autores como Zhou *et al.* (2019), Li, Nitivattananon e Li (2015), Menikpura *et al.* (2012), Foolmaun e Ramjeawon (2013), Vinyes *et al.* (2013) e Kloeppfer (2008), publicaram estudos voltados ao gerenciamento de resíduos sólidos com abordagens de ASCV e realizaram propostas metodológicas para

envolver nas análises, não só as questões ambientais, como também as sociais e econômicas em três estudos de ciclo de vida separados (Alejandrino; Mercante; Bovea, 2021). Segundo Paes (2020), mesmo analisadas de formas separadas, as dimensões devem ser consideradas de forma integrada e correlacionando seus resultados, quando possível.

Esses estudos observaram a necessidade de fortalecer os *trade-offs* metodológicos e obter uma base consistente para futuros estudos de caso da ASCV. Além disso, por ser uma metodologia em desenvolvimento, existe carência na literatura que enfoque os conceitos da economia circular para direcionar sistemas de gerenciamento de RSU à sustentabilidade. Alejandrino, Mercante e Bovea (2021) identificaram que, durante o período de 2009 a 2021, dos estudos referentes à ASCV existentes na literatura, apenas 7% (sete artigos) são aplicados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Dito isso, este trabalho buscou preencher esta lacuna científica, promovendo uma análise mais ampla, avaliando de forma conjunta, os impactos ambientais, econômicos e sociais de um gerenciamento de RSU, em especial, os domiciliares e integrar a análise ao conceito de circularidade com orientação à tomada de decisão. Percebe-se ainda que em estudos os quais consideram o aspecto social, nem sempre são estimados os diversos *stakeholders* envolvidos nos sistemas de RSU, principalmente, os trabalhadores presentes em todo o ciclo de vida sendo: garis (empresas públicas e privadas), catadores de materiais recicláveis, atravessadores (agentes intermediários), governantes, funcionários de unidades de tratamento e/ou disposição final, entre outros.

Esse estudo almejou responder a seguinte pergunta: (i) **A metodologia de ASCV permite identificar e mensurar os potenciais impactos ambientais, econômicos e sociais da rota tecnológica dos resíduos sólidos urbanos, de origem domiciliar, no município de João Pessoa?**

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os impactos ambientais, econômicos e sociais, ou seja, a avaliação de sustentabilidade de ciclo de vida (ASCV), da rota tecnológica dos resíduos sólidos urbanos, de origem domiciliar, de João Pessoa, estado da Paraíba – Brasil.

Para atingir esse objetivo, a pesquisa reuniu os objetivos específicos a seguir:

- a) Identificar a rota tecnológica dos resíduos sólidos urbanos, de origem domiciliar, de João Pessoa;

- b) Realizar uma Avaliação do ciclo de vida (ACV) da rota tecnológica identificada e propor cenários que considerem menores impactos ambientais negativos
- c) Avaliar o impacto econômico da rota tecnológica estudada através do Custo de Ciclo de Vida (CCV) com foco no programa de coleta seletiva, reciclagem e compostagem;
- d) Avaliar os aspectos sociais da rota tecnológica através da Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S);
- e) Analisar a presença do conceito de economia circular e sua influência no gerenciamento desses resíduos em João Pessoa;
- f) Propor contribuições para o planejamento mais sustentável do setor, considerando as perspectivas do ciclo de vida e da economia circular.

1.2 HIPÓTESE

Esta tese de doutorado investigou as seguintes hipóteses:

- a) A metodologia de ASCV permite analisar os diferentes aspectos da sustentabilidade da rota tecnológica dos resíduos, de origem domiciliar, no município de João Pessoa.
- b) O gerenciamento desses resíduos, no município de João Pessoa, integra conceitos da perspectiva da economia circular.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em cinco capítulos, incluindo esta introdução como o primeiro. No segundo capítulo foi apresentada uma sucinta revisão bibliográfica sobre o tema. No terceiro capítulo foi descrita a metodologia utilizada nesta pesquisa. No quarto capítulo foram demonstrados os resultados e discussões acerca do que foi analisado. No quinto capítulo, são apresentadas as considerações gerais, e em seguida as referências, apêndices e anexos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, foi realizada uma revisão do estado da arte referente aos conceitos fundamentais sobre RSU e as principais etapas que compõem o seu gerenciamento, juntamente a temas relevantes como o desenvolvimento sustentável e a integração com a economia circular no setor.

Por fim, foi apresentada a metodologia de Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV), conectando seu desenvolvimento e suas três dimensões: ACV (ambiental), CCV (econômico) e ACV-S (social), com foco aplicado ao gerenciamento de RSU.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: CONCEITOS E ASPECTOS GERAIS

No Brasil, os resíduos sólidos são definidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b) como:

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

Eles podem ser classificados de acordo com sua periculosidade e origem. Os perigosos apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental. Já, os não-perigosos são aqueles que não guardam nenhuma dessas características (BRASIL, 2010b).

Quanto ao critério da origem, a referida Lei os classifica em domiciliares, de limpeza urbana, sólidos urbanos, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, dos serviços públicos de saneamento, industriais, de serviço de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes e da mineração.

Os RSU são originários das atividades domésticas em residências urbanas, e os de limpeza urbana são provenientes da limpeza das vias públicas. Os resíduos de estabelecimentos comerciais, por suas características se enquadram na categoria dos resíduos sólidos domiciliares - RSD (BRASIL, 2010b).

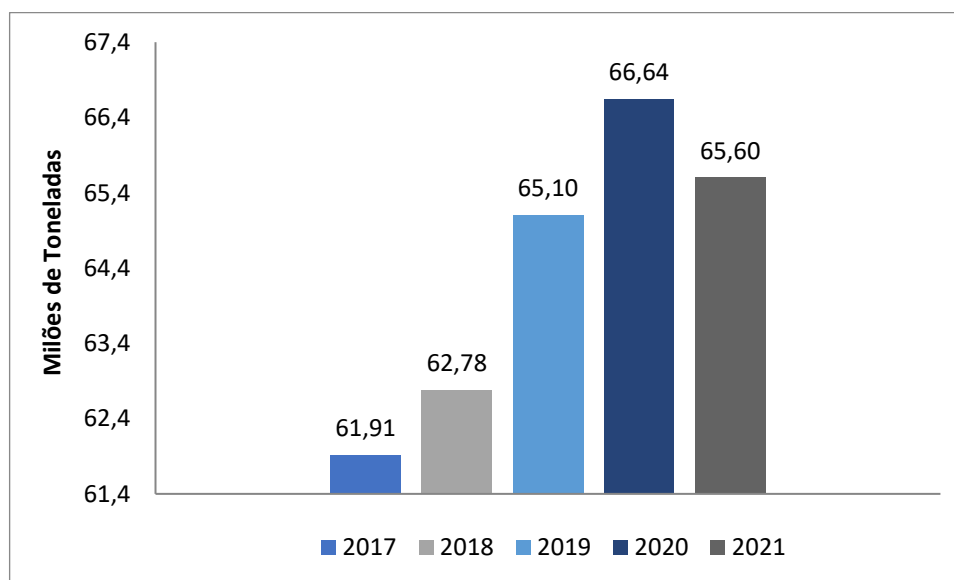
2.1.1 Geração e composição gravimétrica

Segundo Heidari *et al.* (2019), a geração de resíduos se tornou uma questão global devido à quantidade crescente descartada no ambiente nas últimas décadas, por fatores como aumento da população mundial, tendência geral de industrialização e desenvolvimento econômico e industrial (Bruhn *et al.*, 2023; Chien *et al.*, 2023).

No documento do Banco Mundial intitulado *What a Waste 2.0*, publicado no ano de 2018, o mundo gerou 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos municipais anualmente, com pelo menos 33% deles não gerenciados de maneira ambientalmente segura. A previsão estimada em 2050 é de uma produção de 3,40 bilhões toneladas, devido à tendência de um maior crescimento na geração de resíduos em países pobres ou em desenvolvimento, em consequência do crescimento econômico e da urbanização (Kaza *et al.*, 2018).

No Brasil, avalia-se que a coleta de resíduos domiciliares e públicos nos municípios, em 2021, tenha atingido um montante anual de 65,60 milhões de toneladas, equivalente a 1,01 kg por habitante/dia (MDR, 2021). Pode-se observar na Figura 1 o crescimento da geração ao longo dos anos de 2017 a 2021.

Figura 1 - Quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos Coletados, de 2017 a 2021, no Brasil.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MDR (2022).

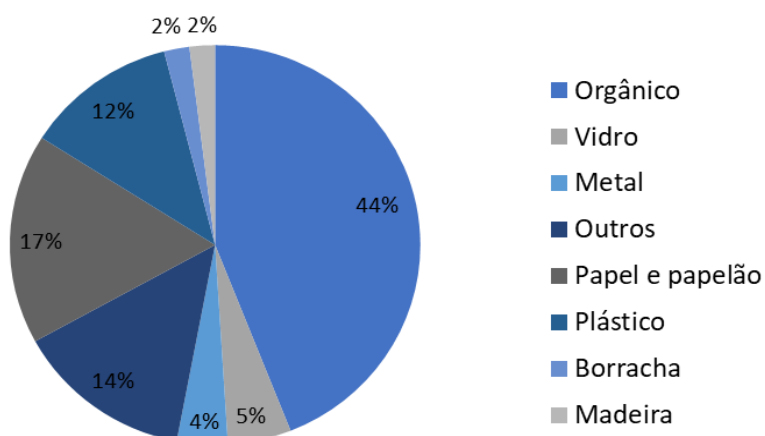
McDougall *et al.* (2001) consideram os RSU um dos tipos mais difíceis para a gestão por conterem uma diversidade de materiais misturados e sua composição variarem de acordo com a região ou país, por aspectos sociais, econômicos, culturais e climáticos locais.

Para a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

(ABRELPE), a composição gravimétrica dos resíduos sólidos refere-se à categorização dos tipos de materiais descartados pela população, e seu conhecimento é um passo fundamental para a gestão integrada e eficiente desses materiais (ABRELPE, 2020).

Segundo Kaza *et al.* (2018), a maior categoria de resíduo é composta por alimentos e resíduos verdes (orgânicos), representando 44 % dos RSU globais. Enquanto os recicláveis secos (plástico, papel e papelão, metal e vidro) representam 38% dos resíduos (Figura 2).

Figura 2 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Urbanos no Mundo.



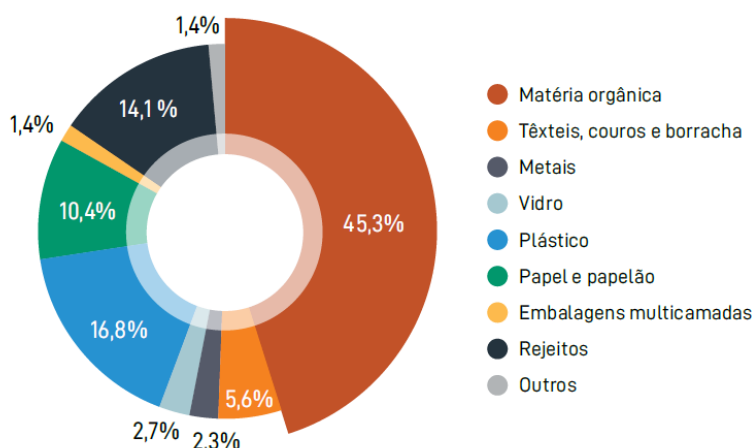
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Kaza *et al.* (2018).

Em relação ao nível de renda, nos países considerados de alta renda (Estados Unidos, Austrália, países da União Europeia, entre outros), a quantidade de matéria orgânica é de 36% e de recicláveis (papel/papelão, plástico, metal e vidro) chega a 46 %.

Enquanto em países de renda média a baixa (Brasil, Chile, Argentina, China, Rússia), a parcela orgânica está acima de 53% e os recicláveis abaixo de 30% (Kaza *et al.*, 2018). Esse cenário pode ser atribuído ao grau de industrialização do país que oferta mais embalagens e produtos industrializados.

No Brasil, a principal fração dos RSU é a matéria orgânica, que corresponde a 45,3%, seguida da fração de materiais recicláveis, que somam 32,2% (ABRELPE, 2020), conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Composição Gravimétrica Média do Resíduo Sólido Urbano coletado no Brasil.



Fonte: ABRELPE (2020).

Esses dados demonstram a heterogeneidade dos RSU e a necessidade de planejamento de gerenciamentos adequados às realidades locais, devido à dificuldade de se estabelecer um modelo único no mundo.

2.2 ETAPAS DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

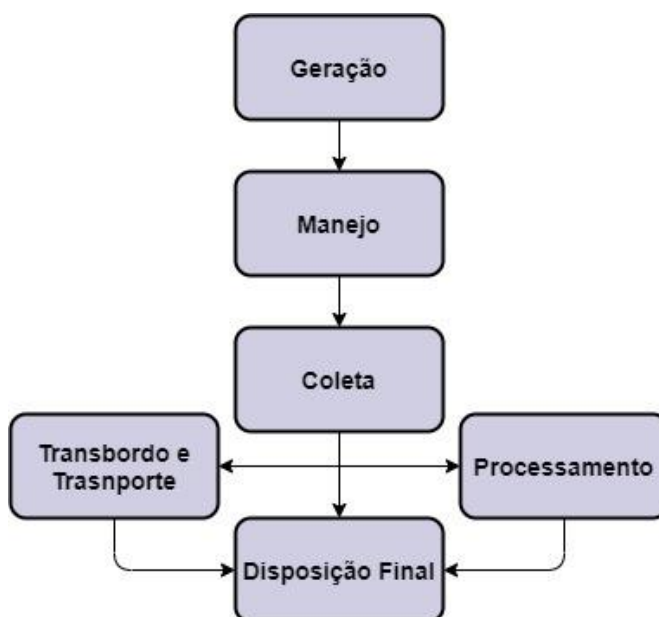
A Lei nº 11.445 de 2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020c), estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico, incluindo-o como um dos componentes a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos. A referida Lei define que a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos como o conjunto de atividades, infraestrutura e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana.

A PNRS diferencia gestão de gerenciamento, ou seja, a gestão integrada de resíduos sólidos é o “conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável”. O gerenciamento de resíduos é a ação exercida, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010b).

O manejo dos RSU envolve diferentes processos, tecnologias e fluxos. A chamada rota tecnológica começa no ponto de geração em que, posteriormente, os resíduos são coletados pelos prestadores de serviços de forma indiferenciada (sem seleção) e diferenciada (resíduos separados, como os recicláveis) para que sejam destinados ao tratamento e/ou disposição final

dos rejeitos (material sem viabilidade de reaproveitamento) em espaços ambientalmente adequados (MDR, 2021). Tchobanoglous *et al.* (1993) estabeleceram um fluxo geral do gerenciamento de resíduos sólidos, iniciando na geração, o manejo, o armazenamento e a coleta, o transporte, o processamento e o tratamento até a disposição final (Figura 4).

Figura 4 - Etapas do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Tchoubanoglous *et al.* (1993).

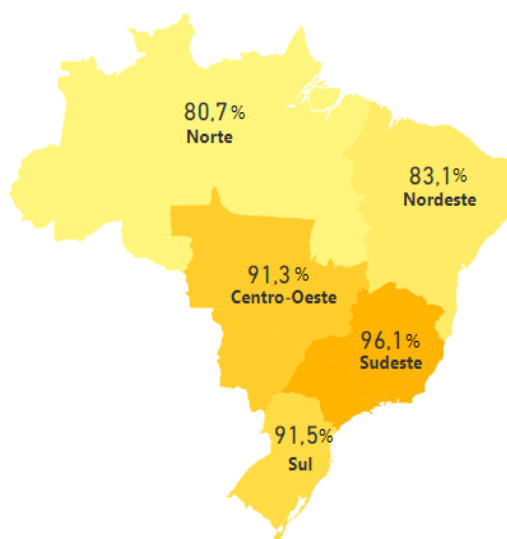
2.2.1 Coleta e Transporte

A coleta recolhe o resíduo acondicionado, por meio de transporte adequado para uma estação de transferência, unidade de tratamento e disposição final. Sua operacionalização depende de fatores como a urbanização, a quantidade de resíduos gerados, formas de acondicionamento, recursos financeiros disponíveis e a distância a ser percorrida. Além disso, deve ser dimensionada de forma a garantir regularidade, frequência e universalidade que são objetivos da PNRS (Brasil, 2010b).

No Brasil, os tipos de coletas mais comuns são a convencional (regular ou indiferenciada) e a seletiva (diferenciada). Na convencional, a fonte geradora disponibiliza os resíduos, sem segregação prévia, nas vias públicas para coleta manual e transporte até uma unidade de destino final. A taxa média de cobertura no país é de 90,5%, o que mostra que 20,8 milhões de habitantes (9,8% da população) ainda não tinham acesso aos serviços de coleta regular no país no ano de 2020 (MDR, 2021). As regiões Norte e Nordeste apresentaram índices abaixo de 90%

de cobertura nesse serviço (Figura 5). Uma das justificativas para esse déficit é por existirem áreas de difícil acesso e com baixa densidade populacional em determinadas localidades (MDR, 2021).

Figura 5 – População atendida com coleta domiciliar, no ano de 2020, no Brasil



Fonte: SNIS (2021).

Já, a coleta seletiva refere-se à coleta dos resíduos que apresentam potencial de valorização para que sejam segregados na fonte geradora, objetivando que esses resíduos sejam reutilizados, reciclados ou recuperados. Essa coleta pode ser realizada de porta em porta, onde veículos específicos realizam um percurso, por ruas, fazendo a coleta em cada domicílio ou em Postos de Entrega Voluntária (PEV's) que são locais determinados onde a população leva os resíduos até o local de recebimento (Brasil, 2010b).

A implantação da coleta seletiva é de responsabilidade dos municípios, titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (Brasil, 2010b), que deverão estabelecer nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) as metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final.

A coleta seletiva está presente em 1.664 municípios brasileiros em diferentes formas: porta a porta, em postos de entrega voluntária ou outra modalidade (Brasil, 2021d). As regiões Sul e Sudeste são as que apresentam os maiores percentuais de municípios com iniciativa de coleta seletiva enquanto no Norte e Nordeste o percentual de municípios com coleta seletiva não ultrapassa 12,0%. Importante destacar que em muitos municípios as atividades de coleta

seletiva ainda não abrangem a totalidade da população e podem ocorrer somente em uma pequena parte, em iniciativas pontuais, como também em todo o território.

Em geral, os programas recuperaram, no ano de 2020, cerca de 5,3% (1,07 milhão de toneladas) de resíduos potencialmente recicláveis, mesmo os RSU brasileiros, sendo compostos de mais de 30% dessa tipologia (MDR, 2021). Além disso, nos sistemas de entrega de resíduos recicláveis (secos e orgânicos), os materiais se encontram misturados, reduzindo o aproveitamento dos mesmos e descartados como rejeitos em unidades de disposição final (ABRELPE, 2020).

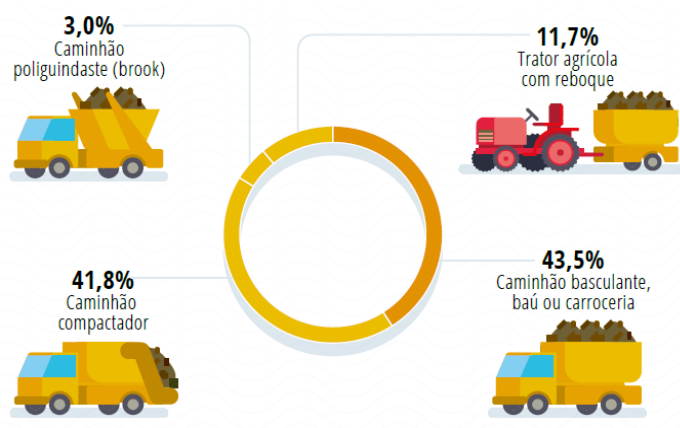
Os programas de coleta seletiva no Brasil são, geralmente, subsidiados pelo poder público e não apresentam sustentabilidade (Jucá *et al.*, 2014). A PNRS inclui dentre os seus objetivos, a integração dos catadores nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, e que os planos municipais devem conter programas e ações para a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda (Brasil, 2010b).

No ano de 2020, 1.199 prefeituras municipais informaram a existência de 1.677 associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis, com cerca de 35.670 catadores (MDR, 2021). Entretanto, Reichert (2014) destaca a falta de informação sobre a coleta informal presente nos municípios e realizada por catadores autônomos, paralelamente à coleta seletiva municipal e que encaminham os materiais diretamente para comerciantes e intermediários da cadeia produtiva, não sendo contabilizados nas declarações oficiais.

Existe ainda a coleta mecanizada, menos presente nas cidades brasileiras, em que os resíduos sólidos são depositados em contentores pelos próprios geradores. Segundo Pinheiro (2016), o veículo que realiza a coleta é um caminhão adaptado que possui um sistema de acoplamento com braço mecânico no contentor, disposto na rua, realizando a sua elevação para a deposição do resíduo no compartimento compactador do veículo. Em tal caso, o trabalhador do serviço de coleta não tem contato direto com os resíduos.

Segundo dados do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), a frota de veículos utilizados (Figura 6), no Brasil, para a coleta é composta por, aproximadamente, 31,5 mil veículos que são, em sua maioria, de caminhões compactadores (ou “caminhões prensas”), caminhões do tipo basculante, baú ou carroceria de madeira, caminhões poliguindaste (ou “brook”) e tratores agrícolas com reboque (MDR, 2021).

Figura 6 - Composição da frota de coleta domiciliares e públicos dos municípios e tipo de veículo



Fonte: MDR (2021).

Os serviços de coleta e transporte são considerados uma etapa onerosa do gerenciamento para o poder público, representando aproximadamente 70% dos custos totais do sistema (Boskovic *et al.*, 2016). É comum a terceirização desses serviços, principalmente, com relação à coleta regular pelas prefeituras, para que empresas privadas realizem essa etapa e otimizem o processo e, motivado também pela falta de recursos humanos e infraestrutura para tal demanda. Além do custo, o setor de transporte apresenta problemas ambientais relacionados às emissões de poluentes atmosféricos contribuindo negativamente para potencializar o fenômeno de aquecimento global.

Para Reichert (2013), a forma que os resíduos são coletados e segregados determina quais as opções podem ser utilizadas em seguida. A separação na origem irá indicar se métodos como a reciclagem, tratamento biológico ou térmico é economicamente e ambientalmente viável.

2.2.2 Triagem

A triagem é considerada uma etapa intermediária entre a coleta seletiva e a reciclagem propriamente dita, sendo caracterizada pela separação dos resíduos recicláveis em categorias, limpeza e o enfardamento dos materiais, aumentando a eficiência dos processos e agrupando-os em quantidades suficientes para a comercialização (MDR, 2021).

Para Mersoni (2015), a triagem é a separação dos resíduos coletados de forma manual ou mecanizada, podendo ser realizada em unidades ou centrais de triagem. Segundo Jucá *et al.* (2014), a triagem manual é considerada um processo de baixo custo e composta, geralmente, por um galpão provido com esteira ou mesas para a realização da atividade manual por

catadores de materiais recicláveis, sendo esse tipo de sistema mais indicado para municípios com geração diária de resíduos (5 a 10 toneladas), porém com baixo índice de recuperação dos materiais. Já na triagem mecanizada é necessária uma maior infraestrutura, com a existência de esteira com separadores magnéticos, movidos por motores elétricos a velocidades programadas, que são comandadas por um painel de controle liga/desliga (Jucá *et al.*, 2014).

Para Baptista (2019), o nível tecnológico a ser empregado vai depender do grau de separação requerido para as tecnologias de tratamento seguintes, além de aspectos sociais e econômicos locais.

Após a classificação, os materiais são agrupados e acondicionados de forma a facilitar o seu transporte, dando origem a fardos ou outras formas de volume que serão encaminhados às indústrias de transformação responsáveis pela reciclagem (MDR, 2021). É importante destacar que para adequação as exigências da indústria de transformação, os volumes de materiais que saem das unidades de triagem podem seguir para agentes intermediários que são: indústrias recicladoras, sucateiros, entre outros, que ao comprarem de catadores independentes (autônomos) ou organizados em associações/cooperativas proporcionam aos materiais triados ganho na escala de produção, melhoria na qualidade na separação e regularidade de entrega para as indústrias de transformação. Nessas unidades de triagem, ainda pode ter um local para a compostagem da fração orgânica dos resíduos, visto que também requer uma separação prévia (Vilhena, 2010).

Assim, a adoção de unidades de triagem pelos municípios contribui diretamente para reduzir a quantidade de resíduos enviados para o aterro sanitário, redução do consumo de matéria-prima e da poluição ambiental na produção do material secundário.

2.2.3 Tratamento e Disposição Final

A PNRS, em seu art. 3º, inciso VII, definiu que destinação final ambientalmente adequada compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, além de minimizar impactos ambientais adversos (Brasil, 2010b). A opção de disposição final, nos termos da PNRS, é apenas para os rejeitos, isto é, para os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, não apresentem outra possibilidade que não a disposição em aterro sanitário (Brasil, 2010b).

Para Jucá *et al.* (2014), o tratamento do RSU deve focar em diminuir os impactos

ambientais e sanitários, além de estimular o beneficiamento socioeconômico dos resíduos. Para os autores, os processos podem ser: físicos, no qual predomina a triagem de resíduos; biológicos, que ocorrem de forma aeróbia (compostagem) e anaeróbia (como digestão anaeróbia); físico-químicos através da incineração e no tratamento térmico; e, por fim, os processos físico-químicos e biológicos, que ocorrem nos aterros sanitários.

No estudo de Marchezetti, Kaviski e Janissek (2011), foram avaliadas tecnologias para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares e o resultado indicou que a reciclagem e a compostagem como as melhores alternativas para essa tipologia de resíduo, incentivados na PNRS, previstos no Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do município de João Pessoa, e por serem boas práticas para a EC. Assim, foram os tratamentos abordados a seguir junto com a disposição final em aterro sanitário.

2.2.4 Reciclagem

A PNRS define reciclagem como o processo de transformação dos resíduos sólidos, e que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (Brasil, 2010b).

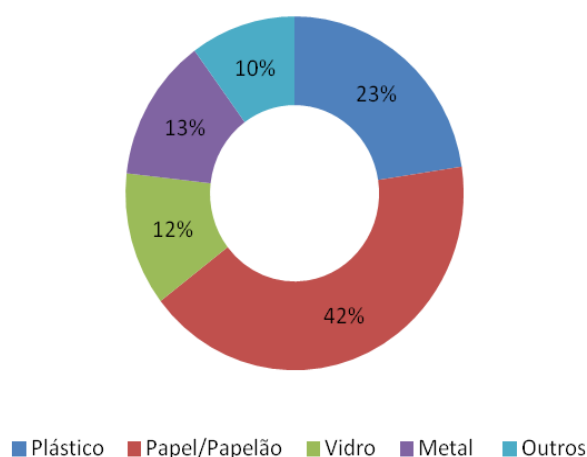
A reciclagem é uma forma de tratamento de alta relevância, por fornecer os meios técnicos para devolver o resíduo, como matéria prima em ciclos produtivos, proporcionando a confecção de novos produtos (MDR, 2021), em substituição à matéria prima virgem obtida a partir da extração dos recursos naturais (Honma; Hu, 2021). Com este tratamento, é possível reduzir os impactos ambientais do setor através do desvio dos resíduos dos aterros sanitários, reduzirem a poluição do ar, economia e preservação dos recursos naturais e do meio ambiente (Zhou *et al.*, 2022), desde que ocorra, a separação dos resíduos na fonte, através da coleta seletiva, (Campos-Alba *et al.*, 2021), evitando que as matérias percam o valor devido às contaminações (Jucá *et al.*, 2014).

Diversas regulamentações têm estimulado essa prática. Na Europa, por exemplo, a Diretiva (EU) 2018/851, que altera a Diretiva 2008/98/EC, estabeleceu metas de reciclagem em torno de 65 % até 2035 para os resíduos municipais (Comissão Europeia, 2018). No Brasil, a PNRS, regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022 e, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Decreto nº 11.043/2022 estabeleceu metas a serem atingidas até o ano de 2040, a saber: atingir 20% de recuperação de recicláveis, em relação à massa total de RSU e 70% da população brasileira ter acesso a sistemas de coleta seletiva (Brasil, 2022a; Brasil, 2010b). Observa-se que nas legislações citadas, a coleta seletiva é incentivada e seu papel fortalecido para o aumento

das taxas de reciclagem.

No tocante ao índice de reaproveitamento de resíduos recicláveis em relação ao total coletado nas capitais das unidades, em primeiro lugar está São Luís (5,44%), seguido por João Pessoa (5,31%), Florianópolis (4,55%), Goiânia (4,02%) e Porto Alegre (2,16%). Nota-se que João Pessoa está em segundo lugar acima da média nacional que é de, aproximadamente, 3% (Brasil, 2019e). Do total recuperado, as tipologias mais presentes (papel/papelão e plásticos) podem ser observadas na Figura 7.

Figura 7 - Tipologias de Resíduos Recicláveis Presentes na Coleta Seletiva



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Brasil (2019e).

A Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (ANCAT) publicou o Anuário da Reciclagem 2021, no ano de 2022. Neste estudo, um dos efeitos mais positivos da reciclagem para o meio ambiente é a mitigação das emissões dos GEE. Estimou-se que a partir do volume recuperado pela atividade das cooperativas e associações acompanhadas pela ANCAT deixou-se de emitir um potencial de 282,4 mil toneladas de CO_{2eq}, em 2021 (ANCAT, 2022). Esse potencial decorre, principalmente, da diminuição da produção de materiais virgens (ANCAT, 2022).

Em relação à parte econômica, acredita-se que a economia gerada pela prática da reciclagem seja de 1,4 a 3 bilhões de reais todos os anos, porém se todo o resíduo passível de reciclagem fosse atendido por este serviço, essa economia passaria a ser cerca de 8 bilhões de reais anuais (IPEA, 2010).

2.2.5 Compostagem

Os resíduos domiciliares são ricos em matéria orgânica e, uma técnica antiga e bastante empregada no tratamento dessa tipologia é a compostagem. A norma NBR 13.591 (1996) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define compostagem como:

“Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação” (ABNT, 1996)”.

Considerada um processo biológico, a compostagem converte resíduos orgânicos em produtos de valor agregado com alto teor de substâncias húmicas que pode ser usado para melhorar a qualidade do solo e minimizar a sua erosão além de promover o crescimento das plantas sendo usado como fertilizante orgânico (Wang *et al.*, 2016). Ela é uma forma de reciclagem que, de maneira natural, devolve nutrientes biológicos ao solo (Ellen Macarthur Foundation, 2012).

A compostagem pode ser realizada de duas formas: natural e acelerada. No método natural, os resíduos são dispostos em pilhas ou leiras que devem ser reviradas, manual ou mecanicamente, para promover a aeração do material para fornecer o oxigênio necessário a atividade biológica. Na forma acelerada, o resíduo é colocado em reatores rotatórios ou sobre tubulações perfuradas onde a aeração é forçada.

Como resultado desse tratamento é gerado dióxido de carbono (CO₂), composto e água (McDougall *et al.*, 2001). O composto é um material semelhante ao solo denominado composto orgânico ou fertilizante orgânico que pode ser utilizado em praças e canteiros municipais, na recuperação de áreas degradadas, agricultura. As principais vantagens e desvantagens desse tipo de tratamento estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais Vantagens e Desvantagens da Compostagem	
Vantagens	Desvantagens
Redução do resíduo enviado ao aterro sanitário, prolongando sua vida útil.	Eficiência de separação na fonte.
Aproveitamento da matéria orgânica pelo uso de composto orgânico no solo.	Quando mal operada, os líquidos e gases gerados podem contaminar o meio ambiente.
Redução da formação de gases e lixiviados, visto que são materiais biologicamente estabilizados.	Gastos com a coleta diferenciada da fração orgânica dos RSU são altos.
Quando bem operadas, as unidades de compostagem não causam poluição atmosférica ou hídrica.	Necessidade de área para operação das leiras para maturação dos resíduos.
Pouca mão de obra especializada.	

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Jucá *et al.* (2014).

A PNRS, em seu art. 36º, incentiva os municípios a implantarem sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido. Entretanto, este tratamento não é ainda realidade e da massa coletada no país, em 2020, 0,27 milhões de toneladas (0,4%) foram direcionadas para 74 unidades de compostagem, na qual cinquenta e três (53) delas estão localizadas na região Sudeste, em que foram valorizadas e deixaram de ocupar as unidades de disposição final (Brasil, 2021d; MDR, 2021).

Segundo Mersoni (2015), alguns motivos para esse baixo aproveitamento dos resíduos orgânicos podem ser atribuídos a dificuldade em se obter o material separado na fonte geradora, a insuficiência de manutenção do processo, o preconceito com o produto gerado, a carência de investimentos e de tecnologia adequada para a coleta deste material.

2.2.6 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é uma das formas mais utilizadas para o tratamento de resíduos nos países em desenvolvimento (Dastjerdi *et al.*, 2019). Segundo a NBR 15.849/2010, os aterros sanitários possuem uma instalação para a disposição de resíduos sólidos no solo, localizada, concebida, implantada e monitorada segundo princípios de engenharia e prescrições normalizadas, de modo a maximizar a quantidade de resíduos disposta e minimizar impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

O aterro deve possuir um sistema de impermeabilização de base, promovendo seu confinamento em camadas cobertas com material inerte (MDR, 2021). Nele ocorre um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que têm como resultado uma massa de resíduos mais estáveis, além da geração de efluentes líquidos e gasosos que devem ser coletados e tratados de forma adequada (MDR, 2021; Jucá *et al.*, 2014).

Em diversos municípios do país é adotada como única tecnologia de recepção dos RSU após a coleta, embora essa não seja a condição ideal, pois não prioriza a máxima valorização dos resíduos. Entretanto, é considerado um avanço em relação ao descarte de resíduos a céu aberto em lixões (MDR, 2021).

No Brasil, aproximadamente 73,8% dos resíduos coletados são destinados a aterros sanitários (Brasil, 2021), embora ainda exista no país uma quantidade significativa de lixões, mesmo após ser proibido em lei. A PNRS exigiu que os municípios desativassem os lixões ainda existentes (Brasil, 2010b) e o novo marco legal do saneamento (Lei nº 14.026/2020)

estabeleceu que a disposição final em aterros sanitários, dos rejeitos, seja implementada em diferentes prazos a depender do porte municipal:

“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;

e IV – até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010” (Brasil, 2020c).

Segundo a PNRS, a disposição em aterros é somente para rejeitos, que são os resíduos que não podem ser mais recuperados sob nenhuma forma, ou ainda, aqueles para os quais não existe mercado, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (Brasil, 2010b).

Apesar de tido como a forma ambientalmente adequada de dispor os RSU, seu uso tem desvantagens. A falta de práticas de separação (ou nenhuma) na origem, os resíduos são misturados e enterrados, representando uma séria ameaça ao meio ambiente, à economia e à saúde humana. Desde a perda de matéria-prima e energia contida nos resíduos; impactos relacionados ao transporte de resíduos a longas distâncias; desvalorização da região no entorno do aterro; geração de lixiviado oferecendo risco de contaminação do lençol freático; requer manutenção e vigilância por longo tempo após o fechamento; uso de grandes extensões de áreas e vida útil limitada (Tenorio *et al.*, 2004).

Um ponto importante a ser destacado é que no aterro sanitário, o resíduo biodegradável se decompõe gerando gases (biogás) constituídos, principalmente, de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) (Borba *et al.*, 2018). Esses gases são conhecidos como de efeito estufa (GEE) e se liberados para a atmosfera contribuem para a intensificação do fenômeno do aquecimento global, que tem sido uma preocupação mundial nos últimos anos. Kaza *et al.* (2018) mencionaram que em 2016, as emissões de GEE do setor de gestão de resíduos totalizaram 1,6 bilhão de toneladas de CO₂-eq, representando 5% das emissões globais.

O Brasil possui uma Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC) e faz parte do acordo de Paris, com o compromisso de reduzir as emissões de GEE em 37%, em 2025, em relação aos níveis de 2005. As emissões de GEE contabilizadas no inventário nacional indicam que a principal fonte de emissão do setor de resíduos, 51% do total, foi o descarte em aterros e lixões (Observatório do Clima, 2018). Mesmo após o encerramento das atividades, as emissões

de GEE continuam a ser emitidas nessas unidades ao longo de centenas de anos (Lu *et al.*, 2020).

O metano contido no biogás, após sua captação no aterro sanitário, pode ser queimado em motores e gerar energia elétrica, sendo considerado um potencial energético. De acordo com Jucá *et al.* (2014), essa tecnologia de obter energia dos resíduos (em inglês, *Waste to Energy - WTE*) permite uma maior eficiência operacional, reduzindo as emissões atmosféricas de metano e dióxido de carbono e, assim, a possível obtenção, de algum recurso financeiro através de certificação de projetos de redução de emissões e a posterior venda das reduções certificadas de emissões, dentro do escopo dos projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

Diante dos impactos que este tipo de disposição final pode gerar, o uso de aterros sanitários há anos é desencorajado (Souza *et al.*, 2019). Para Reichert e Mendes (2014), soluções isoladas e que não contemplem a questão dos resíduos do momento de sua geração até a destinação final, passando pela sua tipologia e tratamento não conseguem resolver o problema como um todo, sendo importante um planejamento holístico do sistema.

Formas de gerenciamento que estimulem o máximo aproveitamento dos resíduos são importantes para direcionar os municípios a terem sistemas mais integrados e em direção a sustentabilidade do setor.

2.3 SUSTENTABILIDADE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ECONOMIA CIRCULAR

Cosenza, Andrade e Assunção (2020), relatam que o modelo econômico atual, funciona de forma linear (extração, produção, consumo e descarte de resíduos), resultando no uso excessivo dos recursos naturais e, conseqüentemente, geração de resíduos. A consequência disso é um cenário de escassez e maior degradação ambiental, face ao aumento da população mundial e à carência de recursos para satisfazer as necessidades presentes de consumo.

A partir da introdução do conceito de sustentabilidade “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”, definido no Relatório de Brundtland (1987) e suas principais dimensões (ambiental, social e econômico), o modelo linear passou a ser questionado. As políticas públicas incorporaram diretrizes voltadas para a busca por uma harmonia entre as atividades humanas e o meio ambiente, com vistas à preservação dos recursos naturais, bem-estar do homem a um custo financeiro mais justo.

Segundo Castro *et al.* (2015), a gestão dos resíduos sólidos é uma condição para atingir a sustentabilidade urbana no mundo e, a inserção desse tema no setor foi evidenciada na

publicação da Agenda 21, documento resultante da ECO-92, que destacou que padrões insustentáveis de produção e consumo da sociedade comprometem a qualidade ambiental e são responsáveis pelo agravamento das desigualdades, culminando em um desafio para o desenvolvimento sustentável (Born, 2006).

