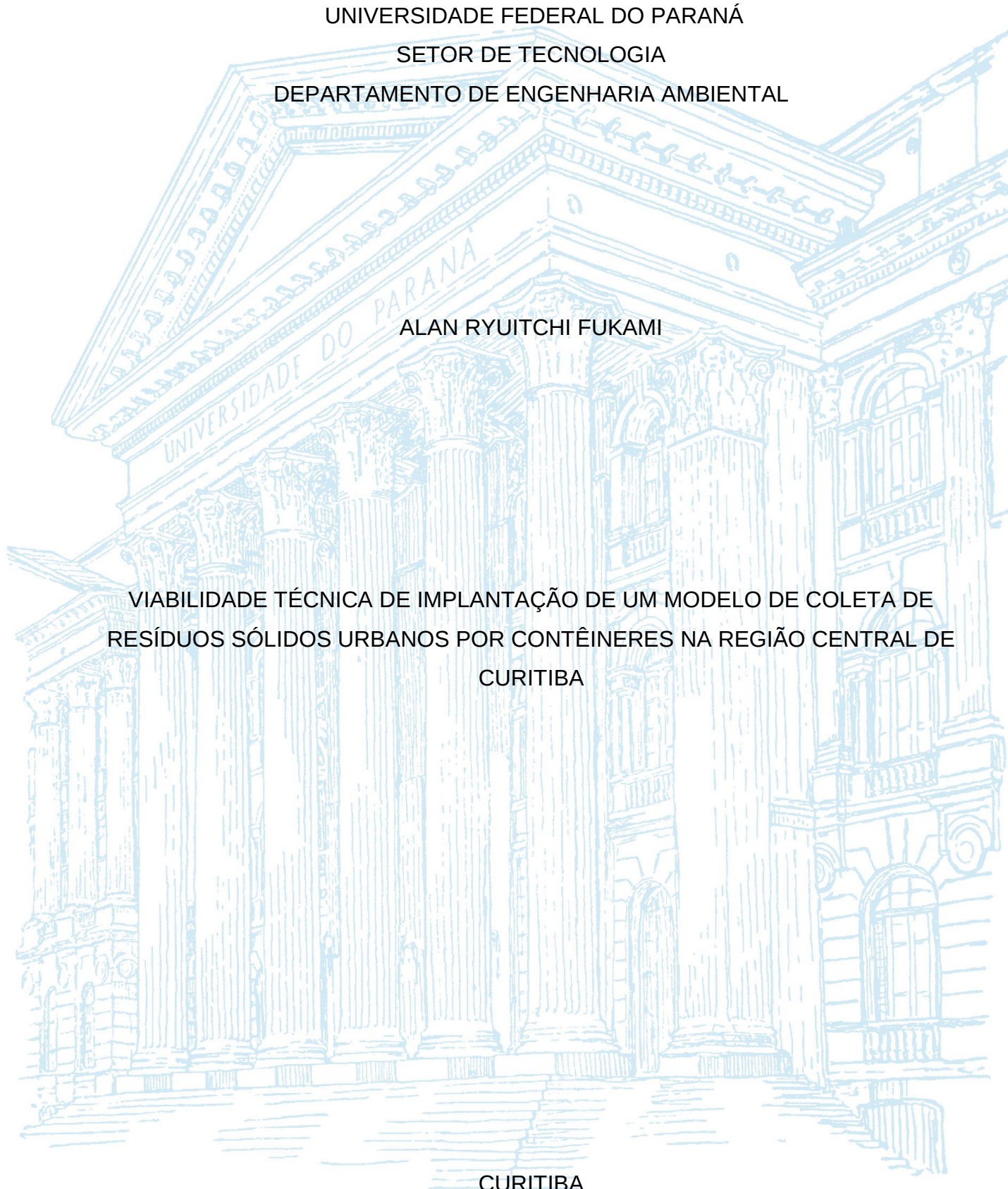




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALAN RYUITCHI FUKAMI

VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO DE COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR CONTÊINERES NA REGIÃO CENTRAL DE
CURITIBA

CURITIBA

2019

ALAN RYUITCHI FUKAMI

VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO DE COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR CONTÊINERES NA REGIÃO CENTRAL DE
CURITIBA

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

Orientadora: Profa. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi

CURITIBA

2019



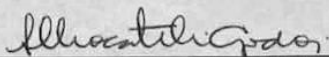
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

ALAN RYUITCHI FUKAMI

VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR CONTÊINERES NA REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 95, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Profa. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi
Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná

Membro(a) 1: 
Prof. Dr. Eduardo Felga Gobbi
Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná

Membro(a) 2: 
Msc. Daniel Thá
Economista Ambiental, Kralingen Economia Ambiental

Curitiba, 05 de julho de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, disposição e oportunidade de realizar este trabalho.

À minha família por acompanhar e incentivar a jornada da vida.

À minha orientadora Ana Flavia Locateli Godoi, por incentivar, auxiliar e guiar na execução do estudo.

À Leila Maria Zem, Gerente da Educação Ambiental da SMMA Curitiba.

Ao Paulo Godoy, responsável por acompanhar as visitas as unidades do Programa EcoCidadão da SMMA Curitiba.

À Eliane Chiuratto, Engenheira responsável pelo setor de resíduos recicláveis do Departamento de Limpeza Pública – SMMA Curitiba.

A Izadora Santiago, minha companheira de vida que preparou inúmeros cafés.

E a todos amigos que de alguma forma contribuíram para execução do trabalho.

RESUMO

Em comparação com o cenário brasileiro, o município de Curitiba possui uma boa perspectiva quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU). Porém, avaliando os investimentos na coleta seletiva e a taxa de reaproveitamento de resíduos, percebe-se que algo neste processo não está de acordo com os investimentos. A partir da análise de relatórios municipais e visitas a algumas unidades do EcoCidadão, descobre-se que aproximadamente 40% do resíduo destinado as unidades de valorização de materiais recicláveis secos não são aproveitadas. Então, devido a contaminação dos resíduos descartados e a falta de condições de comércio, grandes quantidades de resíduos deixam de ser reaproveitados. Desta forma, o presente estudo traz a análise de viabilidade técnica de implantação de um modelo de coleta de resíduos sólidos recicláveis através de contêineres na região central de Curitiba. Somado a está análise também foi aplicado um questionário voltado a população com o objetivo de levantar informações quanto a predisposição diante de um novo modelo de descarte. Foi realizado o dimensionamento dos coletores que envolveu uma etapa de análise geoespacial utilizando o software QGIS, onde foram estabelecidos três cenários considerando a quantidade de coletores exigidos em função do raio de alcance determinado para cada coletor. Avaliou-se a disposição de contêineres com raio de alcance de 50, 70 e 100m. Cada um destes cenários exige uma quantidade de contêineres correspondentes a fim de cobrir toda área do bairro Centro. Diante destes cenários, propôs-se a separação dos resíduos recicláveis secos nas seguintes categorias: Plástico/Metal, Papel/Papelão e Vidro. Sendo assim, cada categoria foi avaliada separadamente. Além dos cenários de raio de coleta, foram estabelecidos três intervalos de tempo entre as coletas: 3, 5 e 10 dias. Por meio da análise de cada um dos cenários propostos, foi identificado o melhor para cada categoria de resíduo e assim dimensionado o volume do coletor de modo a atender o volume de geração durante o período determinado. Depois de definido o melhor cenário para cada categoria, analisou-se a otimização frente ao modelo de coleta atual. Com o sistema de descarte em contêineres seria possível aumentar o intervalo entre as coletas, comparando com o sistema atual (diário), para assim obter uma redução de até 37% na quantidade total de viagens de coleta de resíduos sólidos recicláveis secos.

Palavras-chave: Modelo de coleta de resíduos. Containerização. Resíduos recicláveis secos.

ABSTRACT

In comparison with the Brazilian scenario, the city of Curitiba has a good perspective about the Urban Solid Waste (USW) management. However, evaluating the investments on selective collection and the waste reuse rate, is perceived that something in the process is not responding according to the investments. From the analysis of municipal reports and visits to waste separation plants of Programa EcoCidadão, it is discovered that approximately 40% of the selective waste is not harnessed. So, despite of the discarded waste contamination and/or the lack of commercial conditions, large amounts of waste are not reused/recycled. Thus, the present work brings the technical viability analysis of a dry solid waste collection model by containers in the central region of Curitiba, Brazil. Added to this analysis was also applied a survey to the population with the aim of raising data about the predisposition to the new collection model. The dimensioning step involved the geospatial analysis using the QGIS software, where it was established three scenarios considering the quantity of containers required depending on the radius coverage. The disposition of the containers was evaluated according to the 50, 70 and 100m radius coverage. Each of these scenarios requires a certain amount of waste containers, in order to cover the whole study area. In the view of these scenarios, it was proposed the separation of dry recyclable waste in the following categories: Plastic/Metal, Paper/Cardboard and Glass. Therefore, each category was evaluated separately. In addition to the collection radius scenarios, three different intervals were established between the collections: 3, 5 and 10 days. By analyzing each of the proposed scenarios, the best cost-efficiency was identified for each waste category and thus the collector volume was sized to meet the generation volume during the determined period. After defining the best scenario for each category, the optimization was analyzed against the current collection model. With the container disposal system, it would be possible to increase the interval between collections compared to the current(daily) system, thereby achieving a 37% reduction in the total amount of dry recyclable solid waste collection trips.

Keyword: Waste collection model. Containerization. Dry Recyclable Waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLOS DA ECONOMIA CIRCULAR.....	22
FIGURA 2 – RECOLOGY: RECIPIENTES DIFERENCIADOS DESTINADOS ÀS TRÊS CATEGORIAS DE COLETA: RESÍDUOS COMPOSTÁVEIS (VERDE), RESÍDUOS RECICLÁVEIS SECOS (AZUL) E REJEITOS DESTINADOS A ATERRO (PRETO).....	27
FIGURA 3 – CONTÊINERES RECICLÁVEIS EM BARCELONA (PAPEL/PAPELÃO, VIDRO, EMBALAGENS METAL/PLÁSTICO/PAPEL, ORGÂNICO E REJEITOS) .	35
FIGURA 4– CICLO DA PESQUISA CIENTÍFICA.....	51
FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA	56
FIGURA 6 – MAPA DO CENTRO DE CURITIBA.....	57
FIGURA 7 – ORGANOGRAMA CENÁRIOS CONFORME RAIO DE ALCANCE DOS COLETORES	61
FIGURA 8 – INTERFACE QGIS	62
FIGURA 9 – PERÍMETRO DO BAIRRO CENTRO – CURITIBA.....	63
FIGURA 10 – ÁREA DO BAIRRO CENTRO – CURITIBA.....	63
FIGURA 11 – COLETORES NO BAIRRO CENTRO – CURITIBA.....	64
FIGURA 12 – CONTÊINER 700L, 1000L E 2500L.....	65
FIGURA 13 – DIMENSIONAMENTO PERÍMETRO E ÁREA DO BAIRRO CENTRO – CURITIBA	72
FIGURA 14 – PRINT RESULTADO DA DISTÂNCIA TOTAL DAS RUAS DO BAIRRO CENTRO, CURITIBA - QGIS.....	73
FIGURA 15 – DIMENSIONAMENTO COLETORES: RAIO - 50M	77
FIGURA 16 – DIMENSIONAMENTO COLETORES: RAIO – 70M.....	78
FIGURA 17 – DIMENSIONAMENTO COLETORES: RAIO 100M.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – HISTÓRICO DA GERAÇÃO MUNDIAL ANUAL DE RSU (BILHÕES DE TONELADAS).....	20
GRÁFICO 2 – EVOLUÇÃO DA TAXA DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS EM LJUBLJANA (ESLOVÊNIA).....	26
GRÁFICO 3 – EVOLUÇÃO DA PORCENTAGEM DE RECICLAGEM EM TREVISO, ITÁLIA, EM 2015, APÓS A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PAY-AS-YOU-THROW	29
GRÁFICO 4 – GERENCIAMENTO RSU EM FLANDRES: 1991 – 2012.....	30
GRÁFICO 5 – EVOLUÇÃO DA COLETA SELETIVA EM LJUBLJANA – ESLOVÊNIA	33
GRÁFICO 6 – UTILIZAÇÃO DE CONTÊINERES NA COLETA DE RESÍDUOS EM CIDADES EUROPÉIAS	34
GRÁFICO 7 – RELAÇÃO DA POPULAÇÃO POR METRÓPOLE BRASILEIRA 2010	36
GRÁFICO 8 – GERAÇÃO DE RSU NO BRASIL	37
GRÁFICO 9 – COLETA DE RSU NO BRASIL	37
GRÁFICO 10 – MASSA COLETADA (RDO+RPU) * PER CAPITA EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO URBANA, SEGUNDO ESTADO DA FEDERAÇÃO EM 2016	39
GRÁFICO 11 – DESTINAÇÃO FINAL RSU NO BRASIL	40
GRÁFICO 12 – VALORES ARRECADADOS E CUSTOS ENVOLVIDOS NO GERENCIAMENTO DE RSU POR HABITANTE.....	40
GRÁFICO 13 – ESTIMATIVA DA MASSA EFETIVA E RECUPERADA DE RECICLÁVEIS SECOS EM 2016	41
GRÁFICO 14 – PRESENÇA DA COLETA CONTEINERIZADA NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ	42
GRÁFICO 15 – COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS QUE CHEGAM AO ATERRO SANITÁRIO DA EMPRESA ESTRE EM 2011	50

GRÁFICO 16 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 1....	66
GRÁFICO 17 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 2....	67
GRÁFICO 18 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 3....	67
GRÁFICO 19 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA - PERGUNTA 4	68
GRÁFICO 20 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 5....	69
GRÁFICO 21 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 6....	70
GRÁFICO 22 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 7....	71