O gerenciamento de RSU é um serviço local e, no Brasil, é de responsabilidade municipal em acordo com a Constituição Federal do Brasil (1988) foi estabelecido em seu art. 30º, que determina que estes devem legislar sobre assuntos de interesse local, especialmente quanto à organização dos seus serviços públicos. Entretanto, cidades localizadas em países considerados pobres ou em desenvolvimento, como é o caso das brasileiras, não conseguem apresentar uma boa gestão de RSU e enfrentam dificuldades de se adequar a PNRS e tornar seus sistemas sustentáveis (Mannarino *et al.*, 2016). Um exemplo é a existência de lixões que foi proibido, mas em decorrência do grande número de municípios que não conseguiram cumprir a meta estabelecida, o prazo foi estendido de acordo com o porte do município.

Para Fuss *et al.* (2018) alguns fatores corroboram com essa problemática, sendo um deles os orçamentos públicos insuficientes que levam ao direcionamento de políticas de custos baixos e soluções não sustentáveis. Além disso, os interesses políticos, comerciais e econômicos divergentes, geralmente, conduzem soluções de curto prazo determinadas pela duração dos períodos legislativos. Como consequência, uma pequena parte do resíduo sólido é reciclada ou, no caso de resíduos orgânicos, compostados (Fuss *et al.*, 2018).

Na União Europeia, a Diretiva 2008/98/CE exigiu um repensar completo das práticas de gestão dos países membros. A Diretiva estabeleceu medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, prevenindo ou reduzindo a produção de resíduos e os impactos adversos gerados. Além de ser enfatizada a importância da utilização de técnicas adequadas de gestão, valorização e reciclagem dos resíduos a fim de reduzir as pressões exercidas sobre os recursos e melhorar a sua utilização; estabeleceu uma hierarquia dos resíduos que transpôs e veio a ser muito utilizada no resto do mundo (prevenção, reutilização e reciclagem); outros tipos de valorização, como a energética e, eliminação (Diretiva 2008/98/CE). O Brasil incluiu essa hierarquia na PNRS, determinando que essa ordem de prioridade seja incorporada na gestão integrada e no gerenciamento de resíduos sólidos sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Como já citado, e com o intuito de promover a sustentabilidade no mundo, a Organização das Nações Unidas (ONU), no ano de 2015, propôs uma Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, na qual foram elencados 17 ODS, acompanhados de 169 metas versando sobre diferentes temas como erradicação da pobreza, saúde para todos, empoderamento das mulheres, preservação ambiental, clima, dentre outros. O termo resíduo sólido está presente diretamente

nos ODS 6 (Saneamento), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Sustentáveis). Na ODS 12, por exemplo, deve-se buscar reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso até 2030 (ONU, 2021).

A busca por maior sustentabilidade na gestão trouxe a luz conceitos de economia circular, um termo que tem se fortalecido no mundo nos últimos anos. Para Alarcón *et al.* (2020), a EC baseia-se na transformação da tradicional estrutura linear em modelos com a recirculação de recursos em todo o ciclo de vida do produto/processo/serviço com o mínimo de perdas e sempre apoiando o reuso, reciclagem e recuperação de materiais e energia mantendo-os em sua mais alta utilidade e valor, de forma a reduzir a pressão sobre os recursos naturais (Kirchherr *et al.*, 2017).

De acordo com Andrade Junior *et al.* (2017), a circularidade dos materiais descartados pode permitir que esses resíduos iniciem novos ciclos, tornando-se insumos para outros processos o que reduz a extração de matérias-primas, diminui o consumo de energia e minimiza a disposição de resíduos. A EC ao incentivar a otimização e reutilização dos recursos e reduzir o desperdício proporciona menor perda financeira, fortalecendo a dimensão econômica da sustentabilidade.

Enquanto a EC visa uma economia mais verde com o uso ambientalmente adequado dos recursos naturais, o desenvolvimento sustentável busca o equilíbrio entre aspectos sociais, econômicos e ambientais (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016). Entretanto, cabe ressaltar que apesar da EC ser considerada um meio para alcançar a sustentabilidade, nem todos os sistemas que incorporam fluxos circulares são sustentáveis já que focam, principalmente, no cuidado com o meio ambiente deixando a perspectiva dos outros dois aspectos da sustentabilidade (econômico e social) de lado.

O município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, encontra-se em processo de expansão urbana e com possibilidades de ajustes em sua tendência de crescimento para um modelo mais sustentável. Políticas e planos foram desenvolvidos para estimular a sustentabilidade do setor de resíduos através do estabelecimento de metas voltadas a EC com a promoção da hierarquia dos resíduos com vistas, principalmente, a reduzir a quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário por meio de práticas de compostagem e expansão da coleta seletiva. Neste sentido, pode-se aqui destacar a Lei Municipal nº 8.886/2016, que instituiu a Política Municipal de Resíduos Sólidos; o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), aprovado em 2014; o Plano de Ação João Pessoa Sustentável, de 2014, que identificou temas críticos para a sustentabilidade da cidade, sendo um deles a gestão dos resíduos sólidos; e o Plano de Ação Climática de João Pessoa (PACJP), aprovado em 2023,

que é um documento estratégico que visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa e neutralidade em carbono até o ano de 2050 através de ações como, por exemplo, a expansão da coleta seletiva, a promoção da compostagem e a redução da geração de resíduos. Entretanto, o município ainda carece de informações mais realísticas sobre o atual estado de gerenciamento dos resíduos e baixos índices de reaproveitamento e/ou recuperação dos resíduos.

Tendo em vista que o desenvolvimento sustentável tem como objetivo maior, alcançar e manter o bem-estar humano, considerando as necessidades das gerações atuais e futuras. Nas últimas décadas, diversos atores do cenário acadêmico, privado e do setor público, desenvolveram ferramentas, métricas, instrumentos de política e estratégias para integrar o desenvolvimento sustentável na tomada de decisão (UNEP, 2020), sendo possível destacar a ASCV que inclui a integração dos aspectos ambientais, econômicos e sociais a partir de uma perspectiva de ciclo de vida dos produtos e/ou serviços (Costa; Quinteiro; Dias, 2019).

2.4 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA (ASCV) NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo definição do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP), a Gestão do Ciclo de Vida tem como objetivo minimizar os danos ambientais, sociais e econômicos associados a um produto (bem ou serviço) de uma organização durante todo o seu ciclo de vida e cadeia produtiva de valor (UNEP, 2007). Desta forma, como evolução dos conceitos e da aplicação da técnica e seus resultados, surgiu o conceito de Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida, que visa desenvolver estudos e indicadores ambientais, sociais e econômicos no contexto do pensamento do ciclo de vida.

Para o UNEP/SETAC (2009), o ciclo de vida é elaborado a partir dos fluxos de materiais, energia e economia, assim como também, do histórico sobre os impactos (reais e potenciais) da produção e consumo dos trabalhadores, das comunidades locais, dos consumidores, da sociedade e de todos os atores envolvidos na cadeia de valor.

Dentre as ferramentas existentes que integram o ciclo de vida para análise dos pilares da sustentabilidade, a ASCV fornece uma visão mais holística do produto/serviço a ser estudado (Costa *et al.*, 2019).

O tema de ASCV ganhou destaque a partir dos estudos de Klöpffer e Renner (2008) que apresentaram a abordagem de ASCV de produtos como a “soma” teórica da análise (Equação 1), em separado, da ACV ambiental (ACV), do Custo do Ciclo de Vida (CCV) e da Avaliação

do Ciclo de Vida Social (ACVS), para avaliar as três dimensões da sustentabilidade de produtos e/ou serviços.

$$ASCV = ACV + CCV + ACV-S \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

ASCV: Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida;

ACV: Avaliação do Ciclo de Vida – Ambiental;

CCV: Custeio do Ciclo de Vida

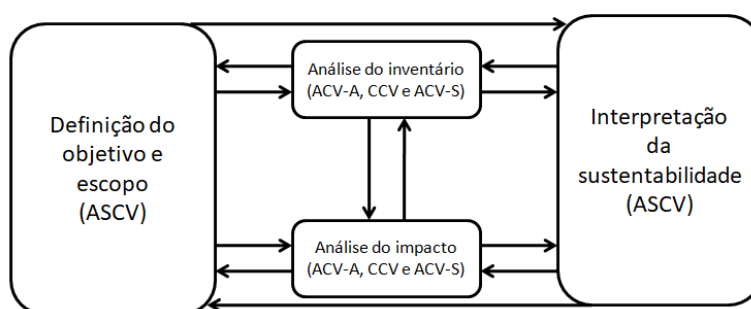
ACV-S: Avaliação do Ciclo de Vida Social.

Os três pilares da sustentabilidade devem ter suas avaliações de ciclo de vida individualizadas de forma que não existe nenhuma compensação entre eles. Segundo Klöpffer e Renner (2008), a ponderação dos resultados em um único indicador de sustentabilidade pode aumentar o grau de incertezas na análise. O mesmo foi apontado pela UNEP (2011) que ressaltou que as aplicações com abordagens voltadas a ASCV ainda estão em desenvolvimento e que tais pilares devem ser analisados separadamente, integrando e correlacionando seus resultados quando possível para apoiar os processos de tomada de decisão. Posteriormente, em 2011, a UNEP/SETAC publicou um documento de orientação com metodologias e técnicas adequadas para análises de ciclo de vida com base na sustentabilidade.

Segundo a UNEP/SETAC (2011) ao se utilizar a ASCV deve-se manter os limites do sistema, mas flexibiliza quando orienta que os limites do sistema dos três métodos devem incluir os processos que sejam relevantes para pelo menos uma das abordagens e quando algum processo unitário não for incluído deve-se indicar a razão dele.

A Figura 8 mostra o fluxograma da Avaliação de Sustentabilidade de Ciclo de Vida.

Figura 8 - Avaliação da sustentabilidade de ciclo de vida



Fonte: Zortea (2015).

A UNEP/SETAC (2011) apresenta alguns benefícios do uso da ASCV:

- Organizar as complexas informações ambientais, sociais e econômicas de forma estruturada;
- Promover a conscientização em atores da cadeia de valor sobre questões de sustentabilidade;
- Apoiar empresas e atores da cadeia de valor na identificação de pontos fracos, permitindo melhorias ao longo do ciclo de vida do produto. Por exemplo, a ASCV dá suporte aos tomadores de decisão nas empresas para encontrar meios mais sustentáveis de produção e na concepção de produtos mais sustentáveis;
- Apoiar decisores na priorização de recursos, buscando otimizar os impactos positivos e evitar os negativos;
- Ajudar os tomadores de decisão a escolher tecnologias e produtos sustentáveis;
- Estimular a inovação nas empresas.

De acordo com Costa *et al.* (2019), o número de estudos de ASCV tem evoluído e, conseqüentemente, a busca para tornar o método mais aplicável e padronizado. Como citado anteriormente, Alexandrino, Mercante e Bovea (2020) identificaram na literatura a existência de 100 pesquisas na área de ASCV, distribuídos em temas voltados à agricultura, energia, construção, indústria, transporte e resíduos. Na área de resíduos, foram identificados apenas sete estudos, mas só um aplicou a metodologia a nível de GRSU. Em relação à economia circular, o estudo citado identificou a presença deste conceito em 7% do total dos artigos analisados. Alguns desses estudos possuíam sistemas circulares completos, contendo reutilização, reciclagem, recuperação de energia e atividades de descarte.

Na ASCV, algumas das principais lacunas identificadas nos estudos realizados por Alejandrino *et al.* (2021) e Costa *et al.* (2019) são a falta de uma metodologia harmonizada e a ausência de uma maior integração dos três pilares de sustentabilidade. De acordo com Costa e Quinteiro (2019), a existência de uma variedade de métricas e os diferentes níveis de maturidade na avaliação dos três pilares da sustentabilidade torna difícil a aplicação e comparabilidade entre estudos de ASCV.

2.4.1 Avaliação do Ciclo De Vida (ACV) – Dimensão Ambiental

A Avaliação de Ciclo de Vida é a mais difundida dos três aspectos da sustentabilidade e consiste em uma ferramenta de avaliação do desempenho de um produto/serviço durante todo seu ciclo de vida (ABNT, 2014). De acordo com a Comissão Europeia (2005):

“... para conter a degradação do ambiente e para preservar os serviços essenciais que os recursos naturais proporcionam, é necessário que a política ambiental vá mais longe que o controle das emissões e dos resíduos. É necessário desenvolver meios para identificar os impactos ambientais negativos da utilização de materiais e energia em todos os ciclos de vida (frequentemente referidos como a abordagem do berço ao túmulo) e determinar sua importância.” (Comissão Europeia, 2005).

Nesse contexto, a ACV ambiental consiste em um método para avaliar os efeitos e impactos ambientais potenciais relacionados a um produto ou processo, desde a aquisição da matéria-prima até o descarte final, ou seja, durante todo o seu ciclo de vida (Coelho; Lange, 2018). A ACV é uma técnica normalizada internacionalmente e inserida nas normas da série *International Organization for Standardization* (ISO) 14.000, mais especificadamente nas normas ISO 14.040 e ISO 14.044. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), representante da ISO, adaptou às terminologias brasileiras e tem como normas correspondentes a ABNT NBR ISO 14.040:2006 e ABNT NBR ISO 14.044:2006.

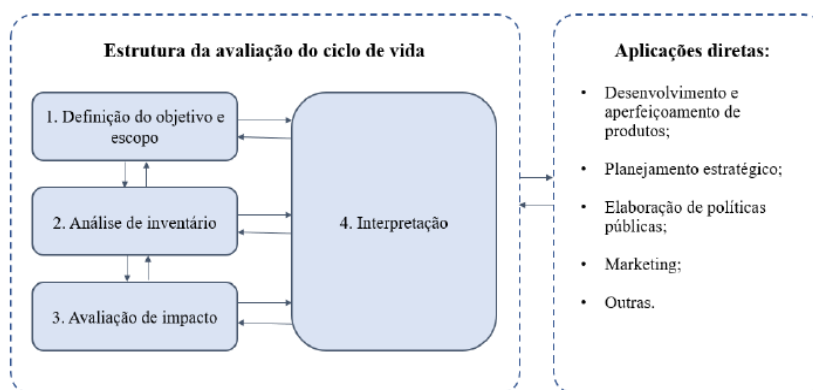
A ABNT NBR ISO 14.040 define a ACV como uma técnica de avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto/serviço através da compilação de um inventário de entradas e saídas de um sistema (Figura 9).

Figura 9 - Ciclo de Vida de um Produto



Fonte: Fiori (2014).

A ACV compreende quatro fases distintas que possuem natureza iterativa e podem ser ajustadas ao longo do desenvolvimento do estudo (ABNT, 2014), conforme a Figura 10.

Figura 10 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida

Fonte: ABNT (2014).

Na primeira fase, o objetivo é estabelecer a finalidade do estudo, que deve declarar a aplicação pretendida (ABNT, 2014). O escopo deve apresentar o sistema a ser estudado, a unidade funcional, as categorias de impactos que serão consideradas na análise (ABNT, 2014). É importante, nessa fase, definir as fronteiras do sistema que são basicamente os processos que serão analisados no estudo. Segundo NBR ISO 14040:2009, as principais fronteiras são:

- Berço ao túmulo (cradle to grave): compreende a extração dos recursos, transporte, produção até o descarte do produto;
- Berço ao portão (cradle to gate): abrange a extração dos recursos, transporte, fabricação e se encerra com o produto pronto para sair do portão da fábrica;
- Portão ao portão (gate to gate): inclui apenas a produção do produto;
- Portão ao túmulo (gate to grave): compreende a produção até o descarte;
- Berço ao berço (cradle to cradle): inclui a extração dos recursos até a reciclagem do produto.

A segunda fase consiste na análise do inventário que é uma detalhada compilação de todos os insumos ambientais (materiais e energia) e saídas (emissões atmosféricas, hídricas e sólidas) durante cada etapa do ciclo de vida dos resíduos. (Bovea; Powell, 2006).

A terceira fase do estudo é a avaliação de impacto em que as informações geradas na análise do inventário são associadas aos impactos ambientais. Para esta etapa foram desenvolvidos alguns softwares que possuem bancos de dados e métodos de avaliação de impacto associados em suas plataformas (Oliveira, 2017) que auxiliam na coleta, organização, análise de dados e avaliação de emissões (Khandelwal *et al.*, 2018). Um dos softwares de maior destaque na literatura é o holandês System for Intergrated Environmental Assessment of

Products (SimaPro), é uma ferramenta paga considerada a mais utilizada em estudos de ACV de RSU, seguido do GaBi, EASETECH, IWM e outros (Iqbal *et al.*, 2020; Khandelwal *et al.*, 2019).

O SimaPro foi desenvolvido, em 1990, pela empresa *Pré Consultants* e é utilizado para coletar, analisar e acompanhar o desempenho ambiental de produtos e serviços, pois contém bancos de dados referentes à energia, materiais e emissões de resíduos de uma grande variedade de processos industriais e comerciais (Pré Consultants, 2016). Segundo Khandelwal *et al.* (2018), existem diversos bancos de dados de ACV específicos para uma região, país, indústria, agricultura ou para um consultor, os mais utilizados são Ecoinvent, NEEDS, ELCD, entre outros.

Com relação às metodologias utilizadas, nesta etapa de avaliação de impactos, podem ser classificadas quanto ao nível de avaliação de impacto (endpoint ou midpoint) (Mendes; Bueno; Ometto, 2016). Endpoint é uma abordagem na qual o foco é no efeito final dos problemas ambientais, e Midpoint se refere aos problemas ambientais antes de chegar ao atributo final da categoria (Comissão Europeia, 2010).

Esses métodos se diferenciam quanto à origem, nível de abordagem e as categorias de impacto utilizadas. Alguns desses métodos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais Métodos de Avaliação de Impacto e suas Características

Método	Origem	Nível de abordagem	Categorias de impacto tradicionais
CML2002	Holanda	Midpoint	Depleção de recursos abióticos, Depleção de recursos bióticos, Uso da terra, Mudança climática, Depleção do ozônio estratosférico, Toxicidade humana, Ecotoxicidade aquática (água doce), Ecotoxicidade aquática (marinha), Ecotoxicidade terrestre, Formação de foto-oxidantes, Acidificação, Eutrofização
Eco-indicator 9	Holanda	Endpoint	Mudança climática, Depleção da camada de ozônio, Acidificação e eutrofização combinadas, Ecotoxicidade, Radiação ionizante, Uso da terra, Recursos minerais, Recursos fósseis
ReCiPe	Holanda	Combinado	Mudança climática, Depleção de ozônio, Acidificação terrestre, Eutrofização (água doce e marinha), Toxicidade humana, Formação de oxidantes fotoquímicos, Formação de matéria particulada, Ecotoxicidade (terrestre, água doce, marinha), Uso do solo agrícola, Uso do solo urbano, Esgotamento de recursos fósseis, Esgotamento de recursos minerais, Esgotamento de recursos de água doce
IMPACT 2002+	Suíça	Combinado	Toxicidade humana, Depleção de ozônio, Formação de ozônio fotoquímico, Ecotoxicidade aquática, Ecotoxicidade terrestre, Acidificação aquática, Eutrofização aquática, Acidificação e eutrofização terrestre, Ocupação do solo, Aquecimento global, Uso de energia não renovável, Extração mineral

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Mendes; Bueno; Ometto (2016).

Estudos de revisão bibliográfica desenvolvidos por Iqbal *et al.* (2020) e Khandelwal *et al.*

(2019) levantaram as principais categorias de impactos que predominam em pesquisas de ACV aplicadas a resíduos sólidos, sendo: aquecimento global, acidificação, eutrofização, potencial de toxicidade humana, depreciação da camada de ozônio e formação de oxidantes fotoquímicos.

Para cada categoria de impacto existem indicadores que representam quantitativamente as substâncias envolvidas a partir de fatores de caracterização que podem ser obtidos com seguinte Equação 2.

$$(Dados\ do\ inventário) \times (Fator\ de\ caracterização) = Indicador\ de\ impacto \text{ (Eq. 2)}$$

Os fatores de caracterização oferecem uma estimativa do impacto de cada substância (metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre outras) para cada categoria de impacto (aquecimento global, acidificação toxicidade terrestre). A Tabela 3 mostra a descrição do fator de caracterização das principais categorias de impacto ambiental.

Tabela 3 - Fator de caracterização das principais categorias de impacto ambiental

Categoria de impacto	Substância	Fator de caracterização	Descrição
Aquecimento global	Dióxido de carbono (CO ₂)	Converte os dados do inventário em dióxido de carbono (C O ₂) equivalente.	Aumento da emissão de GEE tendo como principal consequência o aumento da temperatura média da Terra.
	Dióxido de nitrogênio (N O ₂)		
	Metano (CH ₄)		
	Clorofluorcarbonos (CFCs)		
	Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs)		
Depleção da camada de ozônio	Clorofluorcarbonos (CFCs)	Converte os dados do inventário em triclourofluormetano (CFC-11) equivalentes.	Redução da camada de ozônio e aumento da quantidade de radiação ultravioleta (UV-B) que atinge a superfície terrestre, podendo resultar no aumento de algumas doenças, danos a materiais, como plásticos, e interferências nos ecossistemas
	Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs)		
	Halons		
	Brometo de metila (CH ₃ Br)		
Acidificação	Óxidos de enxofre (SO _x)	Converte os dados do inventário em íons hidrogênio (H ⁺) equivalentes.	Deposição de ácidos resultantes da poluição atmosférica (liberação de óxidos de nitrogênio e enxofre) provocando alteração na acidez do solo e da água, com efeitos na fauna e flora.
	Óxidos de nitrogênio (NO _x)		
	Ácido clorídrico (HCL)		
	Ácido Fluorídrico (HF)		
	Amoníaco (NH ₄)		
Eutrofização	Fosfato (PO ₄)	Converte os dados do inventário em fosfato (PO ₄) equivalentes.	Aumento de nutrientes em corpos d'água (fósforo e nitrogênio que pode provocar a redução da concentração de oxigênio na água afetando organismos aquáticos, alterações na biodiversidade, na qualidade da água e geração de toxinas nocivas à saúde
	Óxido de nitrogênio (NO)		
	Dióxido de nitrogênio (NO ₂)		
	Nitratos		
	Amônia (NH ₄)		
Formação de oxidantes fotoquímicos	Hidrocarbonetos não-metano (NMHC)	Converte os dados do inventário em etano (C ₂ H ₆) equivalentes.	Formação de uma névoa seca (smog) associada à reação dos óxidos de nitrogênio com compostos orgânicos voláteis (COV's) produzindo oxidantes fotoquímicos. Reduz a visibilidade, irritação nos olhos, no trato respiratório e pulmões e danos a vegetação.

Categoria de impacto	Substância	Fator de caracterização	Descrição
Toxicidade humana	Químicos tóxicos com um registro de concentração letal para roedores e peixes	Converte os dados do inventário em emissões de 1,4-diclorobenzeno	Advém da emissão no ar, na água ou no solo de substâncias, consideradas tóxicas, que provocam problemas à saúde humana quando ingeridas ou inaladas.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da UNEP (1996).

A quarta e última fase do processo ACV é a interpretação, onde todos os resultados da análise do inventário e avaliações do impacto são considerados em conjunto (ABNT, 2014) para se obter conclusões e realizar recomendações. Nessa fase, podem ser utilizados softwares com o objetivo de facilitar a realização da avaliação dos impactos e dos cálculos de balanço de massa e energia e análise do fluxo de materiais.

No setor de resíduos sólidos, Wang *et al.* (2020) apontam que a ACV é aplicada para avaliar os impactos ambientais associados ao manejo e as opções de gerenciamento, explorando as oportunidades de melhorias nos sistemas. Para Christensen *et al.* (2020) a aplicação de ACV tem sido explorada em estudos de melhorias dos sistemas de gerenciamento de resíduos existentes; comparação de desempenho de diferentes tecnologias; desenvolvimento de novas tecnologias; formulação de políticas e direcionamentos mais estratégicos; e uso em relatórios de impactos ambientais.

Assim, o uso dessa ferramenta direciona a busca por melhor desempenho ambiental, como, por exemplo, proposição de cenários e tecnologias para redução de emissões de gases de efeito estufa; se materiais reciclados substituem parte de materiais virgens; ou se o composto do tratamento biológico substitui a produção de fertilizantes químicos (Wang *et al.*, 2020). Ela ainda permite analisar os impactos potenciais e benefícios associados à hierarquia de resíduos (reciclagem, compostagem, outros) bem como de estratégias de eficiência de recursos, avaliando possíveis transferências de impacto de uma etapa para outra e permitindo analisar se determinadas mudanças causam impactos que anulam os seus benefícios (Rigamonti *et al.*, 2017).

Segundo Khandelwal *et al.* (2019), a maioria dos estudos sobre ACV aplicados a RSU estão localizados nos seguintes países: China (31), Irã (10), Itália (14), Espanha (10), Reino Unido (11) e Estados Unidos (9). No Brasil, é possível observar alguns estudos que aplicaram ACV a RSU simulando diferentes cenários de rotas tecnológicas como: Oliveira *et al.* (2022), Paes *et al.* (2020); Lima *et al.* (2019); Ibáñez-Forés *et al.* (2018); Liikanen *et al.* (2018); Coelho e Lange (2018); Saraiva *et al.* (2017); Mersoni e Reichet (2017), entre outros.

Nos estudos de Oliveira *et al.* (2022), Paes *et al.* (2020), Coelho e Lange (2018) e Mersoni e Reichert (2017), a ACV foi utilizada para analisar diferentes opções de manejo no sistema de RSU em diferentes municípios brasileiros e comparar com os cenários existentes. Os resultados indicaram reduções significativas nos impactos ambientais em cenários com maiores taxas de reaproveitamento de resíduos secos através da reciclagem.

Ibañez-Forés *et al.* (2018) analisaram o impacto ambiental do sistema de coleta seletiva, entre os anos de 2005 e 2015, na cidade de João Pessoa. Foi observado que ao aumentar a recolha de resíduos através da coleta seletiva proporcionou uma redução de impactos ambientais negativos e, além disso, implementar métodos alternativos para valorizar também a fração orgânica e otimizar a etapa de transporte, foram ações importantes para reduzir o impacto ambiental gerado pelos RSU no seu território de estudo

Os estudos realizados por Liikanen *et al.* (2018) e Lima *et al.* (2019) em São Paulo e Campo Grande, respectivamente, enfatizaram que os impactos ambientais dos RSU seriam reduzidos pela digestão anaeróbia de resíduos orgânicos separados por fonte e Tratamento Mecânico Biológico (TMB).

Em todos os estudos, a ACV se mostrou eficaz nas análises realizadas, sendo possível destacar sua importância como ferramenta de apoio a tomadas de decisão tendo em vista a quantidade de informações que podem ser obtidas e utilizadas para direcionamentos estratégicos, quanto ao gerenciamento de resíduos menos impactantes e mais interessantes para a realidade local estudada.

2.4.2 Custo do Ciclo de Vida (CCV) - Dimensão Econômica

O gerenciamento de RSU é um serviço caro e, em países em desenvolvimento, o gasto com esses sistemas representam 20-50% dos orçamentos municipais (World Bank, 2022; Khan *et al.*, 2022). Esse fato demonstra que além de identificar os custos do sistema proporcionam informações econômicas de diferentes estratégias mais interessante do ponto de vista da sustentabilidade para o setor.

De acordo McDougall *et al.* (2004), os principais fatores econômicos durante o ciclo de vida do gerenciamento de RSU incluem os gastos com a coleta, separação, tratamento, transporte e disposição final. O autor cita, ainda, que existem ganhos que podem ser obtidos através da venda de material reciclável, da compostagem e da geração de energia.

Campos-Alba *et al.* (2021) identificaram que processos de separação de resíduos na fonte são custosos, necessitando de maior número de trabalhadores ou veículos coletores,

infraestrutura diferenciada, entre outros. Contudo, esses sistemas representam ganhos socioambientais e podem reduzir os custos de disposição final em aterros sanitários (D'onza *et al.*, 2016). Neste sentido analisar o aspecto econômico de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (GRSU) é crucial para que os gestores públicos possam subsidiar as tomadas de decisões priorizando a utilização de recursos na sociedade de forma que o bem-estar social seja maximizado (Lam *et al.*, 2018).

Uma ferramenta de análise econômica que tem ganhado destaque na última década é o CCV, que tem como base o conceito de ciclo de vida para avaliar o desempenho econômico das estratégias de gestão de resíduos baseado na estrutura de ACV (Sharma; Rawal, 2021).

O cálculo do CCV deve ser aplicado em paralelo à ACV, e pode ser definida ainda como uma avaliação de todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto com inclusão complementar das externalidades que se prevê, que possam ser internalizadas no futuro e que demonstrem relevância para a tomada de decisão (Hunkeler *et al.*, 2008). Assim, o CCV segue a mesma estrutura metodológica da ACV dividida em quatro fases: 1. Definição de objetivo e escopo; 2. Inventário dos custos; 3. Agregação dos custos por categorias; 4. Interpretação dos resultados.

Além disso, o CCV pode ser executado em várias perspectivas, e variar conforme o ponto de vista dos atores envolvidos no ciclo de vida (geradores, operadores, gestores e consumidores) (Santiago, 2019). Para isso, é importante a definição da perspectiva para a qual se direcionará o estudo.

Segundo Martinez-Sanchez *et al.* (2015) e Hunkeler *et al.* (2008), existem três categorias de estudos de CCV, sendo o CCV - convencional, o CCV - ambiental e o CCV - societal.

- CCV – convencional: consiste em uma avaliação econômica que considera todos os custos de investimentos e operacionais suportados diretamente por um determinado ator, normalmente pelo produtor ou consumidor;
- CCV – ambiental: é o tipo indicado para ser realizado em paralelo com a ACV, pois a fronteira do sistema é expandida para contemplar todo ciclo de vida do produto. Incluindo os custos suportados por todas as partes interessadas e as externalidades ambientais;
- CCV – societal: inclui ainda custos de externalidade (ou seja, “internaliza” os impactos ambientais e sociais atribuindo valores monetários aos respectivos efeitos), utilizando preços contabilísticos.

O processo de cálculo do CCV, em sistemas de GRSU, indicará a solução que apresenta menor custo global, com base nas informações disponíveis possibilitando avaliar e comparar diferentes tecnologias, viabilidade econômica de projetos/produtos, identificar diferentes perfis de cenários e seus custos-benefícios, entre outros (Fiori, 2014). Diferentes autores vêm aplicando CCV a sistemas de GRSU, como pode ser observado nos artigos publicados por Lins, Costa e Nóbrega (2023), Paes *et al.* (2020), Colvero *et al.* (2020), Fernández-González *et al.* (2017).

Lins, Costa e Nóbrega (2023) e Gomes e Nóbrega (2005), utilizaram a abordagem de CCV para avaliar o ciclo de vida do programa de coleta seletiva em João Pessoa/Paraíba, através da análise benefício/custo (B/C). Os resultados determinaram que o programa, mesmo arrecadando uma pequena parcela de resíduos recicláveis, nos dois casos apresentou benefícios superiores aos custos, sendo a maior parte das despesas as etapas de transporte e mão-de-obra e a venda de recicláveis o maior benefício econômico obtido e que se estendeu a todos os componentes envolvidos no processo como: empresas recicladoras, catadores de materiais recicláveis, a prefeitura municipal, a sociedade e ao meio ambiente.

Paes *et al.* (2020), realizaram uma análise econômica do gerenciamento dos RSU de Sorocoba, município do Estado de São Paulo. Foram considerados os custos operacionais e de investimento e associados aos custos das externalidades ambientais, permitindo assim analisar os custos totais para a sociedade. Os cenários que combinaram maiores taxas de reciclagem com uma maior eficiência dos transportes e mais compostagem produziram os melhores resultados, reduzindo os custos sociais totais.

Colvero *et al.* (2020) analisaram cenários de gerenciamento de RSU para 19 municípios do Estado de Goiás e identificaram que a recolha e o transporte são as etapas mais caras, representando cerca de 60% dos custos operacionais. Outro resultado obtido foi que ao centralizar a planta de incineração e o aterro sanitário, ocorreu uma redução nos custos com transporte de resíduos.

A análise de custos, realizada por Fernández-González *et al.* (2017), comparou diferentes tecnologias de transformação de RSU em energia (WtE) em cidades localizadas no sul da Espanha. Os autores identificaram que a implementação de sistemas de WtE (digestão anaeróbia, a produção de combustível sólido recuperado e a gaseificação) reduziram os custos de funcionamento em relação aos atuais sistemas de tratamento mecânico biológico e de incineração, sendo a gaseificação a que apresentou o menor valor.

2.4.3 Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) - Dimensão Social

A dimensão social da sustentabilidade e sua relação com os aspectos econômicos e ambientais estão cada vez mais forte nos últimos anos e apenas preocupar-se com o lucro já não é mais suficiente. Deve-se avaliar e satisfazer, também as necessidades ambientais e sociais das partes interessadas relevantes. A ACV-S é recente, mas existe uma preocupação crescente com esta ferramenta a nível internacional.

Segundo a UNEP (2020), a ACV-S é uma ferramenta de avaliação do impacto social ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço desde a extração da matéria-prima até a fase de fim de vida. Portanto, o ACV-S fornece informações sobre os aspectos sociais úteis para a tomada de decisão, com vistas a melhorar o desempenho das organizações e dos agentes envolvidos no ciclo de vida a partir das informações levantadas no estudo. Para Padilla-Rivera *et al.* (2021), a ferramenta supracitada é importante para o planejamento e implementação de projetos, políticas e programas que visem melhorar a vida dos sujeitos investigados.

Com o objetivo de orientar os usuários do método de ACV-S, a UNEP/SETAC propôs uma metodologia que segue uma estrutura análoga à sugerida pela ISO 14040 para análise do ciclo de vida ambiental, compreendendo quatro fases principais: definição de objetivo e escopo, análise do inventário do ciclo de vida, avaliação do impacto social do ciclo de vida e interpretação do ciclo de vida. Além disso, estudos de ACV-S, normalmente, empregam as diretrizes da UNEP/SETAC (2009), que fornecem orientações sobre como avaliar os impactos sociais relacionados aos produtos durante o ciclo de vida, possuindo a mesma estrutura que a ISO 14040 (2006), o que facilita a aplicação combinada com a ACV e a CCV.

Deve-se entender que analisar sustentabilidade social é identificar e gerenciar impactos, positivos e negativos, nas pessoas (*stakeholders*). Assim, a UNEP (2020) apresenta que a estrutura de uma ACV-S exige uma abordagem de partes interessadas, na qual os impactos potenciais em diferentes categorias de *stakeholders* devem ser considerados, sendo os principais: trabalhadores, comunidade local, sociedade; consumidores; atores da cadeia de valor (UNEP/SETAC, 2009). É importante destacar que as categorias de *stakeholders* estão na base de uma avaliação de ACV-S e vinculadas a elas estão às categorias/subcategorias de impacto que compreendem temas ou atributos socialmente significativos que são avaliadas por meio de indicadores de impacto, dos quais os indicadores se relacionam diretamente com o inventário do ciclo de vida do produto (UNEP, 2020).

Os indicadores são utilizados para avaliar uma categoria de impacto e podem variar de acordo com o contexto do estudo e fatores que são potencialmente afetados, alguns exemplos de categorias são: direitos humanos, condições de trabalho, educação, salário justo, saúde

humana. Essas categorias são detalhadas em subcategorias de impacto que são temas ou atributos socialmente significativos, como pode ser observado na Tabela 4 (UNEP/SETAC, 2009).

Tabela 4 - Categorias de Stakeholder e as Subcategorias de Impacto Sugeridas pela UNEP/SETAC

Stakeholders	Subcategorias de Impacto
Trabalhador	Liberdade sindical e negociações coletivas, Trabalho infantil, Salário justo, Horas de trabalho, Trabalho forçado
	Igualdade de oportunidades/discriminação, Saúde e segurança, Benefícios sociais/segurança social
Consumidor	Saúde e segurança
	Mecanismo de retroalimentação (<i>feedback</i>)
Comunidade local	Privacidade do consumidor
	Transparência
Sociedade	Responsabilidade pelo fim do ciclo de vida
	Acesso aos recursos materiais
Atores da cadeia de valor	Acesso aos recursos imateriais
	Deslocalização e migração
Comunidade local	Patrimônio cultural
	Condições de vida seguras e sanas
Sociedade	Respeito dos direitos indígenas
	Participação da comunidade
Atores da cadeia de valor	Emprego local
	Assegurar condições de vida
Sociedade	Compromisso público sobre sustentabilidade
	Contribuição ao desenvolvimento econômico
Atores da cadeia de valor	Prevenção e mitigação de conflitos armados
	Desenvolvimento tecnológico
Comunidade local	Corrupção
	Competência leal
Atores da cadeia de valor	Promoção da sustentabilidade social
	Relação com fornecedores
Sociedade	Respeito dos direitos de propriedade intelectual

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de UNEP/SETAC (2009).

A mensuração dos impactos sociais possui alta complexidade, pois a percepção de seus impactos é variável, e a falta de indicadores e métodos sociais padronizados para calculá-los é o principal obstáculo para o cumprimento dessa finalidade (Ibañez-Forés *et al.*, 2019; Lehmann *et al.*, 2011). Existem bases de dados como a Social Hotspot Database (SHDB) e Product Social Impact Life Cycle Assessment (PSILCA), porém os dados disponibilizados são de setores específicos por países (UNEP/SETAC, 2020).

Além disso, segundo Costa *et al.* (2022), a realização da ACV-S pode ser onerosa, pois é necessária uma extensa coleta de dados que, por sua vez, consome tempo e, por possuir dados qualitativos, são necessários especialistas no assunto para estudá-los. A definição da unidade funcional é outra dificuldade em estudos combinados de ACV e CCV com ACV-S, pois os

impactos dependem do comportamento de organizações e partes interessadas o que permitem que os fluxos não sejam relacionados à unidade funcional (UNEP-SETAC, 2020).

Costa *et al.* (2022) realizaram um levantamento bibliográfico para descrever o nível atual de desenvolvimento de aplicações ACV-S no setor de resíduos. Os autores identificaram 36 artigos considerados relevantes, sendo a maioria dos estudos (20) com foco em uma tipologia de específica de resíduo, enquanto o restante (16) abordou a gestão dos resíduos sólidos municipais. Outro ponto a ser destacado no estudo foi a localização geográfica, pois a maioria está concentrados em regiões de média e baixa renda, localidades em que os sistemas, em geral, são menos mecanizados quando comparados a sistemas de países ricos. Essa realidade é diferente de aplicações de ACV identificados por Khandelwal *et al.* (2019), em que houve predominância de estudos em países de alta renda.

Existe ainda bastante variabilidade no método de aplicação da ACV-S, pois Costa *et al.* (2022) identificaram que 40% dos estudos nessa temática utilizavam como base os guias da UNEP-SETAC e outros eram de desenvolvimento de metodologias.