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MASSA COLETADA (RDO+RPU) * PER CAPITA DOS MUNICÍPIOS PARTICIPANTES EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO URBANA, SEGUNDO ESTADO DA FEDERAÇÃO ENTRE 2013 – 2016	38
QUADRO 2 – EXISTÊNCIA DE COLETA SELETIVA DE RECICLÁVEIS SECOS NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS.....	41
QUADRO 3 – VALORES MÉDIOS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS.....	47
QUADRO 4 – ARRECADAÇÃO X GASTOS NO GERENCIAMENTO DO RSU.....	48
QUADRO 5 – TAXA DE GERAÇÃO DE RSU POR FAIXA POPULACIONAL	48
QUADRO 6 – TAXA DE COLETA PER CAPITA DE RSU EM RELAÇÃO A POPULAÇÃO URBANA.....	48
QUADRO 7 – MASSA TOTAL E PER CAPITA DE RSU ENVIADA PARA DISPOSIÇÃO FINAL PELOS MUNICÍPIOS DO CONRESOL EM 2016	49
QUADRO 8 – SIMBOLOGIA GERAÇÃO DIÁRIA EM FUNÇÃO DO RAI0 (R)	76
QUADRO 9 – DIMENSIONAMENTO DOS CENÁRIOS PARA COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS NO CENTRO DE CURITIBA	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – REDUÇÃO GLOBAL NA DISTÂNCIA PERCORRIDA PARA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	32
TABELA 3 – EVOLUÇÃO DA COLETA MUNICIPAL DE CURITIBA.....	46
TABELA 4 – CATEGORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS SECOS PROPOSTA PARA O PRESENTE TRABALHO, UTILIZANDO A CLASSIFICAÇÃO DO RSU COLETADO EM CURITIBA SEGUNDO O IFC (2015)60	
TABELA 5 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS NO BAIRRO CENTRO DE CURITIBA	60
TABELA 6 – VOLUME, CAPACIDADE E VALOR DOS CONTÊINERES	65
TABELA 7– GERAÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS SECOS EM 1HA NA REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA	74
TABELA 8 – CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DOS COLETORES PARA ÁREA DE 1HA	75
TABELA 9 – QUANTIDADE DE COLETORES EM FUNÇÃO DO RAIO DE ALCANCE.....	76
TABELA 10 – SIMBOLOGIA CENÁRIOS	80
TABELA 11 – GERAÇÃO DA CATEGORIA PLÁSTICO/METAL EM LITROS	81
TABELA 12 – CAPACIDADE DOS COLETORES CONFORME CENÁRIO DIMENSIONADO	82
TABELA 13 – MONTANTE DE INVESTIMENTO CONFORME CENÁRIOS AVALIADOS CATEGORIA - PLÁSTICO/METAL – BAIRRO CENTRO	82
TABELA 14 – DISTÂNCIA PERCORRIDA PELOS CENÁRIOS 1,2 E 3	83
TABELA 15 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CATEGORIA PAPEL/PAPELÃO ...	84
TABELA 16 – VOLUME MÍNIMO DOS COLETORES – CATEGORIA PAPEL/PAPELÃO	84
TABELA 17 – MONTANTE DE INVESTIMENTO CONFORME CENÁRIOS AVALIADOS COLETORES – PAPEL/PAPELÃO	85

TABELA 18 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CATEGORIA VIDRO	86
TABELA 19 – MONTANTE DE INVESTIMENTO CONFORME CENÁRIOS AVALIADOS COLETORES VIDRO – BAIRRO CENTRO	87
TABELA 20 – INVESTIMENTO REFERENTE AOS COLETORES	89

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

C&D – CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

EUA – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

GEE – GASES DO EFEITO ESTUFA

GPS – GLOBAL POSITIONING SYSTEM

IFC – INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION

ISWA – THE INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION

KG/HAB./DIA – QUILOGRAMA POR HABITANTE POR DIA

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

MTCE – MILHÕES DE TONELADAS DE CARVÃO EQUIVALENTE

NBR – NORMA BRASILEIRA

ODS – OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA ONU

PEGIRSU – PLANO ESTADUAL PARA A GESTÃO INTEGRADA E ASSOCIADA
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

PERS – PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

PNRS – PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

PRGIRSU – PLANO DE REGIONALIZAÇÃO DA GESTÃO INTEGRADA DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

RDO – RESÍDUO DOMICILIAR

RFID – RADIO-FREQUENCY IDENTIFICATION

RPU – RESÍDUO SERVIÇO PÚBLICO

RSU – RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

SEIRSU – SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES SOBRE OS RESÍDUOS
SÓLIDOS

SEMA – SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSO HÍDRICOS
DO PARANÁ

SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE O SANEAMENTO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	20
3.1.1 Economia Circular	21
3.1.2 Resíduo Zero – Zero Waste	24
3.2 MODELOS DE COLETA	27
3.2.1 Segregação e Coleta em 3 (três) Categorias	27
3.2.2 Pay-As-You-Throw – PAYT	28
3.2.3 Coleta de Resíduos Recicláveis por Contêiner	30
3.3 PANORAMA BRASILEIRO	35
3.4 LEGISLAÇÃO.....	42
3.5 GERENCIAMENTO DE RSU NA REGIÃO DE CURITIBA.....	45
3.5.1 Coleta Seletiva de Recicláveis	46
3.6. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DOS RESÍDUOS POR PARTE DA POPULAÇÃO	51
3.6.1 Tipos de Amostra	52
3.6.2 Tamanho da Amostra.....	52
3.6.3 Tipos de Perguntas	53
4 METODOLOGIA	55
4.1 ÁREA DE ESTUDO – CENTRO DE CURITIBA	55
4.2 QUESTIONÁRIO	57
4.3 DIMENSIONAMENTO DA COLETA	59
4.3.1 Intervalos de Coleta	60
4.3.2 Análise QGIS – Dimensionamento	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66

5.1 RESPOSTAS QUESTIONÁRIO APLICADO A UMA PARCELA DA POPULAÇÃO DA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE CURITIBA.....	66
5.2 DIMENSIONAMENTO DA DISTÂNCIA TOTAL DAS RUAS DO BAIRRO CENTRO	72
5.3 DISTÂNCIA ENTRE A POPULAÇÃO E O COLETOR	73
5.4 ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS.....	74
5.5 QUANTIFICAÇÃO DE COLETORES PELO RAIOS DE ALCANCE.....	76
5.6 DIMENSIONAMENTO DOS CENÁRIOS	80
5.6.1 Categoria Plástico/Metal.....	80
5.6.2 Categoria Papel/Papelão.....	83
5.6.3 Categoria Vidro	86
5.6.4 Análise do Cenário Selecionado	87
6 CONCLUSÃO	91
ANEXO 1 – MODELO QUESTIONÁRIO	98

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, a sociedade vem há tempos migrando para o ambiente urbano em busca de melhores condições de vida. As cidades crescem e conglomerados urbanos se formam devido ao aumento progressivo da população que vive em tais ambientes.

Quanto mais próspera a civilização se torna, maior é taxa de geração de resíduos e a produção de RSU aumenta exponencialmente. Em 2012, aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas de resíduos foram produzidos pela população mundial, o que equivale a uma média diária de 1,2 kg/hab./dia (quilograma por habitante por dia). Com esta projeção de desenvolvimento social e econômico, estima-se que a geração de resíduos alcance 2,2 bilhões de toneladas no ano de 2025. (World Bank, 2012). Deste modo, a geração de RSU tornou-se um desafio comum para os centros urbanos em desenvolvimento, onde o planejamento da gestão de resíduos demonstra-se essencial para que o progresso ocorra evitando desastres ambientais.

Os RSU são compostos por resíduos domiciliares, de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas), resíduos de serviços de saúde (RSS) e resíduo de construção civil e demolição (RCD). Atualmente no âmbito de gestão municipal, destacam-se as questões relacionadas ao processo da coleta seletiva, atuação de catadores de materiais recicláveis, a logística reversa, a compostagem, a operação de aterros sanitários, entre outros. E, apesar de o país estar emergindo de uma crise econômica, a geração total de RSU ainda apresentou um leve aumento entre os anos de 2016 e 2017 (ABRELPE, 2017).

Cidades situadas nos países considerados em desenvolvimento geralmente apresentam dificuldades quanto ao sistema de coleta e separação de resíduos urbanos devido à rápida expansão territorial. Soma-se a este aumento na produção de resíduos o atual cenário nacional onde os recursos e investimentos são limitados para atender a demanda necessária causada pela urbanização e industrialização. Conclui-se que a taxa de geração de resíduos tende a aumentar conforme evolui o desenvolvimento econômico dos centros urbanos.

Segundo dados do IBGE (2010), o Brasil conta com 26 regiões metropolitanas ao longo do seu território. Nestes ambientes ainda é comum encontrar problemas como escassez de áreas para disposição de resíduos sólidos gerados, coleta e

disposição inadequada, além de conflitos com uso de solo no entorno de aterros os quais exigem maior planejamento e investimento por parte das gestões municipais.

Deste modo, o processo de coleta dos RSU torna-se um ponto crucial para a redução de impactos causados pelo manejo de resíduos e precisa ser realizada da forma mais eficiente possível, a fim de obter ganhos tanto ambientais quanto financeiros. É preciso analisar cada etapa a fim de otimizar o serviço. Hoje, as frotas utilizadas são majoritariamente movidas à combustíveis fósseis, logo, quanto mais tempo estes veículos passarem nas ruas, maior será a pegada de carbono, a produção de material particulado, e a emissão de gases poluentes. Em 2017, o Brasil gerou 78,4 milhões de toneladas de RSU, dos quais 91,2% (71,6 milhões de toneladas) foram coletados. (ABRELPE, 2017)

A população precisa compreender a interação e a importância das relações entre o modo de consumo, o uso de recursos e a qualidade do meio ambiente em que convivem para um bom cenário da condução sustentável dos resíduos produzidos, onde todas as etapas desde geração, consumo, descarte, coleta, segregação, destinação, etc., são de extrema importância e devem ser realizados da melhor maneira possível para produzir o mínimo de impacto ambiental.

Para isso, inovações nos modelos de coleta precisam ser feitas, de modo que melhore a qualidade do resíduo reciclável seco descartado pela população e também diminua o volume de materiais destinados incorretamente aos aterros sanitários. Como a coleta seletiva já é bem disseminada entre os habitantes do município de Curitiba, é possível experimentar um novo avanço em relação a qualidade dos resíduos descartados, a segregação na fonte com o intuito de aumentar a qualidade dos resíduos descartados.

Assim propõe-se um estudo de descarte de resíduos sólidos recicláveis em contêineres compartilhados, de modo que a segregação na fonte seja praticada através de centros de coletores distribuídos pela cidade. Deste modo permite-se desenvolver modelos de gestão de resíduos com intervalos maiores entre cada campanha de coleta.

Somado aos benefícios logísticos da coleta e transporte de resíduos, há também a importância da geração de dados confiáveis sobre o gerenciamento de resíduos urbanos, que além de auxiliar o plano de ações presentes, serve de embasamento para ações futuras necessárias para a convivência harmônica com o meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da implantação de um sistema de coleta por contêineres para disposição pública de resíduos recicláveis secos na região central de Curitiba, que visa elevar a taxa e a qualidade de resíduos destinados às cooperativas de reciclagem que são associadas ao serviço da coleta municipal para promover a formação de uma economia circular e consequentemente reduzir o volume destinado incorretamente aos aterros sanitários.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular a viabilidade técnica da implantação de um sistema de coleta e segregação de resíduos recicláveis, considerando os seguintes parâmetros:

- Calcular o volume de armazenamento mínimo necessário dos contêineres para atender a demanda da geração por meio da análise da taxa de produção de resíduos sólidos secos na região central de Curitiba, por meio de diferentes hipóteses, selecionando a mais viável econômica e sustentavelmente;
- Quantificar a demanda de pontos de coleta comuns a população, assim como a quantidade e capacidade dos contêineres – simulando os centros de descarte voluntário por categoria de resíduo através do programa QGIS, o qual permite a análise geoespacial dos coletores dispostos;
- Avaliar, por meio da aplicação de questionários, a situação atual da separação residencial, o nível de conhecimento da população dos processos de reciclagem e a aceitação pública em relação a implementação de um novo modelo de coleta para resíduos recicláveis, que exige maior participação popular;
- Incentivar a população a participar no processo de separação e descarte voluntário, conscientizando-as e fazendo com que o descarte correto dos materiais recicláveis faça parte da rotina dos habitantes;
- Proporcionar uma oportunidade de otimização do descarte dos resíduos domésticos, incentivando a população quanto a conscientização sobre a segregação na fonte, evitando a condução de reaproveitáveis à aterros sanitários.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

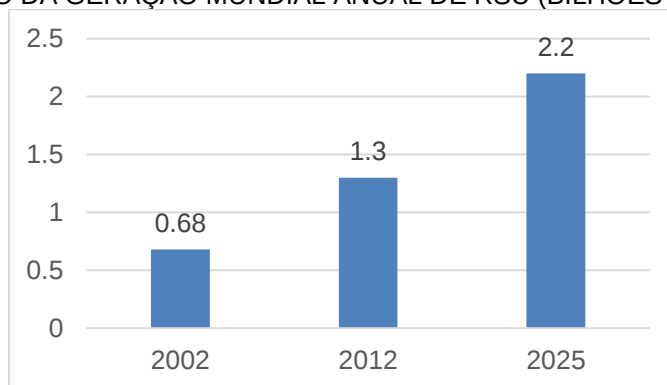
Neste capítulo serão apresentados dados sobre o gerenciamento de RSU, novos conceitos, exemplos de práticas de gestão em cidades reconhecidas por alta taxa de coleta de resíduos recicláveis, legislações brasileiras aplicáveis e cenários em relação aos resíduos sólidos recicláveis secos.

3.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº12.305/2010), o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos baseia-se no conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Estas atividades são operadas por meio de organizações formais e informais gerando diferentes cenários municipais de eficiência e organização quanto aos resíduos gerados.

Em 2002, existiam cerca de 2,9 bilhões de habitantes em centros urbanos com uma geração de resíduos aproximada de 0,64 kg/hab./dia, totalizando 0,68 bilhão de toneladas por ano. Em 2012 a população urbana aumentou para 3 bilhões de habitantes, gerando 1,2 kg/hab./dia e 1,3 bilhões de toneladas por ano. E para 2025, a projeção estima que serão 4,3 bilhões de habitantes gerando 2,2 bilhões de toneladas por ano (1,42 kg/hab./dia), vide GRÁFICO 1 (World Bank, 2012).

GRÁFICO 1 – HISTÓRICO DA GERAÇÃO MUNDIAL ANUAL DE RSU (BILHÕES DE TONELADAS)



FONTE: WHAT A WASTE. WORLD BANK (2012)

É preciso observar que toda atividade humana produz resíduos, por exemplo, indústrias de produção geram resíduos, o comércio gera resíduos, restaurantes geram resíduos, o transporte gera resíduos, e assim os serviços de coleta e disposição final de RSU são essenciais para a gestão sanitária dos municípios. As atividades de coleta e transporte para destinação final, na maioria das vezes são realizadas com veículos movidos a motores à combustão, e então tornam-se atividades geradoras de gases do efeito estufa (GEE) e como subprodutos da combustão de combustíveis fósseis. Ainda, o processo conta com o gasto necessário da extração e processamento de matéria prima para a geração de novos produtos, que poderia estar sendo reduzido através da reciclagem e reutilização dos materiais que estão sendo aterrados/incinerados incorretamente. (EPA, 2007)

A disposição final em aterros sanitários também é uma atividade fonte destes gases, pois a decomposição anaeróbia da matéria orgânica produz metano (CH_4), gás que, se comparado ao dióxido de carbono (CO_2), pode chegar a gerar 25x mais impacto como GEE num período equivalente a 100 anos. Isto ocorre devido ao fato de o CH_4 permanecer por mais tempo ativamente na camada atmosférica, absorvendo mais energia do que o CO_2 . (EPA, 2007)

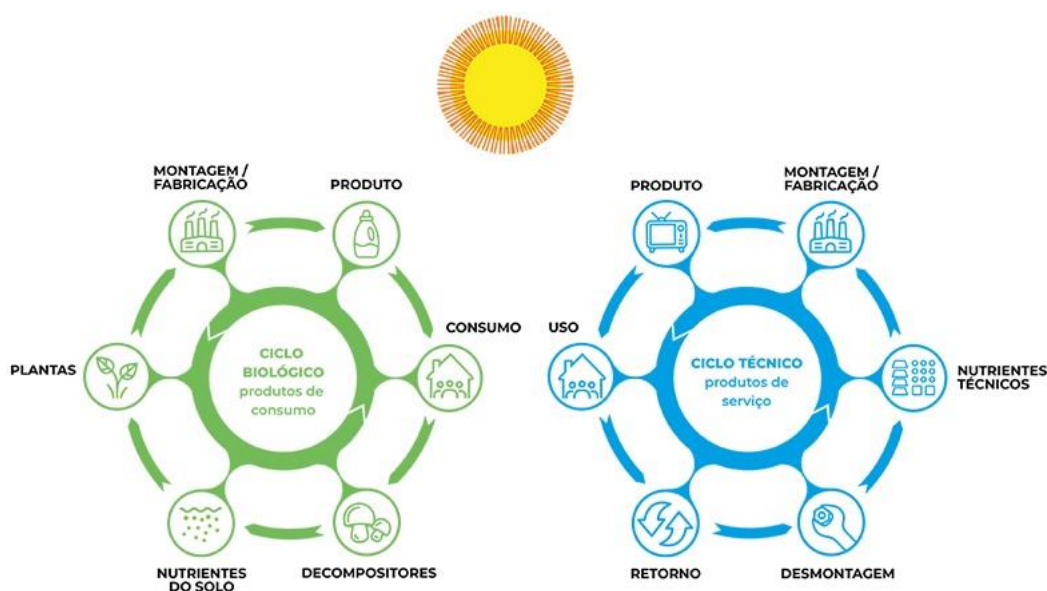
Segundo o manual elaborado por CEMPRE (2018), as ações prioritárias para um modelo de gerenciamento de resíduos devem ser: a) Incentivo a medidas que visem diminuir a geração de resíduos sólidos; b) Encaminhamento adequado para tratamento e/ou destinação final para todo o resíduo coletado; c) Busca por formas de segregação e tratamento para o resíduo do município, considerando que estas formas só darão resultados positivos e duradouros se responderem aos requisitos ambientais, econômicos e principalmente sociais; d) Fazer campanhas e implantar programas voltados à sensibilização e conscientização da população no sentido de manter a limpeza da cidade e bem-estar do meio ambiente.

3.1.1 Economia Circular

Atualmente, o sistema produtivo funciona de forma linear, o que não é sustentável devido ao grande acúmulo de resíduos, exploração excessiva de recursos etc. A matéria-prima é explorada, bens são produzidos e depois descartados. A obsolescência dos métodos gera resíduos que não recebem novos usos e se acumulam exponencialmente. A Economia Circular (EC) oferece benefícios ao nosso

meio ambiente e saúde pública, o que se traduz em benefícios para a sociedade (FIGURA 1). Partindo desta lógica, duas linhas de produtos são delimitadas: primeiro, o Ciclo Biológico que caracteriza os produtos de consumo como alimentos, limpeza, cosméticos e embalagens, que podem ser descartados diretamente e reutilizados; e, por segundo, o Ciclo Técnico de produtos de serviço como automóveis, máquinas de lavar, lâmpadas, televisões os quais são desenvolvidos pela indústria preparados para o reaproveitamento. No caso do Ciclo Técnico são definidos como produtos de serviço, pois o real valor para o usuário não está no produto em si, mas sim no serviço por ele prestado. (IDEIA CIRCULAR, 2018)

FIGURA 1 – CICLOS DA ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: IDEIA CIRCULAR (2018)

A Economia Circular (EC) surgiu como um conceito baseado na resiliência do sistema produtivo. Em contrapartida ao processo produtivo linear atual onde os produtos tem como destinação final aterros sanitários e usinas de incineração, na EC os produtos retornam para a indústria do reaproveitamento, assim como a matéria biológica depois que consumida volta a ser nutriente. A ideia principal propõe que o material percorra um processo fechado e “circular”, onde os resíduos gerados servirão de insumos para produção de novos produtos, evitando assim ao máximo o desperdício, reduzindo a poluição e geração de resíduos, maximizando o tempo de vida dos produtos e renovando os sistemas naturais. (Ellen MacArthur Foudation, 2019)

Como exemplo prático, aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos devem ser projetados de modo que, no pós-consumo, as empresas possam reutilizar, remanufaturar, ou reciclar todas as peças e componentes do produto. Porém o desafio da aplicação deste conceito em um ambiente urbano se dá pela alta taxa de geração de resíduos. Baseia-se também no conceito conhecido como C2C - “*cradle to cradle*” (do berço ao berço), onde o *design* de um produto é concebido visando a sua reutilização, servindo assim continuamente como material para um novo ciclo. (Luz, 2017).

Frente a isso, a economia circular é a ciência que repensa as práticas econômicas indo além dos três "R"s – Reduzir, Reutilizar e Reciclar – pois ela une o modelo sustentável com o ritmo tecnológico e comercial do mundo moderno, que precisa ser considerado. Segundo Ellen MacArthur Foudantion (2019), a transição para uma EC não se baseia apenas em reduzir os impactos do sistema produtivo linear, mas sim numa transição sistêmica que construa resiliência ao longo do tempo, gerando oportunidades econômicas e benefícios sócio ambientais.

Na Holanda, por exemplo, segundo a Luz (2017) o governo definiu em seu programa cinco principais intervenções para a implantação de uma Economia Circular: 1) Leis, regulamentações e medidas extrafiscais: reduzir barreiras legais, mas principalmente implementar leis que estimulem a inovação e apoiem investimentos; 2) Incentivos a mercados inteligentes: reduzir imperfeições e estimular mercados em direção a um uso aumentado de materiais reciclados e renováveis; 3) Financiamento: apoiar modelos de negócios circulares, que possuem uma análise de custo-benefício e um perfil de risco diferentes daqueles da economia linear; 4) Conhecimento e inovação: desenvolver e disseminar conhecimento e direcionar a inovação no sentido das três metas anteriormente citadas; 5) Colaboração internacional: criar condições e mercados que incentivem uma Economia Circular Global.

Teoricamente, a EC busca aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais, focando principalmente nos resíduos urbanos e industriais. O princípio da redução redireciona as tendências do mercado para a minimização da inserção de energia primária, matéria prima e assim resíduos. E isto ocorre por meio da otimização da eficiência no processo produtivo, inserção de novas tecnologias, produtos mais leves com embalagens simplificadas e educação para um consumo sustentável. (SU, HESHMATI, & GENG, 2013)

Cabe observar que, embora a migração para uma Economia Circular demande envolvimento dos diversos setores da economia, principalmente as indústrias de bens de consumo e de transformação, o setor de resíduos sólidos tende a ser protagonista nesse movimento. Tal afirmação decorre do fato de as empresas do segmento já possuírem relação de negócios com o poder público e os grandes geradores privados para gestão de resíduos, além de disporem da infraestrutura econômica para coleta e tratamento. (Klaus Fricke, 2015)

Segundo Luz (2017), a transição para uma EC envolve três metas estratégicas no uso da matéria-prima: 1) Uso otimizado das matérias-primas nas cadeias de produção existentes, levando à redução de demanda por materiais primários; 2) Preferência a matéria-prima recuperada devido as características sustentavelmente corretas, renováveis e amplamente disponíveis; 3) Desenvolvimento de métodos de produção e *design* de produtos inovadores e promoção de novas formas de consumo otimizando o ciclo de vida.

Nos últimos anos, pode-se observar uma diversificação nos tipos de projetos e buscas de soluções para o destino de resíduos, que antes eram concentrados em aterros sanitários, para formas de tratamento que permitam a valorização econômica, seja por meio da geração de energia elétrica, ou unidades de triagem para venda de materiais que possam ser reaproveitados na indústria, ou até tratamento de resíduos para posterior coprocessamento em cimenteiras.

Em nível global, as Nações Unidas instituíram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e estes possuem, em diferentes formas, características relacionadas à Economia Circular como por exemplo: dissociar crescimento econômico da deterioração ambiental; ampliar a eficiência no uso de recursos e tecnologias limpas na indústria; desenvolvimento urbano sustentável; redução de desperdício de alimentos; e prevenção de poluição da água. (Luz, 2017)

A Economia Circular é geralmente relacionada a reciclagem, porém deve ficar claro que das opções disponíveis num modelo circular, a reciclagem demonstra-se como a de menor prioridade sendo considerada menos sustentável do que as principais, que são Redução e Reutilização em termos de economia de recurso energético e eficiência. (Stahel, 2014)

3.1.2 Resíduo Zero – Zero Waste

Resíduo Zero (*Zero Waste*) é um conceito para a política de gestão de resíduos que possui como objetivo reduzir progressivamente a destinação para aterros sanitários e usinas de incineração, até atingir a meta zero através da hierarquia da redução da produção de resíduos (não geração, redução, reutilização, reciclagem e compostagem). Diversas cidades estão adotando e aplicando o conceito em suas diretrizes de gestão de resíduos urbanos, entre elas estão: São Francisco (EUA), Kamikatsu (Japão), Treviso (Itália), Canberra (Austrália), Ljubljana (Eslovênia). Em cada um destes lugares os planos apresentam diferenças de acordo com suas particularidades culturais, sociais, políticas e econômicas, mas sempre compartilhando dos objetivos de reaproveitamento que fazem parte da proposta Resíduo Zero (Manuel Strauch, 2008). Entretanto, transformar as atuais cidades consumidoras em cidades resíduo zero é um processo desafiador, o qual demanda novos ideais políticos e sociais através de novas estratégias de gerenciamento de resíduos para que seja alcançado um modelo de consumo sustentável. (Atiq Uz Zaman, 2011)

A prática do desenvolvimento sustentável exige equilíbrio nas considerações que se referem aos meios econômico, ambiental, tecnológico e social. O resíduo precisa ser valorizado antes da necessidade do seu reprocessamento, de modo que preferencialmente seja destinado à sua reutilização. Dentro destas ideias, os centros de recepção de resíduos sólidos precisam estar equipadas com estações de triagem, segregação e transferência capazes de direcionar os resíduos para as respectivas unidades, sejam a indústria, usinas de reciclagem, compostagem, ou aterros sanitários (Fudala-Ksiazek, Pierpaoli, Kulbat, & Luczkiewicz, 2016).

Na Alemanha, o conceito de poluidor-pagador foi proposto em 1976, com o Ato de Disposição de Resíduos (*Waste Disposal Act*) e mais tarde em 2008 no *Waste Directive* da União Europeia. Já o Japão implementou seu sistema resíduo zero em 1991 através da Lei do Uso Eficiente de Resíduos Recicláveis (IES, 2015).

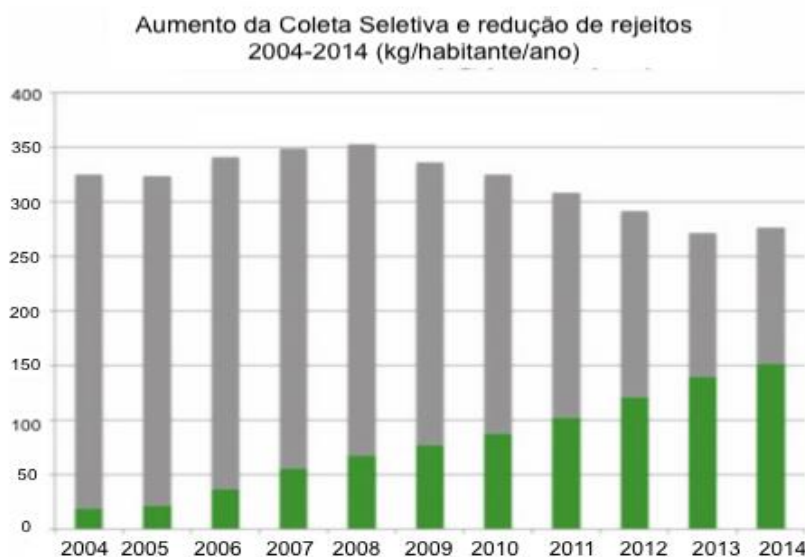
O *Zero Waste* é um instrumento econômico o qual regula o modo em que os produtores lidam com o ciclo de vida dos recursos e produtos em relação ao reuso e reciclagem pós consumo. Com a proposta de poluidor-pagador a responsabilidade reside integralmente nos produtores, os quais detêm o poder do desenvolvimento de meios facilitadores e/ou produtos com um material e *design* que facilite a sua reutilização para a indústria, a fim de distribuir a metodologia de reaproveitamento por toda a cadeia de consumo e assim recuperar os resíduos produzidos. Este modelo

traz soluções que desenvolvem melhorias até que metas desejáveis sejam alcançadas, ao contrário do atual modelo onde os resíduos são preferencialmente aterrados ou incinerados. (Shin-ichi Sakai, 2011; Lindhqvist, 2000)

Ações como a reutilização, reciclagem e compostagem são essenciais para alcançar altos níveis de reaproveitamento exigidos por uma cidade *Zero Waste*. O aumento da geração de resíduos está diretamente vinculado a melhora da qualidade de vida e crescimento do poder aquisitivo da população. A sustentabilidade no gerenciamento de resíduos pode ser definida como o objetivo que, independente do caminho, irá resultar na redução do montante de resíduos produzidos contribuindo para um desenvolvimento econômico sustentável. (MUKHTAR, WILLIAMS, et al., 2016)

Um exemplo é a capital da Eslovênia, entre os anos de 2004 e 2014, ao inserir a segregação de materiais na fonte junto a um processo de coleta seletiva conseguiu reduzir em 59% os rejeitos produzidos pela população, alcançou 61% de taxa de reaproveitamento e ainda reduziu 15% a geração total em dez anos como apresenta o Gráfico 2.