Azimi *et al.* (2020) analisaram o desempenho social do sistema de gestão de resíduos da cidade de Cabul/Afganistão. O limite do sistema inclui oito *stakeholders*, 90 indicadores de inventário e 20 subcategorias de impacto. Os resultados identificaram os principais pontos negativos a serem tratados: excesso de trabalho dos catadores, dos lojistas de reciclagem e trabalhadores e gerentes de fábricas de reciclagem, a ausência de comunicação e envolvimento da comunidade local e a falta de limpeza do entorno da fábrica de reciclagem e dos pontos de coleta.

No estudo de Ibáñez-Forés *et al.* (2019) foi proposto e aplicado um conjunto de indicadores sociais para avaliar a situação socioeconômica e condições de trabalho dos diferentes atores envolvidos no ciclo de vida de um sistema de RSU, com foco no aspecto da coleta seletiva na cidade de João Pessoa/Brasil. Foram estabelecidas 12 categorias de impacto social e 22 indicadores. Os resultados indicaram que a categoria de impacto com melhor desempenho está relacionada a um “relacionamento entre atores da cadeia de valor”, enquanto “igualdade de oportunidades/discriminação” e “benefícios laborais” apresentam os piores resultados, sendo que as políticas públicas deveriam investir maiores esforços para melhorar as condições das pessoas que dependem deste sistema.

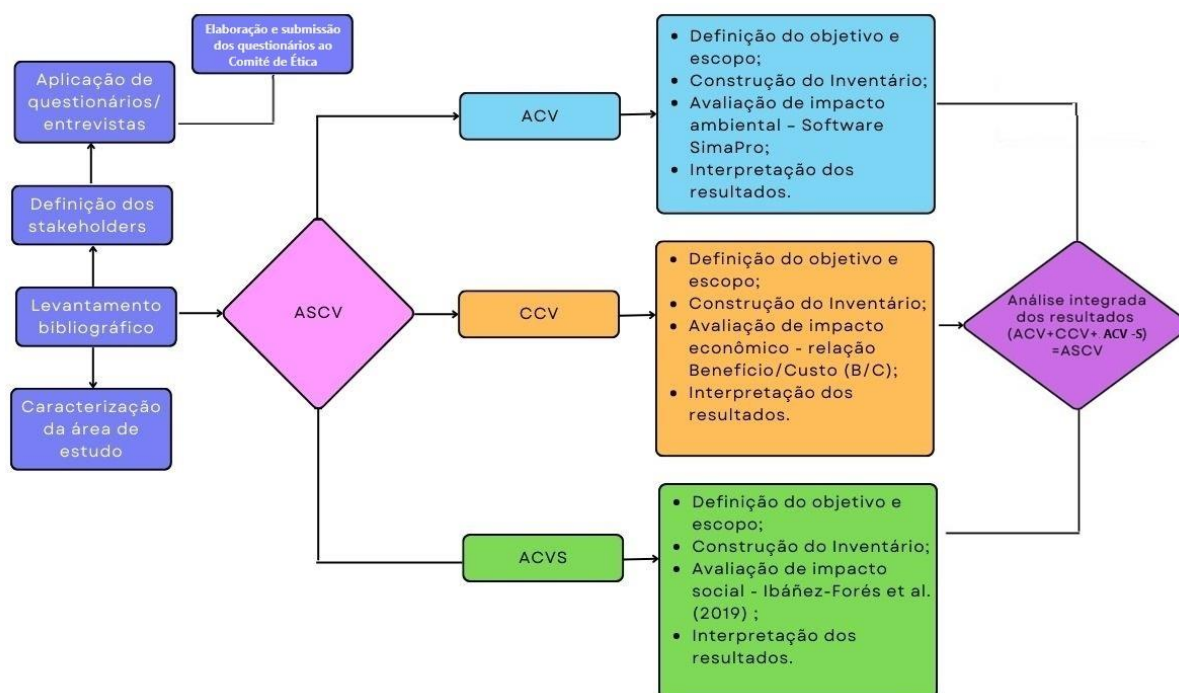
Ramirez *et al.* (2012) propuseram o método *Subcategory Assessment Method* (SAM) que avalia o perfil social das organizações envolvidas nos processos ao longo do ciclo de vida do produto em relação ao cumprimento de um requisito básico social. Para fornecer uma avaliação objetiva, o SAM é baseado em uma escala de quatro níveis quanto às boas práticas

organizacionais sendo : A, B, C ou D. Neste método, os conceitos são abordados do ponto de vista de padrões sociais internacionalmente e localmente aceitos através, por exemplo da Organização Internacional do Trabalho (OIT) ou por Leis nacionais. Assim, o nível A representa as iniciativas que promovem boas práticas ao longo de toda a cadeia produtiva, enquanto os níveis C e D são atribuídos àquelas organizações que não atendem aos requisitos básicos.

3 METODOLOGIA

Para obtenção dos resultados foram realizados levantamento dos dados bibliográficos relacionados à área de estudo, bem como sobre as metodologias de avaliação dos impactos ambientais, econômicos e sociais existentes ao longo do ciclo de vida da rota tecnológica de resíduos domiciliares de João Pessoa. As etapas adotadas para o cumprimento do procedimento metodológico utilizados podem ser observadas no fluxograma (Figura 11).

Figura 11- Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Inicialmente, foi realizada a caracterização da área de estudo com base o município de João Pessoa, no espaço temporal referente ao ano de 2018, devido à consolidação e disponibilidade dos dados pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), órgão responsável pela gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos do município supracitado.

As principais informações coletadas foram: geração e composição dos resíduos municipal e a forma como são operacionalizadas as etapas das rotas tecnológicas desde a coleta, transporte, triagem e a disposição final dos resíduos sólidos.

Os dados foram levantados a partir de documentos como o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos (PMGIRS), licitações municipais, bem como visitas técnicas *in loco* para

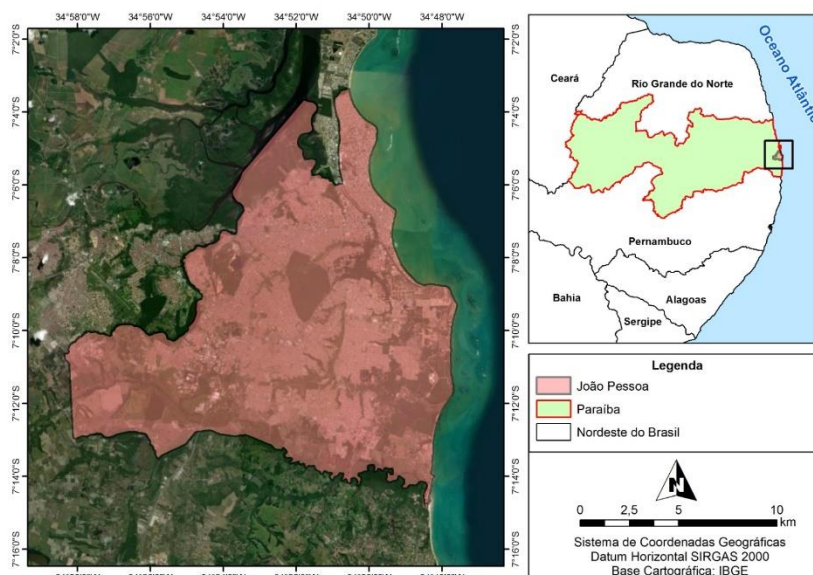
realização de entrevistas com aplicação de questionários junto aos agentes envolvidos no gerenciamento.

É importante destacar que durante o desenvolvimento da presente pesquisa a realização das visitas nas instalações das organizações participantes do estudo, bem como a aplicação dos questionários e a coleta de dados sofreram interferências temporais e precisaram ser adaptadas devido à pandemia de COVID-19 e as implicações dela decorrentes.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Figura 12 mostra a localização do município de João Pessoa/PB.

Figura 12- Localização do município de João Pessoa/PB



Fonte: Elaboração própria (2022).

A população estimada no ano de 2022 foi de, aproximadamente, 833.932 habitantes, com densidade populacional de 3.970,27 hab/km² (Censo, 2023). A economia da cidade tem como destaque as seguintes atividades: comércio, turismo e a indústria, sendo esta última composta, principalmente, por produtos alimentares, têxteis, bebidas e cerâmicas totalizando cerca de 1199 (um mil, cento e noventa e nove) estabelecimentos industriais (FIEP, 2019).

Em relação aos aspectos físicos, destaca-se o clima do município que é do tipo As', quente e úmido, com chuvas de outono e inverno, segundo a classificação de KOEPPEN. A altitude média em relação ao nível do mar é de 37m, com a cota máxima de 74 m nas

proximidades do rio Mumbaba, com temperatura média de apresentar térmicas anuais em torno de 26,9° C e índice pluviométrico entre 1200 e 1800mm (João Pessoa, 2014).

3.2 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA

No que se refere ao modelo de gestão dos resíduos sólidos urbanos, adotado em João Pessoa, a EMLUR, como já citado, é a responsável pelos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município, sendo constituídos pelas seguintes atividades:

- Coleta e transporte dos resíduos doméstico e comercial, resíduos originários da capina, da poda de árvores, da limpeza de logradouros e vias públicas.
- Varrição, capina e pintura de meio fio de logradouros e vias públicas e outros eventuais serviços pertinentes à limpeza pública.

O serviço de limpeza urbana e o gerenciamento operacional (limpeza, recolhimento, transporte e disposição final dos resíduos sólidos), no ano de 2018, foram divididos em 03 (três) lotes (Tabela 5), sendo a coleta dos resíduos sólidos de responsabilidade de três empresas terceirizadas. A divisão em lotes é justificada pelo órgão por melhorar o planejamento operacional com otimização dos serviços, visando à uniformidade do trabalho, padronização e ganho em escala, resultando em uma maximização da operação e redução de custos.

Tabela 5 - Divisão de bairros por lote de cada prestadora de serviços no município de João Pessoa

Prestadora de Serviços	Bairros
LOTE I	Bessa, Jardim Oceania, Aeroclube, Manaíra, Centro, Tambiá, Roger, Varadouro, Treze de Maio, São José, João Agripino, Brisamar, Bairro dos Ipês, Pedro Gondim, Bairro dos Estados.
LOTE II	Tambaú, Cabo Branco, Jaguaribe, Ponta do Seixas, Praia da Penha, Portal do Sol, Altiplano, Cristo, Varjão, Cruz das Armas, Oitizeiro, Jardim Veneza, Distrito Industrial, Mumbaba, Mussuré, Jardim São Paulo, Anatolia, Jardim Cidade Universitária, Castelo Branco, Bancários, Bairro das Indústrias.
LOTE III	Costa do Sol, Mangabeira, Cidade Verde, Funcionários, Gramame, Cuiá, Muçumagro, Barra de Gramame, Cidade dos Colibris, José Américo, Água Fria, João Paulo II, Ernani Sátiro, Costa e Silva, Grotão, Planalto da Boa Esperança, Paratibe, Ernesto Geisel, Valentina, Torre, Ilha do Bispo, Alto do Mateus, Trincheiras, Miramar, Tambauzinho, Expedicionários, Padre Zé, Mandacarú, Alto do Céu.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de João Pessoa (2014).

No meio urbano, podem ser identificados como principais tipos de resíduos, os domiciliares, comerciais, resíduos de serviços públicos, resíduos da construção civil, resíduos de serviços de saúde, resíduos eletroeletrônicos, industriais e outros. A geração de RSU em João Pessoa provém, principalmente, das residências e comércio, RSD, e da limpeza urbana com o resíduo verde. Na Figura 13 é mostrado o fluxograma com os principais fluxos de RSU do município.

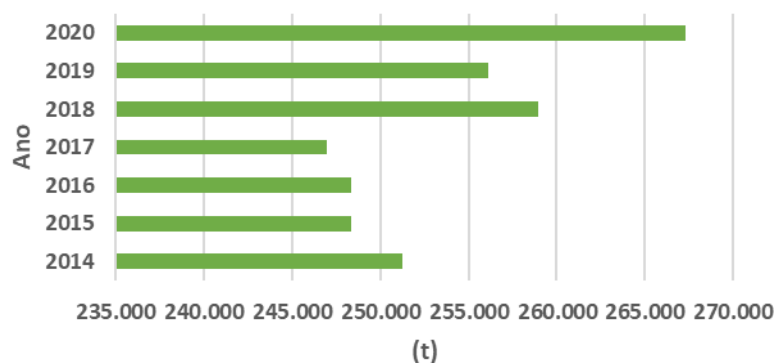
Figura 13 – Fluxograma dos resíduos sólidos urbanos de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de João Pessoa (2014).

A Prefeitura Municipal de João Pessoa enquadra como domiciliar resíduos oriundos de atividades domésticas nas residências e comércios desde que até um limite de 200 litros por dia, para a coleta de resíduos de lojas e shoppings de acordo com a Lei municipal nº 16/1998. Os estabelecimentos que ultrapassarem esse valor devem providenciar a coleta por meio particular, o que não o exime da Taxa de Coleta de Resíduos (TCR). Para este estudo o foco foi a rota tecnológica do RSD. Na Figura 14 é possível observar a quantidade de RSD gerado no município, durante o período de 2014 a 2020 (EMLUR, 2020).

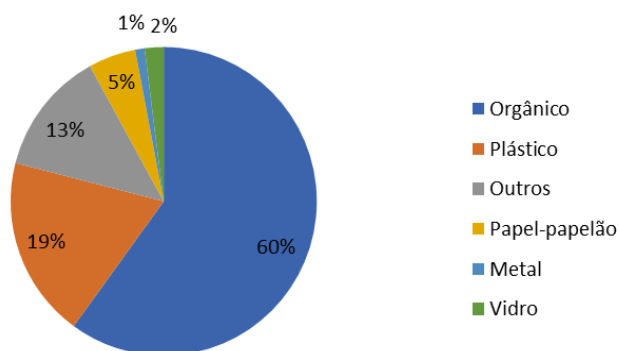
Figura 14 - Quantidade de Resíduo Sólido Domiciliar Gerado no Município, Período de 2014 a 2020



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de EMLUR (2022).

A gravimetria é composta de cerca de 60% de resíduos orgânicos, evidenciando o elevado potencial de compostagem na região, seguida do plástico (19%), rejeito (13%), papelão/papelão (5%), metal (1%), vidro (2%) (Figura 15). A categoria rejeito é composta por diversos materiais, a exemplo de borracha, trapos e fraldas descartáveis, entre outros (EMLUR, 2019).

Figura 15 - Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de EMLUR (2019).

Na Tabela 6, pode-se observar a quantidade de resíduos orgânicos e recicláveis, estabelecidas no PMGIRS, assim como as metas e os prazos para a redução da disposição no aterro sanitário. Para os resíduos recicláveis foram estipuladas metas de expansão na recuperação da parcela reciclável pelo programa de coleta seletiva (Tabela 6). Em relação aos resíduos orgânicos, o PMGIRS estabelece como opção de tratamento a implantação de pátio de compostagem centralizado. Entretanto, as propostas não foram atingidas e a compostagem para os resíduos sólidos orgânicos domiciliares ainda não foi implementada.

Tabela 6 - Metas do Plano Municipal Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de João Pessoa para expansão na recuperação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduo Reciclável						
Ano	2015	2019	2023	2027	2031	2034
Meta (%)	3	9	13	19	25	25
Resíduo Orgânico						
Ano	2017	2019	2023	2027	2031	2034
Úmido (%)	2	10	20	30	40	50

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de João Pessoa (2014).

3.3 DEFINIÇÃO DOS STAKEHOLDERS

Os agentes envolvidos na pesquisa, ou *stakeholders*, foram definidos com base nos estudos de Ibáñez-Forés *et al.* (2019), sendo: usuários (população), trabalhadores e autoridade municipal. Os usuários são a parcela da população que utiliza o serviço.

Os trabalhadores considerados nesse estudo são os funcionários/responsáveis pelas atividades do serviço presentes nas empresas de coleta de resíduos (privada e pública), associações de catadores de materiais recicláveis, empresa de reciclagem, agentes intermediários (atravessadores), concessionária do Aterro Sanitário. Para Yildiz-Geyhan *et al.* (2019) em um sistema gerenciamento de resíduos, os trabalhadores são, em geral, o principal e, provavelmente, o grupo social mais fraco devido às condições de trabalho nos sistemas de coleta.

É importante destacar que o presente estudo não considerou os catadores de materiais recicláveis informais devido à ausência de dados consolidados e aos riscos sanitários vigentes devido à pandemia de COVID-19. Por fim, a autoridade municipal é representada pela EMLUR que é o órgão da prefeitura municipal de João Pessoa responsável pelos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

Os questionários e os roteiros das entrevistas foram desenvolvidos para coleta de dados das três dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) e estão disponibilizados nos Apêndices B ao L. Os questionários são semiestruturados, com perguntas abertas e fechadas, e foram elaborados a partir dos estudos de Ibáñez-Forés *et al.* (2019), Citroth e Franze (2011) e do PMGIRS de João Pessoa. Além disso, passaram pela aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Lauro Wanderley (CEP/HULW), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), CAAE: 53903921.2.0000.5188 (Anexo A), conforme estabelecido Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS) e suas complementares, que requer a aprovação no conselho de ética para pesquisas que tratam de temas que tenham participação ativa com seres humanos.

Para aplicação dos questionários foi necessário definir as amostras populacionais referentes aos *stakeholders* do estudo. Esta fase da pesquisa foi realizada durante a pandemia da COVID-19, entre os anos de 2020 e 2022 e, houve a adoção de medidas de restrição de contato físico em vários países do mundo, limitando a realização de pesquisas com entrevistas presenciais. Assim, para a categoria trabalhadores, os entrevistados foram aqueles que se voluntariam respeitando o uso adequados de equipamentos de proteção individual (EPI).

A população usuária no município de João Pessoa, no ano de 2018, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020) era de 800.323 habitantes. Assim, para o cálculo amostral, utilizou-se metodologia descrita por Gil (2008) que afirma que para

populações infinitas, em que a população a ser estudada ultrapassa 100.000 unidades amostrais, a fórmula para cálculo de tamanho de amostra é dada pela Equação 3:

$$n = \frac{\sigma^2 \times p \times q}{e^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

n = Tamanho da amostra.

σ^2 = Nível de confiança escolhido, expresso em número de desvios-padrão.

p = Percentagem com a qual o fenômeno se verifica.

q = Percentagem complementar (100-p).

e^2 = Erro máximo permitido.

A quantificação do tamanho da amostra para aplicação dos questionários considerou os seguintes valores para as variáveis da Equação 3:

- σ : Nível de confiança escolhido de 95%. De acordo com a tabela da distribuição normal, para 95%, $\sigma = 1,96$.
- p : 0,5 (valor conservador considerando a maior variabilidade da população).
- e : Será considerado um erro amostral de 5%.

Substituindo os valores, tem-se:

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}{0,05^2} = 384,16$$

$n = 384,16$ (aproximadamente 384 questionários)

Para aplicação dos questionários foi utilizado o método “bola de neve” de forma virtual que, segundo Szwarcwald *et al.* (2021), é um procedimento de amostragem não probabilístico, que funciona a partir da indicação de um grupo inicial de pessoas que fazem parte da população-alvo (denominadas de sementes), que indicam pares do mesmo grupo populacional, e assim sucessivamente, semelhante à formação de uma bola de neve. Inicialmente, foi realizado o envio do link de acesso a um questionário eletrônico, por meio de e-mail ou de alguma rede

social virtual e no corpo da mensagem, além da apresentação da pesquisa foi explicado seu objetivo, riscos e a solicitação do aceite de forma voluntária pelo participante.

3.4 METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA – ACV

3.4.1 Objetivo e escopo

O objetivo da ACV, neste estudo, foi avaliar o impacto ambiental da rota tecnológica existente, no ano de 2018, em João Pessoa e comparar com diferentes cenários alternativos. A unidade funcional adotada foi o gerenciamento de 1 tonelada de RSD, recolhidos formalmente, no ano de 2018, no município de João Pessoa/Paraíba.

A fronteira do sistema leva em conta toda a rota tecnológica do RSD a partir do momento que é gerado e disponibilizado para a coleta e transporte (C&T), tratamento e a disposição final em aterro. O armazenamento temporário de resíduos em lixeiras não foi considerado neste estudo, pois não é uma prática comum no Brasil (Coelho e Lange, 2018).

O público-alvo foi direcionado aos *stakeholders* envolvidos em todo o ciclo de vida do RSD desde gestores municipais, garis, agentes intermediários, catadores de materiais recicláveis, indústria recicladora e população usuária.

A modelagem atribucional foi utilizada na perspectiva da valorização dos resíduos e, a partir das rotas tecnológicas identificadas no município foi possível desenvolver, para esta pesquisa, o cenário referente ao ano base de estudo (2018) e cenários alternativos que considerassem possíveis melhorias ambientais para avaliação dos impactos ambientais da rota tecnológica de RSD.

Para a construção dos cenários foi utilizado o software gratuito Diagrams.net para melhor visualização das rotas tecnológicas analisadas.

3.4.2 Inventário do ciclo de vida

Uma combinação de dados primários e secundários foi utilizada para construir o inventário do pilar ambiental, sendo as informações obtidas no PMGIRS, junto a EMLUR, em documentos e relatórios científicos e, também, na base de dados do Ecoinvent versão 3.7.1 (SIMAPRO, 2021), adaptado às condições locais para maior representatividade com a realidade da capital paraibana.

O SimaPro (versão 9.2.0.2) foi o software escolhido no estudo para a realização da ACV. Além de ser o mais utilizado neste tipo de pesquisa (Mulya *et al.*, 2022), o seu acesso era

gratuito na versão *Faculty* pelo fabricante, durante a realização do estudo, pela empresa *PRé Sustainability*. O programa disponibiliza banco de dados como o Ecoinvent, bastante utilizado nas pesquisas envolvendo resíduos sólidos e é atualizado regularmente por pesquisadores em todo o mundo.

Na etapa de coleta e transporte regular foi considerado a quantidade de resíduos transportados e a distância percorrida (km). A base de dados do Ecoinvent foi utilizada por possuir um modelo de caminhão utilizado para serviços de coleta de resíduos, aproximando ainda mais da realidade os impactos estimados para este processo. Foi, portanto, utilizado para a etapa C&T “Municipal waste collection servisse by 21 metric ton lorry {Row}”. Na etapa de coleta seletiva e atravessadores o processo para modelar se refere a caminhões com menor capacidade de carga sendo o processo utilizado, em ambos, “Transport, freight, lorry 3,5 - 7,5 metric ton, euro3 {RoW} market for”.

Nas instalações existentes (núcleos, indústria recicladora, aterro sanitário) foram considerados os fluxos de matéria e energia necessários para a operação - água, energia, óleo lubrificante e arame para amarração dos fardos. Admitiu-se que o consumo de água e energia nos galpões dos atravessadores é inexistente, já que os mesmos servem, exclusivamente, para armazenamento temporário do resíduo. A compostagem é uma tecnologia proposta para tratamento dos resíduos orgânicos. Como esta unidade não está em operação, foram utilizados dados do Ecoinvent.

Para a elaboração do inventário na etapa da coleta seletiva foi necessário considerar a fixação de um percentual de eficiência para os materiais segregados nos núcleos e na central de triagem (CT): papel/papelão (97,50%), plástico (80%), metal e vidro (90%) (Rigamonti *et al.*, 2009). Esse dado é referente à quantidade de resíduos coletados que podem ser comercializados com os atravessadores e, deles revendido para as indústrias recicladoras.

3.4.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida

Para avaliar os impactos ambientais foi utilizado o método CML-IA *baseline* versão 3.00/world 2000, que corresponde a uma das metodologias mais utilizadas para avaliar impactos ambientais do ciclo de vida de sistemas de resíduos (Iqbal *et al.*, 2020; Mulya *et al.*, 2022), sendo o escolhido para análise e comparação com outros estudos.

O mesmo critério, citado anteriormente, foi utilizado para as cinco categorias de impactos ambientais selecionadas neste estudo, sendo: potencial de aquecimento global, destruição da camada de ozônio, formação de oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização

(Iqbal *et al.*, 2020; Mulya *et al.*, 2022; Visentin *et al.*, 2020). As categorias supracitadas foram consideradas de maior relevância em estudos semelhantes. estando presentes em diversos estudos analisados (Coelho e Lange, 2018; Nóbrega *et al.*, 2019; Mersoni e Reichert, 2017), permitindo a comparação com a literatura científica existente.

3.5 METODOLOGIA APLICADA AO CUSTO DE CICLO DE VIDA (CCV)

Para avaliar o CCV da rota tecnológica existente do RSD, no ano de 2018, em João Pessoa utilizou-se o levantamento dos custos atribuídos a coleta regular, considerando a coleta e o transporte, mão-de-obra bem como a disposição final no aterro sanitário. Já, para os resíduos recicláveis coletados pelo programa de coleta seletiva, aplicou-se a relação Benefício/Custo (B/C) através da quantificação econômica dos principais benefícios e custos envolvidos no processo.

Segundo Meikandaan e Hemapriya (2018), a relação B/C é utilizada como instrumento econômico para avaliar a viabilidade de um determinado projeto ou empreendimento, através da comparação entre seus custos e benefícios efetivos. De acordo com o Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura, publicado pelo Ministério da Economia do Brasil, a utilização dessa metodologia permite que a apreciação de um projeto seja feita de modo sistemático contemplando todos os principais impactos diretos e indiretos ao longo do seu ciclo de vida proporcionando ao planejador e ao tomador de decisão exercitar um olhar sistêmico e multidisciplinar sobre o projeto (Brasil, 2022). Além disso, este tipo de análise é utilizado, internacionalmente, como metodologia na escolha e priorização de projetos que utilizam recursos públicos, contribuindo tomadas de decisões efetivas e eficientes.

A metodologia utilizada neste estudo teve como base o pensamento de ciclo de vida para analisar os gastos municipais de João Pessoa com o sistema de RSD e o estudo de Lins, Costa e Nóbrega (2023) para analisar a relação B/C do programa de coleta seletiva.

A relação B/C é representada pela razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, mostrado na Equação 4.

$$BC = \sum_{k=0}^n \frac{B_k(1+j)^{-k}}{C_k(1+j)^{-k}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

B = benefícios

C = custo

k = tempo

Sendo assim, se $B/C = 1$, pode-se afirmar que os benefícios B são equivalentes aos custos C; se $B/C > 1$, os benefícios foram superiores aos custos analisados, sendo a melhor situação sob o ponto de vista econômico, ou seja, segundo Daniels et al. (2019) significa dizer que a medida é custo-efetiva. Se $B/C < 1$, indica que os custos foram superiores aos benefícios encontrados, sendo este o pior cenário.

3.5.1 Custo do Ciclo de Vida (CCV)

Para realização do CCV, adotou-se a abordagem de ACV, em conformidade com a ISO 14.040 (2006) e as diretrizes da ISO 14.044 (2006), que possui quatro etapas inter-relacionadas: 1) Definição do objetivo e escopo; 2) Inventário do Ciclo de Vida – ICV; 3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida; e 4) Interpretação do Ciclo de Vida.

3.5.1.1 Definição do objetivo e escopo

Em aplicações de ACV deve-se estabelecer a finalidade do estudo e sua amplitude, que deve elencar a aplicação pretendida (ABNT, 2014). Assim, o presente estudo objetivou analisar o CCV do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa/PB, no ano de 2018.

De acordo com a norma citada, o escopo deve conter o sistema de produto a ser estudado, suas fronteiras e a unidade funcional adotada. O público-alvo desta pesquisa é composto pelo poder público, as associações de catadores de resíduos recicláveis, empresas de reciclagem e a população. A fronteira inicial é a coleta dos resíduos de forma regular até o aterro sanitário e dos materiais recicláveis, através da coleta seletiva, que são descartados nas residências, seguindo a rota das associações de catadores e as atividades de segregação, organização em fardos e comercialização a agentes intermediários e, posteriormente, indústria de reciclagem.

A unidade funcional utilizada foi uma tonelada de RSD coletado, de forma regular e seletiva, no município de João Pessoa, no ano de 2018.

Devido à diversidade dos resíduos nas áreas urbanas, foi necessário selecionar um conjunto específico de materiais para análise, sendo: papel, plástico, metal e vidro. A escolha desses materiais se justifica pela sua ampla presença nos RSD do município e que foi evidenciado através da Figura 15 referente à composição gravimétrica.

3.5.1.2 Inventário do Custo do Ciclo de Vida

Analizando a rota tecnológica de RSD de João Pessoa, é notável a existência de diversos agentes como a prefeitura, empresas privadas, associações de catadores de materiais recicláveis, os atravessadores e a sociedade, sendo o conceito de custos e benefícios variável para cada um destes. Sendo assim, o presente trabalho determinou como agente a prefeitura de João Pessoa (representado pela EMLUR), tendo em vista que na área de estudo em questão a gestão de resíduos sólidos é financiada com recursos públicos e, por este motivo, torna-se evidente a necessidade de avaliação pela sociedade.

Para a coleta regular os custos foram obtidos, diretamente, da composição de preço da licitação (pregão eletrônico nº 019/2018 - processo administrativo nº 2017/00656). Foram considerados nos custos, os insumos e equipamentos para realização da atividade, transporte, combustível, mão-de-obra, EPI bem como o valor para a disposição em aterro sanitário.

Em relação à coleta seletiva, na Tabela 7 são mostrados os custos e benefícios, diretos e indiretos, e que estão sob responsabilidade financeira do agente Prefeitura para funcionamento do programa em João Pessoa.

Tabela 7 – Composição dos custos e benefícios, diretos e indiretos, do programa de coleta seletiva no município de João Pessoa.

Custos Diretos	Composição
Aluguel de Imóveis (AI)	Terrenos alugados pela Prefeitura e disponibilizados para instalações das associações de catadores de materiais recicláveis.
Mão-de-obra (MO)	Salários dos motoristas, alimentação, equipamento de proteção individual (EPI) e fardamento dos associados
Serviços (S)	Gastos com energia e água
Transporte e Combustível (TC)	Aluguel de veículos e consumo de combustíveis
Benefícios diretos	Composição
Venda de recicláveis pelos associados	Remuneração obtida com a venda dos materiais recicláveis
Benefícios indiretos	Composição
Custos evitados com o não aterramento (CEA)	Gasto evitado com a disposição final devido ao não encaminhamento dos resíduos recicláveis ao Aterro Sanitário
Custos evitados com a coleta convencional (CEC)	Gasto evitado por não transportar os resíduos recicláveis nos caminhões da coleta convencional municipal

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Lins, Costa e Nóbrega (2023).

As informações dos custos do programa consideradas foram obtidas diretamente da EMLUR, para o ano de 2018, e junto das associações de catadores de materiais recicláveis. Assim, a relação B/C dos custos e benefícios (diretos e indiretos), relacionados ao agente prefeitura, pode ser obtida pela Equação 5.

$$BC = \frac{V+CEA+CEC}{AI+MO+S+TC} \quad (\text{Equação 5})$$

3.5.1.3 Avaliação do Impacto do Custo do Ciclo de Vida da coleta seletiva

A avaliação do impacto do CCV do programa de coleta seletiva do município de João Pessoa foi realizada a partir da relação B/C, no qual foram calculados os custos e benefícios financeiros, diretos e indiretos, para a Prefeitura Municipal.

3.5.1.4 Interpretação do Custo do Ciclo de Vida

A interpretação do CCV compreende a avaliação dos resultados para permitir uma análise do impacto financeiro do gerenciamento dos resíduos do programa de coleta seletiva para a Prefeitura municipal, sendo ainda complementada por uma análise dos benefícios econômicos potenciais gerados em outras etapas do ciclo de vida.

3.5.1.5 Outros benefícios econômicos

De forma complementar, foram analisados os benefícios potenciais advindos da prática da reciclagem, do aterro sanitário e da compostagem.

Reciclagem e Aterro Sanitário

Apesar do foco da presente pesquisa ser o agente público Prefeitura e, tendo em vista que a prática da coleta seletiva favorece a indústria da reciclagem, que além de substituir o consumo de recursos virgens por recursos reciclados, gera economia de energia e benefícios ambientais associados à redução da emissão de GEE, foi realizada, de forma complementar, uma análise financeira da economia gerada pela redução do consumo de energia e de emissão de GEE na etapa de reciclagem.

Com relação à energia, os dados foram estimados com base tanto na produção do material coletado quanto na energia economizada no processo de reciclagem do material, dependendo da tipologia (Lins, Costa e Nóbrega, 2023). O valor da economia de energia, em MWh/t baseou-se nos dados utilizados por energia consumida (MWh/t) para cada material a partir de recursos virgens e reciclados adotados por Longo *et al.* (2019) e os custos da energia (R\$/MWh) cobrados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para o ano de 2018.

No cálculo dos benefícios obtidos com a redução das emissões de GEE (kg de CO_{2eq.}) foram utilizados os dados estimados no estudo de Longo *et al.* (2019) para cada tipo de material proveniente de processos de produção primária e reciclagem. Já com relação ao aterro sanitário,

foi realizada uma análise simplificada referente a qual benefício econômico poderia ser gerado, a partir da comercialização de créditos de carbono pelos GEE que a instalação deixou de emitir no período estudado.

Compostagem

Devido aos impactos positivos que a conversão de resíduos orgânicos em adubo pode contribuir para redução do desperdício de recursos naturais, prolongamento da vida útil do aterro sanitário além de proporcionar benefícios ambientais, econômicos e sociais as partes interessadas, foi realizada uma análise econômica referente à adoção e comercialização do composto resultante da prática da compostagem.

Estimaram-se os custos evitados com aquisição de produtos químicos pela Prefeitura caso o composto gerado fosse utilizado, e a geração de renda a associações pela prática da comercialização do composto a pequenos produtores locais.

3.6 METODOLOGIA APLICADA PARA A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA-SOCIAL (ACV-S)

Nesse estudo, a análise do desempenho social foi realizada para a rota tecnológica de RSD existente em João Pessoa, nos anos de 2021 e 2022, período de aplicação dos questionários.

A metodologia utilizada é baseada no estudo de Ibáñez-Forés *et al.* (2019) em que um conjunto de categorias de impacto, indicadores e métricas se relacionam para possibilitar a avaliação social levando em conta as diretrizes da UNEP e de conclusões da literatura, obtidas pelos autores.

A metodologia propõe o uso de três grupos de *stakeholders*: trabalhadores, usuários e autoridades municipais, selecionados com base no objetivo e relevância para o sistema estudado. Além disso, 12 categorias de impacto e 22 indicadores sociais como apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias de impacto, indicadores e métricas para avaliação social de sistemas de gestão de resíduos

Categorias De Impacto Social	Indicadores Sociais	Métricas	Stakeholder		
			T ^a	U ^b	AM ^c
1. Direitos de trabalho	1.1 Liberdade de associação e negociação coletiva	1.1.a Evidência de restrições à liberdade de associação e negociação coletiva	X		
		1.1.b Os trabalhadores têm acesso a reuniões e a possibilidade de procedimentos de resolução de disputas	X		
		1.1.c Presença sindical	X		
2. Direitos humanos	2.1 Trabalho infantil/idoso	2.1 Número de crianças que trabalham no setor analisado	X		
3. Qualidade dos postos de trabalho (condições de trabalho)	3.1 Salário justo	3.1 Salário do trabalhador comparado ao salário mínimo	X		
	3.2 Horas de trabalho e/ou descanso semanal	3.2 Horas semanais efetivamente trabalhadas pelos funcionários	X		
4. Igualdade de oportunidades / discriminação	4.1 Discriminação de gênero	4.1.a Número de mulheres que trabalham na gestão de resíduos	X		
		4.1.b Diferenças salariais de gênero	X		
	4.2 Regulamentação trabalhista	4.2 Número de trabalhadores indocumentados na gestão de resíduos	X		
	4.3 Trabalhadores das classes marginais	4.3 % dos trabalhadores sem possibilidade de trabalhar em outro setor	X		
5. Saúde e segurança	5.1 Segurança e proteção dos trabalhadores	5.1 % dos trabalhadores que usam EPI em seu trabalho	X		
	5.2 Saúde a longo prazo	5.2.a % de trabalhadores vacinados	X		
		5.2.b % de trabalhadores sem problemas de saúde	X		
6. Benefícios de trabalho	6.1 Emprego legal com benefícios/segurança social	6.1 % de trabalhadores com informação sobre os direitos que correspondem ao código ocupacional do catador de lixo	X		
	6.2 Trabalhadores e familiares com seguro de saúde	6.2 % dos trabalhadores com possibilidade de pagamento ao SNS	X		
7. Condições socioeconômicas	7.1 Nível de escolaridade: trabalhadores e seus filhos	7.1.a Nível de escolaridade dos trabalhadores	X		
		7.1.b Nível de escolaridade das famílias dos trabalhadores	X		
	7.2 Características sociais da população	7.2 Renda familiar mensal total	X		
	7.3 Condições de vida seguras e saudáveis (acesso a recursos materiais)	7.3 Qualidade das casas dos trabalhadores/clientes	X		
8. Satisfação e participação da comunidade	8.1 Satisfação do cliente/cidadão	8.1 Bem-estar social / Satisfação (qualidade dos produtos/serviços)		x	
	8.2 Participação do cliente/cidadão	8.2 % dos cidadãos com acesso a um sistema de gestão de resíduos confiável		x	
9. Relação dos atores da cadeia de valor	9.1 Transparência/corrupção	9.1.a Conhecimento do cliente sobre o sistema		x	
		9.1.b Presença de relatórios periódicos da empresa pública			x
10. Desenvolvimento profissional	10.1 Grau de conscientização do trabalhador ambiental	10.1 Educação/conscientização ambiental dos trabalhadores	X		
11. Desenvolvimento local (repercussão socioeconômica)	11.1 Desenvolvimento de consciência e responsabilidade ambiental	11.1.a Consciência ambiental personalizada		x	
		11.1.b % de usuários que recebem informações ambientais sobre gestão de resíduos		x	
	11.2 Integração trabalhista local de trabalhadores formais do setor informal	11.2 % dos trabalhadores formais do setor informal	X		
12. Governança	12.1 Compromissos públicos com questões de sustentabilidade	12.1 % das ações realizadas com recursos públicos relacionadas à gestão de resíduos			x
	12.2 Maturidade/existência do regulamento do sistema informal de gestão de resíduos	12.2 Legislação sobre gestão de resíduos			x

a – Trabalhador; b – Usuário; c – Autoridade Municipal

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Ibáñez-Forés *et al.* (2019).