GRÁFICO 2 – EVOLUÇÃO DA TAXA DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS EM LJUBLJANA (ESLOVÊNIA)



FONTE: Zero Waste Europe (2018)

3.2 MODELOS DE COLETA

3.2.1 Segregação e Coleta em 3 (três) Categorias

Em São Francisco, Califórnia, a empresa *Recology* presta serviço para a cidade sendo responsável por toda coleta e destinação dos resíduos gerados através de um sistema de coleta de 3 (três) categorizações de resíduos (FIGURA 2):

- 1) Verde, para os resíduos compostáveis.
- 2) Azul, para os resíduos recicláveis secos; e
- 3) Preto para os descartes destinados ao aterro sanitário.

A partir de uma lei, que entrou em vigor em 2009 e inclui comerciantes e moradores de São Francisco, a empresa conseguiu evitar de dispor aproximadamente 80% dos resíduos destinados aos aterros através do incentivo à reciclagem e à compostagem. São Francisco também banuiu produtos ambientalmente perigosos como sacolas e isopor para embalagens. (Recology, 2018).

FIGURA 2 – RECOLOGY: RECIPIENTES DIFERENCIADOS DESTINADOS ÀS TRÊS CATEGORIAS DE COLETA: RESÍDUOS COMPOSTÁVEIS (VERDE), RESÍDUOS RECICLÁVEIS SECOS (AZUL) E REJEITOS DESTINADOS A ATERRO (PRETO)



FONTE: RECOLOGY (2018)

O modelo de separação definido pela empresa de coleta de resíduos sólidos urbanos de São Francisco é simples, facilitando a disposição realizada pela população, deste modo a etapa da segregação e triagem fica sobre responsabilidade da unidade de reciclagem. A unidade de reciclagem que atende a cidade detém um sistema de separação mecanizada (magnética e óptica) capaz de processar de 40 a

45 toneladas de resíduos por hora. Enquanto o resíduo orgânico é destinado a unidades de compostagem e os rejeitos destinados a aterros sanitários. (CNBC, 2018)

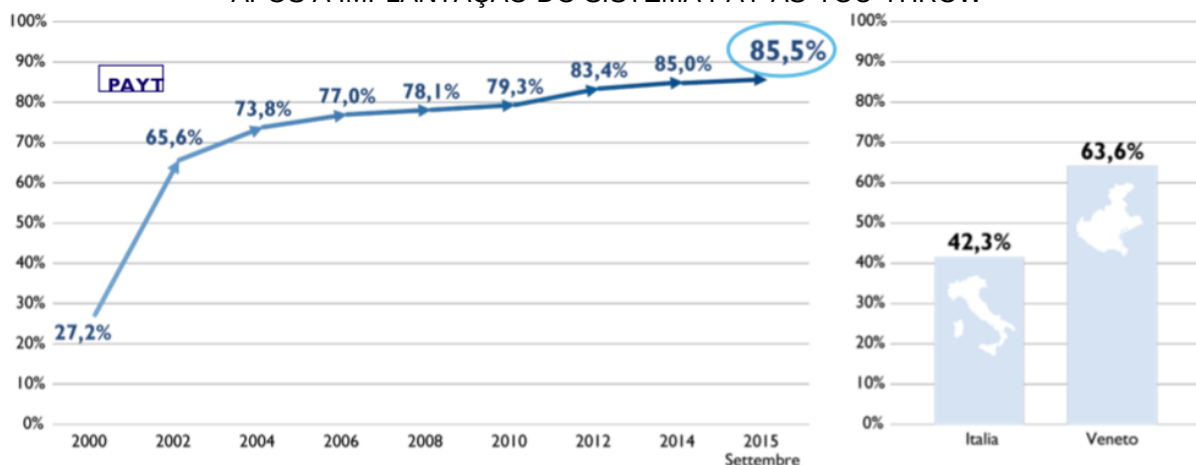
3.2.2 Pay-As-You-Throw – PAYT

O Sistema “Pay-As-You-Throw” – PAYT funciona como uma ferramenta onde a taxa cobrada pela coleta é realizada de acordo com o volume de resíduo gerado por cada indivíduo. Trata-se de um instrumento econômico-financeiro mais justo, o qual fomenta o acréscimo da separação dos resíduos valorizáveis, através de um método onde a cobrança é realizada por taxas variáveis conforme o resíduo descartado, e pode-se incentivar quem produz menos e recicla mais (AMBIRUMO, 2017).

Em geral, o custo da gestão de resíduos cobrado pelos sistemas tarifários não representa diretamente a prestação do serviço de acordo com o volume gerado. Desta forma, o mecanismo PAYT apresenta-se eficaz em relação a prevenção, redução e reciclagem de resíduos, ao mesmo tempo em que se aplica o princípio de justiça e equidade no pagamento. A introdução do sistema constitui um fator importante para a mudança do paradigma atual e deve contribuir como um instrumento para a gestão de resíduos onde é repassado para o cidadão o valor de acordo com o serviço em que lhe foi prestado evidenciando o princípio da PNRS de poluidor-pagador e também incentiva a uma mudança para hábitos mais sustentáveis. (AMBIRUMO, 2017).

Alguns exemplos de implementação de sistema PAYT na Itália ajudaram a desenvolver melhores taxas de reciclagem e redução na quantidade de rejeitos produzidos. Treviso, que pertence à região de Vêneto, passou a reciclar 85% dos resíduos coletados com a implantação do sistema; antes disso a taxa de reciclagem era de apenas 27% (GRÁFICO 3). Além de reduzir em 75% os volumes de rejeitos gerados. (Contarina Spa, 2015).

GRÁFICO 3 – EVOLUÇÃO DA PORCENTAGEM DE RECICLAGEM EM TREVISO, ITÁLIA, EM 2015, APÓS A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PAY-AS-YOU-THROW

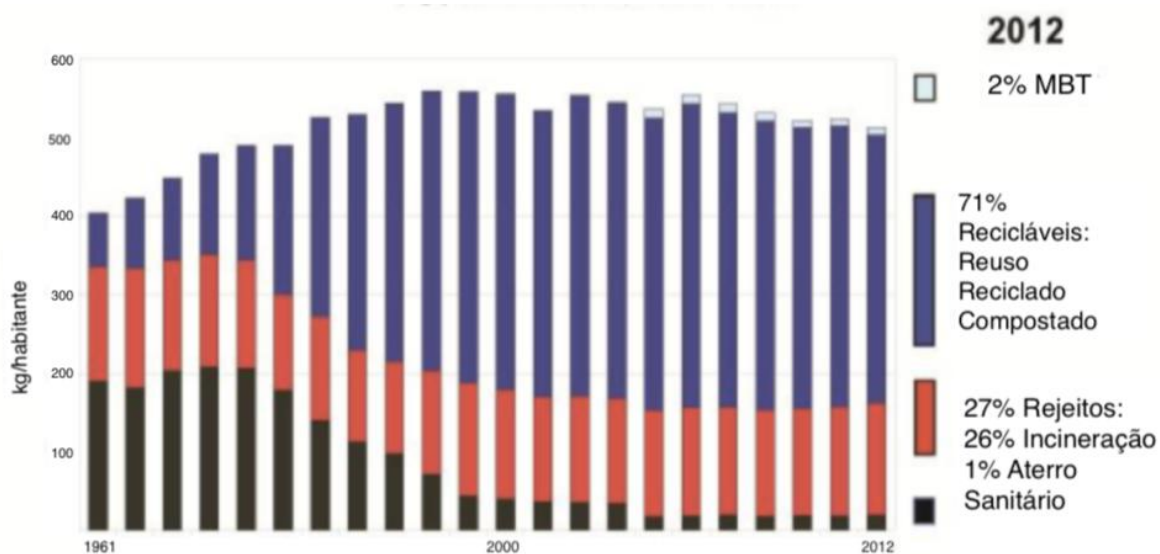


FONTE: CONTARINA SPA (2015)

Em estudo realizado também em Treviso, Itália, a taxa de resíduos separados apresentou aumento de 14% e a taxa de resíduos não separáveis (rejeitos) reduziu em 25%. Porém, a implementação do PAYT não resultou em impactos à longo prazo em relação ao volume total de geração pela região. Ou seja, pela implementação do sistema PAYT, não se obteve sucesso quanto a redução da taxa de geração de resíduos a longo prazo, então é preciso que novas políticas sejam implantadas como planos de prevenção e minimização, regularização de taxas, etc. (Alessandro Buccioli, 2015)

Já em Flandres, região norte da Bélgica, o uso de sacos pré-pagos como sistema PAYT elevou a taxa de reciclagem para 71% e reduziu o volume gerado anualmente para 149 kg/hab./ano e para tal conquista, utilizou-se de taxas variáveis dependendo do resíduo coletado. Por exemplo, o rejeito e resíduo orgânico são materiais coletados que detêm a maior taxa de coleta, isto se deve em função do incentivo a busca de alternativas como a compostagem local. Já para os resíduos recicláveis, como embalagens plásticas, metais e Treta-Pak, estas possuem menores taxas a fim de incentivar a separação e a reciclagem, para serviços de coleta de papelão, garrafas de vidro e tecidos nenhuma taxa é cobrada. O GRÁFICO 4 representa a disposição final dos resíduos produzidos na região de Flandres entre os anos de 1991 e 2012, assim, no ano de 2012, 71% dos resíduos foram recuperados através do reuso, reciclagem e compostagem, 26% para incineração, 2% para o *Mechanical Biological Treatment* (MBT) e menos de 1% para aterros (Regions4Recycling, 2014).

GRÁFICO 4 – GERENCIAMENTO RSU EM FLANDRES: 1991 – 2012



FONTE: Regions4Recycling (2014)

Em estudo realizado no Reino Unido, buscou-se alternativas que implementassem medidas de incentivo a reciclagem por meios alternativos que consistem em pagamentos ou recompensas fornecidas para quem recicla corretamente, como retorno de “vouchers” ou de descontos na tarifa de coleta. Mesmo com estes modelos de incentivo, o comportamento e a participação da população ainda são fundamentais, pois propostas que incentivem a reciclagem tendem a atingir apenas a parcela da população que realmente se importa e dedica tempo as tarefas de segregação, enquanto o sistema PAYT atinge a população como um todo, estimulando os habitantes e evidenciando a verdadeira importância da destinação correta dos resíduos gerados. (Bio Intelligent Service, 2012).

3.2.3 Coleta de Resíduos Recicláveis por Contêiner

Segundo Ni-Bin Chang (2000), as estratégias de gerenciamento de resíduos sólidos devem se reorganizar a fim de obter melhores resultados na reciclagem, recuperação e reuso dos materiais. Em geral, três objetivos devem ser considerados quanto aos centros de coleta e as rotas de coleta para melhor aproveitamento do sistema: 1) atingir o máximo de habitantes através dos centros de coleta; 2) minimização da distância percorrida pela população para o descarte; 3) minimização da distância total percorrida pelos veículos da coleta seletiva.

O relatório produzido pela *International Solid Waste Association* (ISWA, 2004), levantou informações referentes ao desenvolvimento dos modelos de coleta em diferentes cidades e avaliou a infraestrutura quanto à segregação dos resíduos, e ao tipo de coletores e veículos de coleta utilizados em cada cidade.

O documento demonstra que, na grande maioria das cidades avaliadas, contêineres para coleta é o método mais utilizado devido as suas vantagens. O seu uso, além de padronizar, eleva a eficiência do sistema, promove maior higiene pelo fato dos resíduos não ficarem expostos nos passeios, aumenta a segurança dos operadores da coleta e facilita a compreensão pública frente a cobrança de taxa de coleta de modo que ela pode ser feita de acordo com o volume do contêiner descarregado. Porém, há o custo físico devido ao espaço ocupado pelos contêineres em centros urbanos, onde existem muitas vias públicas que não dispõem de locais disponíveis devido a falta de espaço útil em passeios. Perante estas restrições de espaço, há o modelo de coleta subterrâneo, que pode ser uma alternativa de maior custo, porém mais adequada considerando manter o tráfego dos passeios e ruas e também minimizar os odores e o vandalismo (ISWA, 2004; ISWA, 2013).

Visando melhorar e automatizar os serviços de coleta, estes modelos de manejo de resíduos precisam acompanhar o desenvolvimento das tendências globais, as quais indicam que o foco estará na ampla utilização de ferramentas e métodos de análise de sistemas integrados de gerenciamento com Global Position System (GPS), Sistema Informação Geográfica (SIG), e *Radio Frequency Identification* (RFID) que irão direcionar os sistemas de gestão municipal para modelos mais sustentáveis nas chamadas *Smart Cities* (Cidades Inteligentes). (JIA-WEI LU, 2013)

Um estudo de caso realizado na região centro-litoral de Portugal (Teixeira, Antunes, & Sousa, 2004), apresenta o planejamento da coleta de resíduos recicláveis através de ferramentas como o software Quantum GIS (QGIS) para calcular distâncias percorridas, rotas e locais para dispor os centros de coleta pública. Através da metodologia desenvolvida foi possível observar reduções nas distâncias percorridas globais para cada tipo de resíduo de acordo com a TABELA 1.