A pontuação para cada métrica considerou uma escala comum de 0 a 100 pontos, com 0 pontos para pior comportamento e 100 pontos para o melhor, de acordo com os critérios de pontuação definidos no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição dos critérios de pontuação

CÓDIGO	CRITÉRIOS DE PONTUAÇÃO (de 0 pontos para o pior comportamento, a 100 pontos para o melhor)
1.1.a	A pontuação é proporcional ao percentual de respondentes que trabalham como acham melhor trabalhar (quando alguém trabalha como prefere = 100 pontos)
1.1.b	A pontuação para cada uma das três questões, que têm o mesmo peso na pontuação final, é proporcional à porcentagem de respondentes que dão uma resposta positiva por tendo em conta a seguinte pontuação (se há reuniões/ o trabalhador participa nas reuniões/ os trabalhadores participam na votação dos processos de decisão = 100 pontos; se não = 0 pontos)
1.1.c	Se um sindicato não estiver presente = 0 pontos; Se um sindicato estiver presente = 100 pontos
2.1	Se alguma resposta mostrar que há crianças pequenas trabalhando formalmente = 0; Se não há crianças pequenas trabalhando, mas elas ajudam nas tarefas de coleta de lixo de seus familiares = 50; Se nenhuma criança trabalha direta ou indiretamente = 100 pontos
3.1	Pontuação com base na comparação entre o salário do trabalhador e o salário mínimo regulamentar (sm) no país analisado (sm = x Moeda local/mês), considerando em conta que o salário mínimo considerado ótimo é o equivalente a 2 sm devido aos riscos relacionados ao trabalho de gerenciamento de resíduos (< sm = 0 pontos; 1 sm = 50 pontos; 2 sm = 100 pontos)
3.2	A pontuação final calculada por regressão linear entre a quantidade ideal de horas de trabalho (40 h/semana) e a inferior (< 20 h/semana) e superior (> 60 h/semana) limites levando em consideração a seguinte pontuação (< 20 h/ semana = 0 pontos; 40 h/ semana = 100 pontos; > 60 h/ semana = 0 pontos)
4.1.a	A paridade é calculada por regressão linear entre a situação ótima (50% dos trabalhadores são mulheres = 100 pontos) e a pior situação (somente homens/ mulheres trabalham no sistema = 0 pontos)
4.1.b	Se todos os trabalhadores (homens e mulheres) recebem o mesmo salário para o mesmo trabalho = 100 pontos, se o salário difere entre homens e mulheres = 0 pontos
4.2	Se houver evidência de algum trabalhador trabalhando no sistema sem os documentos mínimos exigidos pela legislação nacional = 0 pontos
4.3	Pontuação média com base nas razões individuais para trabalhar no setor de gestão de resíduos (escolhem o setor porque gostam = 100 pontos; não conseguem encontrar outro emprego e preciso do dinheiro = 50 pontos; É a única opção de trabalho que eles têm = 0 pontos)
5.1	A pontuação é proporcional aos trabalhadores que têm acesso e normalmente usam EPI no trabalho (pelo menos luvas)
5.2.a	A pontuação média com base nas vacinas que cada trabalhador tem devido ao trabalho de coleta de lixo (Tétano + hepatite = 100 pontos; Tétano ou hepatite = 50 pontos; Sem vacina = 0 pontos)
5.2.b	A pontuação é proporcional aos trabalhadores saudáveis, atribuindo a mesma importância ao percentual de pessoas sem doença e ao percentual de pessoas que declaram nunca ter tido alguma doença profissional.
6.1	A pontuação é proporcional aos trabalhadores que conhecem algum código oficial de ocupação para catadores
6.2	A pontuação é proporcional aos trabalhadores que pagam suas taxas do SNS
7.1.a	A pontuação média com base no nível de educação individual de cada trabalhador, considerando a seguinte pontuação: Ensino médio completo = 100 pontos; Ensino fundamental completo escolaridade = 50 pontos; Alfabetizado = 25 pontos; Analfabeto = 0 pontos)
7.1.b	A pontuação é proporcional ao percentual de filhos de trabalhadores que estão na escola
7.2	A pontuação média com base na renda familiar do trabalhador individual considerando a seguinte pontuação: < 1 sm = 0 pontos; 1 sm-2 sm = 25 pontos; 2 sm-3 sm = 50 pontos; 3 sm -4 sm = 75 pontos; > 4 sm = 100 pontos
7.3	A pontuação média com base nas características da casa do trabalhador considerando a seguinte pontuação (Casa de tijolo = 100 pontos; Casa de madeira = 67 pontos casa = 33 pontos; Outros = 0 pontos) observe que qualquer casa sem banheiro e eletricidade só pode marcar 50 pontos no máximo
8.1	A pontuação média baseada na opinião do usuário sobre o sistema de gestão de RSU considerando a seguinte pontuação (Ótimo = 100 pontos; Bom = 75 pontos; Regular = 50 pontos; Ruim = 25 pontos; Péssimo= 0 pontos)
8.2	A pontuação é proporcional à média de usuários que afirmam ter acesso a um sistema confiável de gestão de resíduos e aos que separam os resíduos em casa
9.1.a	A pontuação é proporcional aos usuários que conhecem o real destino dos resíduos coletados na cidade
9.1.b	Se houver relatórios públicos periódicos = 100 pontos
10.1	A pontuação é proporcional aos trabalhadores que afirmam estar cientes de sua contribuição para a educação ambiental
11.1.a	A pontuação é proporcional aos usuários que reaproveitam resíduos gerados em casa
11.1.b	A pontuação é proporcional aos usuários que não receberam orientação sobre como separar/reutilizar resíduos
11.2	A pontuação é proporcional ao percentual de trabalhadores do setor informal de gestão de resíduos (quando alguém trabalhava como catador informal na cidade ou despejar antes de trabalhar formalmente para o sistema de gestão de RSU = 100 pontos)
12.1	Se alguma ação foi realizada paga com fundos públicos de gestão de resíduos = 100 pontos; se não = 0 pontos
12.2	Pontuação com base na distância até as metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (coleta seletiva > x% resíduo gerado = 50 pontos; coleta seletiva > x% resíduo gerado = 100 pontos; coleta seletiva < x% resíduo gerado = 0 pontos)**
**O x% representa a meta estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos para o índice de coleta seletiva de resíduos no país analisado	

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Ibáñez-Forés *et al.* (2019).

Para a presente pesquisa foi necessário a realização de algumas adaptações a metodologia original, tendo em vista a aplicação da metodologia para a rota tecnológica de RSD de João Pessoa e a inclusão de *stakeholders* considerados na categoria trabalhadores. Diante disso, algumas métricas e critérios das pontuações dos indicadores foram modificados para obtenção de resultados mais próximos a realidade da área de estudo. Essas modificações foram embasadas nos estudos de ACV-S de Lenzo *et al.* (2017) e Foolmaun e Ramjeawon (2012) e visaram representar melhor a realidade da área de estudo e extrair novas informações através dos questionários aplicados.

Com relação à categoria trabalhadores foram incluídos além dos catadores de materiais recicláveis, única categoria analisada no estudo de Ibáñez-Forés *et al.* (2019), os trabalhadores envolvidos em toda a rota tecnológica de RSD: garis de empresas pública e privada, agentes intermediários (sucateiros), funcionários de empresa de reciclagem e do aterro sanitário.

Nas categorias de impacto social: igualdade de oportunidades/discriminação, benefícios de trabalho e desenvolvimento local (repercussão socioeconômica) foram necessárias alteração da forma de avaliar os indicadores, sendo necessário modificações nas métricas, como pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Categorias de impacto, indicadores e métricas para avaliação social de sistemas de gestão de resíduos – alterações

Categorias De Impacto Social	Indicadores Sociais	Métricas
4. Igualdade de oportunidades / discriminação	4.1 discriminação	4.1.a Colaboradores de diferentes gêneros, idades, raças ou outras minorias
		4.1.b Diferenças salariais entre grupos de diferentes gêneros, idades, raças ou outras minorias
		4.1.c Discriminação no trabalho
	4.2 Regulamentação trabalhista	4.2.a Política de igualdade de oportunidades dentro do local de trabalho
		4.2.b Número de trabalhadores sem documentação
	4.3 Trabalhadores das classes marginais	4.3 % dos trabalhadores sem possibilidade de trabalhar em outro setor
6. Benefícios de trabalho	6.1 Emprego legal com benefícios/segurança social	6.1.a % de trabalhadores com informação sobre os direitos que correspondem ao código ocupacional da sua atividade
		6.1.b % de trabalhadores que pagam sua Previdência Social
	6.2 Trabalhadores e familiares com seguro de saúde	6.2.a % de trabalhadores com familiares deficientes/idosos e que recebem algum benefício do INSS
		6.2.b % de trabalhadores com cobertura de saúde
11. Desenvolvimento local (repercussão socioeconômica)	11.1 Desenvolvimento de consciência e responsabilidade ambiental	11.1.a Consciência ambiental personalizada
		11.1.b % de usuários que recebem informações ambientais sobre gestão de resíduos

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Ibáñez-Forés *et al.* (2019).

Na categoria igualdade de oportunidades/discriminação considerou as métricas 4.1.a e 4.1.b além da questão de gênero entre homens e mulheres, a identidade de gênero, diferentes faixas etárias, raças e outras minorias. Também, foram incluídas duas novas métricas: o item

4.1 c, referente à discriminação no trabalho; e o item 4.2.a Política de igualdade de oportunidades dentro do local de trabalho.

Nos indicadores 6.1 Emprego legal com benefícios/segurança social e 6.2 Trabalhadores e familiares com seguro de saúde foram alteradas as formas de avaliar os seguintes itens: 6.1.b % de trabalhadores que pagam sua Previdência Social; 6.2.a % de trabalhadores com familiares deficientes/idosos e que recebem algum benefício do Instituto Nacional de Seguro Social (INSS); e 6.2.b % de trabalhadores com cobertura de saúde.

Na categoria sobre desenvolvimento local (repercussão socioeconômica), a métrica referente ao indicador 11.2 a integração trabalhista local de trabalhadores formais do setor informal foi excluída, pois o setor informal não fez parte da presente pesquisa.

Alguns outros indicadores precisaram ter os critérios de pontuação de suas métricas ajustadas. No Quadro 4 é possível verificar o resumo dos critérios de pontuações que tiveram alterações realizadas na metodologia.

Quadro 4 - Descrição dos critérios de pontuação – alterações

CÓDIGO	CRITÉRIOS DE PONTUAÇÃO (de 0 pontos para o pior comportamento, a 100 pontos para o melhor)
2.1	Existência de menores de idade trabalhando = 0; Ausência de menores de idade trabalhando = 100 pontos.
3.1	Pontuação com base na comparação entre o salário do trabalhador e o salário mínimo regulamentar (sm) no país analisado ($sm = x$ Moeda local/mês). O salário mínimo considerado ótimo é o equivalente a 2 sm devido aos riscos relacionados ao trabalho de gerenciamento de resíduos ($< sm = 0$ pontos; $\geq 1 sm$ e $< 2 sm = 50$ pontos; $\geq 2 sm = 100$ pontos)
4.1.a	Se não houver colaboradores de diferentes gêneros, idades, raças ou outras minorias a pontuação é 0, caso contrário a pontuação é de 100 pontos.
4.1.b	Se todos os trabalhadores recebem o mesmo salário para o mesmo trabalho = 100 pontos, se o salário difere entre identidade de gênero, idade, raça ou outras minorias = 0 pontos.
4.1.c	Se houver casos de discriminação nos últimos 5 anos ou o sentimento de discriminação pelos trabalhadores a pontuação é 0, caso contrário a pontuação é de 100 pontos.
4.2.a	Se não existir uma política de igualdade de oportunidades dentro do local de trabalho a pontuação é 0, caso contrário a pontuação é de 100 pontos.
6.1.a	A pontuação é proporcional aos trabalhadores que conhecem algum código oficial de ocupação para sua atividade.
6.1.b	A pontuação é proporcional aos trabalhadores que pagam sua Previdência Social.
6.2.a	A pontuação é proporcional aos trabalhadores com familiares deficientes/idosos e que recebem algum benefício do INSS.
6.2.b	Pontuação média com base na cobertura de saúde dos trabalhadores, levando em consideração que aqueles que possuem plano de saúde possuem uma pontuação de 100 pontos e aqueles que possuem apenas o acesso ao SUS pontuam 50 pontos.
7.2	A pontuação média com base na renda familiar do trabalhador individual considerando a seguinte pontuação: $< 1 sm = 0$ pontos; $1 \leq sm < 2 sm = 25$ pontos; $2 \leq sm < 3 sm = 50$ pontos; $\geq 3 sm = 100$ pontos.
11.1.b	A pontuação é proporcional ao percentual de usuários que afirmam ter recebido orientações sobre como separar/reutilizar resíduos de empresa pública de resíduos e/ou campanhas ambientais do governo.
12.1	Se alguma ação foi realizada pelo poder público = 100 pontos; caso contrário a pontuação equivale a 0 pontos.
12.2	Pontuação com base na distância até as metas estabelecidas pela Plano de Gestão de Resíduos Sólidos da região (% da coleta seletiva do local estudado $> =$ % da meta estabelecida pelo plano de gestão para o índice de coleta seletiva de resíduos = 100 pontos; caso contrário a pontuação equivale a 0 pontos).

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Ibáñez-Forés *et al.* (2019).

O resultado final da ACV-S, segundo a metodologia utilizada, é expresso de forma gráfica para facilitar a interpretação e a identificação de categorias/indicadores de impacto

social com melhor e pior comportamento bem como analisar o desempenho social do sistema como um todo.

Os dados foram obtidos por meio de questionários elaborados especificamente para cada grupo de partes interessadas (ver questionários nos Apêndices B a L) e estruturados com perguntas focadas na avaliação de cada categoria de impacto. Foram utilizados três questionários diferentes: questionário direcionado aos recursos humanos da empresa, questionário direcionado aos trabalhadores e questionário aos usuários.

O questionário direcionado aos recursos humanos da empresa foi preenchido diretamente pelo responsável do setor de recursos humanos e era composto por questões destinadas especificamente a avaliar os dados de inventário de cada subcategoria analisada. O questionário dos trabalhadores foi aplicado através de entrevista direta, aos trabalhadores e o questionário dos usuários foram preenchidos de forma online por uma amostra de cidadãos de João Pessoa.

Para o stakeholder trabalhador na categoria “catador de material reciclável” foram utilizados os resultados dos questionários elaborados e aplicados a 72 trabalhadores, no ano de 2019, pela EMLUR. Os dados foram disponibilizados para este estudo de forma a reduzir o contato entre pessoas durante a pandemia de COVID-19.

Assim, foi proposto o gráfico aranha em que quanto maior a área desenhada, melhor o comportamento do sistema, ou seja, o melhor comportamento social de uma categoria receberia a pontuação máxima (100 pontos), enquanto o pior comportamento social receberia a pontuação mínima (0 pontos) e seria plotado no centro do gráfico (Ibáñez-Forés *et al.*, 2019). É importante destacar que o método considera que as métricas, indicadores e categorias propostas possuem igual importância.

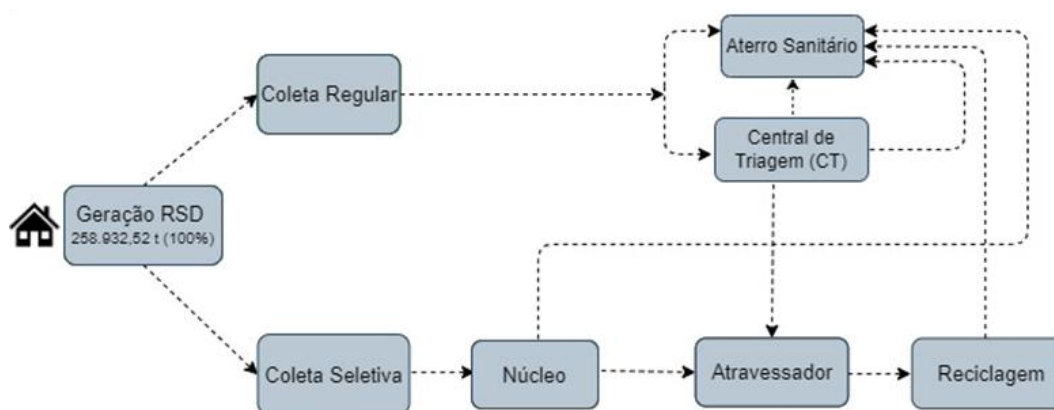
Para realização do ACV-S, assim como no CCV, adotou-se a abordagem de ACV ambiental, sendo o estudo composto de quatro etapas: 1) Definição do objetivo e escopo; 2) Inventário do Ciclo de Vida – ICV; 3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida; e 4) Interpretação do Ciclo de Vida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ROTA TECNOLÓGICA DO RESÍDUO SÓLIDO DOMICILIAR DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA E ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS

A Figura 16 mostra as duas rotas tecnológicas identificadas no município de João Pessoa para os RSD, sendo uma iniciada coma coleta regular e transporte até a disposição final em aterro sanitário e, a segunda através da coleta seletiva, etapas de segregação e tratamento na indústria de reciclagem.

Figura 5 – Rotas tecnológicas do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria (2022).

Foram gerados, no ano de 2018, 258.932,52 toneladas de RSD. A primeira rota tecnológica refere-se à coleta regular e foram coletadas 257.076,12 toneladas (99,28%) de RSD, de forma mista, e transportadas, por empresas terceirizadas até o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), por caminhões compactadores de 16 toneladas com capacidade de carga máxima de 15 m³ (Figura 17). A distância percorrida do centro da cidade até o aterro foi estimada, com o auxílio do software Google Earth Pro, em cerca de 22 km.

Figura 17– Caminhão compactador utilizado no gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa



Fonte: EMLUR (2019).

A coleta seletiva, segunda rota tecnológica identificada, recolheu em torno de 0,72% (1.856,40 toneladas) dos RSD, sendo realizada de forma porta a porta por associações de catadores de materiais recicláveis. Os resíduos são transportados, em caminhões do tipo baú, com capacidade de quatro toneladas, por uma distância de 9,52 km, das residências até os cinco (05) Núcleos existentes no município: Bessa, Mangabeira, Jardim Cidade Universitária, Bairro dos Estados, Cabo Branco (Tabela 8). É importante ressaltar que os bairros não são atendidos em sua totalidade, representando, uma cobertura de 23% da área municipal, atingindo cerca de 350 mil habitantes (EMLUR, 2019).

Tabela 8 – Bairros de João Pessoa Atendidos pelo Programa de Coleta Seletiva

Núcleo	Bairros Beneficiados
Bessa	Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania e Manaíra
Cabo Branco	Cabo Branco, Tambaú, Altiplano, Miramar e Manaíra
Mangabeira	Mangabeira
Cidade Universitária	Bancários, Anatolia, Jardim Cidade Universitária e parte de Mangabeira
Bairro dos Estados	Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de João Pessoa (2014).

Os núcleos são operacionalizados por quatro associações de catadores que possuem parceria com a EMLUR, são elas: Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (ASTRAMARE), Acordo Verde, Associação dos Catadores de Recicláveis de João Pessoa (ASCARE-JP) e Tribo de Judá. As associações somam um total de 157 associados, que são responsáveis por atender 18 bairros da capital paraibana com seu serviço (EMLUR, 2019).

Os principais materiais recolhidos, por tipologias, são: papel/papelão, plástico, metal, vidro que depois de uma triagem são comercializados com os agentes intermediários e seguem para as empresas de reciclagem. Segundo Nobrega *et al.* (2019), devido à dificuldade dos catadores de recicláveis se organizarem e possuir infraestrutura para vender diretamente à indústria, surgiu agentes intermediários (atravessadores/sucateiros) que viabilizam esse comércio.

A central de triagem é operacionalizada por agentes da ASTRAMARE que recebeu 0,77% (1.991,81 toneladas) dos resíduos da coleta residencial e, após realizarem a triagem manual dos resíduos, os comercializa para os agentes intermediários, que agrupam esse material com os dos Núcleos, em galpões, para serem armazenados até serem comercializados com as indústrias recicladoras. Foi assumido que após a aquisição pelos agentes intermediários todo esse material chega sem perdas a etapa de reciclagem.

As quantidades de resíduos recuperados, nos núcleos e na central de triagem, por tipologia podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidades de resíduos recuperados nos núcleos e na Central de Triagem por tipologia. no ano de 2018

Tipologia	Núcleo (t)	CT (t)	Total (t)
Papel	852,22	784,84	1.637,06
Plástico	376,12	948,72	1.324,84
Vidro	310,88	0	310,88
Metal	317,18	258,25	575,43
Total	1856,4	1.991,81	3.848,21

Fonte: Elaboração própria (2022).

O transporte realizado pelos agentes intermediários entre os núcleos e a central de triagem até os galpões é realizado por caminhões de 11 toneladas que percorrem distâncias médias anuais de, 4.845,6 km e 1.730,4 km, respectivamente. Já o percurso total de todas as tipologias até as indústrias recicladoras é realizado com o mesmo tipo de veículo percorrendo uma distância anual de 4.120,8 km, valor estimado com o software Google Earth Pro.

O ASMJP está em operação desde o ano de 2003, em substituição a um antigo lixão que foi desativo no mesmo ano, atendendo parte da região metropolitana de João Pessoa: Cabedelo, João Pessoa, Bayeux, Santa Rita, Conde, Cruz do Espírito Santo e Lucena (EMLUR, 2019). É importante destacar que 100% do lixiviado gerado no ASMJP é coletado e encaminhado, por meio de uma rede de drenagem, para a estação de tratamento de efluente (ETE) (Figura 18)

composta por um conjunto de 11 lagoas de estabilização para realização do tratamento biológico.

Figura 18 - Estação de tratamento de efluente (ETE) do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria (2022).

Em relação aos gases gerados na unidade, eles eram queimados por chaminé até o ano de 2018. A partir do ano de 2019, foi instalada uma planta de recuperação energética que, segundo a operadora do aterro, estima-se que sejam gerados em torno de 3.038,05 MWh de energia elétrica introduzida na rede por mês. A Figura 19 mostra a planta de recuperação energética do biogás no ASMJP.

Figura 19 – Planta de recuperação energética do biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa



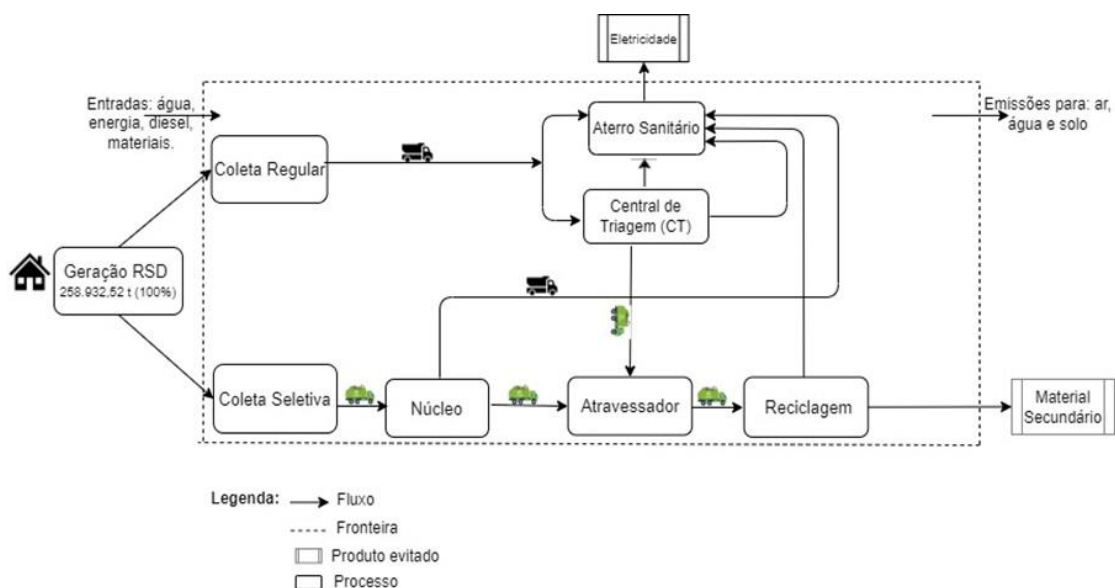
Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir da identificação das rotas tecnológicas existentes foi possível estabelecer cenários da rota tecnológica do sistema de RSD de João Pessoa, que considerassem possíveis melhorias ambientais ao sistema atual. Assim, o primeiro cenário (C0) considerado é o existente no ano base de 2018, com a maior parte dos resíduos sendo coletados de forma regular

e encaminhados para o aterro sanitário com queima do biogás e uma pequena fração coletada através do programa de coleta seletiva e direcionada as indústrias recicladoras.

Com a intenção de propor cenários alternativos e intensificar a presença dos princípios da EC foram estabelecidos mais três cenários com diferentes taxas de coleta e tratamentos dos RSD extraídas das metas estabelecidas do PMGIRS com objetivo de reduzir o envio dessas tipologias ao aterro sanitário. O cenário C1 foi desenvolvido a partir do C0, com os mesmos fluxos de resíduos, para simular os impactos com a coleta do biogás e geração de energia no ASMJP. A Figura 20 mostra as fronteiras e fluxos de massa para o C1.

Figura 20 – Fronteiras e fluxo de massa para o cenário C1 do gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa

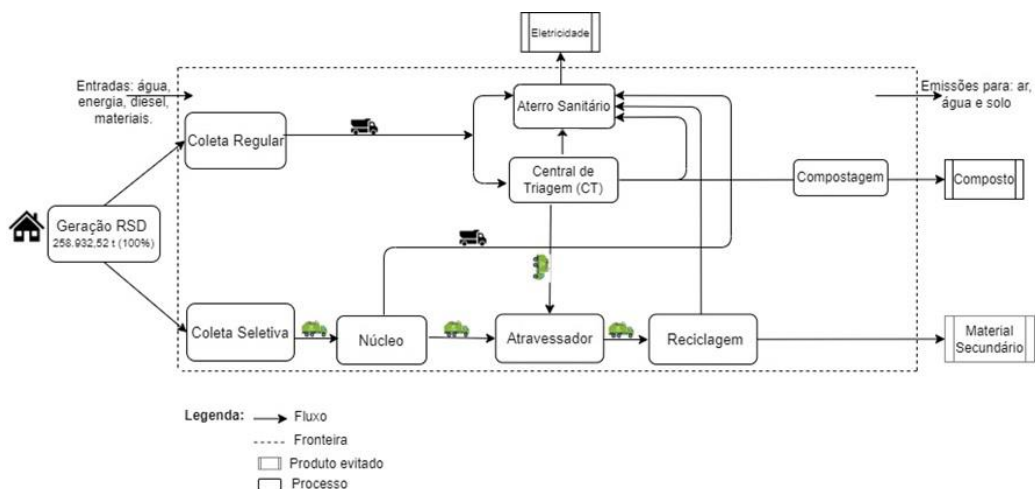


Fonte: Elaboração própria (2022).

Nos cenários C2 e C3 são explorados os potenciais de reduzir os impactos ambientais por meio do aumento na quantidade de resíduos encaminhados para a reciclagem e inclusão de tratamento por compostagem. No C2 foram introduzidas adaptações das metas, propostas no PMGIRS do município, visando o aproveitamento de 2% da fração orgânica contida no RSD do município e a expansão do material coletado de forma seletiva para 3%. Já no C3, foram aplicadas metas mais otimistas em que foi considerado que 25% dos resíduos recicláveis seriam destinados a coleta seletiva e 50% dos resíduos orgânicos seriam tratadas por compostagem.

A Figura 21 mostra as fronteiras e fluxo de massa para os cenários C2 e C3 do gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa.

Figura 21 - Fronteiras e fluxo de massa para os cenários C2 e C3 do gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria (2022).

A Tabela 10 mostra um resumo da quantidade de resíduos tratados em todos os cenários analisados.

Tabela 10 - Quantidade de Resíduos Sólidos Domiciliares tratados no município por tipo de tratamento final nos cenários analisados

Cenário	Ação	Quantidade (t)	(%)
0 e 1	Reciclagem	3453,68	1,33
	Compostagem	0,0	0,0
	Aterro Sanitário	255.478,84	99,67
2	Reciclagem	2.823,24	1,09
	Compostagem	3.107,19	1,20
	Aterro Sanitário	253.002,09	97,71
3	Reciclagem	12.403,51	4,79%
	Compostagem	77.679,76	30,00%
	Aterro Sanitário	168.849,25	65,21%

Fonte: Elaboração própria (2023).

4.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA

A ASCV é composta pelas ACV, CCV e ACV-S desenvolvidas separadamente e interpretadas, posteriormente, de forma conjunta.

4.2.1 Avaliação do ciclo de vida – ambiental

As informações obtidas, acerca das instalações, inseridas no inventário para a análise dos impactos do ciclo de vida foram: núcleos, CT, aterro sanitário, galpões dos agentes intermediários. Com relação à reciclagem, os processos foram modelados a partir da base de dados Ecoinvent. Na Tabela 11, pode-se verificar o consumo de água, eletricidade e diesel por etapas por unidade funcional.

Tabela 11 - Consumo de água, eletricidade, diesel e arame nas etapas núcleo, central de triagem, compostagem e aterro sanitário

Etapas	Recursos	Consumo	Unidade	Fonte
Núcleo	Água	1,40	m ³ /t	Dados primários
	Eletricidade	8,15	kwh/t	Dados primários
	Arame	0,85	kg/t	Lima et al (2019)
CT	Água	1, 073	m ³ /t	Ibáñez-Forés <i>et al.</i> (2018)
	Eletricidade	45,88	kwh/t	Ibáñez-Forés <i>et al.</i> (2018)
	Arame	0,85	kg/t	Lima <i>et al.</i> (2019)
Aterro Sanitário	Diesel			
	Eletricidade	0,041	kwh/t	Ibáñez-Forés <i>et al.</i> (2018)
Compostagem	Diesel	3	L/t	Lima <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os processos utilizados na modelagem da ACV podem ser verificados na Tabela 12 por etapa.

Tabela 12 – Processos utilizados para modelagem da avaliação do ciclo de vida da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa

Etapas	Processo Ecoinvent
Núcleo	electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid} market for electricity, medium voltage Cut-off, U tap water {BR} market for tap water Cut-off, U Wire drawing, steel {RoW} processing Cut-off, U
Central de Triagem	Electricity, low voltage {BR-North-eastern grid} market for tap water {BR} market for tap water Cut-off, U Wire drawing, steel {RoW} processing
Compostagem	Biowaste {RoW} treatment of biowaste, industrial composting diesel {BR} market for diesel Cut-off, U electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid} market for electricity, medium voltage Cut-off, U Urea, as N {RoW} production Cut-off, U Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} market for Cut-off, U Potassium chloride, as K2O {RoW} potassium chloride production Cut-off, U
Reciclagem	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron Packaging glass, white (waste treatment) {GLO} recycling of packaging glass,
Aterro Sanitário	electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid} market for electricity, medium voltage Cut-off, U diesel {BR} market for diesel Cut-off, U Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os resultados para cada categoria de impacto são descritos a seguir e no Apêndice A. As etapas analisadas foram: coleta e transporte (C&T), coleta seletiva (CS), núcleo (N), central de triagem (CT), atravessador (A), aterro sanitário (AS), reciclagem (R) e compostagem (C).

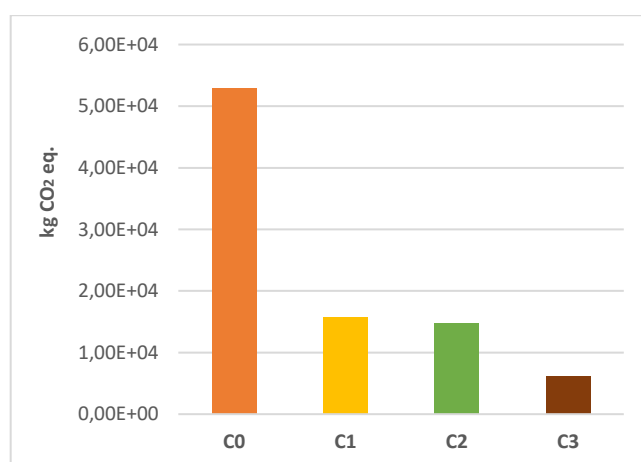
Destaca-se que os resultados nos gráficos que apresentam valores negativos indicam que há ganho ambiental (redução os impactos) e os valores positivos apontam os impactos ambientais negativos.

Potencial de Aquecimento Global (PAG)

As crescentes emissões de GEE na atmosfera têm contribuído para as mudanças climáticas e podem ter um efeito adverso sobre o ecossistema (Mandpe *et al.*, 2022). Kaza *et al.* (2018), como já citado, destacam que no ano de 2016, as emissões de GEE do setor de gerenciamento de resíduos totalizaram 1,6 bilhão de toneladas de CO₂-eq, representando 5% das emissões globais. Unidades de aterro sanitário, por exemplo, mesmo após o encerramento de suas atividades, continuam a emitir GEE ao longo de centenas de anos (Lu, Qu e Hanandeh, 2020).

Com base nos resultados apresentados, na Figura 22, é possível afirmar que o cenário base (C0) apresentou as maiores emissões da categoria (5,29E+04 kg de CO₂eq.), sendo considerado o pior desempenho do PAG. Esse fato pode ser atribuído às altas contribuições de CO₂, além do CH₄, contido no biogás produzido no aterro que é queimado e não há recuperação de energia.

Figura 22 - Resultado da categoria de impacto ambiental aquecimento global cada cenário proposto

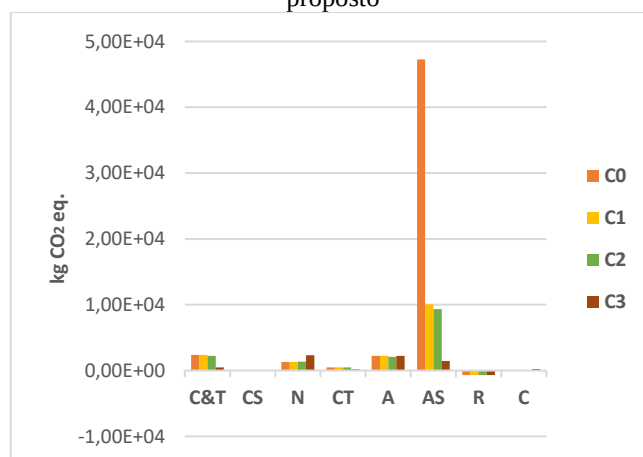


Fonte: Elaboração própria (2022).

O C3 (Figura 22) foi o cenário com menor emissão nesta categoria (6,22E+03 kg de CO_{2eq}). É possível perceber que a inclusão de tecnologias de tratamento, coleta e reaproveitamento do biogás e a menor disposição dos resíduos no aterro sanitário, em especial os orgânicos, tornaram o C3 com melhor desempenho ambiental e capaz de reduzir em 88,24% e 60,38% o total de emissões de kg de CO_{2eq} em relação ao C0 e C1, respectivamente. O C3 além de ter apresentado o melhor desempenho ambiental nesta categoria, promove o estímulo à circularidade através da reciclagem dos resíduos, recuperação de nutrientes pela compostagem e geração de energia.

A Figura 23 mostra o resultado da categoria impacto ambiental devido ao aquecimento global.

Figura 6 - Resultado da categoria de impacto ambiental aquecimento global por etapa para cada cenário proposto



Fonte: Elaboração própria (2022).

Em relação às etapas, em geral, o aterro sanitário (Figura 23) foi responsável pelas maiores emissões de kg de CO_{2eq} nos cenários C0 (89%), C1 (64%) e C2 (63%). Bovea e Powell (2006) afirmam que a contribuição de impacto que ocorre no aterro sanitário é consequência direta das emissões dos GEE gerados, principalmente, pela liberação de CO₂ e CH₄ para a atmosfera (Bantias *et al.*, 2020; Yay, 2015). O impacto dessa etapa nas emissões totais foi identificado em estudos semelhantes como, por exemplo, Bantias *et al.* (2020), Trentin *et al.* (2018), Mersoni e Reichert (2017) e Turner *et al.* (2016).

No C3, o aterro sanitário com a redução do aterramento de resíduos, em especial os orgânicos, e com a coleta e reaproveitamento energético do biogás obtiveram uma redução nas taxas de emissões de kg de CO_{2eq} em 74,15% e 63,92% em relação ao C0 e C1. É importante destacar que a redução da quantidade de resíduos aterrados foi mais significativa para diminuir

as emissões de GEE, nesta categoria, do que a recuperação energética do biogás coletado, pois segundo Coelho e Lange (2016), a maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de fonte renovável, com baixa emissão de GEE.

A redução da taxa de contribuição do aterro foi tão significativa que os principais contribuintes da emissão de GEE tornaram-se as etapas núcleo e atravessador que apresentaram aumento nas emissões no cenário de metas mais otimistas (C3). Isso ocorreu, provavelmente, devido ao transporte de maior quantidade de resíduos por longas distâncias elevando a contribuição da queima de combustível fóssil nessa categoria. O que reforça a importância de rever o tipo de combustível utilizado nesses meios de transporte, sendo a substituição do combustível fóssil por outro de origem natural uma recomendação antiga e alternativa para reduzir as emissões dessa fonte de poluição.

A reciclagem (Figura 23) apresentou a existência de benefícios líquidos, cujos valores foram negativos em todos os cenários, isso significa que foi evitada liberação de GEE para a atmosfera tendo em vista a redução da necessidade de extração de novas matérias-primas do ambiente para a fabricação de novos produtos e menor consumo de recursos naturais como água e energia, resultando em créditos ambientais (Coelho e Lange, 2018; Yildiz-Geyhan *et al.*, 2019). A reciclagem apresentou essa mesma tendência nos estudos de Wang *et al.*, (2022) e Yildiz-Geyhan *et al.* (2019). Porém, os benefícios foram insuficientes para compensar os impactos ambientais totais do sistema para esta categoria.

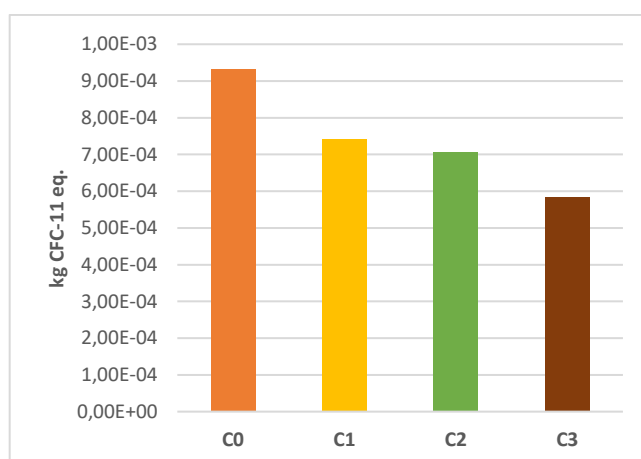
Ainda observando a Figura 23, verifica-se que o tratamento por compostagem apesar de gerar gases para a atmosfera, os mesmos são considerados biogênicos não contribuindo para o aquecimento global (Rajcoomar; Ramjeawon, 2016). Essa etapa é importante, pois ajuda a reduzir significativamente as emissões quando comparado à disposição apenas em aterro sanitário e diminui, conseqüentemente, a quantidade de materiais enviados a esta unidade. Além de promover a circularidade dos materiais ao recuperar os nutrientes, gerando produtos secundários devido ao composto orgânico gerado que pode substituir o uso de fertilizantes químicos.

Destruição da Camada De Ozônio

O impacto ambiental desta categoria está relacionado às emissões de clorofluorcarbono (CFC-11 eq) e seus derivados que são os principais agentes na destruição da camada de ozônio (Trentin *et al.*, 2018), podendo aumentar o risco de câncer (Wang *et al.*, 2015).

Podem-se verificar, através da Figura 24, que o C0 apresentou as maiores contribuições negativas totais para esta categoria, seguido do C1, C2 e C3. O cenário C3 conseguiu reduzir as emissões de kg de CFC-11 eq em 37,5% quando comparado ao C0 e, em 21,56%, em relação ao C1.

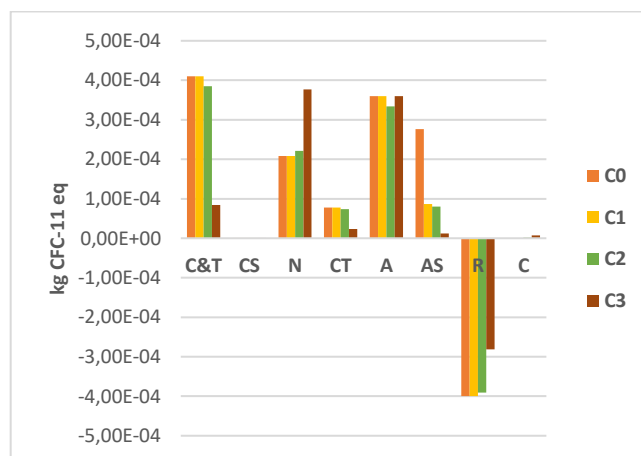
Figura 24 - Resultado da categoria de impacto ambiental destruição da camada de ozônio para cada cenário proposto



Fonte: Elaboração própria (2022).

Segundo Yıldız-Geyhan *et al.* (2019), as emissões na categoria de depleção da camada de ozônio são causadas, principalmente, pelos poluentes atmosféricos advindos do consumo de combustível fóssil das etapas envolvendo transporte. Essa informação foi confirmada nos resultados obtidos no presente estudo para essa categoria (Figura 25) em que é possível observar as significativas contribuições negativas das etapas de C&T, núcleo e atravessador em todos os cenários.

Figura 25 - Categoria de impacto ambiental destruição da camada de ozônio, por etapa



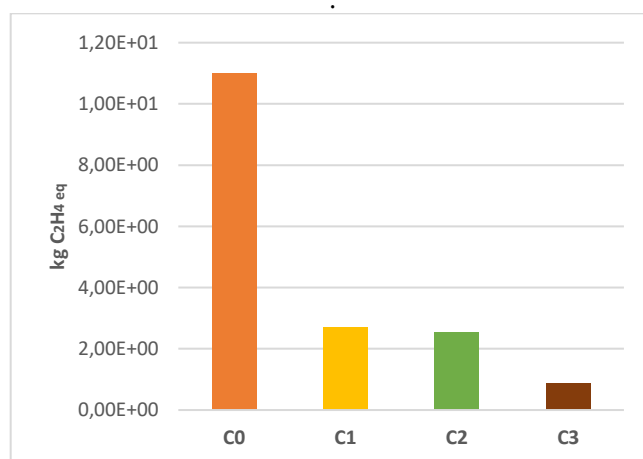
Fonte: Elaboração própria (2022).

É importante destacar o desempenho ambiental do cenário C3 que apresentou uma redução significativa de emissões de kg CFC-11 eq nas etapas de C&T e aterro sanitário devido à menor quantidade de resíduos sólidos sendo transportada nessas unidades. Entretanto, a etapa núcleo teve um aumento expressivo pela maior quantidade de resíduos sendo manejados e transportados seletivamente até os atravessadores, contribuindo, assim, negativamente nessa categoria. Apesar disso, uma maior eficiência da coleta seletiva reflete em benefícios ambientais produzidos pela reciclagem de materiais recuperados (Trentin *et al.*, 2018)

Formações de Oxidantes Fotoquímicos

Este indicador representa as substâncias que causam a produção fotoquímica de ozônio na troposfera (Rigamonti *et al.*, 2009). Através da Figura 26, podem-se verificar os resultados da categoria oxidação fotoquímica que indicam que o cenário base C0, apresentou o pior desempenho ambiental, enquanto o C3, cenário mais otimista, conseguiu reduzir os impactos em 92,02% quando comparado ao C0 comprovando a efetividade das ações inseridas para alcance de melhor desempenho ambiental.

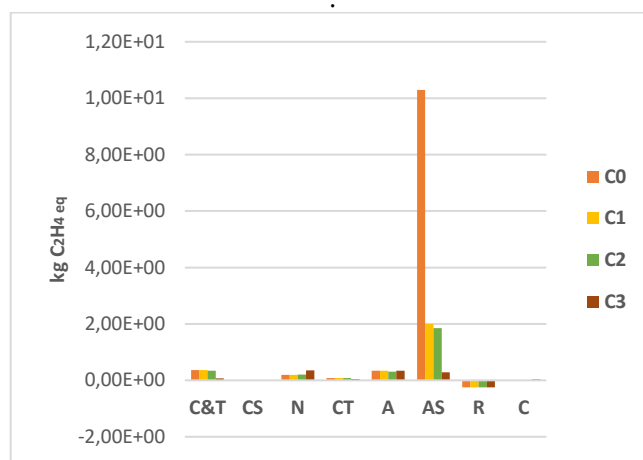
Figura 26 - Categoria de impacto ambiental oxidação fotoquímica para cada cenário proposto.



Fonte: Elaboração própria (2022).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 27, a etapa aterro sanitário se destacou, principalmente no C0, sendo responsável por 93,54% dos impactos ambientais totais dessa categoria. Zhou *et al.* (2018) explicam que em unidades de aterros sanitários os impactos nesta categoria são decorrentes, principalmente, da emissão de CH₄ e compostos voláteis (COV's) durante o processo de degradação dos resíduos.

Figura 27 - Categoria de Impacto Ambiental Oxidação Fotoquímica, Por Etapa para Cada Cenário Proposto



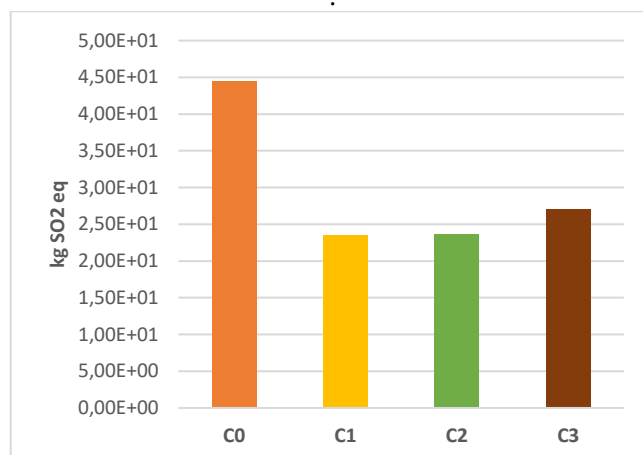
Fonte: Elaboração própria (2022).

No cenário C3, as formações de oxidantes fotoquímicos são reduzidas e foi observado que a maior parte das emissões é resultante da combustão de diesel utilizado nos caminhões para realização do transporte dos resíduos (Arushanyan *et al.*, 2017) e neste caso até as indústrias recicladoras.

Acidificação

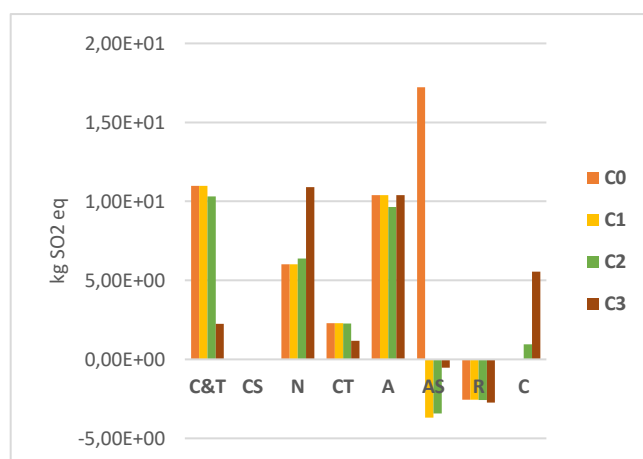
Esta categoria de impacto é importante de ser analisada, pois contabiliza a emissão de kg de SO_{2eq}, que pode ocorrer em processos de volatilização e combustão, contribuindo para fenômenos de “chuva ácida” com potencial de degradação de florestas e monumentos, além de prejudicar o solo, água subterrânea, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas (Silva *et al.*, 2017). Rigamonti *et al.* (2009) relacionam o potencial de acidificação com as emissões de NO_x, SO_x e amônia.

Observa-se, na Figura 28, que o cenário de melhor desempenho ambiental nesta categoria foi o C1 (2,34E+01 kg de SO_{2eq}), seguido pelo C2 (2,36E+01 kg de SO_{2eq}). Já, o cenário base (C0), mais uma vez, foi o que apresentou o pior resultado com a emissão de 4,44E+01 kg de SO_{2eq}. A Figura 28 mostra a contribuição do impacto por acidificação nos diferentes cenários analisados.

Figura 28 - Resultado da categoria de impacto ambiental acidificação para cada cenário proposto

Fonte: Elaboração própria (2022).

Em geral, o impacto ambiental da acidificação se manifestou, principalmente, nas etapas que envolvem transporte (Figura 29). Esse fato, também, foi observado nos estudos de Yıldız-Geyhan *et al.* (2019), Ibáñez-Fóres *et al.* (2019) e Bovea e Powell (2006), onde o transporte influenciou fortemente nas etapas em que existe consumo de diesel devido às emissões de kg de SO_{2eq}. geradas no processo de combustão, principalmente o óleo diesel utilizado nos caminhões.

Figura 29 - Resultado da categoria de impacto ambiental acidificação, por etapa para cada cenário proposto

Fonte: Elaboração própria (2022).

A etapa de aterro sanitário destaca-se positivamente nos cenários C1, C2 e C3, devido aos benefícios ambientais advindo da coleta e recuperação do biogás para geração de energia. Este fato é reforçado no estudo de Caicedo-Concha *et al.* (2021) que afirmam que em aterros

sanitários com coleta e tratamento de lixiviados e gás, a redução dos impactos da acidificação são significativos (Milutinovi *et al.*, 2017).

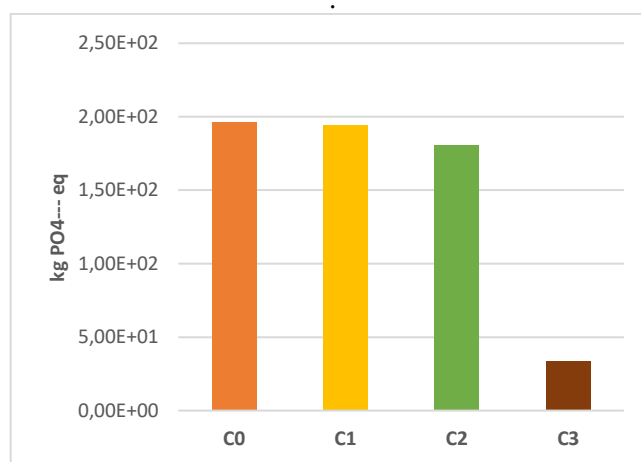
Além disso, a inclusão da etapa de compostagem desviou os resíduos orgânicos dessa unidade para a planta de compostagem que devido às emissões de NO_x e NH₃ produzidas durante o processo (Zarea *et al.*, 2019) foram responsáveis por 20,54% das emissões desta categoria no C3, contribuição expressiva quando comparado aos outros cenários. A contribuição do tratamento biológico por compostagem para a acidificação também foi relatada por Bovea e Powell (2006) que atribuíram os impactos às emissões de amônia.

Neste estudo, a reciclagem contribuiu positivamente em todos os cenários, com destaque para o C3 (Figura 29) que teve uma maior quantidade de resíduos enviados a esta etapa.

Eutrofização

O fenômeno de eutrofização é decorrente do aumento da concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (Reichert e Mendes, 2014). Neste estudo, foi possível verificar que o C3 (Figura 30) conseguiu reduzir os impactos ambientais dessa categoria em 82,96% em relação ao cenário base (C0).

Figura 30 - Resultado da categoria de impacto ambiental- eutrofização para cada cenário proposto

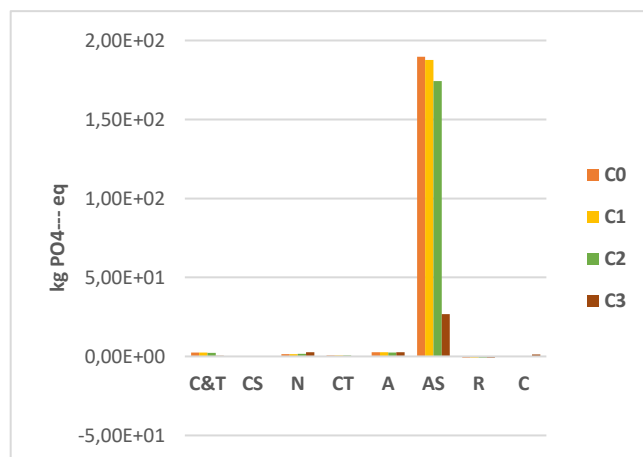


Fonte: Elaboração própria (2022).

O aterro sanitário concentrou a maior parte dos impactos gerados nessa categoria em todos os cenários analisados (Figura 30) sendo esse comportamento similar ao observado nos estudos de Yıldız-Geyhan *et al.* (2019) e Trentin (2018). Isso se deve, principalmente, a alta geração de lixiviado durante a decomposição da matéria orgânica que pode conter produtos compostos dos nutrientes que favorecem a eutrofização. Assim, a redução do envio de resíduos

orgânicos a unidade de aterro foi a principal fonte de redução de impacto nessa categoria (Figura 31).

Figura 31 - Resultado da categoria de impacto ambiental – eutrofização., por etapa para cada cenário proposto



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2.2 Custo de Ciclo de Vida

Neste módulo, foi analisado o custo do ciclo de vida para os RSD para a rota tecnológica do fluxo dos resíduos domiciliares coletados de forma regular e pela coleta seletiva de João Pessoa, existente no ano de 2018.

De acordo com dados obtidos da última licitação e junto a EMLUR, o valor estimado para realização da etapa de coleta e transporte de resíduos no município de João Pessoa foi de R\$ 136,89/t. Neste valor está incluso as despesas principais com mão de obra, transporte, combustível, alimentação, fardamento, EPI. O valor estimado em João Pessoa está um pouco acima do apresentado por Colvero (2014), em seu estudo sobre os custos de rotas tecnológicas de gerenciamento de RSU em vinte municípios brasileiros que estimou um valor médio, por tonelada, de R\$ 120,25 para a coleta regular.

Em relação à disposição no aterro sanitário é gasto, em João Pessoa, cerca de R\$ 44,00 por tonelada (EMLUR, 2019). Assim, estima-se um gasto de R\$ 180,89 nesta rota tecnológica para o gerenciamento de uma tonelada de RSD. O valor calculado está abaixo do identificado no estudo de Teske *et al.* (2018), que analisaram o manejo de resíduos domiciliares até a disposição final, em diferentes municípios no Brasil, obtendo um gasto médio de R\$ 288,99 por tonelada.

É importante destacar que diversos fatores podem influenciar na composição dos custos desses serviços, como as características do município (tamanho e densidade da população), as

características da área onde a atividade será realizada (distâncias, altitude, rede viária), a quantidade e a qualidade dos resíduos sólidos coletados, o modelo de coleta adotado, entre outros (Fernández-Aracil *et al.*, 2018; Greco *et al.*, 2015).

De acordo com a EMLUR, os custos anuais do município com os serviços de limpeza urbana são de aproximadamente R\$ 136,3 milhões. O município de João Pessoa realiza, anualmente, a cobrança de uma taxa de coleta de resíduos (TCR) para a execução desses serviços, incluindo os RSD. A TCR é calculada tomando-se por base de cálculo a estimativa oficial do custo total da coleta, transporte, destino final e administração de resíduos sólidos do exercício de sua cobrança e é dividida por grupos de consumidores categorizados (EMLUR, 2019). É importante destacar que o valor arrecadado é destinado, principalmente, para serviços de transporte, destinação final e administração dos resíduos sólidos (João Pessoa, 2014). O montante arrecadado, no período do estudo, foi de R\$ 23.213.383,63, representando 0,86% do orçamento municipal que foi de R\$ 2.700.000.000,00 reais. É importante destacar o alto índice de inadimplência de 52,90%, equivalente a R\$ 20.661.743,60 que deixaram de ser pagos pelos cidadãos ao poder público.

Levando em consideração os gastos com empresas terceirizadas e com a disposição final dos resíduos sólidos no aterro sanitário do município, que segundo a EMLUR (2019), foi de R\$ 99.727.622,35, significando que seria necessário arrecadar 4,3 vezes mais para cobrir as despesas da EMLUR com o serviço. Entretanto, considerando o valor obtido nesta pesquisa apenas para o custo do ciclo de vida do resíduo domiciliar coletado de forma regular e transportado até a disposição final em aterro sanitário, o valor gasto, para o ano de 2018, foi de R\$ 46.838.303,54. Este valor é duas vezes maior que o arrecadado com a TCR. Este fato pode ser atribuído a inclusão de dados referentes a resíduos urbanos e não apenas ao domiciliar que é o foco desse estudo.

A próxima fase constitui a descrição do método análise B/C utilizado para avaliar o custo do ciclo de vida do programa de coleta seletiva.

Análise B/C

A análise B/C foi aplicada ao fluxo de resíduos recicláveis coletados pelo programa de coleta seletiva.

Custos

Os principais custos identificados como diretos foram: aluguel de imóveis (AI), mão de obra (MO), serviços (S), transporte e combustível (TC).

Durante o ano de 2018, apenas o imóvel disponibilizado a associação ASCARE no núcleo do Cabo Branco foi alugado, pela EMLUR, para uso do programa de coleta seletiva, sendo os demais terrenos/estruturas disponibilizados aos demais e cedidos pela prefeitura ou outros órgãos públicos não representando custo adicional.

Segundo dados coletados com a EMLUR (2019), os recursos destinados ao pagamento da mão de obra do programa de coleta seletiva incluem, principalmente, o salário dos motoristas dos caminhões de coleta, alimentação, EPI e fardamento. A EMLUR disponibiliza 4 motoristas para realização da coleta seletiva no município. Os salários pagos aos funcionários foram considerados os mesmos atribuídos ao motorista da coleta regular e obtidos no documento de Licitação do município, sendo o valor individual de R\$ 1.726,07, totalizando R\$ 82.851,36 gastos no ano de 2018. A EMLUR fornece refeições para os associados dos núcleos e da central de triagem de segunda à sexta, sendo o valor gasto no ano de R\$ 275.616,00. Além disso, foram destinados R\$ 111.490,20 para gastos com EPI's (bota segurança, luva, máscara de proteção, protetor solar e óculos) e fardamentos.

A variável TC refere-se aos custos de aluguel dos veículos utilizados e consumo de combustível. São quatro veículos do tipo caminhão baú que percorrem os bairros da cidade para realização da coleta seletiva nos domicílios e empresas comerciais, que custam ao poder público um total de R\$ 760.197,44, sendo R\$ 514.875,60 destinados para o aluguel e R\$ 245.321,84 para o combustível.

Os custos dos serviços de energia e água são referentes aos cinco núcleos da coleta seletiva, com exceção da Central de Triagem que é de responsabilidade da empresa concessionária do ASMJP. Com relação à energia foram pagos, no ano de 2018, R\$ 39.624,00 enquanto de consumo de água o gasto foi de R\$ 42.672,00, totalizando R\$ 82.296,00.

Na Tabela 13 são apresentados os custos diretos e valores gastos pela Prefeitura de João Pessoa para manter o programa de coleta seletiva, no ano de 2018, e a contribuição de cada custo para o orçamento total.

Tabela 13 - Custos diretos, anuais e mensais, envolvidos no programa de Coleta Seletiva do município de João Pessoa no ano de 2018

Custos diretos	Valor (R\$)	Contribuição (%)
Aluguel de Imóveis (AI)	R\$ 31.320,00	2,33%
Mão-de-Obra (MO)	R\$ 469.957,56	34,97%
Serviços (S)	R\$ 82.296,00	6,12%
Transporte e Combustível (TC)	R\$ 760.197,44	56,57%
Total	R\$ 1.343.771,00	100,00%

Custos diretos	Valor (R\$)	Contribuição (%)
Custos (R\$/mês)	R\$ 111.980,92	
Custo (R\$/ton)	R\$ 349,19	

Fonte: Elaboração própria (2022).

É possível observar que foram investidos R\$ 1.343.771,00 para funcionamento do programa. No estudo de Gomes e Nóbrega (2005), referente à análise econômica do projeto piloto da coleta seletiva de João Pessoa, no período de 2000 a 2002, a média de custos foi de R\$ 4.386,70. Por tratar-se de um estudo similar, percebe-se que no intervalo de 17 anos da publicação do estudo, os custos diretos mensais com a coleta seletiva aumentaram 25,5 vezes quando comparado ao valor obtido neste estudo. Porém, também aumentou a quantidade de bairros atendidos e o volume de resíduos recicláveis coletados. É importante destacar que na época do estudo dos referidos autores, a coleta seletiva era realizada por carrinhos manuais e havia caminhões. Neste estudo, verificou que os maiores custos do programa são transporte e combustível - TC (56,57%), e a mão de obra - MO (34,97%), que totalizam juntos 91,54% dos custos diretos.

Com relação ao custo da coleta seletiva, o valor obtido nesta pesquisa foi de R\$ 349,19 por tonelada. Segundo a pesquisa CICLOSOFT realizada pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), o custo médio da coleta seletiva, em 2018, no Brasil foi de R\$ 442,24, sendo consideradas 4,6 vezes superiores ao custo da coleta regular de R\$ 95,00 (CEMPRE, 2018). Portanto, pode-se afirmar que o serviço realizado em João Pessoa está abaixo da média brasileira.

Benefícios Diretos

Os benefícios diretos considerados nesse estudo foram os recursos financeiros obtidos com a venda de materiais recicláveis (V) pelas associações de materiais recicláveis existentes no programa de coleta seletiva em João Pessoa, sendo os preços pagos, por tonelada, descritos na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios da venda de materiais recicláveis pelas associações de materiais recicláveis em João Pessoa

Material	Preço (R\$/ton)
Papel	175,00
Plástico	933,33
Vidro	165,00
Metal	3.550,00

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os valores, por tonelada, encontrados em João Pessoa estão abaixo do comercializado nacionalmente, no ano de 2018, para papel e plástico com valores de R\$ 400,00 e R\$ 1.040,00, respectivamente. Já, o vidro (R\$ 150,00) e o metal (R\$ 3.520,00) apresentaram valores próximos à média nacional (ANCAT, 2021). O faturamento das associações com a comercialização dos resíduos durante o período estudado é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Benefícios diretos com a venda de resíduos recicláveis (V) pelas associações de coleta seletiva no ano de 2018

Tipologia/ano	Quantidade de resíduos (t)	V (R\$)
Papel	1637,06	R\$ 286.485,50
Plástico	1324,84	R\$ 1.236.517,33
Vidro	310,88	R\$ 51.295,20
Metal	575,43	R\$ 2.042.776,50
Total (R\$)	3848,21	R\$ 3.617.074,53

Fonte: Elaboração própria (2022).

Considerando o faturamento total (Tabela 15) obtidos pelas associações pode-se estimar uma renda média mensal de R\$ 321.422,88. Considerando que João Pessoa possui 157 associados (EMLUR, 2019), obteve-se uma renda média mensal de R\$ 1.919,89, sendo bem superior ao valor médio nacional de 975,00, pago no mesmo período do estudo (ANCAT, 2018). Segundo a Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (ANCAT), em 2021, esse valor aumentou para R\$ 1.098,00 (ANCAT, 2021). É importante destacar que o valor de venda pode variar de acordo com a quantidade coletada, época do ano e com o próprio horário de trabalho dos associados.

Foi, ainda, realizada uma estimativa de benefícios diretos obtidos pelo programa de coleta seletiva considerando o aumento na quantidade de resíduos recicláveis coletados e comercializados pelos catadores para comparar o valor obtido na rota tecnológica existente, em 2018, com os cenários C2 e C3 estabelecidos na ACV (Tabela 16). É importante destacar que a porcentagem de materiais na quantidade total coletada foi mantida nos cenários alternativos e os mesmos valores da venda de materiais recicláveis pelas associações de materiais recicláveis.

Tabela 16 – Benefícios diretos com a venda de resíduos recicláveis (V) pelas associações de coleta seletiva no ano de 2018 para os cenários alternativos

Material	C0 (ton)	(R\$/ton)	C2 (ton)	(R\$/ton)	C3 (ton)	(R\$/ton)
Papel	1637,06	286.485,50	1747,73	305.853,62	7894,52	1.381.541,81
Plástico	1324,84	1.236.517,33	1373,64	1.282.067,55	4086,21	3.813.796,91
Vidro	310,88	R\$ 51.295,20	351,31	57.965,60	2593,93	427.998,06
Metal	575,43	2.042.776,50	616,69	2.189.241,33	2904,83	10.312.148,23
Total	3848,21	3.617.074,53	4089,37	3.835.128,10	17479,49	15.935.485,01

Fonte: Elaboração própria (2022).

Percebe-se com os dados, da Tabela 16, o potencial econômico que os resíduos recicláveis podem gerar de renda aos catadores caso as taxas de coleta seletiva aumentassem. Além de contribuir para o aumento da vida útil do aterro, menor consumo de matéria-prima, redução de gastos com coleta convencional, entre outros.

Benefícios Indiretos

Para Calderoni, (1997) os custos evitados são aqueles que a prefeitura deixa de fazer com a coleta regular, transbordo (locais temporários de disposição) até a destinação final no aterro bem como o de não aterramento dos resíduos nesta área. Assim, considerando os resíduos recolhidos pelos núcleos e CT (Tabela 10), no ano de 2018, e que, segundo a EMLUR (2019), o custo de aterramento de resíduos no aterro sanitário de João Pessoa foi de, aproximadamente, R\$ 44,00 por tonelada, os benefícios indiretos gerados pelo não aterramento de resíduos recicláveis e evitados com a coleta regular são apresentados na Tabela 17, e os valores obtidos representam uma economia total no período de R\$ 423.443,84.

Tabela 17 – Benefícios indiretos do programa de coleta seletiva em João Pessoa

Benefícios Indiretos	Custos (R\$)
Custos Evitados Coleta (R\$)	254.122,60
Custos Evitados Aterramento (R\$)	16.9321,24
Total	423.443,84

Fonte: Elaboração própria (2022).

Considerando-se os custos e benefícios, direto e indireto, e aplicando a relação B/C foi possível analisar o impacto econômico do programa de coleta seletiva municipal (Tabela 18).

Tabela 18 - Relação Benefício/Custo da coleta seletiva, considerando-se benefícios diretos e indiretos e custos diretos

Ano	Benefício (R\$)	Custo (R\$)	Relação ABC
2018	R\$ 3.871.197,13	R\$ 1.343.771,00	2,88

Fonte: Elaboração própria (2022).

A relação, média, B/C é de 2,88, ou seja, os benefícios obtidos são 188 % superiores aos custos envolvidos no Programa de Coleta Seletiva. O valor é superior ao apresentado por Gomes e Nóbrega (2005) que foi de 1,45. Essa diferença pode ser atribuída, como já citado, à expansão que o programa supracitado teve ao longo dos anos entre os dois estudos.

É importante destacar, ainda, que a presente pesquisa se restringiu ao agente direto considerado, Prefeitura, e aos custos e benefícios fornecidos pela mesma. Ao considerar o sistema de coleta seletiva de maneira geral outros custos e benefícios surgem favorecendo outras partes do sistema como a sociedade e o meio ambiente.

A prática da coleta seletiva, além de substituir os recursos virgens por recursos reciclados, gera economia de energia e, conseqüentemente, benefícios para diversos atores do sistema. A economia de energia, por exemplo, que é envolvida no processo de aproveitamento dos materiais recicláveis varia de acordo com o material a ser reciclado. Longo *et al.* (2019) verificaram o consumo de energia evitada com a reciclagem e, constataram que todos os materiais (papel, plástico, metal e vidro) contribuíram com a redução do mesmo após a substituição de matéria virgem por reciclável.

Segundo o método adotado por Longo *et al.* (2019), a energia economizada pelo processo de reciclagem pode ser calculada com posse do quantitativo de resíduos atendidos pelo programa de coleta seletiva e o comparativo da energia consumida a partir do uso de recursos virgens e de recursos reciclados. Assim, a energia consumida (MWh/t) para cada material a partir de recursos virgens e reciclados adotados pelos referidos autores, e os custos unitários da energia (R\$/MWh) praticados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2019), tornou-se possível a obtenção da energia economizada pela prática da coleta seletiva em João Pessoa (Tabela 19).

Tabela 19 - Energia economizada devido à coleta seletiva no município de João Pessoa

Material	Produção de recicláveis (t)	Energia Consumida – Produção Primária (MWh/t)	Energia Consumida total (MWh/t)	Energia Consumida – Reciclagem (MWh/t)	Energia Consumida total (MWh/t)	Custo da Energia (R\$/MWh)	Economia de Energia (R\$)
Papel	1.637,06	4,98	8.152,559	1,47	2.406,478	411,49	2.364.454,71
Plástico	1.324,84	5,28	6.995,155	0,83	1.099,617	411,49	2.425.954,93
Vidro	310,88	4,83	1.501,55	4,19	1.302,587	411,49	81.871,37
Metal	575,43	17,6	10.127,57	0,70	402,801	411,49	4.001.644,37
Total (R\$) 8.873.925,38							

Fonte: Elaboração própria (2022).

A quantidade total de consumo de energia que pode ser evitada com a reciclagem foi de 21.565,35 MWh para o período de estudo. O material reciclável que mais contribuiu para economia de energia foi o metal, mas de maneira geral, é possível afirmar que a reciclagem dos materiais coletados pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa, no ano de 2018,

economizou R\$ 8.873.925,38 para as indústrias que utilizam esse material ao invés de material virgem. Além dos benefícios socioambientais resultantes desta prática como: preservação dos recursos naturais, economia de energia, redução do desperdício, redução de emissões de gases poluentes, proteção da saúde pública, geração de empregos e de renda, entre outros (Berticelli *et al.* 2020).

Na Tabela 20, é possível identificar a estimativa da quantidade evitada de emissão de GEE na produção de novos produtos ao se utilizar materiais reciclados em detrimento dos materiais virgens.

Tabela 20 - Quantidade evitada de emissão de gases do efeito estufa (GEE) em toneladas de CO_{2eq} por tipo de material para a rota tecnológica existente em 2018

Material	Produção (t)	Emissão de GEE para produção primária (t CO _{2e} /t)	Emissão de GEE total para produção primária (t CO _{2e} /t)	Emissão de GEE para reciclagem (t CO _{2e} /t)	Emissão de GEE total para reciclagem (t CO _{2e} /t)	Redução de Emissões (t CO _{2e})
Papel	1.637,06	0,90	1.473,35	0,32	523,86	949,49
Plástico	1.324,84	0,81	1.073,12	0,18	238,47	834,65
Vidro	310,88	0,94	292,23	0,92	286,01	6,22
Metal	575,43	3,87	2.226,91	0,15	86,31	2140,60

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os resultados mostram que, para todos os materiais estudados, as emissões da reciclagem são inferiores aos da produção primária. A reciclagem neste caso evitou a emissão total, para a rota tecnológica existente em 2018, de 3,93E+03 toneladas de CO_{2eq}. o que significa benefícios ao meio ambiente e a sociedade.

Longo *et al.* (2019) e Ayodele *et al.* (2018) avaliaram os benefícios econômicos e ambientais da coleta seletiva e da reciclagem dos resíduos recicláveis na cidade de Sorocaba/Brasil e na Nigéria, respectivamente. Os autores identificaram os efeitos positivos que a reciclagem destes materiais proporciona em termos ambientais e financeiros.

Em termos de energia, os benefícios para o estudo de Longo *et al.* (2019) foram uma redução do consumo de energia de 2.125,31 MWh e uma redução nas emissões de 336,64 toneladas de CO_{2eq}. Já para o estudo de Ayodele *et al.* (2018) foram em torno de 1.046,43 GWh e uma redução nas emissões de 308 mil toneladas de CO_{2 eq}. no meio ambiente devido ao desvio dos resíduos recicláveis do aterro sanitário para a reciclagem.

Compostagem

A introdução da compostagem foi avaliada, em termos de valoração do composto obtido, a partir do tratamento dos resíduos orgânicos desviados do aterro sanitário. Devido a não obtenção de dados junto a Prefeitura referentes aos quantitativos adquiridos e gastos com fertilizantes químicos para uso no município, utilizou-se dados do Programa de Compostagem desenvolvido pela Comissão de Gestão Ambiental (CGA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). O programa foi criado com o objetivo de acondicionamento e reutilização do grande volume de resíduo de folhas e galhos coletados (serapilheira) gerados no Campus I para aplicação em recuperação de áreas degradadas bem como distribuição gratuita do adubo à comunidade em substituição aos produtos químicos (UFPB, 2022).

De acordo com dados da CGA, a prefeitura solicitou, em 2020 e 2021, cerca de 425,04 toneladas de composto para uso em diferentes secretarias como, por exemplo: a Secretaria de educação e Cultura (SEDEC) que utilizou o composto em hortas municipais e de escolas públicas e, a Secretaria do Meio Ambiente (SEMAM) que destinou para plantação de mudas no viveiro municipal e para aplicação paisagística em áreas urbanas, incentivando assim práticas de economia solidária.

Para este estudo estabeleceu-se as seguintes considerações: (i) 425,04 toneladas de composto como a quantidade mínima necessária de adubo no município; (ii) a prefeitura paga para adquirir fertilizante químico, sendo o preço comercializável do kg de R\$ 31,90 reais (AGROADUBO, 2022); (iii) a substituição entre o adubo químico e o orgânico é de 1:1. Assim, pode-se estimar que caso a Prefeitura não compre o fertilizante químico e utilizasse o composto advindo do tratamento por compostagem produzidos nos cenários C2 e C3, calculados, anteriormente, no estudo de ACV ambiental, poderia economizar R\$ 13.558.776,00 por ano e ainda sobraria, respectivamente, 1.128,56 (C2) e 38.414,84 (C3) toneladas de composto que poderiam ser distribuídos a pequenos produtores rurais locais, aplicados em usos paisagísticos e hortas comunitárias e/ou distribuído a população para uso individual.

Outra hipótese é que o tratamento por compostagem seja operado por alguma associação e o composto gerado possa gerar renda através da comercialização com produtores locais. Assim, adotando o valor da comercialização do quilo do composto orgânico produzido pela Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA) que é de R\$ 1,00, a associação obteria uma renda no cenário C2 de R\$ 1.553,6 reais e no C3 de R\$ 38.839,88 reais com a venda do total produzido.

Aterro sanitário

No aterro sanitário foram analisadas as emissões de GEE evitadas a partir das práticas de melhorias implementadas nos cenários desenvolvidos. Assim, na Tabela 21 pode-se observar que o C3 é o que apresentou o melhor desempenho ambiental em termos de emissões de GEE, pois as metas estabelecidas, neste cenário, reduziram a quantidade de gases que seriam liberados para a atmosfera.

Tabela 21 - Créditos de carbono a partir da não emissão de gases de efeito estufa (GEE) no aterro sanitário de João Pessoa no ano de 2018

Cenário	Emissão de GEEs (kg C0 ₂ e/t)	Quantidade de RSD (t)	Emissão de GEEs (t C0 ₂ e)
C0	4,73E+01	255.478,84	1,21E+04
C1	1,00E+01	255.478,84	2,57E+03
C2	9,33E+00	253.002,09	2,36E+03
C3	1,44E+00	168.849,25	2,43E+02

Fonte: Elaboração própria (2022).

Foi realizada uma simulação simplificada dos ganhos econômicos que se poderia obter com a não emissão de GEE nos cenários estudados para o aterro sanitário. Para isso foi considerado o preço de mercado da licença de emissão de tonelada de CO₂-eq, para o ano de 2018, foi de € 13,00 (euros) (World Bank; Ecofys. 2018), valor equivalente a R\$ 55,90 a partir da cotação €/real média de janeiro/dezembro de 2018 que foi de R\$ 4,30 (INVESTING, 2022).

Os resultados indicaram que em comparação com o cenário C0, o cenário C1 conseguiria gerar R\$ 531.337,66 de receita em crédito de carbono. Os cenários C2 e C3 proporcionariam R\$ 542.839,00 e R\$ 661.266,83, respectivamente. Esses dados corroboram para que além do município consiga direcionar esforços para a sua meta de neutralidade das emissões de carbono, o agente regulador da instalação pode-se beneficiar socioeconomicamente da comercialização de CO₂eq, evitado.

4.2.3 Avaliação do Ciclo de Vida Social

Neste tópico foram analisadas as respostas dos entrevistados de forma geral por *stakeholder*, as informações observadas para cada um dos indicadores da ACV-S, bem como o resultado de acordo com a metodologia de Ibáñez-Forés *et al.* (2019).

Trabalhador

O stakeholder trabalhador incluiu os funcionários envolvidos no gerenciamento dos resíduos domiciliares de João Pessoa responsáveis desde a coleta regular e seletiva dos resíduos domiciliares até a indústria recicladora e a disposição final no aterro sanitário. Além deles, também foram avaliados os catadores de materiais recicláveis associados e agentes intermediários (atravessadores).

Com relação ao total de trabalhadores envolvidos neste estudo foram 130, sendo 72 catadores de materiais recicláveis em que as informações foram disponibilizadas pela EMLUR e 58 entrevistados presencialmente. A Tabela 22 mostra o número de profissionais entrevistados.

Tabela 22 - Número de profissionais entrevistados

Categoria	Nº de entrevistados
Gari – empresa privada	20
Gari – empresa pública (E/MLUR)	10
Atravessador	2
Funcionário de aterro sanitário	15
Funcionário empresa de reciclagem	11
Total	58

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os indicadores sociais analisados neste grupo foram: liberdade de associação e negociação coletiva, trabalho infantil, salário justo, horas de trabalho, regulamentação trabalhista, trabalhadores das classes marginais, segurança e proteção dos trabalhadores, trabalhadores e familiares com seguro de saúde, discriminação, saúde em longo prazo, emprego legal com benefícios/segurança social, nível de escolaridade: trabalhadores e seus filhos, características sociais dos trabalhadores, condições de vida seguras e saudáveis (acesso a recursos materiais), grau de conscientização ambiental do trabalhador. Os resultados desses indicadores são apresentados na Quadro 5.