TABELA 1 – REDUÇÃO GLOBAL NA DISTÂNCIA PERCORRIDA PARA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

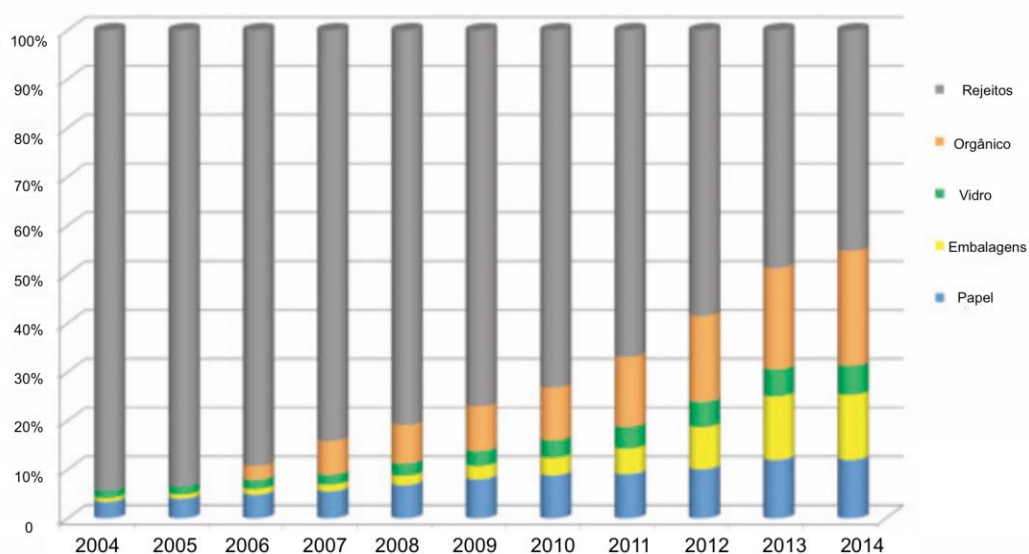
Tipo de Resíduo	Redução da Distância Percorrida Global [km]			Porcentagem de Redução
	Distância Histórica	Distância Computada	Redução da Distância	
Vidro	10192	8947	1245	12%
Papel	9919	5691	4228	43%
Plástico/Metal	6534	4369	2165	33%
Total	26645	19007	7638	29%

FONTE: TEIXEIRA, ANTUNES e SOUSA (2004)

Os modelos de rota de veículos contribuem para soluções através do cálculo de previsão para menores distâncias percorridas, e menor quantidade de veículos em circulação, consequentemente assim reduzindo os impactos ambientais resultantes da atividade de coleta. Por meio da análise dos volumes gerados de RSU são obtidos dados para a gestão da coleta. No caso das categorias papel/papelão e plástico/metall, foram obtidos resultados de frequências de coletas menores do que a frequência histórica. Já para o vidro, as taxas de frequência demonstraram se maiores devido ao prazo de coleta mínimo imposto de quatro semanas, maior do que o praticado pela coleta em vigor. (Teixeira, Antunes, & Sousa, 2004).

No caso da capital da Eslovênia, Ljubljana, através da implantação de um modelo de coleta via contêineres com separação dos materiais na fonte e redução nos períodos de coleta, em dez anos a quantidade de materiais destinados a reciclagem por habitante passou de 16 kg em 2004 para 145 kg em 2014. Do total de resíduos gerados pela população, 61% do montante é reciclado ou compostado, como mostra o GRÁFICO 5 (Zero Waste Europe, 2018).

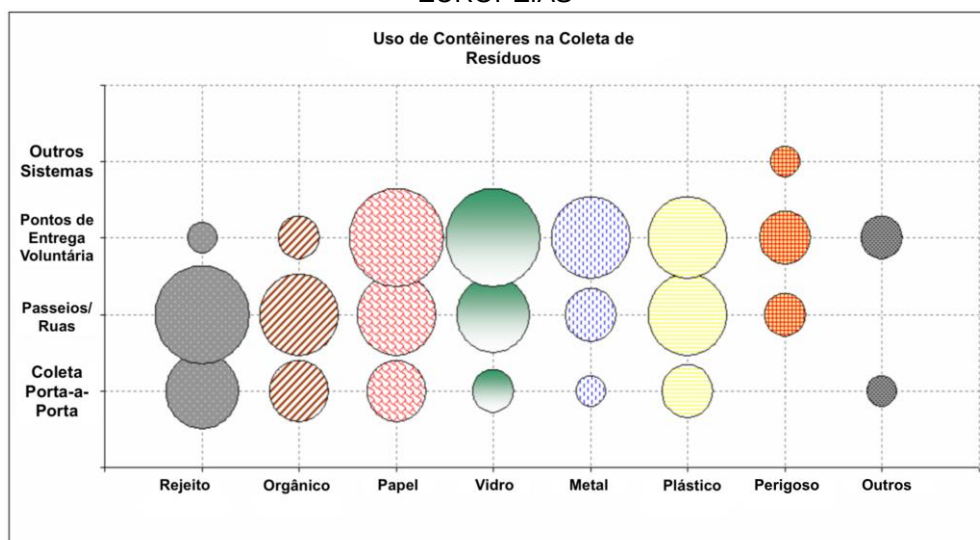
GRÁFICO 5 – EVOLUÇÃO DA COLETA SELETIVA EM LJUBLJANA – ESLOVÊNIA



FONTE: Zero Waste Europe (2018)

Nota-se então que, ao avaliar os modelos das principais cidades do estudo (ISWA, 2004), a coleta de materiais recicláveis ocorre majoritariamente através contêineres em centros de entrega voluntária e disposição em coletores nas calçadas como apresenta o GRÁFICO 6, onde os maiores círculos representam maior quantidade de cidades que adotam tal meio para coleta de resíduos, provando que a consciência da reciclagem reflete na aceitabilidade e eficiência do método. Os resíduos perigosos também se utilizam do mesmo tipo: ou seja, coletores dispostos no passeio, enquanto os resíduos orgânicos e rejeitos, apesar de também se utilizarem do mesmo método, são principalmente coletados de maneira completa: porta-a-porta.

GRÁFICO 6 – UTILIZAÇÃO DE CONTÊINERES NA COLETA DE RESÍDUOS EM CIDADES EUROPEIAS



Fonte: ISWA (2004)

O modelo de coleta de resíduos utilizando contêineres se mostra interessante para regiões de alta densidade demográfica, tendo algumas capitais europeias como Ljubljana (Eslovênia), Viena (Áustria), Copenhague (Dinamarca), que utilizam do sistema. Apesar dos modelos de coleta serem praticados por contêineres, a separação dos resíduos coletados varia de acordo com a cidade avaliada, algumas como Viena possuem uma separação na fonte mais rigorosa, enquanto outras cidades como Madrid separam os recicláveis em 3(três) categorias (Papel/Papelão, Vidro, e Embalagens Metálicas/Plásticas). (ISWA, 2004).

Segundo o estudo realizado nas capitais da União Europeia-EU, cidades que introduziram a separação de resíduos na fonte conseguiram aumentar os seus níveis de reciclagem. Além da separação, a coleta porta-a-porta também melhora a taxa de coleta dos recicláveis, porém a maioria das cidades apresentam centros de entrega voluntária de resíduos. Algumas cidades a fim de reduzir o volume de coletores, utiliza de coletores compartilhados para as embalagens plásticas e metálicas devido ao baixo risco de contaminação entre os dois materiais. (Nicole Seyring, 2016)

Outro exemplo é a cidade de Barcelona, Espanha, que adotou em 1992 um sistema de coleta subterrânea de resíduos através de dutos a vácuo, o qual reduz o uso de caminhões coletores pelas áreas urbanas e reduz o custo operacional. (ISWA, 2013). De acordo com o Relatório elaborado pelo Área Metropolitana de Barcelona (AMB, 2016), órgão responsável pela coleta da Área Metropolitana de Barcelona, a cidade catalã segrega os resíduos recicláveis secos na fonte em três categorias,

Papel/Papelão (Amarelo), Embalagens Plástico/Metal e Embalagens “TetraPak” (Azul), e Vidro (Verde). Na FIGURA 3, além dos resíduos recicláveis secos são apresentados os coletores de resíduos orgânicos (marrom) e rejeitos (cinza).

FIGURA 3 – CONTÊINERES RECICLÁVEIS EM BARCELONA (PAPEL/PAPELÃO, VIDRO, EMBALAGENS METAL/PLÁSTICO/PAPEL, ORGÂNICO E REJEITOS)



Fonte: (AMB, 2016)

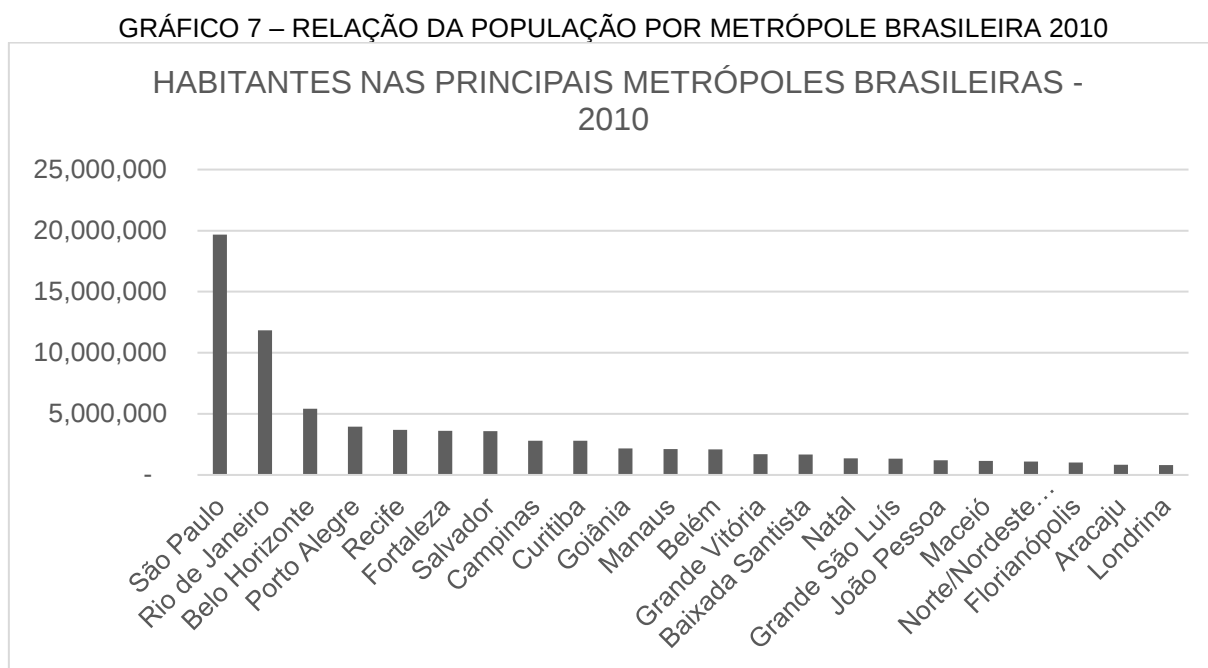
Deste modo pode-se observar que, independente do tipo de separação dos resíduos, as cidades reconhecidas devido a sua alta taxa de separação e reciclagem utilizam de contêineres para o sistema de coleta. A coleta containerizada pode ser também por meio de coletores subterrâneos, que além de não atrapalhar os passeios, minimiza os maus odores.

3.3 PANORAMA BRASILEIRO

A geração de resíduos sólidos nas cidades brasileiras é atualmente uma situação inevitável, que ocorre diariamente em quantidades e composições que variam conforme o nível de desenvolvimento econômico, populacional e os diferentes hábitos. Os sistemas de limpeza urbana são serviços de competência municipal e devem promover a coleta, o tratamento e a destinação ambiental e sanitária de forma correta e segura dos resíduos gerados. Tal tarefa passa a ser desafiadora aos órgãos gestores devido às limitações financeiras (orçamentos inadequados, fluxos de caixa desequilibrados, tarifas desatualizadas, arrecadação insuficiente e inexistência de linhas de crédito específicas), a deficiência na capacitação técnica e profissional, a descontinuidade política e administrativa e ausência de controle ambiental. (CEMPRE, 2018).

De acordo com o GRÁFICO 7, elaborado pelo último censo do IBGE (2010), podemos observar situação populacional das metrópoles brasileiras, tendo São Paulo

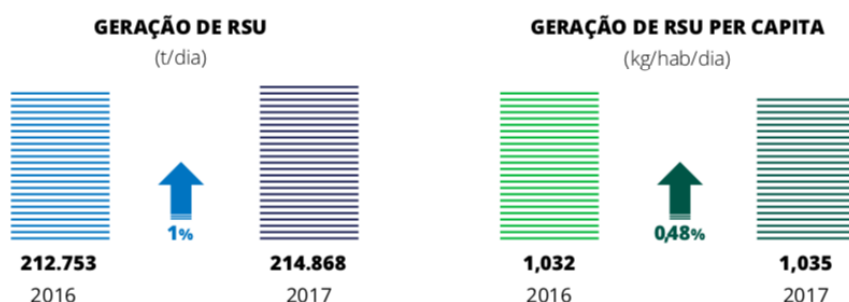
(SP) e Rio de Janeiro (RJ) como centros urbanos mais populosos do país: SP com 19 milhões de habitantes e RJ com 12 milhões de habitantes. Em seguida estão Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Fortaleza, Salvador, Campinas e então Curitiba com 2,8 milhões de habitantes.



Fonte: IBGE (2010)

Segundo o Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil emitido pela ABRELPE (2017), enquanto a população brasileira obteve um crescimento de 0,75% entre 2016 e 2017, a geração de RSU per capita apresentou aumento de 0,48% no mesmo período. O total de geração de resíduos cresceu 1%, atingindo um montante de 214.868 toneladas diárias no país (GRÁFICO 8), o equivalente a 78,4 milhões de toneladas geradas no ano.

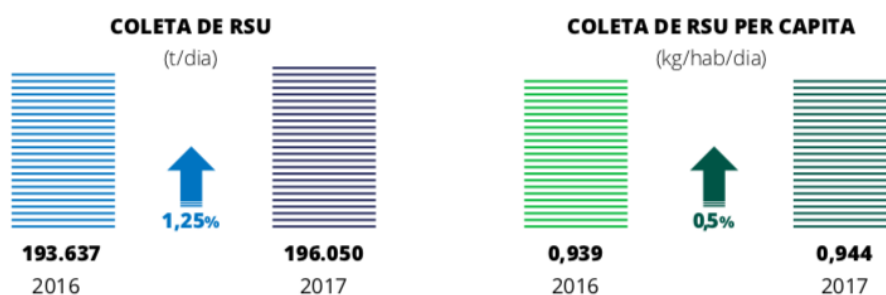
GRÁFICO 8 – GERAÇÃO DE RSU NO BRASIL



FONTE: ABRELPE (2017)

Ainda de acordo com o relatório da ABRELPE (2017), a quantidade de resíduos coletados no ano de 2017 apresentou crescimento em todas as 5 regiões brasileiras em comparação ao ano anterior com uma cobertura de coleta de 91%. Segundo o GRÁFICO 9, foram coletadas 196 mil toneladas por dia, representando um acréscimo de 1,25% na coleta de RSU. Analisando os dados referentes a geração e a coleta pode-se constatar que 8,8% (0,091 kg/hab./dia) do RSU não são coletados e representam o montante de 6,8 milhões de toneladas de resíduos no ano.