Quadro 5 – Avaliação do desempenho social da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa para o *stakeholder* trabalhador

Categorias de impacto social	Indicadores sociais	Métricas	Pontuação		
			Resultado	Indicadores sociais (%)	Categorias de impacto (%)
1. Direitos de trabalho	1.1 Liberdade de associação e negociação coletiva	1.1.a Evidência de restrições à liberdade de associação e negociação coletiva	68,46	71,31	71,31
		1.1.b Os trabalhadores têm acesso a reuniões e a possibilidade de procedimentos de resolução de disputas	78,79		
		1.1.c Presença sindical	66,67		
2. Direitos humanos	2.1 Trabalho infantil	2.1 Número de crianças que trabalham no setor analisado	100,00	100,00	100,00
3. Qualidade dos postos de trabalho (condições de trabalho)	3.1 Salário justo	3.1 Salário do trabalhador comparado ao salário mínimo	58,08	58,08	73,54
	3.2 Horas de trabalho e/ou descanso semanal	3.2 Horas semanais efetivamente trabalhadas pelos funcionários	89,00	89,00	
4. Igualdade de oportunidades / discriminação	4.1 Discriminação	4.1.a Colaboradores de diferentes gêneros, idades, raças ou outras minorias	100,00	61,11	68,79
		4.1.b Diferenças salariais entre grupos de diferentes gêneros, idades, raças ou outras minorias	83,33		
		4.1.c Discriminação no trabalho	0,00		
	4.2 Regulamentação trabalhista	4.2.a Política de igualdade de oportunidades dentro do local de trabalho	66,67	83,34	
		4.2.b Número de trabalhadores indocumentados na gestão de resíduos	100,00		
	4.3 Trabalhadores das classes marginais	4.3 % dos trabalhadores sem possibilidade de trabalhar em outro setor	61,92	61,92	
5. Saúde e segurança	5.1 Segurança e proteção dos trabalhadores	5.1 % dos trabalhadores que usam EPI em seu trabalho	81,54	81,54	82,31
	5.2 Saúde a longo prazo	5.2.a % de trabalhadores vacinados	78,85	83,08	
		5.2.b % de trabalhadores sem problemas de saúde	87,31		
6. Benefícios de trabalho	6.1 Emprego legal com benefícios/segurança social	6.1.a % de trabalhadores com informação sobre os direitos que correspondem ao código ocupacional da sua atividade	13,85	30,00	43,37
		6.1.b % de trabalhadores que pagam sua Previdência Social	46,15		
	6.2 Trabalhadores e familiares com seguro de saúde	6.2.a % de trabalhadores com familiares deficientes/idosos e que recebem algum benefício do INSS	53,85	56,74	
		6.2.b % de trabalhadores com cobertura de saúde	59,62		
7. Condições socioeconômicas	7.1 Nível de escolaridade: trabalhadores e seus filhos	7.1.a Nível de escolaridade dos trabalhadores	48,08	53,01	60,64
		7.1.b Nível de escolaridade das famílias dos trabalhadores	57,94		
	7.2 Características sociais dos trabalhadores	7.2 Renda familiar mensal total	37,50	37,50	
	7.3 Condições de vida seguras e saudáveis (acesso a recursos materiais)	7.3 Qualidade das casas dos trabalhadores/clientes	91,42	91,42	
10. Desenvolvimento profissional	10.1 Grau de conscientização do trabalhador ambiental	10.1 Educação/conscientização ambiental dos trabalhadores	65,38	65,38	65,38

Fonte: Elaboração própria (2023).

O indicador liberdade de associação e negociação coletiva, no Brasil, é considerado um direito de todo cidadão de acordo com o art. 8º da Constituição Federal (Brasil, 1988), assim este item pretendeu analisar evidências de restrições à liberdade de associação e negociação coletiva ao investigar a preferência pelo tipo de regime de trabalho exercido, existência de presença sindical, acesso e participação em reuniões coletivas. Os resultados indicaram que 68,46% (89 trabalhadores) trabalham como preferem. A existência de associações/cooperativas foi identificada apenas entre os catadores de materiais recicláveis e 78,79% deles afirmaram participar das reuniões quando existem. Quando questionados sobre a existência de sindicatos, 66,67% dos trabalhadores confirmaram a existência dos mesmos. Assim, tanto o indicador social quanto a categoria direito trabalhista obtiveram 71,31%.

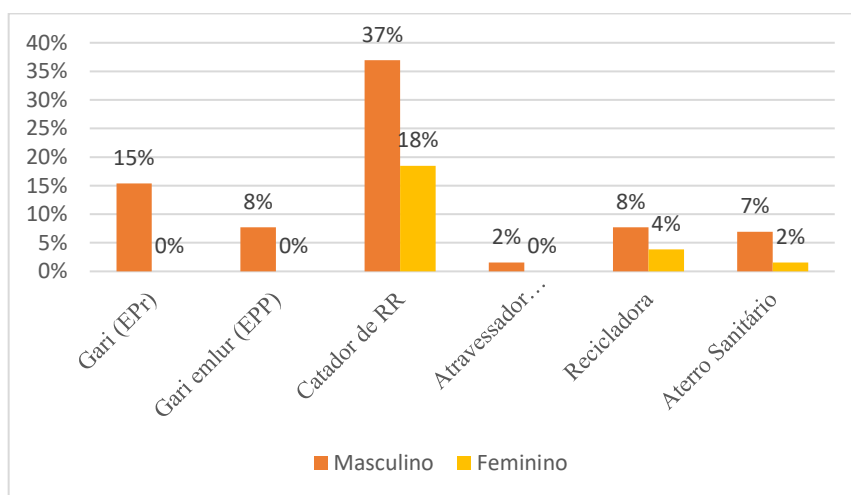
O indicador trabalho infantil obteve pontuação máxima de 100%. Os entrevistados informaram que nenhum menor de 16 anos de idade os auxilia no trabalho. Durante as observações de campo, também, não foi identificado nenhuma evidência de criança ou adolescente atuando nas instalações das áreas de estudo. Assim, a categoria de impacto direitos humanos pontou 100%. Isso demonstra que a categoria está em conformidade com o estabelecido na Constituição Federal brasileira, art. 7º, inciso XXXIII, em que é proibido o trabalho de pessoas menores de 16 anos, salvo na condição de aprendiz, a partir de 14 anos.

A análise da categoria qualidade dos postos de trabalho foi realizada através dos indicadores de salário justo e horas de trabalho e/ou descanso semanal. Com relação ao primeiro indicador, a pontuação de 58,08% foi atribuída com base na comparação entre a média dos salários do stakeholder trabalhador e o salário mínimo regulamentado no Brasil, no ano de 2022, que era de R\$ 1.212,00 reais. Apenas um trabalhador afirmou receber, em média, menos de um salário mínimo por mês, sendo ele um agente intermediário. A maioria dos trabalhadores (82%) recebem entre um e dois salários mínimos e 17% acima de dois salários mínimos. Em relação as horas trabalhadas, foi identificado que os trabalhadores dos diversos segmentos analisados atuaram, em média, 42,2 horas por semana durante cinco dias semanais (segunda à sexta-feira) com carga horária média de oito (08) horas por dia, o que resultou em 89% a pontuação deste indicador. Destaca-se que os agentes intermediários (sucateiros) afirmaram trabalhar em torno de 57 horas por semana e de acordo com a Constituição Federal, art. 7, inciso XIII a duração do trabalho normal não seja superior a oito horas diárias e quarenta e quatro semanais. Assim, a categoria qualidade dos postos de trabalho obteve 73,24%.

Na categoria igualdade de oportunidades/discriminação foram avaliados os seguintes indicadores sociais: discriminação, regulamentação trabalhista e trabalhadores de classes marginais. Com relação a discriminação, foi avaliado a presença de trabalhadores de diferentes

gêneros, idades, raças ou outras minorias; diferenças salariais entre esses grupos; e discriminação no trabalho. A maioria dos entrevistados se autodeclararam do sexo masculino (76%) enquanto apenas 24% eram mulheres. Na Figura 32 é mostrado a diferença entre homens e mulheres por instalação da área de estudo. É possível perceber que as colaboradoras do sexo feminino foram identificadas nas unidades de aterro sanitário (2%) e indústria recicladora (4%) e, também, atuando como catadoras de materiais recicláveis (18%).

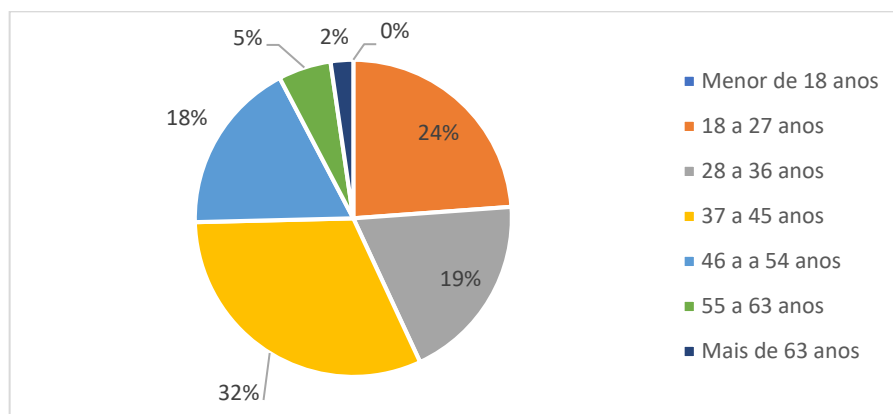
Figura 32 - Quantidade de trabalhadores do sexo masculino e feminino na área de estudo



Fonte: Elaboração própria (2023).

No que diz respeito a faixa etária (Figura 33), observou-se que 41 dos entrevistados (32%) se encontram na faixa dos 37 a 45 anos, seguidos da faixa entre 18 e 27 anos (24%), 28 a 36 (19%), 46 a 54 (18%), 55 a 63 (5%) e apenas 3 pessoas (2%) têm mais de 63 anos. Não foi identificado nenhum menor de 18 anos de idade na área de estudo.

Figura 33 – Faixa etária dos trabalhadores da área de estudo



Fonte: Elaboração própria (2023).

De acordo com os entrevistados e o observado nas entrevistas, existe diversidade de trabalhadores sendo assim atribuído a pontuação de 100 pontos. Quanto às diferenças salariais entre os grupos de diferentes gêneros, idades, raças ou outras minorias a pontuação média para os trabalhadores foi de 88,33. Isso ocorreu pois para os sucateiros existe diferença salarial, sendo esta afirmação identificada apenas neste grupo o que ocasionou a pontuação 0. Em relação a existência de casos de discriminação nos últimos 5 anos ou o sentimento de discriminação pelos trabalhadores a média da pontuação foi 0, tendo em vista que foi identificado evidências em todos os grupos de trabalhadores de casos discriminatórios seja pela profissão exercida, raça, religião ou gênero. A pontuação final para o indicador de discriminação foi de 61,11%.

O indicador social regulamentação trabalhista foi medido através das métricas de política de igualdade de oportunidades dentro do local de trabalho e número de trabalhadores sem documentação. Em relação ao primeiro, a pontuação foi de 66,67, apenas os trabalhadores das associações de catadores de materiais recicláveis e os sucateiros afirmaram não existir nenhuma política de igualdade. Em relação a possuir documentos, os trabalhadores entrevistados possuíam no mínimo carteira de identidade, CPF e título de eleitor o que permitiu a pontuação de 100 neste quesito. Assim, o indicador pontuou 83,34%.

Quando questionados sobre as razões individuais para trabalhar no setor de resíduos sólidos, 56% afirmaram que não conseguem encontrar outro emprego, 10% disseram ser a única opção e 34 % afirmaram gostar da área em que atuam. Esses dados resultaram em uma pontuação de 61,92% para trabalhadores sem possibilidade de trabalhar em outro setor. Assim, a categoria igualdade de oportunidades/discriminação obteve a pontuação de 68,79%.

A categoria de impacto saúde e segurança foi analisado através dos indicadores de segurança e proteção dos trabalhadores e saúde a longo prazo. Com relação ao primeiro indicador, o resultado foi obtido a partir da porcentagem dos trabalhadores que têm acesso e, normalmente, usam EPI no trabalho (pelo menos luvas). O resultado indicou que 85% (110 trabalhadores) tinham acesso e 78% (102 trabalhadores) o utilizam, o que resultou numa pontuação de 81,54% para este indicador. É importante destacar que os trabalhadores sem acesso a EPI eram catadores de materiais recicláveis.

A saúde a longo prazo foi medida quanto a porcentagem de trabalhadores vacinados e de trabalhadores sem problemas de saúde. As vacinas de tétano e hepatite foram consideradas as mais importantes para um trabalhador no setor de resíduos sólidos. Assim, a pontuação obtida neste quesito foi de 78,85. Apesar de 70% (91 trabalhadores) afirmarem terem recebido as duas vacinas, cerca de 12% (16 trabalhadores) não tomaram nenhuma das duas, podendo representar

um risco a sua saúde. Já, em relação aos trabalhadores sem problemas de saúde devido a atividade a pontuação obtida foi de 87,31. É importante destacar que quando questionados sobre já terem sofrido algum tipo de acidente de trabalho, o grupo de catadores de materiais recicláveis e sucateiros afirmaram que já tiveram cortes, perfurações e arranhões devido ao acondicionamento inadequado dos resíduos. Assim, o indicador saúde a longo prazo foi pontuado em 83,08% e a categoria de impacto social saúde e segurança obteve 82,31%.

Para a categoria benefícios de trabalho, o indicador emprego legal com benefícios/segurança social foi medido através das porcentagens de trabalhadores com informação sobre os direitos que correspondem ao código ocupacional da sua atividade e de trabalhadores que pagam sua Previdência Social. Apenas 18 trabalhadores (14%) afirmaram conhecer o código ocupacional de sua atividade e 60 trabalhadores (46%) contribuem para a previdência social, resultando nas pontuações de 13,85 e 46,15, respectivamente, sendo a média do indicador de 30,00%. O segundo indicador desta categoria de impacto é o número de trabalhadores e familiares com seguro de saúde, sendo a sua análise realizada através da porcentagem de trabalhadores com familiares deficientes/idosos e que recebem algum benefício do Instituto Nacional de Seguro Social (INSS) e de trabalhadores com cobertura de saúde. Dos 39 trabalhadores que afirmaram possuir familiares deficientes/idosos apenas 21 deles recebem benefício do INSS, totalizando uma pontuação de 53,85. Em relação a cobertura de saúde é importante destacar que de acordo com a Lei nº 8080/1990 todo cidadão em território nacional tem direito ao Sistema Único de Saúde (SUS), sendo a pontuação média dos trabalhadores de 100 pontos para aqueles que possuem plano de saúde privado e de 50 para os que possuem apenas o acesso ao SUS. Dos trabalhadores entrevistados, apenas 15 (19%) afirmaram possuir cobertura de saúde privada, totalizando 59,62 pontos. Assim, o indicador atingiu 56,74% e a categoria de impacto pontuou 43,37%.

A categoria condições socioeconômicas dos trabalhadores teve pontuação de 60,64%, sendo avaliada por meio dos indicadores de nível de escolaridade, características sociais dos trabalhadores e condições de vida seguras e saudáveis (acesso a recursos materiais). As pontuações obtidas nestes indicadores foram, respectivamente, 53,01%, 37,50% e 91,42%. Em relação ao nível de educação, a pontuação máxima foi atribuída aos trabalhadores que possuíam ensino médio completo, sendo eles 34 trabalhadores entrevistados (26%), enquanto que a menor nota, 0, foi atribuída aos que se declararam analfabetos, 7 trabalhadores (5%). Dos trabalhadores que afirmaram possuir filhos estudando a pontuação obtida foi de 57,94. Já, referente à renda familiar média mensal, para os trabalhadores entrevistados (51%), é na faixa de um salário mínimo e a qualidade da casa dos trabalhadores obteve 91,42, tendo em vista que

a maioria possui casas com condições mínimas de habitação. Porém, alguns catadores de materiais recicláveis afirmaram que vivem em casa de taipa (4), madeira (2) e barraca (1).

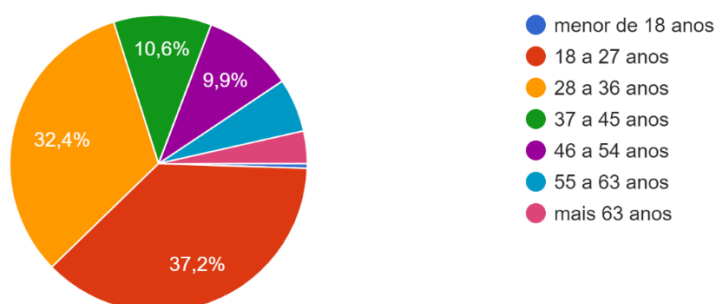
Por fim, a categoria de desenvolvimento profissional mediu o grau de conscientização do trabalhador e a pontuação foi proporcional aos trabalhadores que afirmaram estar cientes de sua contribuição para a educação ambiental. O resultado indicou que 85 trabalhadores (65%) responderam que estão conscientes sendo atribuído a este indicador 65,38%.

Usuários

O stakeholder usuário foi composto por 396 pessoas que responderam ao questionário online. Os participantes habitavam em diferentes bairros do município de João Pessoa, sendo a maioria dos residentes de Mangabeira I a VIII, seguido dos bairros de Manaíra, Bessa, Bancários, Castelo Branco, Valentina e outros. Este dado é importante pois demonstra que geograficamente o estudo conseguiu ser representativo na área de estudo.

A profissão dos entrevistados variou entre estudante universitário, professor, engenheiro, advogado, dona de casa, servidor público, cabelereiro, comerciantes, entre outros. Em relação a faixa de idade a maioria dos entrevistados possuem entre 18 e 27 anos e entre 28 a 36 anos (Figura 34).

Figura 34 - Faixa etária dos usuários entrevistados

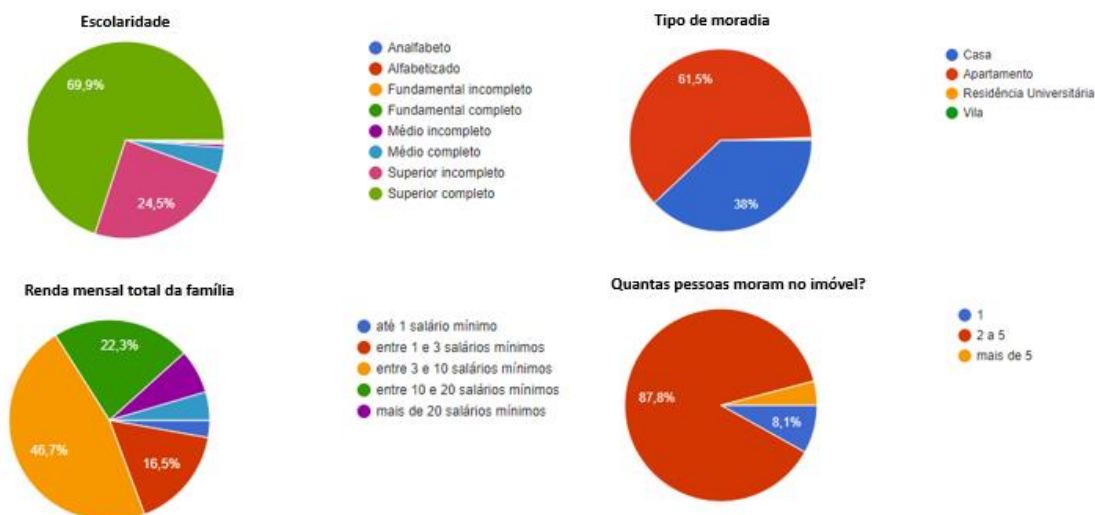


Fonte: Elaboração própria (2023).

Em relação ao nível de escolaridade 69,90% dos entrevistados declararam possuir ensino superior completo. Percebeu-se aqui que o alto grau de escolaridade dos entrevistados se deu em função do tipo de questionário aplicado (bola de neve) em que a rede de pessoas participantes era por indicação do círculo social (amigos, ambiente de trabalho, outros) ao qual pertenciam.

Os usuários foram questionados, ainda, sobre o tipo de moradia e 61,50% deles responderem viver em apartamentos com 2 a 5 pessoas no mesmo imóvel. Quanto à renda familiar, 46,70% se encontravam na faixa entre 3 e 10 salários mínimos. A Figura 35 apresenta características socioeconômicas dos usuários entrevistados.

Figura 35 – Características socioeconômicas dos usuários entrevistados



Fonte: Elaboração própria (2023).

Três categorias de impacto social foram utilizadas para avaliar o stakeholder usuários: satisfação e participação da comunidade, desenvolvimento local (repercussão socioeconômica) e relação dos atores da cadeia de valor (Quadro 6).

Quadro 6 - Avaliação do desempenho social da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa para o *stakeholder* usuários

CATEGORIAS DE IMPACTO SOCIAL	INDICADORES SOCIAIS	MÉTRICAS	Pontuação		
			MÉTRICAS	INDICADORES SOCIAIS	CATEGORIAS DE IMPACTO
8. Satisfação e participação da comunidade	8.1 Satisfação do cliente/cidadão	8.1 Bem-estar social / Satisfação (qualidade dos produtos/serviços)	70,77	70,77	71,99
	8.2 Participação do cliente/cidadão	8.2 % dos cidadãos com acesso a um sistema de gestão de resíduos confiável	73,2	73,20	
11. Desenvolvimento local (repercussão socioeconômica)	11.1 Desenvolvimento de consciência e responsabilidade ambiental	11.1.a Consciência ambiental personalizada	67,96	54,73	54,73
		11.1.b % de usuários que recebem informações ambientais sobre gestão de resíduos	41,5		

Fonte: Elaboração própria (2023).

Na categoria de satisfação e participação da comunidade, o indicador satisfação do cliente/cidadão foi analisado através do grau de satisfação em relação a qualidade do serviço de gerenciamento de resíduos prestado e teve como média o valor de 70,77%. A participação do cliente/cidadão foi quantificada através da porcentagem dos cidadãos com acesso a um sistema de gestão de resíduos confiável que totalizou 73,20%. A categoria obteve assim 71,99%.

Em relação à categoria desenvolvimento local, foi analisado o indicador desenvolvimento de consciência e responsabilidade ambiental. Este indicador foi medido com base nos usuários que reaproveitam resíduos gerados em casa, com pontuação de 67,96 pontos, e nos usuários que afirmam ter recebido orientações sobre como separar/reutilizar resíduos pela EMLUR e/ou campanhas ambientais do governo, com 41,5 pontos. Assim, a categoria atingiu 54,73%. Estes valores demonstram que a população usuária carece de mais informações e campanhas de educação ambiental sobre como separar e reaproveitar os resíduos gerados nas residências.

A categoria de impacto social atores da cadeia de valor com indicador transparência/corrupção foi avaliado para este *stakeholder* através do conhecimento do usuário sobre o sistema de gerenciamento de RSD em que a pontuação é proporcional aos usuários que conhecem o real destino dos resíduos coletados na cidade. No total, 214 (54,04%) dos entrevistados afirmaram conhecer o sistema local, porém ainda é grande o número de usuários que desconhecem o destino do resíduo e a importância de um correto gerenciamento.

Autoridade Municipal

Esse grupo de *stakeholder* foi composto pelas categorias de impacto social: atores da cadeia de valor e governança (Quadro 7).

Quadro 7 – Avaliação do desempenho social da rota tecnológica de resíduos sólidos domiciliares de João Pessoa para o *stakeholder* autoridade municipal

CATEGORIAS DE IMPACTO SOCIAL	INDICADORES SOCIAIS	MÉTRICAS	Pontuação		
			MÉTRICAS	INDICADORES SOCIAIS	CATEGORIAS DE IMPACTO
12. GOVERNANÇA	12.1 Compromissos públicos com questões de sustentabilidade	12.1 Existência de ações realizadas com recursos públicos relacionadas à gestão de resíduos	100	100,00	50,00
	12.2 Maturidade do sistema de gestão de resíduos	12.2 Legislação sobre gestão de resíduos	0	0,00	

Fonte: Elaboração própria (2023).

Na categoria atores da cadeia de valor, o indicador foi medido pela presença de relatórios periódicos da empresa pública sobre o gerenciamento dos RSD obtendo 100 pontos, pois a empresa EMLUR afirmou possuir relatórios e o Plano Municipal de Resíduos, que tem que ser atualizado a cada 4 anos. Esta categoria foi composta pela média entre as métricas 9.1a (conhecimento do cliente sobre o sistema) e 9.1b (existência de relatórios periódicos da empresa pública) totalizando a pontuação 77,02%.

Por fim, a categoria de governança que foi analisada através dos indicadores de compromisso público com questões de sustentabilidade e maturidade do sistema de gestão de resíduos. Para medir o compromisso público foi pontuado a existência de ações realizadas com recursos públicos pela EMLUR. A pontuação foi máxima (100 pontos) tendo em vista que o órgão afirmou realizar campanhas de educação ambiental, apoio à coleta seletiva municipal e ações de limpeza das praias urbanas.

Já, a maturidade do sistema foi medida com base na distância existente da meta de cobertura de coleta seletiva, estabelecida no Plano de Gestão de Resíduos Sólidos do município, que é de 9% e a realidade existente no ano da recolha do dado que foi de, aproximadamente, 3%. Assim, como a porcentagem existente é menor que a meta estabelecida a pontuação atribuída foi 0. A categoria de impacto atingiu assim 50%.

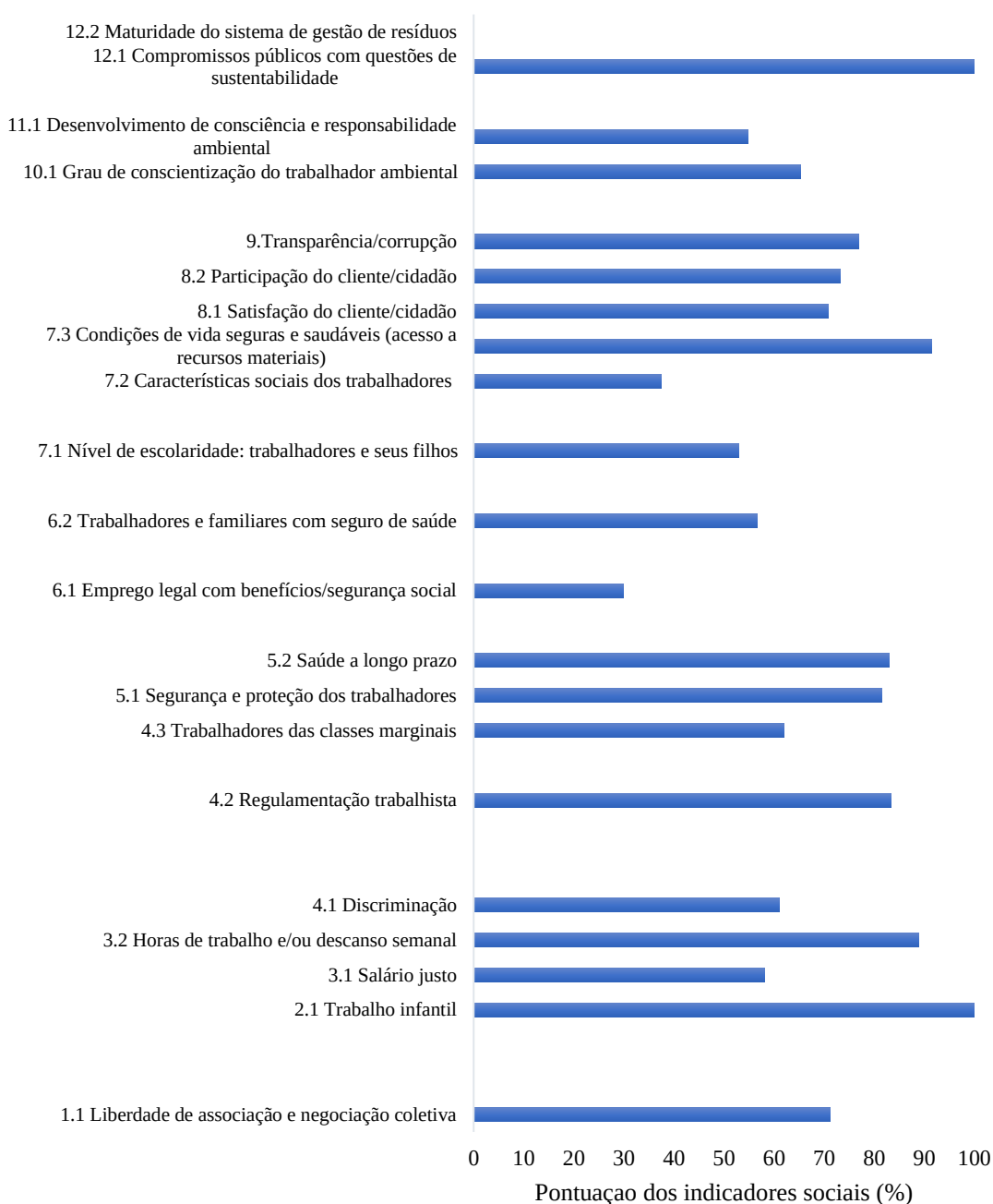
Na Figura 36, é apresentado um resumo com o resultado do desempenho de todos os indicadores sociais da rota tecnológica de RSD de João Pessoa.

De acordo com os resultados, é possível afirmar que o indicador social que apresentou melhor desempenho foi “Trabalho infantil”, mas é importante destacar que existe limitação neste indicador que considerou apenas a parte formal do sistema de RSD e apenas a existência ou não de trabalho infantil. Os indicadores sociais que obtiveram o pior desempenho foram: “Benefícios de trabalho”, “Governança” e “Desenvolvimento local”. Em relação aos benefícios de trabalho, a baixa pontuação se deve ao desconhecimento dos trabalhadores sobre o código da sua ocupação e muitos não pagarem previdência por não possuírem condições financeiras. No indicador Governança foi verificado que o município está com dados de reciclagem abaixo da meta municipal. O indicador desenvolvimento local se destacou negativamente devido ao baixo percentual de usuários que afirmaram não terem recebido orientações sobre como separar/reutilizar resíduos pela EMLUR e/ou através de campanhas ambientais do poder público.

Este resultado foi diferente do identificado no estudo de Ibáñez-Forés *et al.* (2019) em que os indicadores que apresentaram melhor comportamento foram “Horas de trabalho e/ou descanso semanal” e “Condições de vida seguras e saudáveis (acesso a recursos materiais)”,

seguido de “Satisfação do cliente/cidadão”. Enquanto os que tiveram piores resultados foram: “Regulamentação trabalhista” e “Salário justo”, seguido de “Características sociais da população”. Isso pode ter ocorrido devido as adaptações que foram feitas na metodologia bem como a inclusão de novos atores na categoria trabalhadores. O estudo de Ibáñez-Forés *et al.* (2019) foca apenas nos trabalhadores da coleta seletiva que comparado aos outros atores desse *stakeholder* possuem, em geral, menor renda e escolaridade tanto dos trabalhadores quanto de suas famílias.

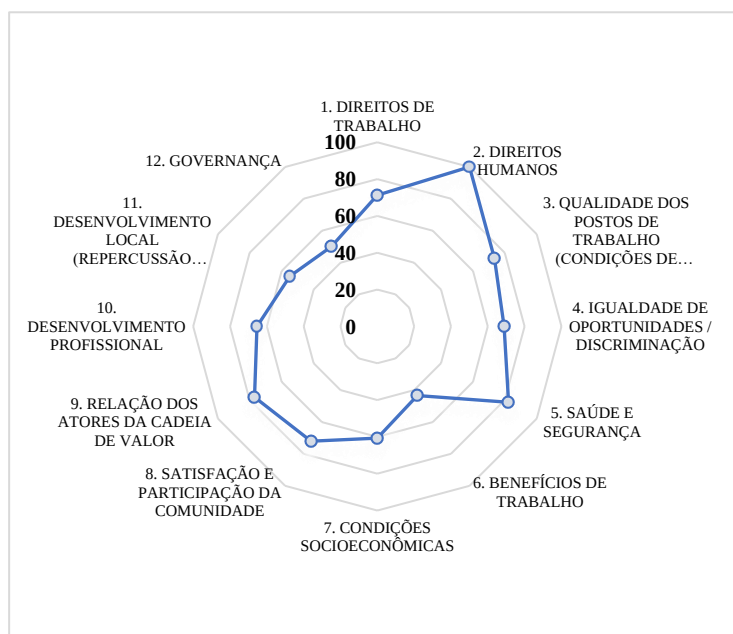
Figura 36 – Desempenho dos indicadores de impacto social da rota tecnológica de RSD de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria (2023).

Em relação as categorias de impacto são possíveis de identificar, na Figura 37, que a que apresentou o melhor comportamento foi direitos humanos. Porém, vale destacar que esta pesquisa se limitou a parte formal do sistema de RSD e apenas a existência ou não de trabalho infantil.

Figura 37 - Desempenho social das categorias de impacto da rota tecnológica do sistema de RSD de João Pessoa



Fonte: Elaboração própria (2023).

Com relação ao pior desempenho, a categoria de governança se destacou negativamente, tendo em vista as metas não alcançadas do município em relação as taxas de reciclagem que estão abaixo da meta nacional. A categoria de benefícios de trabalho apresentou um desempenho ruim, a maioria dos trabalhadores envolvidos desconhecem o código da sua ocupação, além disso muitos não pagam previdência e, também, gostariam de pagar plano de saúde privado, mas não possuem condições financeiras. Outra categoria com baixo desempenho foi a de desenvolvimento local (repercussão socioeconômica) que indicou um percentual pequeno de usuários que afirmam ter recebido orientações sobre como separar/reutilizar resíduos pela EMLUR e/ou através de campanhas ambientais do poder público.

Ibáñez-Forés *et al.* (2019) identificaram que a categoria “relacionamento dos atores da cadeia de valor”, que está relacionada principalmente com transparência na administração do sistema, apresentou o melhor desempenho em seu estudo devido ao poder público emitir relatórios sobre o sistema de forma periódica. Neste mesmo estudo, as categorias de

"Oportunidades iguais/Discriminação" e "Benefícios de trabalho" apresentaram os piores comportamentos sendo identificados como pontos importantes em que o poder público deveria investir maiores esforços para melhorar não apenas as características do sistema de resíduos, mas também as condições sociais das pessoas que dependem deste sistema.

4.2.4 Análise integrada e Economia Circular

A ASCV na rota tecnológica existente dos RSD, de João Pessoa, permitiu medir o desempenho ambiental, econômico e social do sistema. Em relação a dimensão ambiental foi identificado que na rota existente, a maior parte dos RSD são aterrados, porém existe uma grande quantidade de resíduo com potencial de valoração seja pela reciclagem ou pela compostagem. Através da aplicação da ACV identificou que a etapa aterro sanitário foi o principal *hotspot* de potenciais impactos negativos na maioria das categorias analisadas. A exceção foi a categoria de depleção da camada de ozônio que devido aos poluentes atmosféricos advindos do consumo de combustível fóssil na etapa de coleta e transporte. Esse comportamento permaneceu nos cenários alternativos propostos, porém é notável a redução dos impactos negativos em todas as categorias. A exceção foi a categoria de acidificação em que se pode observar que nos cenários C1, C2 e C3 a etapa de aterro sanitário destacou-se com benefícios ambientais advindo da coleta e recuperação do biogás para geração de energia.

A reciclagem foi o tratamento que mais proporcionou benefícios ambientais e econômicos ao sistema estudado. Os resíduos ao serem triados pelo programa de coleta seletiva municipal e serem destinados a este tipo de tratamento evitam que mais matéria-prima seja extraída da natureza e evitam o impacto da produção primária, que é maior do que a reciclagem em termos de emissões de CO_{2eq}. e gastos com energia elétrica. Além disso, o incremento de maiores taxas de coleta seletiva e compostagem fortalecem a integração do sistema com os princípios da EC. Com relação aos benefícios econômicos, foi possível observar que a incorporação de maiores taxas de coleta seletiva e compostagem dos resíduos proporcionaria maior renda aos trabalhadores e geração de empregos no setor através da comercialização desses resíduos. Fato esse que impactaria positivamente no desempenho social dos atores envolvidos como, por exemplo, os trabalhadores. A categoria de *stakeholder* foi a que apresentou os maiores impactos negativos foi catadores de materiais recicláveis e as suas condições de trabalho.

Com a economia gerada no sistema, as autoridades municipais poderão melhor gerir os recursos públicos e investir na ampliação do projeto de coleta seletiva com melhor

infraestrutura, promoção de capacitações com os trabalhadores das associações de catadores e campanhas de educação ambiental com a população usuária, o que irá, provavelmente, proporcionar melhor desempenho ambiental do sistema.

A partir da ASCV, no estudo de caso, foi possível traçar recomendações para minimizar os impactos negativos e maximizar os impactos positivos do setor. Dessa forma, recomenda-se:

1. Aplicar as taxas progressivas de expansão da coleta seletiva como estabelecido no Plano de resíduos do município, bem como a compostagem para os resíduos orgânicos;
2. Investir na infraestrutura e maior formalização do programa de coleta seletiva para que este serviço seja ampliado com maior eficiência e forneça melhores condições de trabalho aos catadores de materiais recicláveis. Além disso, esses trabalhadores carecem de EPI e de informações sobre a importância de usá-los para evitar acidentes de trabalho;
3. Construção de um sistema que contemple uma planta de compostagem no aterro sanitário da cidade com vistas à produção de adubo e, se viável, possível comercialização do produto gerado pelos associados do programa de coleta seletiva municipal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a obtenção de informações acerca do funcionamento da rota tecnológica do RSD do município de João Pessoa. A partir da aplicação da ASCV foi possível analisar os aspectos ambientais, econômicos e sociais destacando os principais pontos positivos e negativos existentes no serviço ofertado, informando aos gestores públicos onde poderão dedicar maiores investimentos e planejar melhor ao longo do tempo as ações necessárias, indicando as ações que possibilitem maior sustentabilidade no setor.

Os resultados da ASCV para a dimensão ambiental indicaram que o aterro sanitário e a coleta e o transporte são as etapas que mais contribuíram para os impactos ambientais negativos da rota tecnológica existente em João Pessoa. A reciclagem teve destaque ao apresentar impacto positivo em todas as categorias de impacto analisadas devido às emissões evitadas pela produção de matéria-prima recuperada. O cenário C3 com as metas mais otimistas de reciclagem e compostagem apresentaram, em geral, menores impactos ambientais quando comparado aos outros cenários analisados.

A dimensão econômica demonstrou a importância do programa de coleta seletiva, pois gera renda aos catadores de materiais recicláveis além de reduzir os custos com coleta e transporte e aterramento dos RS ao poder público. A pesquisa demonstrou economia em consumo de energia quando analisada em relação a reciclagem dos materiais. Além disso, a partir dos cenários analisados, foi observado que o aumento das práticas de EC proporcionaram benefícios positivos pela não emissão de CO_{2eq} e, em relação ao aterro sanitário a comercialização em crédito de carbono poderia ainda ser uma receita a instalação.

Em relação à dimensão social, a categoria com melhor desempenho foi direitos humanos, mas que precisa ser analisada com atenção pela limitação do seu indicador. Já, a categoria com pior resultado foi governança que apesar de possuir política no setor, ainda está longe de atingir as metas estabelecidas e isso é reflexo da carência de investimentos no sistema. É importante destacar, também, a baixa/ausência de condições dignas de trabalho e socioeconômicas dos trabalhadores das associações de catadores que estão expostos a condições ainda insalubres e que sofrem com ocorrências de casos de discriminação no ambiente de trabalho.