GRÁFICO 9 – COLETA DE RSU NO BRASIL



FONTE: ABRELPE (2017)

Segundo os dados apresentados no QUADRO 1, que inclui os estados participantes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), observa-se que ocorreu uma redução na coleta per capita em todos os estados brasileiros entre os anos de 2015 e 2016. Nos estados da região Norte observaram-se reduções expressivas na massa coletada per capita; em Alagoas, por exemplo,

caiu de 1,95kg/hab./dia para 1,17kg/hab./dia, redução de 40,3%, porém ainda representa valores acima da média nacional de 0,94 kg/hab./dia.

Considerando as informações da coleta de RSU no Brasil referentes a massa total coletada, temos para o ano de 2016, a geração de 0,939kg/hab./dia (ABRELPE, 2017) e 0,935 kg/hab./dia (SNIS, 2016).

QUADRO 1 – MASSA COLETADA (RDO+RPU) * PER CAPITA DOS MUNICÍPIOS PARTICIPANTES EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO URBANA, SEGUNDO ESTADO DA FEDERAÇÃO ENTRE 2013 – 2016

Sigla	Estado	Quantidade de municípios participantes				Indicador médio <i>per capita</i> em relação à pop. urbana (I/NO21)				Variação 2016/ 2015
						(kg/hab./dia)				
		2013	2014	2015	2016 *	2013	2014	2015	2016 *	
AC	ACRE	12	10	9	13	0,75	1,23	1,06	0,99	-6,6%
AL	ALAGOAS	39	46	37	43	1,57	1,21	1,95	1,17	-40,3%
AP	AMAPÁ	5	5	6	6	0,5	0,60	0,65	0,94	45,4%
AM	AMAZONAS	30	30	24	25	1,22	1,28	1,36	1,15	-16,0%
BA	BAHIA	196	220	187	197	1,02	1,03	1,02	0,99	-2,6%
CE	CEARÁ	92	101	97	97	1,58	1,69	1,56	1,37	-12,0%
DF	DISTRITO FEDERAL	1	1	1	1	1,86	1,63	0,88	0,83	-5,6%
ES	ESPÍRITO SANTO	49	59	56	62	0,88	0,91	1,07	0,85	-20,1%
GO	GOIÁS	141	151	136	150	0,99	1,00	0,98	0,92	-5,5%
MA	MARANHÃO	78	76	68	69	1,13	1,12	0,91	0,85	-6,8%
MT	MATO GROSSO	66	63	58	67	0,97	1,16	1,05	1,07	2,1%
MS	MATO GROSSO DO SUL	57	60	53	54	1,02	1,49	1,00	0,97	-2,2%
MG	MINAS GERAIS	583	597	580	614	0,81	0,83	0,83	0,81	-3,3%
PA	PARÁ	74	76	82	56	1,1	1,10	1,07	0,96	-10,1%
PB	PARAÍBA	134	154	140	133	0,79	0,81	1,01	1,00	-1,0%
PR	PARANÁ	312	320	310	322	0,84	0,84	0,85	0,83	-1,9%
PE	PERNAMBUCO	74	88	80	84	1,13	1,19	1,09	1,09	-0,3%
PI	PIAUÍ	75	87	78	77	1,29	1,32	1,37	1,18	-14,0%
RJ	RIO DE JANEIRO	61	67	60	64	1,17	1,28	1,20	1,14	-4,9%
RN	RIO GRANDE DO NORTE	68	79	73	79	1,28	1,26	1,28	1,12	-12,4%
RS	RIO GRANDE DO SUL	388	396	375	395	0,8	0,84	0,86	0,79	-7,5%
RO	RONDÔNIA	22	25	20	27	1,02	0,81	1,00	0,73	-26,9%
RR	RORAIMA	5	4	3	5	2,08	1,39	1,69	1,68	-0,7%
SC	SANTA CATARINA	226	232	225	244	0,81	0,80	0,81	0,80	-1,7%
SP	SÃO PAULO	528	554	523	542	0,92	1,00	0,91	0,86	-5,3%
SE	SERGIPE	47	45	26	43	1,1	1,21	1,13	1,06	-6,0%
TO	TOCANTINS	78	90	89	69	0,89	0,96	0,98	0,74	-25,0%
TOTAL DE MUNICÍPIOS		3.441	3.636	3.396	3.538	1.006	1.051	1.002	0.935	-6,7%

*RDO: RESÍDUO DOMICILIAR; RPU: RESÍDUO DE LIMPEZA PÚBLICA

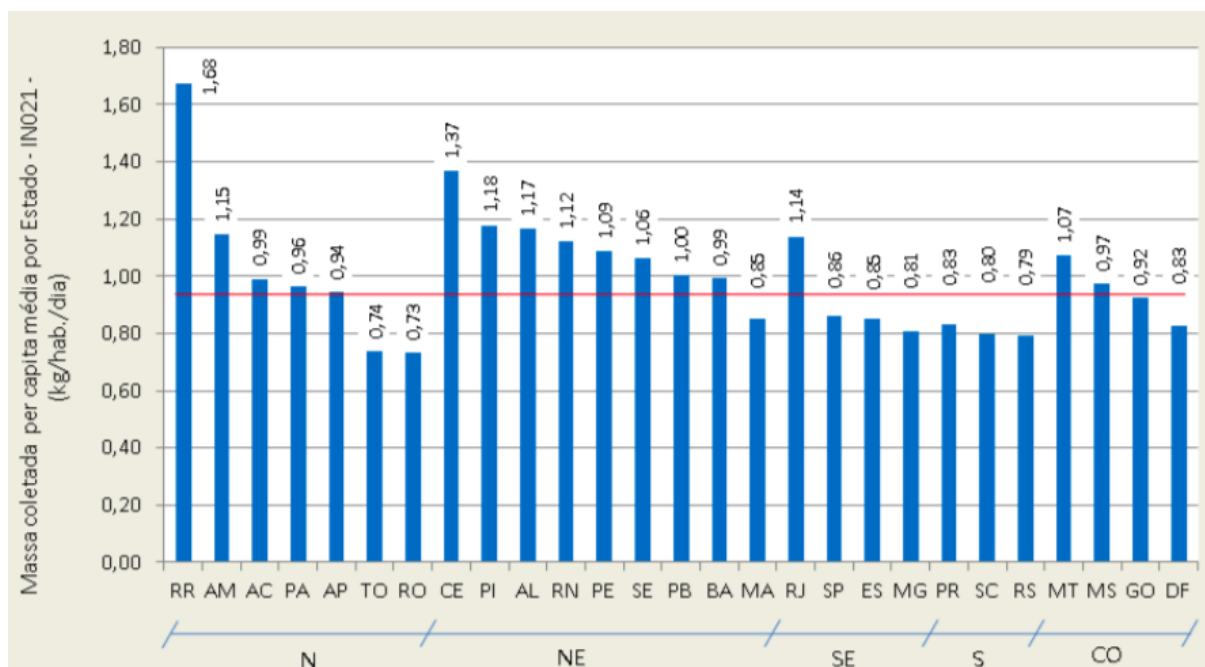
FONTE: SNIS (2016)

De acordo com o GRÁFICO 10 nota-se que os estados da região Sul e Sudeste possuem massa coletada de resíduos por habitante aproximadamente de 0,81 kg/hab./dia, valor abaixo da média nacional, exceto pelo Rio de Janeiro que coletou 1,14kg/hab./dia. O estado do Paraná com a representação de 322 (80,7%) dos 399 municípios, obteve redução de 1,9% no volume de coleta entre os anos de 2015 e 2016, coletando 0,83 kg/hab./dia.

No âmbito nacional, nota-se que houve redução na massa total coletada. Uma vez que os dados referentes a coleta de resíduos ainda não são completamente confiáveis, esta redução pode ser explicada por redução na geração de resíduos, ou também podem ser explicados por fatos como a presença de mais aterros sanitários na região Sul e Sudeste influenciam no rigor de controle da coleta de resíduos, a

variação da atuação do setor informal também pode influenciar os dados relacionados a coleta de RSU (SNIS, 2016).

GRÁFICO 10 – MASSA COLETADA (RDO+RPU) * PER CAPITA EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO URBANA, SEGUNDO ESTADO DA FEDERAÇÃO EM 2016



*RDO: RESÍDUO DOMICILIAR; RPU: RESÍDUO DE LIMPEZA PÚBLICA
 FONTE: SNIS (2016)

No Brasil, em 2017 foram coletados 71,6 milhões de toneladas de resíduos e conforme o GRÁFICO 11, 59,1% (42,3 milhões de toneladas) do montante coletado é disposto em aterros sanitários, enquanto 40,9% (29 milhões de toneladas) é destinado a lixões ou aterros controlados. Somando a quantidade de resíduos administrados pelas prefeituras brasileiras, foram gerenciados aproximadamente 117 milhões de toneladas de RSU em 2017, e para tal prestação de serviço foi arrecadado em média R\$10,37 por habitante por mês, o que demonstra um valor subdimensionado que não sustenta economicamente os serviços básicos oferecidos a população. (ABRELPE, 2017)

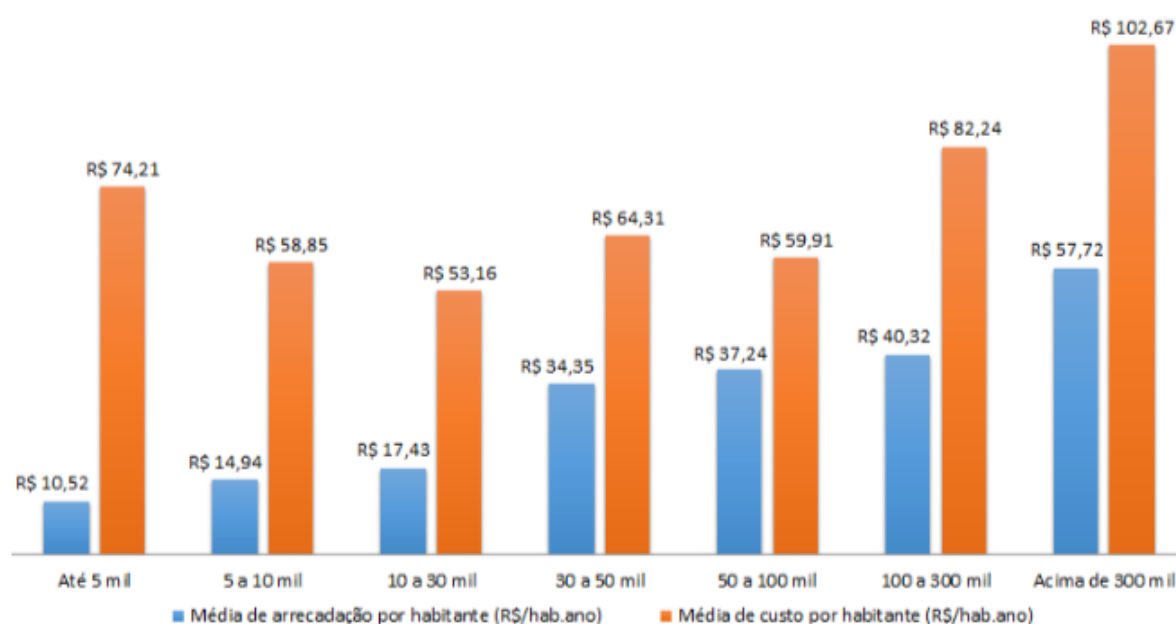
GRÁFICO 11 – DESTINAÇÃO FINAL RSU NO BRASIL



FONTE: ABRELPE (2017)

Segundo o GRÁFICO 12, elaborado pelo SNIS (2015), quanto menor a faixa populacional do município, mais frequente é a ocorrência de déficit dos valores de manejo de RSU e mais evasiva é a relação entre o valor arrecadado e gasto entre os municípios. Deste modo, fortalece-se a estratégia de formação de consórcios para gestão compartilhada de resíduos pelas municipalidades (PERS, 2017).

GRÁFICO 12 – VALORES ARRECADADOS E CUSTOS ENVOLVIDOS NO GERENCIAMENTO DE RSU POR HABITANTE



FONTE: SNIS (2015)

Quanto ao serviço de coleta seletiva, pelo segundo ano consecutivo houve redução no número de municípios brasileiros que praticam o serviço: no ano de 2016, de acordo com os dados do QUADRO 2 elaborado pelo SNIS (2016), apenas 21,8% (1215) dos 5570 municípios brasileiros contam com o serviço de coleta seletiva, ante a 1256 municípios com coleta em 2015. Tal resultado apresenta regresso nos serviços

praticados pelos municípios sendo um dos principais serviços básicos a serem oferecidos pelas administrações urbanas. Resultado que contraria as diretrizes definidas pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei nº12.305/2010), que será abordada no tópico 3.4.