Foi possível então observar a importância da metodologia de ASCV para analisar as relações entre as práticas de EC com os custos e receitas nos cenários estudados e a redução dos impactos ambientais na rota tecnológica.

Por fim, espera-se que a pesquisa possa contribuir para a expansão da metodologia da ASCV no setor de resíduos de forma a dotar os gestores de informações com as quais possam decidir opções mais adequadas de gerenciamento municipal. Recomenda-se, ainda para trabalhos futuros:

- Englobar o setor informal a fim de realizar uma avaliação mais realista da situação da rota tecnológica dos RSD de João Pessoa;
- Agregação dos resultados da ASCV afim de obter uma pontuação única de sustentabilidade para que seja possível comparar resultados e apontar qual alternativa é mais sustentável;
- Ampliação de estudos sobre a viabilidade da planta de compostagem tendo em vista o potencial ambiental, econômico e social que este tratamento proporcionaria.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020.
- ALARCÓN, F.; CORTÉS-PELLICER, P.; PÉREZ-PERALES, D.; SANCHIS, R. Sustainability vs. Circular Economy from a Disposition Decision Perspective: A Proposal of a Methodology and an Applied Example in SMEs. **Sustainability**, v. 12, n. 23, 10109, 2020.
- ALEJANDRINO, C.; MERCANTE, I.; BOVEA, M. D. Life cycle sustainability assessment: Lessons learned from case studies. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 87, 106517, 2021.
- ANDRADE JUNIOR, M. A. U.; ZANGHELINI, G. M.; SOARES, S. R. Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management. **Waste Management & Research**, v. 35, n.5, p. 541-550, 2017.
- ANCAT. Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. **Anuário da Reciclagem 2021**. ANCAT e PRAGMA, 2022.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419:1996. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento**, Rio de Janeiro, 1996.
- _____. NBR 13591: **Informação e documentação – Compostagem**. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. NBR 15.849. **Resíduos sólidos urbanos – Aterro Sanitário de Pequeno Porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR ISO 14040: **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de vida: princípios e estrutura**. 2ª ed., Rio de Janeiro, 2009.
- _____. NBR ISO 14044: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações a**. 2ª ed., Rio de Janeiro, 2009.
- ASEFI, H., SHAHPARVARI, S., CHHETRI, P., 2020. Advances in sustainable integrated solid waste management systems: lessons learned over the decade 2007–2018. **J. Environ. Plan. Manag.**, vol. 63, 2287–2312.
- AZIMI, A. N.; DENTE, S. M. R.; HASHIMOTO, S. Social life-cycle assessment of household waste management system in Kabul city. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3217, 2020.
- BAPTISTA, M.; CARVALHO, R. V.; ROCHA MACHADO, P. H. P.; NÓBREGA, M. D. J. R. Análise de Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 2, n.1, p. 55-72, 2019.
- BNDES. **Relatório Anual BNDES**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. Anual. Continuação de Sistema BNDES: relatório de atividades.
- BORN, Rubens Harry. **Agenda 21 e a biodiversidade**. Brasília: MMA, 23 p, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília, DF: 2010. 75p. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/manual_de_compostagem_mma.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares [recurso eletrônico]** / Coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022a.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 03 ago, 2010b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 18 mar. 2021.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento [...]**. Brasília, DF: Presidência da República, [2020c]. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2020**. Brasília: MCIDADES, 2021d.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018**. Brasília: MCIDADES, 2019e.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao. Acesso em: 18 de março de 2021.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMCM e dá outras providências**. Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: [L12187 \(planalto.gov.br\)](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2009-2010/2009/lei/l12187.htm). Acesso em: 18 mar. 2021.

BRUHN, N. C. P.; VIGLIONI, M. T. D.; NUNES, R. F.; CALEGARIO, C. L. L. Recyclable waste in Brazilian municipalities: A spatial-temporal analysis before and after the national policy on solid waste. **Journal of Cleaner Production**. vol. 421, n 1, 138503, 2023.

BORBA, P. F. de S.; *et al.* Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 23, n 1, p. 101-111, 2018.

BOSKOVIC, G. *et al.* Calculating the costs of waste collection: A methodological proposal. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 8, p.775-783, 2016.

BOVEA, M.D.; POWELL, J.C. Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. **Journal of Environmental Management**, v. 79, p. 115–132, 2006.

BUI, T.D.; TSENG, J. W.; TSENG, M.L.; LIM, M. K. Opportunities and challenges for solid waste reuse and recycling in emerging economies: A hybrid analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 177, 105968, 2022.

CASTRO, M. A. O. *et al.* Desenvolvendo indicadores para a gestão sustentável de resíduos sólidos nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, Amazonas, Brasil. **Revista de Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 415-426, 2015.

CHIEN, C. F. K; AVISO, M.L; TSENG, M; FUJII, M.K. Lim Solid waste management in emerging economies: opportunities and challenges for reuse and recycling. **Resour. Conserv. Recycl.**, vol. 188, 106635, 2023.

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

COLVERO, D. A. Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in a metropolitan region. **Waste Management**, v. 102, p. 823–837, 2020.

COMISSÃO EUROPEIA. **Estratégia Temática sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais, Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comitê Econômico e Social e ao comitê das Regiões**, Bruxelas, União Europeia, 2005.

_____. **Life Cycle Thinking and Assessment for Waste Management**. 2010.

COSENZA, J. P; ANDRADE, E. M. de; ASSUNÇÃO, G. M. de. Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Rev. Gest. Amb. e Sust. – GeAS. J. Environ. Manag. & Sust.** v. 9, n. 1, p. 1-30, e16147, 2020

COSTA, D.; QUINTEIRO, P.; DIAS, A.C. A systematic review of life cycle sustainability assessment: current state, methodological challenges, and implementation issues. **Sci. Total Environ**, 686, p. 774–787, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.435>.

CHRISTENSEN, T. H., COSSU, R.; STEGMANN, R. **Landfilling of waste: Biogas**. CRC Press, 2020.

DASTJERDI, B.; STREZOV, V.; KUMAR, R.; BEHNIA, M. An evaluation of the potential of waste to energy technologies for residual solid waste in New South Wales, Australia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, 109398, 2019.

DIRECTIVA 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, **Relativa aos resíduos e que revoga certas directivas** (Texto relevante para efeitos do EEE) In force: This act has been changed. Current consolidated version: 05/07/2018. Disponível em: EUR-Lex - 32008L0098 - EN - EUR-Lex (europa.eu). Acesso em 05 jan. 2021.

EDWARDS, J. *et al.* Life cycle inventory and mass-balance of municipal food waste management systems: Decision support methods beyond the waste hierarchy. **Waste management (New York, N.Y.)**, vol. 69, p. 577–591, 2017.

EMLUR. Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana. **Relatório EMLUR**, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy**. 2012. Disponível em: <<http://www.ellenmacarthurfoundation.org/business/reports>>. Acesso em: 10 de março de 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Cities in the circular economy: an initial exploration, 2017. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> Acesso em: 10 de março de 2021.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, J.M; A, GRINDLAY; SERRANO-BERNARDO, F; RODRIGUÉZ-ROJAS, M. I.; ZAMORANO, M. Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. **Waste Management**, vol. 67, p.360-374, 2017.

FERRONATO, N., PASINETTI, R., VALENCIA VARGAS, D., CALLE MENDOZA, I.J., GUISEBERT LIZARAZU, G., GORRITTY PORTILLO, M.A., CONTI, F., TORRETTA. Circular economy, international cooperation, and solid waste management: a development project in La paz (Bolivia). **Sustainability**, vol. 14, 1412, 2022.

FINKBEINER, M. et al. Towards life cycle sustainability assessment. **Sustainability**, vol. 2, n. 10, p. 3309–3322, 2010.

FIORI, S. **Avaliação da sustentabilidade do uso da água em edificações através da ASCV**. Doutorado. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEEAWON, T. Comparative life cycle assessment and life cycle costing of four disposal scenarios for used polyethylene terephthalate bottles in Mauritius. **Environmental Technology**, vol. 33, n.17, p. 2007-2018, 2012.

FUSS, M. *et al.* Designing a framework for municipal solid waste management towards sustainability in emerging economy countries - An application to a case study in Belo Horizonte (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, vol. 178, n. 20, p. 655-664, 2018.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **J. Clean Prod.**, vol. 114, p. 11-32, 2016.

GHOSH, A.; KUMAR, S.; DAS, J. Impact of leachate and landfill gas on the ecosystem and health: Research trends and the way forward towards sustainability. **Journal of Environmental Management**, vol. 336, 117708, 2023.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

HEIDARI, R. *et al.* Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: A real-world application. **Sustainable Cities and Society**, vol. 47, 101457, 2019.

HOANG, A. T. et al. Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy. **Journal of cleaner production**, vol. 359, n. 131897, p. 131897, 2022.

HUNKELER, D; LICHTENVORT, K.; REBITZER, G. **Environmental life cycle costing**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 2008.

IBÁÑEZ-FORES, V.; BOVEA, M.D.E.; NÓBREGA, C.C.; GARCÍA, H.R.M.; LINS, R.B. Temporal Evolution of the Environmental Performance of Implementing Selective Collection in Municipal Waste Management Systems in Developing Countries: A Brazilian Case Study. **Waste Managet & Research**, vol. 72, p. 65–77, 2018.

IBÁÑEZ-FORÉS, V. *et al.* Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries: Proposal of indicators and a case study. **Ecological Indicators**, vol. 98, p. 164–178, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022 - População e domicílios - Primeiros resultados**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102011.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Relatório de pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos** (2010). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/estudo_do_ipea_253.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

IQBAL, A. N.; XIAOMING, L.; CHEN, G. Municipal solidwaste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques. **Science of the Total Environment**, vol. 729, 138622, 2020.

JOÃO PESSOA. **Plano Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa**. Volume I e II. Disponível em: <<http://transparencia.joaopessoa.pb.gov.br/2146/plano-municipal-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-de-joao-pessoa.html>>. Acesso em: 10 de março de 2021.

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

JUNIOR, M. A. U. DE A.; ZANGHELINI, G. M.; SOARES, S. R. Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management. **Waste Management & Research**, vol. 35, n. 5, p. 541–550, 2017.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington: World Bank Publications, 2008. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 18 dez. 2022

KHANDELWAL, H.; DHAR, H.; THALLA, H. K.; KUMAR, S. Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. **Journal of Cleaner Production**, vol. 209, p. 630-654, 2019.

KLOEPFFER, W. Life Cycle Sustainability Assessment of Products. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 2, p. 89-95, 2008.

KLÖPFFER, W., RENNER, I. Life-Cycle Based Sustainability Assessment of Products. In: SCHALTEGGER, S., BENNETT, M., BURRITT, R.L., JASCH, C. (eds) **Environmental Management Accounting for Cleaner Production. Eco-Efficiency in Industry and Science**, vol 24. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8913-8_5

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resour. Conserv. Recycl.**, vol. 127, p. 221–232, 2017.

LEHMANN, J., et al. Biochar Effects on Soil Biota-A Review. **Soil Biology and Biochemistry**, 43, 1812-1836, 2011.

LENZO, P.; TRAVERSO, M.; SALOMONE, R.; IOPPOLO, G. Social life cycle Assessment of a textile product. In: **IX Conference of Italian LCA Network — Resource Efficiency & Sustainable Development Goal**, Siena, Italy, 2017.

LI, H.; NITIVATTANANON, V.; LI, P. Developing a Sustainability Assessment Model to Analyze China's Municipal Solid Waste Management Enhancement Strategy. **Sustainability**, vol. 7, p.1116-1141, 2015.

LIMA, P. M.; OLIV'O, F.; PAULO, P. L.; SCHALCH, V; CIMPAN, C. Life Cycle Assessment of prospective MSW management based on integrated management planning in Campo Grande, Brazil. **Waste Management**, vol. 90, p. 59–71, 2019.

LIMA, P. D. M. *et al.* Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, vol. 78, p. 857–870, 2019.

LIIKANEN, M., HAVUKAINEN, J., VIANA, E., HORTTANAINEN, M. Steps towards more environmentally sustainable municipal solid waste management – A life cycle assessment study of São Paulo, Brazil. **J. of Cleaner Prod.**, vol. 196, p. 150-162, 2018.

LINS, R; COSTA, S. G. F. DA; NÓBREGA, C. C. Economic analysis of a municipal selective collection system: a Brazilian case study. **Latin American J. of Management for Sustainable Development (LAJMSD)**, vol. 6, no. 2, 2023. Doi: 10.1504/LAJMSD.2023.135732

LONGO, G. L., *et al.* Comparação das Emissões de Gases de Efeito Estufa em uma Cooperativa de Reciclagem de Materiais. **Rev. Virtual Quim**, vol. 11, n. 1, p. 190-209, 2019.

MANDPE, A.; PALIYA, S., GEDAM, V.V.; PATEL, S.; TYAGI, L; KUMAR, S. Circular economy approach for sustainable solid waste management: A developing economy perspective. **Waste Management & Research**, vol. 41, n. 3, p. 499-511, 2023.

MORAES, J. A. R.; MORAES, J. A. R.; KIPPER, L. M.; ROSA, S. C. F.; SILVA, A. L. E.; MARRERO, F. **Avaliação de ciclo de vida social e suas repercussões na qualidade de vida dos catadores de resíduos sólidos urbanos: uma revisão sistemática de literatura.** *Exacta*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.21982>.

MARTINEZ-SANCHEZ, V.; KROMANN, M. A.; ASTRUP, T. F. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. **Waste management**, vol. 36, p. 343-355, 2015.

MACOMBE, C.; LESKINEN, P.; FESCHET, P. ANTIKAINEN, R. Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: a literature review and development needs. **Journal of Cleaner Production**, vol. 52, p. 205–216, 2013.

MAGRINI C.; D'ADDATO F.; BONOLI A. Municipal solid waste prevention: A review of market-based instruments in six European Union countries. **Waste Management & Research**, vol. 38, pp. 3 – 22, 2020.

MANNARINO, C. F. FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Europeia. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 21, n. 2, p. 379-385, 2016.

MDR. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021** / Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília/DF, 2021

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, vol. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISK, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

MEIKANDAAN, T.P.; MURTHY, A.R.; Experimental study on strengthening of rc beams using glass Fiber, **International Journal of Civil Engineering and Technology**, vol, 9, I, n 11, p. 959-965, 2018.

MERSONI, C. **Avaliação do ciclo de vida como técnica de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi – RS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2015.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Eng. sanit. ambient**, vol. 22, n.5, p. 863-875, 2017.

MENIKPURA, S. N. M.; GHEEWALA, S. H.; BONNET, S. Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand. **Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association**, ISWA, vol. 30, n. 7, p. 708–719, 2012.

MCDUGALL, F.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P., 2001. **Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory**. 2^a ed. Blackwell Science Ltd, 2001.

MULYA, K. S.; ZHOU, J.; PHUANG, Z. X.; LANER, D.; WOON, K. S. A Systematic Review of Life Cycle Assessment of Solid Waste Management, Methodological Trends and Prospects. **Science of the Total Environment**, vol. 831, 154903, 2022.

NOBREGA, C. C. *et al.* Avaliação do ciclo de vida da coleta seletiva de papel e papelão no núcleo do Bessa, município de João Pessoa (PB), Brasil. **Eng Sanit Ambient**, vol. 24, n. 5, p. 875-886, 2019.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2018. **Emissões de GEE no Brasil**. Disponível em: <https://www.oc.eco.br>>. Acesso em: 10 de março de 2021.

OLIVEIRA, A. L. A. R. de **Avaliação do ciclo de vida aplicada na gestão dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2019.

ONU. Organização Das Nações Unidas. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em:< <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/>>. Acesso em: 10 de março de 2021.

PAES, M. X. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, vol. 254, 119848, 2020.

PEIRIS, M.T.O.V., DAYARATHNE, G.L.N. Application of Life Cycle Framework for Municipal Solid Waste Management: a Circular Economy Perspective from Developing Countries. **Circ.Econ.Sust.**, vol. 3, p. 899–918, 2023.

PÉREZ, O. D.; SAN MARTÍN, R; SOTO, F. A. Exploring the effect of stimulus similarity on the summation effect in casual learning. **Experimental Psychology**, vol. 65, p. 183–200, 2018. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000406>.

POLZER, V. R.; PISANI, M. A. J.; PERSSON, K. M. The importance of extended producer responsibility and the national policy of solid waste in Brazil. **International Journal of Environment and Waste Management**, vol. 18, n. 2, p. 101-119, 2016. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2016.080398>

RAJCOOMAR, A.; RAMJEAWON, T. Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. **Waste Management & Research**, vol. 35, n. 3, p. 313-324, 2017.

RAMIREZ PKS, PETTI L, BRONES F, UGAYA CML. Método de Avaliação de Subcategoria em ACV Social: Aplicação para Trabalhadores no Sabonete de Cacao da Natura. In: **Proceedings of III Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida**, Maringá, Brasil, 2012.

REBEHY, P. C. P. W., SALGADO JUNIOR, A. P., OMETTO, A. R., ESPINOZA, D. F., ROSSI, E., Novi, J. C. 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.**, vol. 15, 136591, 2023.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.19, n. 3, p. 301-313, 2014.

REICHERT, G. A. **Apoio à tomada de decisão por meio da Avaliação do Ciclo de Vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre**. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisa Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

RIGAMONTI, L. *et al.* Supporting a transition towards sustainable circular economy: sensitivity analysis for the interpretation of LCA for the recovery of electric and electronic waste. **International Journal of Life Cycle Assessment**, vol. 22, n. 8, p. 1278–1287, 2017.

RIGAMONTI, L.; STERPI, I.; GROSSO, M. Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability. **Ecological Indicators**, vol. 60, p. 1–7, 2016.

ROSADO, L.P.; VITALE, P.; PENTEADO, C.S.G.; ARENA, U. Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. **Waste Manage.** vol. 85, p. 477-489, 2019.

SARAIVA, A. B.; SOUZA, R.G.; VALLE, R.A.B. Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. **Waste Manage.** v. 68, p. 701–710, 2017.

SIMAPRO, **Life cycle assessment software**, 2019. Disponível em: <<https://network.simapro.com/pre/>>. Acessado em 28 de dezembro de 2019.

SHARMA, A.; N. RAWAL. 2021. The selection of wastewater treatment based on analytical hierarchical process. **Recent Trend. Civ. Eng.** 77: 1003–1019. https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-981-15-5195-6_73.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. Análise Ambiental do Ciclo de Vida do Etanol Combustível. **Economia & Região**, Londrina (PR), vol. 5, n.1, p.129-155, 2017.

SOUZA, A. R.; SILVA, A. T. Y. L.; TRINDADE, A. B.; FREITAS, F. F.; ANSELMO, J. A. Analysis of the potential for energy use of landfill biogas and simulation of greenhouse gas emissions in different scenarios of urban solid waste management in Varginha (MG). **Eng. Sanitária e Ambient.** vol. 24, p. 887-896, 2019.

SOUZA, R.G.; ROSENHEAD, SALHOFER, S. P; VALLE, R.A.B.; Lins, M.P.E. Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 41-51, 2015.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S.A. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. McGraw Hill: Singapore, 1993.

TURNER, D. A.; WILLIAMS, I. D.; KEMP, S. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. **Journal of Cleaner Production**, vol. 129, p. 234-248, 2016.

UNEP, 2020. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020**. Benoît Norris, C., Traverso, M., Neugebauer, S., Ekener, E., Schaubroeck, T., Russo Garrido, S., Berger, M., Valdivia, S., Lehmann, A., Finkbeiner, M., Arcese, G. (eds.). United Nations Environment Programme (UNEP).

UNEP-SETAC, LIFE CYCLE INITIATIVE. **Towards a life cycle sustainability assessment. Making informed choices on products**. United Nations Environment Programme. Paris, 2011.

UNEP/SETAC. **Guidelines for social life cycle assessment of products**. Paris: United Nations Environment Program SETAC Life Cycle Initiative United Nations Environment Programme, 2009.

UNEP. **Life cycle assessment: what it is and how to do it**. Paris, France, 1996.

UNITED NATIONS. **17 Goals to Transform Our World**. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso: 05 de fevereiro de 2023.

WANG, Z.; LV, J.; GU, F.; YANG, J.; GUO, J. Environmental and economic performance of an integrated municipal solid waste treatment: a Chinese case study. **Sci. Total Environ.** vol. 709, 2020.

WORLD BANK. **Bridging the Gap in Solid Waste Management: Governance Requirements for Results**. © World Bank, Washington, 202. DC. <http://hdl.handle.net/10986/35703>. Acesso em: 20 nov. 2023.

YAY, A.S.E. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. **Journal of Cleaner Production**, vol. 94, p. 284 – 293, 2015.

YILDIZ-GEYHAN, E., et al. Environmental and social life cycle sustainability assessment of different packaging waste collection systems. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 143, p.119-132, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.028>.

VINYES, E.; OLIVER-SOLÀ, J.; UGAYA, C.; RIERADEVALL, J.; GASOL, C. M. Application of LCSA to used cooking oil waste management. **Int J Life Cycle Assess**, vol. 18, p. 445–455, 2012.

VISENTIN, C. et al. Life cycle sustainability assessment: A systematic literature review through the application perspective, indicators, and methodologies. **Journal of cleaner production**, v. 270, n. 122509, p. 122509, 2020.

ZHOU, Z. et al. Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China. **Journal of cleaner production**, vol. 210, p. 1005–1014, 2019.

APÊNDICE A - RESUMO DAS EMISSÕES EM TODAS AS CATEGORIAS ANALISADAS

Aquecimento Global (kg CO ₂ eq)									
Cenários	C&T	CS	Núcleo	CT	Atravessador	Aterro Sanitário	Reciclagem	Compostagem	Total
Cenário 0	2,36E+03	2,60E+00	1,29E+03	4,85E+02	2,22E+03	4,73E+04	-6,96E+02	-	5,29E+04
Cenário 1	2,36E+03	2,60E+00	1,29E+03	4,85E+02	2,22E+03	1,00E+04	-6,96E+02	-	1,57E+04
Cenário 2	2,21E+03	2,93E+00	1,37E+03	4,71E+02	2,06E+03	9,33E+03	-6,93E+02	3,83E+01	1,48E+04
Cenário 3	4,84E+02	5,00E+00	2,33E+03	1,92E+02	2,22E+03	1,44E+03	-6,67E+02	2,21E+02	6,22E+03
Destruição da camada de ozônio (kg CFC _{-11eq})									
Cenários	C&T	CS	Núcleo	CT	Atravessador	Aterro Sanitário	Reciclagem	Compostagem	Total
Cenário 0	4,10E-04	4,49E-07	2,08E-04	7,76E-05	3,60E-04	2,76E-04	-3,99E-04	-	9,32E-04
Cenário 1	4,10E-04	4,49E-07	2,08E-04	7,76E-05	3,60E-04	8,68E-05	-3,99E-04	-	7,43E-04
Cenário 2	3,85E-04	4,74E-07	2,21E-04	7,40E-05	3,34E-04	8,06E-05	-3,90E-04	1,23E-06	7,06E-04
Cenário 3	8,42E-05	8,09E-07	3,77E-04	2,32E-05	3,60E-04	1,24E-05	-2,81E-04	7,10E-06	5,83E-04
Photochemical oxidation kg C ₂ H ₄ eq									
Cenários	C&T	CS	Núcleo	CT	Atravessador	Aterro Sanitário	Reciclagem	Compostagem	Total
Cenário 0	3,58E-01	3,88E-04	1,95E-01	7,50E-02	3,36E-01	1,03E+01	-2,55E-01	-	1,10E+01
Cenário 1	3,58E-01	3,88E-04	1,95E-01	7,50E-02	3,36E-01	2,00E+00	-2,55E-01	-	2,71E+00
Cenário 2	3,37E-01	4,43E-04	2,07E-01	7,53E-02	3,12E-01	1,85E+00	-2,54E-01	6,34E-03	2,54E+00
Cenário 3	7,36E-02	7,55E-04	3,53E-01	4,38E-02	3,36E-01	2,85E-01	-2,51E-01	3,66E-02	8,78E-01
Acidificação kg SO ₂ eq									
Cenários	C&T	CS	Núcleo	CT	Atravessador	Aterro Sanitário	Reciclagem	Compostagem	Total
Cenário 0	1,10E+01	1,21E-02	6,02E+00	2,30E+00	1,04E+01	1,72E+01	-2,56E+00	-	4,44E+01
Cenário 1	1,10E+01	1,21E-02	6,02E+00	2,30E+00	1,04E+01	3,69E+00	-2,56E+00	-	2,34E+01
Cenário 2	1,03E+01	1,37E-02	6,39E+00	2,28E+00	9,64E+00	3,42E+00	-2,57E+00	9,62E-01	2,36E+01
Cenário 3	2,26E+00	2,34E-02	1,09E+01	1,18E+00	1,04E+01	-5,27E-01	-2,73E+00	5,55E+00	2,70E+01
Eutrofização (kg PO _{4eq})									
Cenários	C&T	CS	Núcleo	CT	Atravessador	Aterro Sanitário	Reciclagem	Compostagem	Total
Cenário 0	2,36E+00	3,06E-03	1,51E+00	5,69E-01	2,61E+00	1,90E+02	-7,35E-01	-	1,96E+02
Cenário 1	2,36E+00	3,06E-03	1,51E+00	5,69E-01	2,61E+00	1,88E+02	-7,35E-01	-	1,94E+02
Cenário 2	2,22E+00	3,44E-03	1,60E+00	5,51E-01	2,42E+00	1,74E+02	-7,38E-01	2,26E-01	1,81E+02
Cenário 3	4,84E-01	5,87E-03	2,74E+00	2,16E-01	2,61E+00	2,68E+01	-7,77E-01	1,31E+00	3,34E+01

APÊNDICE B – Questionário Aplicado aos trabalhadores da Empresa Privado-Pública de Coleta Urbana, empresa de Reciclagem e do Aterro Sanitário

Entrevistador:_____ **Data da entrevista:**_____

1. Informações pessoais

1.1 Gênero: () Feminino () Masculino () Outro

1.2 Possui documentos:

() Sim () Não Quais (especificar abaixo)
 () Certidão de nascimento () CPF () Título
 () Carteira de identidade () Carteira de trabalho () Outro _____

1.3 Onde mora?

() Bairro / comunidade: _____
 () Outra cidade: _____

1.4 Faixa etária (idade):

() menor de 18 anos () 37 a 45 anos () mais de 63 anos
 () 18 a 27 anos () 46 a 54 anos
 () 28 a 36 anos () 55 a 63 anos

1.5 Números de dependentes

() 0 a 3 () 7 a 9
 () 4 a 6 () mais de 9

1.6 Números de filhos:

() 0 () 5 a 8
 () 1 a 4 () mais de 8

2. Escolaridade

2.1 Estuda: () Sim () Não

2.2 Nível de escolaridade:

() Analfabeto () Ensino fundamental completo
 () Alfabetizado () Ensino médio incompleto
 () Ensino fundamental incompleto () Ensino médio completo

3. Trabalho

3.1 Há quanto tempo trabalha na atividade:

() menos de 1 ano () 6 a 10 anos
 () entre 2 e 5 anos () mais de 10 anos

3.2 Já teve outro trabalho? () Sim () Não

(especifique) _____

3.3 Quantas horas por dia trabalha?

() menos de 8 horas

() mais de 8 horas

() 8 horas

() Outro _____

3.4 Quantos dias por semana trabalha?

() menos de 5 dias

() 6 dias

() 5 dias

() 7 dias

3.5 Você trabalha nos finais de semana e feriados? () Sim () Não

3.5.1 Você trabalha além da jornada de trabalho exigida por lei? () Sim () Não

3.6 Por que trabalha na atividade?

() Gosta

() Desemprego

() Complementar renda da família

() Sem qualificação para outro trabalho () Outro _____

3.7 Você trabalha por: conta própria () associado/cooperado () empregado ()

3.7.1 Se empregado, tipo de regime de trabalho: () CLT () Estatutário () Outro

(especifique) _____

3.8 O seu contrato de trabalho inclui: salário e benefícios sociais? () Sim () Não

(especifique) _____

3.9 Se associado/cooperado, você acha que é melhor trabalhar por:

() conta própria () associado/cooperado () empregado

3.9.1 Há reuniões na associação/cooperativa: () Sim () Não

3.9.2 Você participa das reuniões da associação/cooperativa: () Sim () Não

3.9.3 Há votação para tomada de decisões sobre a associação/cooperativa:

() Sim () Não

3.9.4 O governo local apoia suas atividades? () Sim () Não

3.10 Qual a sua remuneração mensal?

() até 1 salário mínimo

() 4 a 6 salários mínimos

() 2 a 3 salários mínimos

() mais de 6 salários mínimos

3.10.1 O salário recebido possibilita a satisfação de necessidades básicas?

() Sim () Não

3.11 Possui conhecimento do código brasileiro de ocupação (CBO) da atividade?

() Sim

() Não

() Não existe

() Não possui conhecimento

3.12 Existe um sindicato? () Sim () Não () Não possui conhecimento

3.12.1 Você possui vínculo com o sindicato? () Sim () Não

3.13 Existe uma política de igualdade de oportunidades dentro do seu local de trabalho?

() Sim () Não

3.14 Houve algum caso de discriminação nos últimos 5 anos? () Sim () Não

3.14.1 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

Gênero () Sexual () Racial () Religioso () Outro

(especifique) _____

3.14.2 Você sente alguma forma de discriminação? () Sim () Não

3.14.3 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

() Gênero () Racial () Religioso () Outro _____

3.15 Existem colaboradores de diferentes gêneros, idades, minorias?

() Sim () Não () Não possui conhecimento

(especifique) _____

3.15.1 Existem mulheres que trabalham no seu local de trabalho?

() Sim () Não () Não possui conhecimento

3.16. Existem diferenças salariais entre grupos de diferentes idades, raças ou outras minorias?

() Sim () Não () Não possui conhecimento

(especifique) _____

3.17 Você considera sua atividade arriscada? () Sim () Não

3.18 Possui acesso a equipamento de proteção individual (EPI)? () Sim () Não

3.18.1 Se sim, usa EPI durante o trabalho? () Sim () Não

3.18.2 Que tipo de EPI?

() Luvas

() Óculos

() Bota

() Boné

() Farda

() Outros: _____

() Nenhum

3.19 Já teve algum acidente de trabalho? () Sim () Não

(especifique) _____

3.19.1 Existe política formal de saúde e segurança no trabalho?

3.19.2 Existem medidas preventivas e protocolos de emergência em relação a acidentes e lesões? () Sim () Não

3.19.3 São realizados cursos de treinamento/atualização em saúde e segurança do trabalho? () Sim () Não

3.19.4 Você já participou de algum curso/treinamento/atualização em saúde e segurança do trabalho? () Sim () Não

3.19.5 Em caso afirmativo, com que frequência?

- () mensal () trimestral
 () semestral () anual
 () Outro: _____

3.20 Possui conhecimento do seu trabalho com a educação ambiental?

- () Sim () Não

3.20.1 Você tem algum tipo treinamento em relação ao manuseio dos resíduos?

- () Sim () Não

4. Situação Familiar

4.1 Possui familiares trabalhando na atividade? () Sim () Não

4.1.1 Quem?

- () Pai () Mãe () Filhos () Irmãos () Parentes

4.2 Possui filhos menores de idade trabalhando na atividade? () Sim () Não

4.3 Eles estudam? () Sim () Não

4.4 Sua família recebe bolsa família? () Sim () Não

4.4.1 Sua família recebe outro programa do governo?

- () Sim () Não Qual: _____

4.5 Paga sua Previdência Social (INSS)? () Sim () Não

4.5.1 Gostaria de pagar? () Sim () Não

4.6 Qual é a renda da família:

- () até um salário mínimo () 2 a 3 salários mínimos
 () de 1 a 2 salários mínimos () mais de 3 salários mínimos

4.7 Possui pessoa com deficiência/idoso na família? () Sim () Não

4.7.1 Se sim, recebe benefício do INSS (BPC)? () Sim () Não

5. Saúde

5.1 Apresenta algum problema de saúde? () Sim () Não

5.1.1 Se sim, qual:

- () Dores articulares () Dores nas pernas () Outras: _____
 () Dores na coluna () Alergia

5.2 Já contraiu alguma doença devido à atividade? () Sim () Não

5.3 Quais vacinas que já tomou por trabalhar na atividade?

- () Tétano () Hepatite () Nunca tomou
 () Outra(s), qual(is)? _____

5.4 Possui algum tipo de cobertura de saúde oferecido pela empresa? () Sim () Não

5.4.1 Caso não, paga algum plano de saúde? () Sim () Não

6. Moradia

6.1 A moradia é:

- () Própria () Financiada () Alugada () Cedida
() Outro: _____

6.2 A sua casa é feita de:

- () Tijolo () Taipa () Madeira () Papelão () Outros: _____

6.3 A sua casa possui:

- () Energia elétrica clandestina () Rede de esgoto – CAGEPA
() Energia ligada pela ENERGISA () Fossa
() Água tratada – CAGEPA () Esgoto a céu aberto
() Banheiro

APÊNDICE C – Trabalhador - Catadores das Cooperativas / Associações**Entrevistador:**_____ **Data da entrevista:**_____**1. Identificação: Cooperativa/Associação:**_____**1.1 Nome do entrevistado:**_____

Como gosta de ser chamado:_____

1.2 Idade:_____**1.3 Sexo:**☐ Feminino☐ Masculino**1.4 Naturalidade:**_____**1.5 Tem documentos:**☐ Sim☐ Não

Quais (especificar abaixo)

☐ Certidão de nascimento☐ CPF☐ Título☐ Carteira de identidade☐ Carteira de trabalho☐ Outro _____**1.6 Onde mora?**☐ Nas proximidades do aterro☐ Bairro / comunidade: _____☐ Outra cidade: _____**1.7 Faixa etária (idade):**☐ menor de 18 anos☐ 37 a 45 anos☐ mais de 63 anos☐ 18 a 27 anos☐ 46 a 54 anos☐ 28 a 36 anos☐ 55 a 63 anos**1.8 Números de dependentes**☐ 0 a 3☐ 7 a 9☐ 4 a 6☐ mais de 9**1.9 Números de filhos:**☐ 0☐ 5 a 8☐ 1 a 4☐ mais de 8

2. Escolaridade

2.1 Estuda:

☐ Sim

☐ Não

2.2 Nível de escolaridade:

☐ Analfabeto

☐ Ensino fundamental completo

☐ Alfabetizado

☐ Ensino médio incompleto

☐ Ensino fundamental incompleto

☐ Ensino médio completo

3. Trabalho

3.1 Há quanto tempo trabalha na catação: _____

3.2 Tempo de trabalho na associação/cooperativa: _____

3.3 Qual era sua ocupação antes de fazer parte da associação /cooperativa? _____

3.4 Qual atividade você realiza na associação/cooperativa? _____

3.5 Quantas horas por dia trabalha na catação? _____

3.6 Quantos dias por semana? _____

3.7 Por que trabalha na catação?

☐ Desemprego

☐ Complementar renda da família

☐ Sem qualificação para outro trabalho

☐ Outro: _____

3.8 Quais as vantagens em fazer parte de uma associação/cooperativa?

3.9 Quais os problemas da associação/cooperativa?

3.10 Há reuniões na associação/cooperativa:

☐ Sim

☐ Não

3.11 Você participa das reuniões da associação/cooperativa:

☐ Sim

☐ Não

3.12 Há votação para tomada de decisões sobre a associação/cooperativa:

() Sim () Não

3.13 Que tipo de material coleta e por quanto vende:

() Alumínio Valor do Kg:_____

() Cobre Valor do Kg:_____

() Ferro Valor do Kg:_____

() Papel Valor do Kg:_____

() Papelão Valor do Kg:_____

() Vidro Valor do Kg:_____

() Plástico mole Valor do Kg:_____

() Plástico duro Valor do Kg:_____

() Plástico PVC Valor do Kg:_____

() Plástico PET Valor do Kg:_____

3.14 Para quem vendo o material?

() Sucateiro Nome:_____

() Atravessadores Nome:_____

3.15 Cata como:

() Autônomo () Associado () Cooperado () Empregado

3.16 Tem equipamento de proteção individual (EPI)?

() Sim () Não

3.16.1 Se sim, usa EPI durante o trabalho?

() Sim () Não

3.16.2 Que tipo de EPI?

() Luvas () Óculos

() Bota () Boné

() Farda () Outros:_____

3.17 Quanto ganha por semana com a catação?_____

3.18 Já teve outro trabalho?

() Sim () Não

Quais?_____

3.19 Tem conhecimento do seu trabalho com educação ambiental?

() Sim () Não

3.20 Como é melhor trabalhar?

☐ Catador autônomo ☐ Catador associado e/ou cooperado

3.21 Tem conhecimento do código brasileiro de ocupação (CBO) do catador?

☐ Sim ☐ Não

4. Situação Familiar

4.1 Têm familiares trabalhando na catação?

☐ Sim ☐ Não

4.1.1 Quem?

☐ Pai ☐ Mãe ☐ Filhos ☐ Irmãos ☐ parentes

4.2 Tem filhos menores trabalhando na catação?

☐ Sim ☐ Não

4.3 Eles estudam?

☐ Sim ☐ Não

4.4 Sua família recebe bolsa família?

☐ Sim ☐ Não

4.4.1 Sua família recebe outro programa do governo?

☐ Sim ☐ Não Qual: _____

4.5 Paga sua Previdência Social (INSS)?

☐ Sim ☐ Não

4.5.1 Gostaria de pagar?

☐ Sim ☐ Não

4.6 Qual é a renda da família:

☐ até um salário mínimo ☐ 2 a 3 salários mínimos
☐ de 1 a 2 salários mínimos ☐ mais de 3 salários mínimos

4.7 Tem pessoa com deficiência/idoso na família?

☐ Sim ☐ Não

4.7.1 Se sim, recebe benefício do INSS (BPC)?

☐ Sim ☐ Não

5. Saúde

5.1 Apresenta algum problema de saúde?

() Sim () Não

5.1.1 Se sim, qual:

() Dores articulares () Dores nas pernas () Outras: _____
 () Dores na coluna () Alergia

5.2 Já contraiu alguma doença devido ao trabalho na catação?

() Sim () Não

5.2.1 Que tipo: _____

5.3 Quais vacinas que já tomou por trabalhar na catação?

() Tétano () Hepatite () Nunca tomou
 () Outra(s), qual(is)? _____

6. Moradia

6.1 A moradia é:

() Própria () Financiada () Alugada () Cedida
 () Outro: _____

6.2 A sua casa é feita de:

() Tijolo () Taipa () Madeira () Papelão () Outros: _____

6.3 A sua casa possui:

() Energia elétrica clandestina () Rede de esgoto – CAGEPA
 () Energia ligada pela ENERGISA () Fossa
 () Água tratada – CAGEPA () Esgoto a céu aberto
 () Banheiro