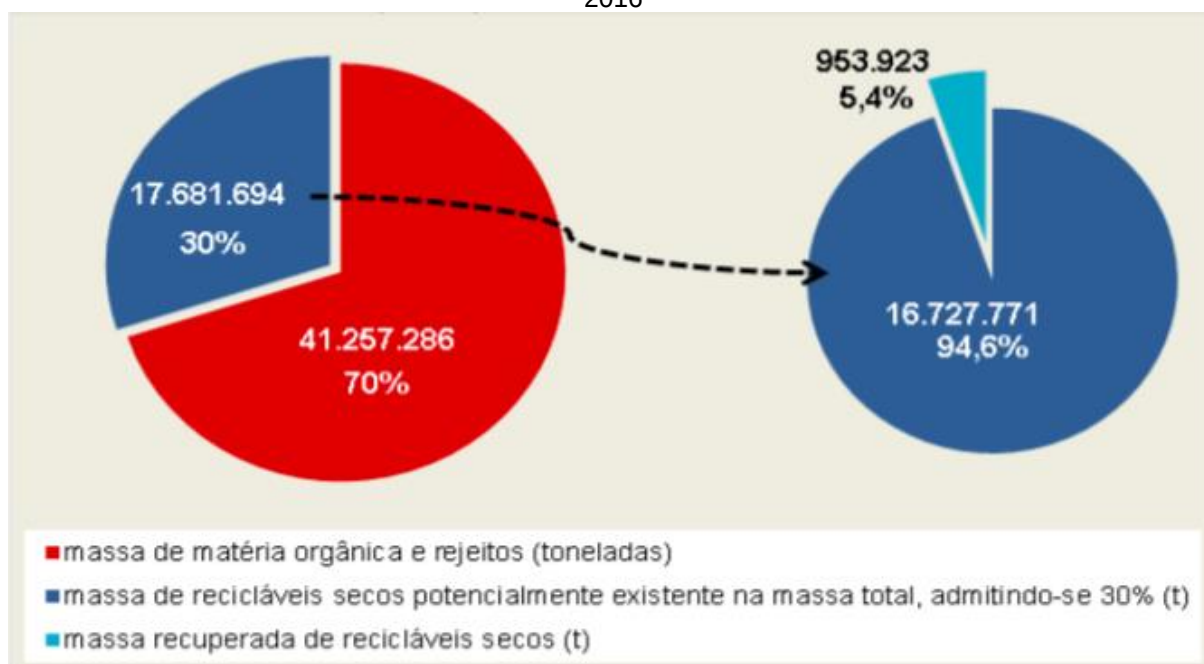
QUADRO 2 – EXISTÊNCIA DE COLETA SELETIVA DE RECICLÁVEIS SECOS NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Situação quanto à existência de coleta seletiva de recicláveis secos (campo CS001)	Quantidade de de municípios			Em percentuais (%)		
	Ano 2014	Ano 2015	Ano 2016	Ano 2014	Ano 2015	Ano 2016
Municípios COM col. seletiva	1.322	1.256	1.215	23,7	22,5	21,8
Municípios SEM col. seletiva	2.443	2.264	2.455	43,9	40,6	44,1
Sem informação	1.805	2.050	1.900	32,4	36,8	34,1
Total	5.570	5.570	5.570	100,0	100,0	100,0

FONTE: SNIS (2016)

De acordo com o GRÁFICO 13, apenas a parcela de 5,4% (0,95 milhões de toneladas) do total de materiais recuperáveis coletado (17,7 milhões de toneladas) foi recuperada. Índice extremamente baixo levando em conta os recursos destinados a coleta e triagem dos RSU.

GRÁFICO 13 – ESTIMATIVA DA MASSA EFETIVA E RECUPERADA DE RECICLÁVEIS SECOS EM 2016

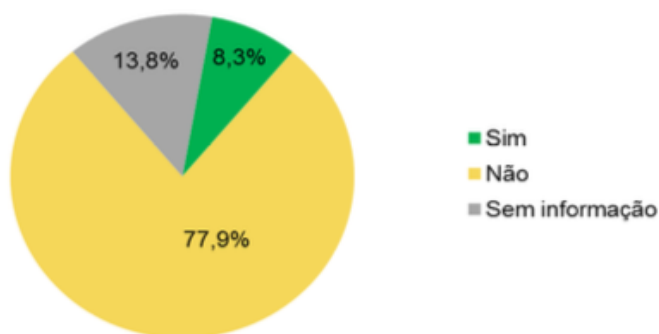


FONTE: SNIS (2016)

Tais valores são decorrentes também da falta de conhecimento da população e o baixo engajamento, que é necessário, das figuras públicas junto aos cidadãos para com projetos e ações de recuperação dos resíduos gerados. No entanto, esta realidade parece estar distante, pois conforme resultados de pesquisa realizada, 75% dos brasileiros revelaram não separar resíduos em seus domicílios e menos da metade tem o conhecimento de que alumínio, papel e PET são materiais recicláveis. (ABRELPE, 2017)

A coleta containerizada ainda é pouco explorada pelos municípios do estado do Paraná, de acordo com a pesquisa realizada pelo SNIS (2015), o modelo de coleta por contêineres ocorre apenas em 8,3% dos municípios do estado conforme o Gráfico 14 (BRASIL, 2007).

GRÁFICO 14 – PRESENÇA DA COLETA CONTEINERIZADA NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: SNIS (2015)

3.4 LEGISLAÇÃO

No que se refere a legislação ambiental envolvendo gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e saneamento básico, há no Brasil a Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, a qual dispõe sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico e suas políticas federais. Entende-se por saneamento básico o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. (BRASIL, 2007)

No Brasil, até o ano de 2011 não havia instrumento legal para instruir e regular as atividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos urbanos. Então devido a esta escassez de ferramentas legais relacionado a gestão de RSU, foi elaborado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o qual define-se como um instrumento,

desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA, para direcionar as propostas formuladas pela Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS e seu decreto regulamentador – Decreto nº. 7.404/2010. (BRASIL, 2010)

Segundo a PNRS (Lei nº12.305/2010), os resíduos sólidos são definidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em uma sociedade, 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 esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso solução técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia possível. E são categorizados como rejeitos aqueles que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade senão a disposição final ambientalmente adequada.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, atua na área de avaliação da conformidade e dispõe de programas para certificação de produtos, sistemas e rotulagem ambiental e é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras – ABNT/NBR, através do Comitê Brasileiro, Organismos de Normalização Setorial e as Comissões de Estudos Especiais. No que se refere a classificação dos resíduos sólidos a normativa ABNT/NBR 10.004 (CONAMA, 2001) classifica os resíduos sólidos pela seguinte forma: 1) CLASSE I – PERIGOSOS: são os resíduos que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou morbidade, ou provocam efeitos adversos na população e/ou meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. 2) CLASSE II – NÃO PERIGOSOS: a) Classe IIA – Não Inertes: os resíduos da Classe IIA são aqueles que não enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou na Classe IIB nos termos da NBR 10.004. Aqueles que se enquadram nesta classificação podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. 2) Classe IIB – Inertes: qualquer resíduo que, quando amostrado de forma representativa, de acordo com procedimentos da NBR 10.007 submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente conforme teste de solubilização, segundo a NBR 10.006 e não tiverem nem

um de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, respeitando os padrões e aspectos de cor, turbidez e sabor.

Quanto aos códigos de cores adotados pelo sistema de separação de resíduos, a Resolução CONAMA Nº 275, de 25 de abril de 2001 estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva." O atual padrão de cores segue as seguintes cores: AZUL: papel/papelão; VERMELHO: plástico; VERDE: vidro; AMARELO: metal; PRETO: madeira; LARANJA: resíduos perigosos; BRANCO: resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde; ROXO: resíduos radioativos; MARROM: resíduos orgânicos; CINZA: resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação.

No âmbito estadual, no ano de 2013, foi elaborado pelo Governo do Estado do Paraná, o Plano de Regionalização da Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos – PRGIRSU/PR e o “Plano Estadual para a Gestão Integrada e Associada dos Resíduos Sólidos Urbanos” – PEGIRSU/PR, os quais definiram diretrizes e estratégias para a gestão de RSU no estado e estabeleceram vinte (20) conglomerados urbanos os quais formam um sistema de gestão integrado dos resíduos (PERS PR, 2017).

Levando em conta o cenário de mudanças e evoluções após o desenvolvimento do PNRS, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná - SEMA criou o Sistema Estadual de Informações Sobre os Resíduos Sólidos - SEIRSU (PERS PR, 2017), cujos objetivos são: planejamento e execução de políticas públicas, orientação ao uso de recursos, avaliação do desempenho dos serviços e aperfeiçoamento da gestão, elevando níveis de eficiência do sistema de gerenciamento de RSU. (SEMA, 2016).

No âmbito municipal, o Decreto Nº983, de 2004, regula a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos no município de Curitiba e também determina o limite semanal de 600L por fonte geradora de resíduos domiciliares e entende com acondicionamento o ato de dispor os resíduos em embalagens adequadas, podendo estas ser acomodadas em recipientes padronizados para fins de coleta regular e transporte.

3.5 GERENCIAMENTO DE RSU NA REGIÃO DE CURITIBA

A cidade de Curitiba é capital do estado do Paraná, um dos três estados que compõe a Região Sul do Brasil. Situada sobre a cabeceira da Bacia do Iguaçu, Curitiba ocupa uma área de 432,17 km². De acordo com o IBGE (2010), a cidade possui 1.751.907 habitantes, sendo considerada a oitava maior cidade brasileira em relação ao número total de habitantes, e a maior da região Sul do país com uma densidade demográfica de aproximadamente 4054 hab./km². (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017)

De acordo com o Plano de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos de Curitiba (2017), no final da década de 80, devido a diversas problemáticas relacionadas a gestão dos resíduos sólidos, foram desenvolvidos programas municipais como a Coleta Seletiva a qual iniciou as atividades em 1989 e o Câmbio Verde, o qual troca material reciclável por hortifrútis. Tais programas, além de melhorar a qualidade dos resíduos gerados na cidade, tem como objetivo aumentar a participação dos habitantes na coleta seletiva. No mesmo ano de 1989, iniciou-se as atividades de operação do Aterro Sanitário da Caximba como disposição final dos resíduos sólidos residuais e orgânicos da capital paranaense, o qual recebeu mais de 12 milhões de RSU até o encerramento de sua operação em 2010. Em 1991, o município de Curitiba recebeu o título de Capital Ecológica da ONU devido as suas ações inovadoras quanto as práticas de gerenciamento dos resíduos gerados (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017).

Em 2001, diante da necessidade de integração da gestão de RSU da Região Metropolitana de Curitiba - RMC é então formado o CONRESOL (Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos), consórcio constituído por 23 municípios dos 29 municípios pertencentes a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), totalizando uma área de 10.389,52 km² e uma população de 3.075.954 habitantes. (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017). No modelo de gestão de coleta integrado estão inclusos os resíduos gerados por residências, pequenos negócios e as áreas públicas pertencentes ao município. O serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos inclui a coleta convencional de resíduos, coleta seletiva de recicláveis, limpeza pública, destinação e disposição final e monitoramento de aterros. (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017).

Segundo dados do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC (2015), entre os anos de 2003 e 2013, enquanto a população de Curitiba apresentou um crescimento de 13%, o volume de resíduos secos coletados aumentou em 192% e da coleta convencional de 40%. (TABELA 3)

TABELA 3 – EVOLUÇÃO DA COLETA MUNICIPAL DE CURITIBA

Ano	População (habitantes)	Coleta Seletiva Formal (toneladas)	Coleta Convencional (toneladas)
2003	1.634.999	12.370,24	356.079
2004	1.651.210	10.943,58	363.394
2005	1.667.582	9.686,75	374.653
2006	1.684.116	13.326,24	392.830
2007	1.700.813	15.437,09	407.978
2008	1.717.677	18.416,01	416.209
2009	1.734.707	26.748,95	441.721
2010	1.751.907	27.940,85	447.297
2011	1.764.540	29.620,92	475.219
2012	1.776.761	35.292,85	490.699
2013	1.848.946	36.126,00	498.383

FONTE: IPPUC (2015)

3.5.1 Coleta Seletiva de Recicláveis

No município de Curitiba, o serviço de coleta seletiva atende toda a cidade e consiste na coleta de materiais potencialmente recicláveis como papéis, plásticos, metais e vidros. O Programa Lixo que Não é Lixo consiste na coleta porta a porta, a qual possui 34 caminhões baú de capacidade de 40m³. Após o processo de coleta os resíduos são encaminhados as Unidades de Valorização de Recicláveis vinculadas ao Programa EcoCidadão. (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017)

O plano de coleta de recicláveis municipal está dividido em 171 setores, sendo 89 setores diurnos, 81 setores vespertinos e 1 setor noturno diário (Anel Central). A coleta diurna inicia suas atividades às 7:00 horas, a vespertina às 16:00 horas e a noturna às 19:00. (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017)

O Programa EcoCidadão foi criado em 2007 como uma tentativa de formalizar o mercado informal de catadores de resíduos e legalizar suas atividades, por meio da rede cooperativa Cataparaná. Atualmente o projeto conta com 40 locais formalizados que recebem materiais da coleta do programa municipal de coleta seletiva, além de materiais que os trabalhadores coletam de fontes geradoras de resíduos localizadas próximo a unidade de valorização. (IFC, 2015; Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017).

Na cidade de Curitiba existem 41 cooperativas/associações de catadores, que são compostas por 962 catadores, representando 29% dos catadores do estado do Paraná. Possui também presença notável de atravessadores/sucateiros no estado, principalmente Curitiba com 77 registrados, que são empresas que adquirem o material reciclável já triado e enfardado, armazenando-os até obter o volume ideal que possibilite a venda para empresas reinserirem no processo produtivo. Além disso, são identificadas 62 unidades de reciclagem, nas quais muitas ainda apresentam estruturas insuficientes de trabalho, falta de equipamentos e má condição dos que possuem. (PERS PR, 2017).

No início do ano de 2019, o município de Curitiba anunciou que dará início na utilização de resíduos sólidos urbanos na produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR). Todo o material que não for aproveitado nas unidades do programa EcoCidadão é destinado as cimenteiras para coprocessamento. Este tratamento de disposição final de resíduos substitui o combustível derivado de petróleo (COQUE) do processo pelo CDR. Porém deve-se prestar muita atenção, pois ainda existem resíduos recicláveis que não são aproveitados pelas unidades de valorização devido à falta de comércio na região., como isopor e embalagens “Elma Chips”. As embalagens “Elma Chips”, são compostas pelo *bi-axially oriented polypropylene*(BOPP), o qual devido as baixas demandas no mercado de reciclagem, é considerado um material não reciclável pelas unidades de valorização de resíduos.

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos - PERS (2017) realizou o levantamento de custos referentes a diferentes destinações dos resíduos buscando levantar um gasto médio por tonelada destinada na região de Curitiba como apresenta o QUADRO 3.

QUADRO 3 – VALORES MÉDIOS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS

Método	Aterro Classe I	Aterro Classe II	Compostagem	Blendagem/ Coprocessamento	Reciclagem
Valor (R\$/t)	200 - 750	150 - 200	60 - 120	400 - 850	60 – 550

FONTE: PERS (2017)

Quanto ao estado do Paraná, pelo levantamento realizado em 283 dos 399 municípios do estado, foi observado que o valor arrecadado não cobre metade dos gastos pelo serviço prestado, conforme o QUADRO 4.

QUADRO 4 – ARRECADAÇÃO X GASTOS NO GERENCIAMENTO DO RSU

Valores arrecadados	R\$ 374.974.951,66
Custos de manejo	R\$ 858.751.232,95
Déficit	R\$ 483.776.281,29

FONTE: PERS (2017)

Já em relação a geração de resíduos pela população, o QUADRO 5 mostra que, para municípios cuja faixa populacional ultrapassa um milhão de habitantes, pode-se adotar a taxa de geração de 1,4 kg/hab./dia. Considerando que no ano de 2010 a estimativa do IBGE define que a população de Curitiba é composta por 1.751.907 habitantes. Deste modo, obtém-se uma estimativa da taxa geração de 2453 t/dia ou 895225 t/ano.