7. Quais as dificuldades enfrentadas para a realização do seu trabalho?

APÊNDICE D - Questionário Aplicado aos trabalhadores Atravessadores/sucateiros

Entrevistador: _____ **Data da entrevista:** _____

1. *Informações pessoais*

1.1 Sexo:

☐ Feminino

☐ Masculino

1.2 Naturalidade: _____

1.3 Possui documentos:

☐ Sim

☐ Não

Quais (especificar abaixo)

☐ Certidão de nascimento

☐ CPF

☐ Título

☐ Carteira de identidade

☐ Carteira de trabalho

☐ Outro _____

1.4 Onde mora?

☐ Bairro / comunidade: _____

☐ Outra cidade: _____

1.5 Faixa etária (idade): _____

☐ menor de 18 anos

☐ 37 a 45 anos

☐ mais de 63 anos

☐ 18 a 27 anos

☐ 46 a 54 anos

☐ 28 a 36 anos

☐ 55 a 63 anos

1.6 Números de dependentes

☐ 0 a 3

☐ 7 a 9

☐ 4 a 6

☐ mais de 9

1.7 Números de filhos:

☐ 0

☐ 5 a 8

☐ 1 a 4

☐ mais de 8

2. *Escolaridade*

2.1 Estuda:

☐ Sim

☐ Não

2.2 Nível de escolaridade:

☐ Analfabeto

☐ Ensino fundamental completo

☐ Alfabetizado

☐ Ensino médio incompleto

☐ Ensino fundamental incompleto

☐ Ensino médio completo

3. *Trabalho*

3.1 Há quanto tempo trabalha na atividade:

() menos de 1 ano

☐ 6 a 10 anos

() entre 2 e 5 anos

() mais de 10 anos

3.2 Já teve outro trabalho? () Sim

() Não

(especifique) _____

3.3 Quantas horas por dia trabalha?

() menos de 8 horas

() mais de 8 horas

☐ 8 horas

() Outro _____

3.4 Quantos dias por semana trabalha?

☐ menos de 5 dias

() 6 dias

() 5 dias

() 7 dias

3.5 Você trabalha nos finais de semana e feriados? () Sim () Não

3.6 Por que trabalha na atividade?

() Gosta

() Desemprego

() Complementar renda da família

() Sem qualificação para outro trabalho () Outro: _____

3.7 Você trabalha por: conta própria () associado/cooperado () empregado ()

3.7.1 Você acha que é melhor trabalhar por:

() conta própria () associado/cooperado () empregado

3.7.2 Há reuniões na associação/cooperativa: () Sim () Não

3.7.3 Você participa das reuniões da associação/cooperativa: () Sim () Não

3.7.4 Há votação para tomada de decisões sobre a associação/cooperativa:

() Sim () Não

3.8 O governo local apóia suas atividades? () Sim () Não

3.9 Qual a sua remuneração mensal?

() até 1 salário mínimo

☐ 4 a 6 salários mínimos

☐ 2 a 3 salários mínimos

() mais de 6 salários mínimos

3.9.1 O salário recebido possibilita a satisfação de necessidades básicas?

() Sim () Não

3.10 Você possui conhecimento do código brasileiro de ocupação (CBO) da atividade?

() Sim

() Não

() Não existe

() Não possui conhecimento

3.11 Existe um sindicato? () Sim () Não () Não possui conhecimento

3.11.1 Você possui vínculo com o sindicato? () Sim () Não

3.12 Existe uma política de igualdade de oportunidades dentro do seu local de trabalho?

() Sim () Não

3.13 Houve algum caso de discriminação nos últimos 5 anos? () Sim () Não

3.13.1 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

() Sexual () Racial () Religioso () Outro

(especifique) _____

3.14 Você sente alguma forma de discriminação? () Sim () Não

3.14.1 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

() Sexual () Racial () Religioso () Outro _____

3.15 Existem mulheres que trabalham no seu local de trabalho?

() Sim () Não () Não possui conhecimento

3.16. Existem diferenças salariais entre homens e mulheres? () Sim () Não

3.17 Você considera sua atividade arriscada? () Sim () Não

3.18 Você possui acesso a equipamento de proteção individual (EPI)?

() Sim () Não

3.18.1 Se sim, usa EPI durante o trabalho? () Sim () Não

3.18.2 Que tipo de EPI?

() Luvas

() Óculos

() Bota

() Boné

() Farda

() Outros: _____

() Nenhum

3.18.3 Já teve algum acidente de trabalho? () Sim () Não

3.19 São realizados cursos/treinamento/atualização em saúde e segurança do trabalho?

() Sim () Não

3.19.1 Você já participou de algum curso/treinamento/atualização em saúde e segurança do trabalho? () Sim () Não

3.19.2 Em caso afirmativo, com que frequência?

() mensal

() trimestral

() semestral

() anual

() Outro: _____

3.20 O governo local apoia suas atividades? () Sim () Não

(especifique): _____

3.21 Possui conhecimento do seu trabalho com a educação ambiental?

() Sim

() Não

3.22 Você tem algum tipo treinamento em relação ao manuseio dos resíduos?

() Sim

() Não

3.23 Qual o seu fornecedor de material reciclável?

() Associação ASTRAMARE () Associação ASCARE () Associação Acordo Verde
 () Catadores informais () Outro _____

3.23.1 Caso receba de cooperativa/associação, quantas pessoas em média, levam os materiais recicláveis?

() 1 a 5 () 11 a 20
 () 6 a 10 () mais de 21
 () Outro: _____

3.23.2 Com que frequência recebe o material reciclável?

() Diária () Semanal () Mensal () Outra _____

3.23.3 Que tipo de material coleta, quantidade (kg) e por quanto compra (R\$):

() Alumínio	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Cobre	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Ferro	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Papel	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Papelão	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Vidro	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Plástico em geral*	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____

*caso receba de maneira diferenciada, favor especificar o preço por tipologia)

() Plástico mole	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Plástico duro	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() PVC	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() PET	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____

3.23.4 Para quem vende o material reciclável?

() Sucateiro Nome: _____
 () Atravessadores Nome: _____
 () Empresa Nome: _____
 () Outro Nome: _____

3.24 Quanto custa o kg do material vendido?

() Alumínio	Valor do kg: _____
() Cobre	Valor do kg: _____
() Ferro	Valor do kg: _____
() Papel	Valor do kg: _____
() Papelão	Valor do kg: _____

() Vidro Valor do kg:_____

() Plástico em geral* Valor do kg:_____

*caso venda de maneira diferenciada, favor especificar o preço por tipologia)

() Plástico mole Valor do kg:_____

() Plástico duro Valor do kg:_____

() PVC Valor do kg:_____

() PET Valor do kg:_____

() Outro_____

4. Situação Familiar

4.1 Possui familiares trabalhando na atividade?

() Sim () Não

4.1.1 Quem?

() Pai () Mãe () Filhos () Irmãos () parentes

4.2 Possui filhos menores trabalhando na atividade?

() Sim () Não

4.3 Eles estudam?

() Sim () Não

4.4 Sua família recebe bolsa família?

() Sim () Não

4.4.1 Sua família recebe outro programa do governo?

() Sim () Não

4.5 Paga sua Previdência Social (INSS)?

() Sim () Não

4.5.1 Gostaria de pagar?

() Sim () Não

4.6 Qual é a renda da família:

() até um salário mínimo () 2 a 3 salários mínimos

() de 1 a 2 salários mínimos () mais de 3 salários mínimos

4.7 Possui pessoa com deficiência/idoso na família?

() Sim () Não

4.7.1 Se sim, recebe benefício do INSS (BPC)?

() Sim () Não

5. Saúde

5.1 Apresenta algum problema de saúde?

☐ Sim ☐ Não

5.1.1 Se sim, qual:

☐ Dores articulares ☐ Dores nas pernas ☐ Outras: _____
☐ Dores na coluna ☐ Alergia

5.2 Já contraiu alguma doença devido à atividade?

☐ Sim ☐ Não

5.2 Quais vacinas que já tomou por trabalhar na atividade?

☐ Tétano ☐ Hepatite ☐ Nunca tomou
☐ Outra(s), qual(is)? _____

5.3 Paga por algum tipo de cobertura de saúde? ☐ Sim ☐ Não

(especifique) _____

6. Moradia

6.1 A moradia é:

☐ Própria ☐ Financiada ☐ Alugada ☐ Cedida
☐ Outro: _____

6.2 A sua casa é feita de:

☐ Tijolo ☐ Taipa ☐ Madeira ☐ Papelão ☐ Outros: _____

6.3 A sua casa possui:

☐ Energia elétrica clandestina ☐ Rede de esgoto – CAGEPA
☐ Energia ligada pela ENERGISA ☐ Fossa
☐ Água tratada – CAGEPA ☐ Esgoto a céu aberto
☐ Banheiro

APÊNDICE E – Questionário Aplicado aos Usuários

Entrevistador:_____ **Data da entrevista:**_____

1. Características socioeconômicas

1.1 Bairro:_____

1.2 Endereço:_____

1.3 Gênero:

☐ Masculino

☐ Feminino

☐ Outro

1.4 Faixa etária (idade)

☐ menor de 18 anos

☐ 18 a 27 anos

☐ 28 a 36 anos

☐ 37 a 45 anos

☐ 46 a 54 anos

☐ 55 a 63 anos

☐ mais de 63 anos

1.5 Tipo de Imóvel:

☐ casa

☐ apartamento

1.6 Qual a área da sua residência?

☐ < 50 m²

☐ 51-90 m²

☐ 91-120 m²

☐ > 120 m²

1.7 Quantas pessoas moram no imóvel?

☐ 1

☐ 2 a 5

☐ mais de 5

1.8 Escolaridade:

Analfabeto (D)

Fundamental completo (G)

Superior incompleto (J)

Alfabetizado (E)

Médio incompleto (H)

Superior completo (L)

Fundamental incompleto (F)

Médio completo (I)

1.9 Profissão:_____

1.10 Renda mensal total da família:

☐ até 3 SM

☐ entre 10 e 20 SM

☐ não declarou

☐ entre 3 e 10 SM

☐ mais de 20 SM

2. Coleta Convencional e Coleta Seletiva

2.1 É feita a coleta convencional de resíduos sólidos na sua rua:

☐ Sim

☐ Não

☐ Não sei

2.1.1 É feita a coleta seletiva de resíduos sólidos na sua rua:

☐ Sim

☐ Não

☐ Não sei

2.2 O Sr.(a) separa os resíduos em sua casa:

☐ Sim ☐ Não

2.3 No caso afirmativo, o Sr.(a) separa os resíduos em quantas partes:

☐ seco e úmido

☐ 2 secos: _____, _____.

☐ 3 secos: _____, _____, _____.

☐ 4 secos: _____, _____, _____, _____.

2.4 O Sr.(a) teve orientação para fazê-la:

☐ Sim ☐ Não

2.5 Quem foi o responsável pelas orientações:

☐ prefeitura (EMLUR) ☐ escolas

☐ Associação de catador ☐ outros: _____

2.6 Como as informações foram passadas:

☐ cursos ☐ jornal/panfletos ☐ carro de som ☐ outros: _____

☐ palestras ☐ televisão/rádio ☐ teatro

2.7 Dias da semana e turno em que é feita a coleta convencional:

a) Segunda ☐ M ☐ V ☐ N d) Quinta: ☐ M ☐ V ☐ N

b) Terça: ☐ M ☐ V ☐ N e) Sexta: ☐ M ☐ V ☐ N

c) Quarta ☐ M ☐ V ☐ N f) Sábado: ☐ M ☐ V ☐ N

g) Não sabe ☐

2.8 Dias da semana e turno em que é feita a coleta seletiva:

a) Segunda ☐ M ☐ V ☐ N d) Quinta: ☐ M ☐ V ☐ N

b) Terça: ☐ M ☐ V ☐ N e) Sexta: ☐ M ☐ V ☐ N

c) Quarta ☐ M ☐ V ☐ N f) Sábado: ☐ M ☐ V ☐ N

g) Não sabe ☐

2.9 Os dias e os turnos são adequados para a coleta convencional:

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

2.10 Os dias e os turnos são adequados para a coleta de matérias recicláveis:

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

2.11 Quais os dias e turnos que seriam adequados para a coleta seletiva:

a) Segunda ☐ M ☐ V ☐ N d) Quinta: ☐ M ☐ V ☐ N

b) Terça: ☐ M ☐ V ☐ N e) Sexta: ☐ M ☐ V ☐ N

c) Quarta ☐ M ☐ V ☐ N f) Sábado: ☐ M ☐ V ☐ N

g) Não sabe

2.12 Os transportes utilizados para a coleta convencional são adequados:

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

2.13 Os transportes utilizados para a coleta seletiva são adequados:

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

2.14 Qual a qualidade do serviço prestado na coleta convencional:

☐ Ótima ☐ Boa ☐ regular ☐ ruim ☐ péssima ☐ não sabe

2.15 Qual a qualidade do serviço prestado na coleta seletiva:

☐ Ótima ☐ Boa ☐ regular ☐ ruim ☐ péssima ☐ não sabe

2.16 Qual a qualidade dos profissionais (garis) que trabalham na coleta convencional:

☐ Ótima ☐ Boa ☐ regular ☐ ruim ☐ péssima ☐ não sabe

2.17 Qual a qualidade dos profissionais (catadores) que trabalham na coleta seletiva:

☐ Ótima ☐ Boa ☐ regular ☐ ruim ☐ péssima ☐ não sabe

2.18 Na sua opinião, a coleta convencional de resíduos sólidos é:

☐ Ótima ☐ Boa ☐ regular ☐ ruim ☐ péssima ☐ não sabe

2.19 Na sua opinião, a coleta seletiva de resíduos sólidos é:

☐ Ótima ☐ Boa ☐ regular ☐ ruim ☐ péssima ☐ não sabe

2.20 O Sr.(a) reutiliza parte do resíduo produzido, tais como: ☐ Sim ☐ Não

☐ sacola plástica ☐ latas ☐ resto de comida para adubação

☐ garrafas descartáveis ☐ jornal/papel/papelão

☐ potes plásticos ☐ vidros de conservação

2.21 O Sr.(a) conhece o destino dado ao resíduo coletado pela Prefeitura (para onde ele vai): (

) Sim ☐ Não

☐ coleta seletiva e aterro sanitário ☐ compostagem

☐ incineração ☐ outros:_____

☐ Lixão do Roger

2.21.1 O Sr.(a) conhece o destino dado ao resíduo coletado seletivamente (para onde ele vai):

☐ Sim ☐ Não

☐ aterro sanitário ☐ compostagem

☐ incineração ☐ reciclagem

☐ Lixão do Roger ☐ outros:_____

2.22 Existem recipientes adequados e separados por cores, tamanhos e/ou formas no(a):

a) Prédio onde o Sr.(a) mora: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

b) Casa onde o Sr.(a) mora: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

c) Rua onde o Sr.(a) mora: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

- d) Praça onde o Sr.(a) mora: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei
- e) Escola que o Sr.(a) e/ou filhos frequentam: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei
- f) Comércio ou empresa onde trabalha: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei
- g) Bairro onde o Sr.(a) mora: ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

2.23 Em casos de não participar da coleta seletiva, qual a principal dificuldade para não realizar a pré-coleta de resíduos em sua residência:

- ☐ Não recompensa financeiramente ☐ Falta incentivo
- ☐ Não me interessa ☐ Falta treinamento
- ☐ Muito trabalhoso ☐ Trabalha fora
- ☐ Não tem tempo ☐ Outros: _____

2.24 Caso houvesse um incentivo o Sr.(a) poderia aderir à pré-coleta:

- ☐ minimização da taxa de coleta de resíduos.
- ☐ recepção de embalagens específicas para materiais recicláveis.
- ☐ recipientes adequados para cada tipo de resíduo próximo a sua residência

2.25 Em caso de minimização da taxa de coleta de resíduo, qual o percentual:

- ☐ 5% ☐ 10% ☐ 20% ☐ 50% ☐ outros

3. Resíduos Eletroeletrônicos e volumosos

3.1 Qual o descarte das pilhas e baterias não utilizáveis?

- ☐ lixo comum
- ☐ queima a céu aberto
- ☐ lança em corpos d'água, praias, manguezais, rios, terreno baldios entre outros
- ☐ retornam ao fabricante, importadores, distribuidores ou comerciantes autorizados para seu recolhimento
- ☐ outro: _____

3.2 Qual o descarte realizado as lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e de mercúrio e de luz mista?

- ☐ lixo comum
- ☐ lança em corpos d'água, praias, manguezais, rios, terreno baldios entre outros
- ☐ retorno ao fabricante, importadores, distribuidores ou comerciantes autorizados para seu recolhimento
- ☐ doam para empresas especializadas na sua destinação
- ☐ outro: _____

3.3 Qual o descarte dado aos seus resíduos eletroeletrônicos?

- ☐ lixo comum

- () retornam ao fabricante
 () doam para ONG's e empresas que reciclam estes resíduos
 () doam as sucatas eletroeletrônicas
 () outro:_____

3.4 O senhor(a) conhece o serviço “Alô Limpinho” (0800 083 2425) da EMLUR responsável por recolher resíduos volumosos (sofás, fogões, estantes, etc)?

- () Sim () Não

3.4.1 Em caso afirmativo, o senhor (a) já utilizou esse serviço?

- () Sim () Não

4. Pontos de Entrega Voluntária (PEV's)

4.1 Existe algum PEV próximo a sua residência?

- () Sim () Não

4.1.1 Em caso afirmativo, o senhor (a) já utilizou esse serviço?

- () Sim () Não

4.1.2 Quais as tipologias ofertadas?

- () Papel/Papelão () Metal () Plástico () vidro () não sabe

4.2 Qual a sua opinião sobre o serviço ofertado?

- () Ótima () Boa () regular () ruim () péssima () não sabe

4.3 Em caso de não utilizar o serviço, qual o principal motivo:

- () Não me interessa () Falta treinamento
 () Muito trabalhoso () Trabalha fora
 () Não tem tempo () Outros:_____
 () Falta incentivo

4.4 O Sr.(a) conhece o destino dado ao resíduo coletado: () Sim () Não

- () aterro sanitário () compostagem
 () incineração () reciclagem
 () Lixão do Roger () outros:_____

5 Poda urbana

5.1 O Sr.(a) já utilizou o serviço de coleta de poda municipal? () Sim () Não

5.2 O Sr.(a) teve orientação para utilizar o serviço: () Sim () Não

5.3 Quem foi o responsável pelas orientações:

- () Prefeitura (EMLUR) () outros

(especifique):_____

5.4 Na sua opinião, o serviço de coleta da poda urbana é:

() Ótima () Boa () regular () ruim () péssima () não sabe

5.4.1 Em casos de não utilizar o serviço, qual a principal dificuldade identificada:

☐ Não me interessa

() Falta treinamento

() Muito trabalhoso

() Trabalha fora

() Não tem tempo

() Outros:_____

() Falta incentivo

5.5 O Sr.(a) conhece o destino dado ao resíduo coletado pela Prefeitura (para onde ele vai): (

) Sim () Não

☐ coleta seletiva e aterro sanitário

☐ compostagem

☐ incineração

() outros: _____

() Lixão do Roger

APÊNDICE F – Entrevista EMLUR

Instrumento de coleta de dados sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) no município de João Pessoa – anos 2019 a 2020

Emlur

Identificação do Entrevistado

1. Empresa: _____
2. Cargo: _____
3. Nível de Escolaridade: _____
4. Telefone: _____

I. Informações sobre o serviço de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Domiciliares

Etapa 1 - Coleta Convencional e Transporte

1. Quantidade (t) de resíduos sólidos domiciliares coletados? _____
2. Número de funcionários envolvidos na coleta e transporte dos resíduos sólidos domiciliares? _____

3. Quantidade e tipo de caminhão que realiza o transporte dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final?

4. Distância mensal (km) percorrida no município de João Pessoa para a coleta convencional dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final? _____

5. Qual o consumo (L) mensal ou por tonelada de resíduo com combustível para o transporte dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final? _____

6. Qual o custo mensal (R\$) com combustível por transporte ou total* dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final? _____
* no caso total, quantos veículos? _____
7. Qual o custo total mensal (R\$) para realização da coleta e transporte dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final? _____
8. Quais são as empresas licenciadas para realizar a coleta dos resíduos domiciliares do Município?

9. Existem outros custos envolvidos? Quais?

Etapla 2 - Coleta Seletiva e Transporte

1. Quantidade (t) e tipo de resíduos sólidos domiciliares coletados seletivamente?

2. Número de domicílios abrangidos pela coleta seletiva? _____

3. Número de catadores formais envolvidos na coleta seletiva dos resíduos sólidos domiciliares por núcleo. E informais, se houver?

4. Distância (km) mensal percorrida para realização da coleta seletiva dos resíduos sólidos domiciliares das residências até os núcleos.

5. Como a EMLUR executa o Programa de Coleta Seletiva do município de João Pessoa?

6. Quais são e quais os custos (R\$) da EMLUR com o programa de Coleta Seletiva?

7. Qual o consumo (m³) e custo (R\$) mensal de água nos núcleos?

8. Qual o consumo (kWh) e custo (R\$) mensal de energia elétrica nos núcleos?

9. Qual o consumo (L) de combustível mensal nos núcleos (por caminhão ou total) ? Quantos caminhões trabalham na coleta seletiva? Qual o modelo?

10. Qual o custo total mensal (R\$) para realização da coleta e transporte dos resíduos até os núcleos? _____

11. Há consumo de combustível em algum equipamento utilizado no núcleo que não seja o caminhão? Qual (is)? Quantidade (L/mês)?

12. Existem outros custos envolvidos? Quais?

Etapas 3 – Segregação

1. Área (m²) da Central de Triagem (CT)? _____
2. Número de funcionários na CT? _____
3. Custo (R\$) de implantação da CT no aterro sanitário? _____
4. Quantidade de resíduos sólidos domiciliares (t) na CT por mês ou ano?

5. Qual o consumo (m³) e custo (R\$) mensal de água na CT?

6. Qual o consumo (kWh) e custo (R\$) mensal de energia elétrica na CT?

7. Existe consumo (L) de combustível na CT? Qual?

8. Quais atividades e os custos (R\$) envolvidos para operação e funcionamento da CT?

9. Existem outros custos envolvidos? Quais?

Etapla 4 - Tratamento

1. Há tratamento por compostagem realizada pela EMLUR para os resíduos sólidos orgânicos domiciliares?

2. Existe alguma parceria com empresas ou associações para gerenciamento do resíduo orgânico domiciliar? Se sim, qual?

3. A EMLUR executa algum tipo de tratamento para os resíduos sólidos domiciliares que não foi citado anteriormente? Se positivo, qual (is)?

Etapla 5 - Disposição Final

1. Qual o custo (R\$) para dispor 1 tonelada de resíduo sólido domiciliar no aterro sanitário?

2. Possui mais informações sobre o funcionamento e operação do aterro sanitário?

3. Como é realizada a captação e tratamento dos gases gerados no aterro sanitário?_____

4. Quanto de biogás (m³) é gerado e coletado por mês ou por dia no aterro sanitário?_____

4.1 Se existe qual a eficiência de coleta de biogás?_____

4.2 Como é utilizado este gás? Existe geração de energia elétrica? Se sim informar valor (kWh).

5. Quantidade de lixiviado (m³) gerado? Qual a eficiência de coleta e de tratamento?_____

6. Como é realizado o tratamento do lixiviado? _____

II - Informações sobre o serviço de Gerenciamento da Poda municipal

1. Qual a quantidade (t) de poda coletada? _____

2. Número de funcionários envolvidos na coleta e transporte até o aterro sanitário? _____

3. Quantidade e tipo de caminhão que realiza o transporte da poda até a disposição final?

4. Distância (km) mensal percorrida no município de João Pessoa para a coleta da poda até a disposição final? _____

5. Qual o consumo (L) de combustível por tonelada para coleta e transporte da poda até o aterro sanitário?

6. Qual o custo (R\$) para dispor 1 tonelada de poda no aterro sanitário? _____

7. Qual o local e o tamanho da área (m²) de armazenamento da poda? _____

8. Qual o tratamento e a disposição final para a poda urbana de João Pessoa? _____

III - Informações sobre os Pontos de Entrega Voluntária (PEV's)

1. Quantidade (t) e tipo de resíduos recicláveis coletados?

2. Como é realizado o gerenciamento desses resíduos?

3. Quem é responsável pela coleta? _____

4. Qual a frequência da coleta? _____

5. Qual o custo (R\$) para implementação (incluindo os coletores) desse serviço?

6. Qual o custo (R\$) para operação e manutenção desse serviço?

APÊNDICE G – Entrevista empresa Aterro Sanitário
Instrumento de coleta de dados sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos
(GRSU) no município de João Pessoa – anos 2019 a 2020
Empresa Aterro Sanitário

1. Informações

1.1 Empresa: _____

1.2 Cargo: _____

1.3 Telefone: _____

1.4 Naturalidade: _____

1.5 Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino

1.6 Idade: _____

2. Trabalho

2.1 Número de funcionários? _____

2.2 Número de funcionárias do sexo feminino? _____

2.3 Número de funcionários do sexo masculino? _____

2.4 Qual o nível mínimo de escolaridade?

☐ Alfabetizado ☐ Ensino médio incompleto

☐ Ensino fundamental incompleto ☐ Ensino médio completo

☐ Ensino fundamental completo ☐ Ensino Superior

☐ Não é exigido escolaridade

2.5 Faixa etária média dos funcionários?

☐ menor de 18 anos ☐ 37 a 45 anos ☐ mais de 63 anos

☐ 18 a 27 anos ☐ 46 a 54 anos

☐ 28 a 36 anos ☐ 55 a 63 anos

2.6 Na empresa existem funcionários menores de idade? ☐ Sim ☐ Não

2.7 Quais as funções exercidas? _____

2.8 Carga horária de trabalho semanal dos funcionários? _____

2.9 Quantas horas por dia? _____

2.10 A empresa verifica se os funcionários trabalham além do horário de trabalho exigido por lei? ☐ Sim ☐ Não

2.10.1 Se sim, como você verifica isso? _____

2.11 Remuneração média mensal dos funcionários?

() até um salário mínimo

() 2 a 3 salários mínimos

() de 1 a 2 salários mínimos

() mais de 3 salários mínimos

() Outro: _____

2.12 Existe diferença salarial entre homens e mulheres?

() Sim () Não Qual: _____

2.13 Tipo de regime de trabalho: () CLT () Estatutário () Outro: _____

2.13.1 O contrato de trabalho contempla o salário, encargos sociais e benefícios?

() Sim () Não

Quais: _____

2.14 Existe alguma associação dos funcionários dessa atividade?

() Sim () Não () Não possui conhecimento

2.14.1 Se sim. Qual a periodicidade dos encontros da associação? Número médio de colaboradores que participam das reuniões? _____

2.15 Os funcionários são sindicalizados? () Sim () Não () Não possui conhecimento

2.16 Existe uma política de igualdade de oportunidades dentro da empresa?

2.17 Houve algum caso de discriminação nos últimos 5 anos? () Sim () Não

2.17.1 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

() Sexual () Racial () Religioso () Outro

(especifique) _____

2.18 A atividade é considerada de risco? () Sim () Não

2.18.1 Se sim, quais são os perigos que você percebe? _____

2.19 Os funcionários tem acesso a equipamento de proteção individual (EPI)?

() Sim () Não

2.19.1 Os funcionários utilizam o EPI durante o trabalho? () Sim () Não

2.19.2 Que tipo de EPI?

() Luvas

() Óculos

() Bota

() Boné

() Farda

() Outros: _____

() Nenhum

2.20 Já teve algum acidente de trabalho na empresa nos últimos 5 anos?

() Sim () Não

2.20.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

2.21 São realizados cursos de treinamento/atualização em saúde e segurança?

() Sim () Não

2.21.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

2.22 Os funcionários tem treinamento em relação ao manuseio de resíduos?

() Sim () Não

2.22.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

3. Saúde

3.1 Os funcionários tem cobertura de saúde? () Sim () Não

3.2 Algum funcionário já contraiu alguma doença devido à atividade?

() Sim () Não

3.2.1 Que tipo: _____

4. Funcionamento do aterro sanitário

4.1 Quantidade e tipo de transporte para destinar os resíduos sólidos domiciliares até a célula específica?

4.1.1 Quantidade e tipo de transporte para destinar os resíduos de poda até a célula específica?

4.2 Distância diária (km) percorrida para disposição dos resíduos sólidos domiciliares na célula?

4.2.1 Distância diária (km) percorrida para disposição dos resíduos sólidos domiciliares na célula?

4.3 Qual o consumo (L) com combustível para transporte de uma tonelada de resíduos sólidos domiciliares até a disposição final?

4.3.1

Qual o consumo (L) com combustível para transporte de uma tonelada de resíduos de poda até a disposição final? _____

4.5 Quantidade de biogás (m³) que é gerado e coletado por tonelada, mês ou por dia no aterro sanitário?

4.6 O que é

feito com o biogás gerado?

() Queima em Flare () Liberado para atmosfera () Aproveitamento energético

() Outro _____

4.7 Se existir, qual a eficiência de coleta de biogás?

4.8 Como é utilizado este gás? Existe geração de energia elétrica? Se sim informar valor (kWh por tonelada).

4.9 Quantidade de lixiviado (m³) gerado por tonelada, mês ou por dia no aterro sanitário? Qual a eficiência de coleta e de tratamento?

4.10 Como é realizado o tratamento do lixiviado?

APÊNDICE H – Entrevista Empresa de Coleta Privada
Instrumento de coleta de dados sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos
(GRSU) no município de João Pessoa – anos 2019 a 2020
Empresa de Coleta

1. Informações Gerais

1.1 Empresa: _____

1.2 Cargo: _____

1.3 Telefone: _____

1.4 Naturalidade: _____

1.5 Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino

1.6 Idade: _____

2. Trabalho

2.1 Número de funcionários? _____

2.2 Número de funcionárias do sexo feminino? _____

2.3 Número de funcionários do sexo masculino? _____

2.4 Qual o nível mínimo de escolaridade?

☐ Alfabetizado ☐ Ensino médio incompleto

☐ Ensino fundamental incompleto ☐ Ensino médio completo

☐ Ensino fundamental completo ☐ Ensino Superior

☐ Não é exigido escolaridade

2.5 Faixa etária média dos funcionários?

☐ menor de 18 anos ☐ 37 a 45 anos ☐ mais de 63 anos

☐ 18 a 27 anos ☐ 46 a 54 anos

☐ 28 a 36 anos ☐ 55 a 63 anos

2.6 Na empresa existem funcionários menores de idade? ☐ Sim ☐ Não

2.7 Quais as funções exercidas? _____

2.8 Carga horária de trabalho semanal dos funcionários? _____

2.9 Quantas horas por dia? _____

2.10 A empresa verifica se os funcionários trabalham além do horário de trabalho exigido por lei? ☐ Sim ☐ Não

2.10.1 Se sim, como você verifica isso? _____

2.11 Remuneração média mensal dos funcionários?

☐ até um salário mínimo

☐ 2 a 3 salários mínimos

☐ de 1 a 2 salários mínimos

☐ mais de 3 salários mínimos

☐ Outro: _____

2.12 Existe diferença salarial entre homens e mulheres?

☐ Sim ☐ Não Qual: _____

2.13 Tipo de regime de trabalho: ☐ CLT ☐ Estatutário ☐ Outro: _____

2.13.1 O contrato de trabalho contempla o salário, encargos sociais e benefícios?

☐ Sim ☐ Não

Quais: _____

2.14 Existe alguma associação dos funcionários dessa atividade?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não possui conhecimento

2.14.1 Se sim. Qual a periodicidade dos encontros da associação? Número médio de colaboradores que participam das reuniões? _____

2.15 Os funcionários são sindicalizados? ☐ Sim ☐ Não ☐ Não possui conhecimento

2.16 Existe uma política de igualdade de oportunidades dentro da empresa?

2.17 Houve algum caso de discriminação nos últimos 5 anos? ☐ Sim ☐ Não

2.17.1 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

☐ Sexual ☐ Racial ☐ Religioso ☐ Outro

(especifique) _____

2.18 A atividade é considerada de risco? ☐ Sim ☐ Não

2.18.1 Se sim, quais são os perigos que você percebe? _____

2.19 Os funcionários tem acesso a equipamento de proteção individual (EPI)?

☐ Sim ☐ Não

2.19.1 Os funcionários utilizam o EPI durante o trabalho? ☐ Sim ☐ Não

2.19.2 Que tipo de EPI?

☐ Luvas

☐ Óculos

☐ Bota

☐ Boné

☐ Farda

☐ Outros: _____

☐ Nenhum

2.20 Já teve algum acidente de trabalho na empresa nos últimos 5 anos?

☐ Sim ☐ Não

2.20.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

2.21 São realizados cursos de treinamento/atualização em saúde e segurança do trabalho?

() Sim () Não

2.21.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

2.22 Os funcionários tem treinamento em relação ao manuseio de resíduos?

() Sim () Não

2.22. Em caso afirmativo, como e com que frequência?

3. Saúde

3.1 Os funcionários tem algum tipo de cobertura de saúde? () Sim () Não

Se sim, qual (is): _____

3.2 Algum funcionário já contraiu alguma doença devido à atividade que exerce?

() Sim () Não

3.2.1 Que tipo: _____

4. Funcionamento e operação da Coleta e Transporte dos resíduos sólidos domiciliares

4.1 Qual a quantidade de resíduos domiciliares coletados (t) por dia/mês?

4.2 Qual a quantidade e tipo de caminhão que realiza o transporte do resíduo domiciliar até o aterro sanitário:

4.3 Qual a distância mensal (km) percorrida (por caminhão ou total) para a coleta dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final?

* no caso total, quantos veículos?

4.4 Qual o consumo (L) mensal (por caminhão ou total) com combustível para o por transporte dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final?

* no caso total, quantos veículos?

4.5 Qual o custo mensal (R\$) com combustível (por caminhão ou total*) dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final?

* no caso total, quantos veículos?

4.6 Qual o custo total mensal (R\$) para realização da coleta e transporte dos resíduos sólidos domiciliares até a disposição final?

APÊNDICE I – Entrevista empresa de reciclagem**Instrumento de coleta de dados sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) no município de João Pessoa – anos 2019 a 2020*****Empresa de Reciclagem*****1. Informações Gerais****1.1** Empresa: _____**1.2** Cargo: _____**1.3** Telefone: _____**1.4** Naturalidade: _____**1.5** Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino**1.6** Idade: _____**2. Trabalho****2.1** Número de funcionários? _____**2.2** Número de funcionárias do sexo feminino? _____**2.3** Número de funcionários do sexo masculino? _____**2.4** Qual o nível mínimo de escolaridade?☐ Alfabetizado ☐ Ensino médio incompleto☐ Ensino fundamental incompleto ☐ Ensino médio completo☐ Ensino fundamental completo ☐ Ensino Superior☐ Não é exigido escolaridade**2.5** Faixa etária média dos funcionários?☐ menor de 18 anos ☐ 37 a 45 anos ☐ mais de 63 anos☐ 18 a 27 anos ☐ 46 a 54 anos☐ 28 a 36 anos ☐ 55 a 63 anos**2.6** Na empresa existem funcionários menores de idade? ☐ Sim ☐ Não**2.7** Quais as funções exercidas? _____**2.8** Carga horária de trabalho semanal dos funcionários? _____**2.9** Quantas horas por dia? _____**2.10** A empresa verifica se os funcionários trabalham além do horário de trabalho exigido por lei? ☐ Sim ☐ Não**2.10.1** Se sim, como você verifica isso? _____**2.11** Remuneração média mensal dos funcionários?

☐ até um salário mínimo

☐ 2 a 3 salários mínimos

☐ de 1 a 2 salários mínimos

☐ mais de 3 salários mínimos

☐ Outro: _____

2.12 Existe diferença salarial entre homens e mulheres?

☐ Sim ☐ Não Qual: _____

2.13 Tipo de regime de trabalho: ☐ CLT ☐ Estatutário ☐ Outro: _____

2.13.1 O contrato de trabalho contempla o salário, encargos sociais e benefícios?

☐ Sim ☐ Não

Quais: _____

2.14 Existe alguma associação dos funcionários dessa atividade?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não possui conhecimento

2.14.1 Se sim. Qual a periodicidade dos encontros da associação? Número médio de colaboradores que participam das reuniões? _____

2.15 Os funcionários são sindicalizados? ☐ Sim ☐ Não ☐ Não possui conhecimento

2.16 Existe uma política de igualdade de oportunidades dentro da empresa?

2.17 Houve algum caso de discriminação nos últimos 5 anos? ☐ Sim ☐ Não

2.17.1 Em caso afirmativo, que forma de discriminação?

☐ Sexual ☐ Racial ☐ Religioso ☐ Outro

(especifique) _____

2.18 A atividade é considerada de risco? ☐ Sim ☐ Não

2.18.1 Se sim, quais são os perigos que você percebe? _____

2.19 Os funcionários tem acesso a equipamento de proteção individual (EPI)?

☐ Sim ☐ Não

2.19.1 Os funcionários utilizam o EPI durante o trabalho? ☐ Sim ☐ Não

2.19.2 Que tipo de EPI?

☐ Luvas

☐ Óculos

☐ Bota

☐ Boné

☐ Farda

☐ Outros: _____

☐ Nenhum

2.20 Já teve algum acidente de trabalho na empresa nos últimos 5 anos?

☐ Sim ☐ Não

2.20.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

2.21 São realizados cursos de treinamento/atualização em saúde e segurança do trabalho?

() Sim () Não

2.21.1 Em caso afirmativo, como e com que frequência?

2.22 Os funcionários tem treinamento em relação ao manuseio de resíduos?

() Sim () Não

2.22. Em caso afirmativo, como e com que frequência?

3. Saúde

3.1 Os funcionários tem algum tipo de cobertura de saúde? () Sim () Não

Se sim, qual (is): _____

3.2 Algum funcionário já contraiu alguma doença devido à atividade que exerce?

() Sim () Não

3.2.1 Que tipo: _____

4. Funcionamento e operação do processo de reciclagem

4.1 Que tipo de material coleta, quantidade (kg/dia ou mês) e por quanto compra (R\$):

() Alumínio	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Cobre	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Ferro	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Papel	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Papelão	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Vidro	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Plástico em geral*	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____

*caso receba de maneira diferenciada, favor especificar o preço por tipologia)

() Plástico mole	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() Plástico duro	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() PVC	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____
() PET	Quantidade (kg): _____	Valor do kg: _____

Outro: _____

4.2 Qual o seu fornecedor de material reciclável?

() Associação formal () Sucata () Atravessador () Catadores informais () Outro.
Qual? _____

4.3 Caso receba de cooperativa/associação, quantas pessoas em média, levam os materiais recicláveis? _____

4.4 Com que frequência recebe o material reciclável?

() Diária () Semanal () Mensal () Outra _____

4.5 Qual o consumo de energia (kWh/tonelada) com a atividade?

4.5 Qual o consumo de água (m³/tonelada) com a atividade?

4.6 Qual o custo total mensal (R\$) para realização da atividade?