QUADRO 5 – TAXA DE GERAÇÃO DE RSU POR FAIXA POPULACIONAL

Faixa populacional	Taxa de Geração (kg/hab.dia)
Menos de 50 mil	0,65
De 50 mil a 500 mil	0,8
De 500 mil a 1 milhão	1,15
Mais de 1 milhão	1,4

FONTE: PERS (2017)

Adotando o indicador médio de coleta para a cidade de Curitiba de 1,15kg/hab./dia (QUADRO 6), obtém-se um montante de coleta aproximado de 2015 toneladas/dia ou 735.362 toneladas/ano.

QUADRO 6 – TAXA DE COLETA PER CAPITA DE RSU EM RELAÇÃO A POPULAÇÃO URBANA

Faixa populacional	Massa <i>per capita</i> coletada (kg/hab./dia)		
	Mínimo	Máximo	Indicador médio
Até 30 mil hab.	0,10	2,83	0,90
De 30.001 a 100.000 hab.	0,10	2,81	0,95
De 100.001 a 250.000 hab.	0,25	2,82	0,89
De 250.001 a 1.000.000 hab.	0,51	2,63	1,01
De 1.000.001 a 3.000.000 hab.	0,61	2,34	1,15
Acima de 3.000.000 hab. (Rio de Janeiro/RS e São Paulo/SP)	0,92	1,38	1,09

FONTE: SNIS (2015)

O QUADRO 7 apresenta as quantidades de resíduos encaminhadas aos aterros, deste modo observa-se que a cidade de Curitiba enviou ao aterro sanitário

562.237 toneladas de RSU no ano de 2016, o equivalente a 63% do total de resíduos gerados e 77% do total de resíduos coletados.

QUADRO 7 – MASSA TOTAL E PER CAPITA DE RSU ENVIADA PARA DISPOSIÇÃO FINAL PELOS MUNICÍPIOS DO CONRESOL EM 2016

Nome de Município	População Total (2016)	Massa total de RSU enviada para disposição final (t/ano)	Massa per capita de RSU enviada para disposição final (Kg/hab.dia)
Adrianópolis	6.293	681,58	0,3
Tunas do Paraná	7.767	1.004,62	0,35
Bocaiúva do Sul	12.320	1.838,46	0,41
Piên	12.334	1.051,86	0,23
Tijucas do Sul	16.161	1.686,88	0,29
Contenda	17.745	2.151,78	0,33
Quitandinha	18.578	1.498,85	0,22
Quatro Barras	22.353	3.909,50	0,48
Mandirituba	25.287	3.004,63	0,33
Itaperuçu	27.131	3.332,99	0,34
Campo Magro	27.884	4.401,43	0,43
Campina Grande do Sul	42.187	6.582,94	0,43
Piraquara	106.132	17.806,41	0,46
Almirante Tamandaré	114.129	18.429,18	0,44
Campo Largo	125.719	20.809,16	0,45
Pinhais	128.256	31.184,24	0,67
Araucária	135.459	27.188,59	0,55
Colombo	234.941	48.657,30	0,57
São José dos Pinhais	302.759	69.697,34	0,63
Curitiba	1.893.997	562.237,14	0,81

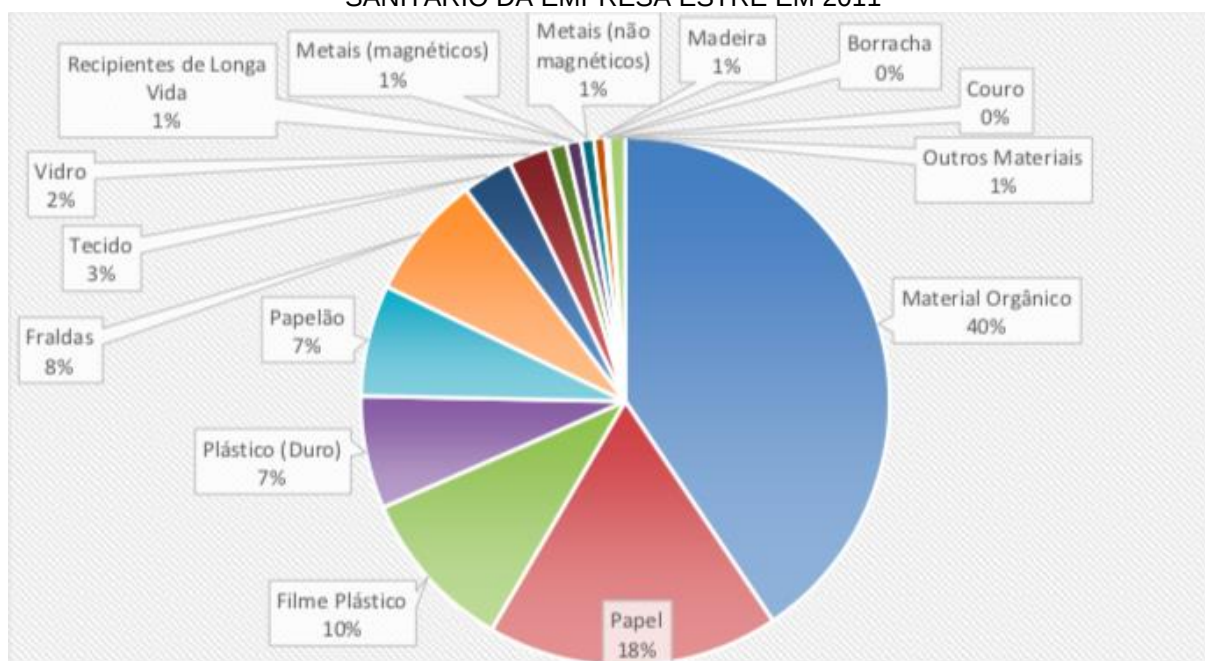
FONTE: CONRESOL (2016)

Porém, segundo análise do resíduo que chega ao aterro da empresa ESTRE, que atende ao CONRESOL (GRÁFICO 15), aproximadamente 50% constitui resíduos recicláveis, os quais não deveriam ser destinados ao aterro. Ou seja, 281.119 toneladas de resíduos ao ano poderiam ser segregadas e destinadas às unidades de valorização de resíduos, e assim inseridos novamente no mercado, elevando a vida útil do aterro e diminuindo a demanda da exploração da matéria prima recuperada (IFC, 2015).

O sistema de coleta de Curitiba presta serviços básicos de coleta e disposição final para a população, contudo deixa de aproveitar o potencial total da reutilização e reaproveitamento disponível dos resíduos coletados. O atual processo de planejamento mostra-se ser mais programático e menos estratégico, priorizando pouco medidas como o consumo consciente, aumento do ciclo de vida dos produtos e logística reversa. Priorizando a eficiência do sistema de coleta, modelos que utilizam

de estações de transbordo, geralmente mostram-se mais eficazes no que se refere a reutilização dos resíduos, pois ao estabelecer estações de transbordo, o resíduo cuja destinação não seja o aterro sanitário é separado e destinado previamente para unidades de reciclagem. (Christian Luiz da Silva, 2017).

GRÁFICO 15 – COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS QUE CHEGAM AO ATERRO SANITÁRIO DA EMPRESA ESTRE EM 2011



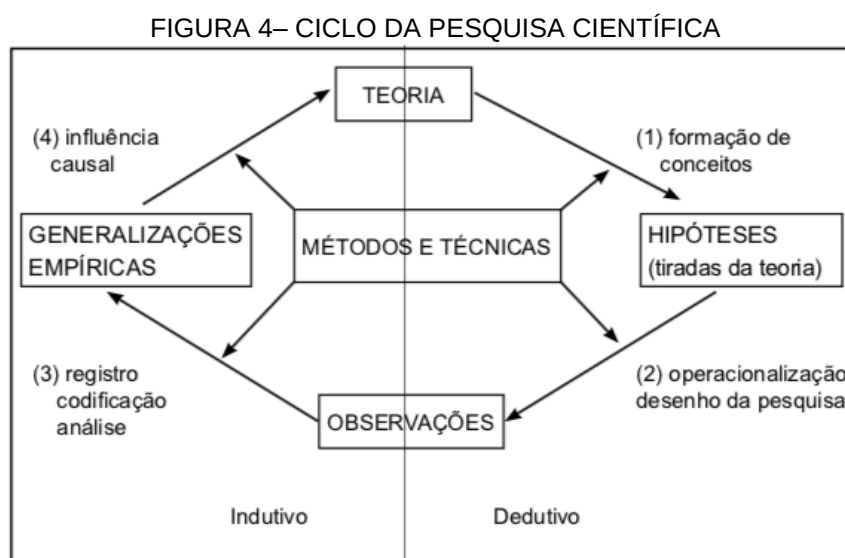
FONTE: IFC (2015)

Segundo o relatório elaborado pela Corporação Financeira Internacional (IFC, 2015), com base nos resíduos destinados as UVRs, aproximadamente 40% dos resíduos não são aproveitados comercialmente devido a qualidade e/ou a falta de demanda de compradores não recompensando a separação de tal material.

Não se encontra contemplado nos cálculos as quantidades de resíduos da coleta informal, realizada pelos catadores/carrinheiros, e os resíduos cuja responsabilidade de destinação são os geradores como serviços de saúde, resíduos de construção civil e demolição e também resíduos de grandes geradores. (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017)

3.6. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DOS RESÍDUOS POR PARTE DA POPULAÇÃO

Pesquisas científicas servem para testar os fatores responsáveis pelas origens dos problemas da realidade. O presente trabalho buscou levantar dados concretos referentes as atitudes e hábitos da população diante do serviço da coleta de resíduos municipal. E para consecução de seus fins foram formuladas hipóteses do conhecimento prático, da observação de fatos ou deduzidas de teorias já existentes. O *feedback* baseia-se na análise comparativa dos resultados dos testes em relação as hipóteses e estas podem ser aceitas ou refutadas, se refutada a hipótese é então descartada e é preciso formular novas hipóteses. Segue ciclo do processo na FIGURA 4. (Cervi, 2017)



FONTE: ROSENBERG (1971 apud CERVI, 2017)

O questionário é definido como “um conjunto de perguntas sobre determinado tópico que não testa a habilidade do respondente, mas mede a opinião, interesses, aspectos da personalidade e informação biográfica”. (YAREMKO, HARRISON, & LYNN, 1986)

Define-se população como o conjunto de elementos do estudo cujas características devem ser passíveis de observação, ou seja, conjunto de elementos que possuem características que pretendem ser estudadas. Essa população pode ser caracterizada como finita, quando se possui a identificação de todos os integrantes. Ou, como infinita/aberta, quando é impossível o estabelecimento exato dos limites. Se

a pesquisa envolve grandes populações torna-se necessário a realização de uma amostragem. (Cervi, 2017).

O *Survey* de Corte Transversal, usualmente é o estilo mais utilizado, onde são coletadas informações de uma amostra selecionada com intenção de explicar a relação de variáveis em uma população em dado momento. Em resumo, as regras gerais para preparação do questionário são: perguntar o que se deseja saber; elaborar perguntas claras; usar uma redação balanceada que apresente todos os lados da questão; evitar jargões ou lugares-comuns; levar em consideração o nível de instrução formal dos entrevistados; elaborar perguntas de modo a evitar as respostas socialmente aceitáveis; testar as opções de resposta das perguntas fechadas; avaliar que perguntas inserir no início e que perguntas inserir no fim do questionário. (Cervi, 2017).

3.6.1 Tipos de Amostra

Segundo Cervi (2017), a pesquisa por amostragem tem por objetivo fazer afirmações válidas para o todo analisado entrevistando uma parcela pequena da população da qual se deseja retirar as informações. Essa parcela é chamada de amostra e deve ser uma réplica mais fiel possível da população, a qual é utilizada para fazer análise inferencial sobre as características de todos. Apresentam-se 2 (dois) tipos de amostras: as probabilísticas, onde todas as unidades de uma população têm a mesma chance de ser incluídas na amostra sendo escolhidas aleatoriamente, esta seleção independe do pesquisador e eliminam-se possíveis tendenciosidades; e as não probabilísticas, quando todas as unidades da população não têm as mesmas condições de fazer parte da amostra, pois a probabilidade de escolha de determinados elementos da amostra é previamente conhecida. Deste modo, no questionário a ser aplicado será considerado uma amostra probabilística.

3.6.2 Tamanho da Amostra

De acordo com Cervi (2017) o erro amostral e intervalo de confiança são instrumentos que permitem fazer uma estimativa dos valores populacionais, pois o parâmetro na população sempre será desconhecido. Além disso, a existência de intervalos de confiança é uma prova de que o método pode falhar e que a probabilidade de ocorrência dessa falha é estimada, mesmo que as pesquisas realizadas sejam totalmente corretas. Sempre haverá um erro algum amostral, por

maior que sejam as amostras. Quando não se conhece a variância da população, costuma-se considerar a pior situação, onde a característica a ser analisada apresenta uma variação muito grande, a maior delas em uma população é de 50%.

Para se definir o tamanho da amostra utiliza-se a Equação 1.

Onde:

$$n = \left(\frac{z \cdot s}{e} \right)^2 \quad (1)$$

n = tamanho da amostra

z = desvio na tabela de curva normal correspondente ao nível de confiança desejado;

s = desvio padrão da população;

e = margem de erro.

Deste modo, para um nível de confiança de 95% temos $z = 1,96$, desvio padrão $s = 0,5$ e margem de erro de 8%.

$$n = \left(\frac{1,96 * 0,5}{0,08} \right)^2 = 150,06$$

Após definido o tamanho da amostra (n), aplica-se a Equação 2 - Fator de Correção da População – FCP a fim de corrigir o tamanho da amostra de acordo com o tamanho da população a ser representada pelo questionário.

Onde:

$$FCP = n \cdot \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}} \quad (2)$$

n = tamanho da amostra;

N = tamanho da população.

Assim, aplicando $n=150,06$ obtemos o fator de correção

$$\begin{aligned} FCP &= 150,06 * \sqrt{\frac{1751907 - 150,06}{1751907 - 1}} \\ &= 150,05 \end{aligned}$$

Onde o FCP resulta numa amostra mínima de 150 pessoas.

3.6.3 Tipos de Perguntas

De acordo com Cervi (2017) existem dois tipos de perguntas em questionários: abertas (quando o entrevistado pode dar sua própria resposta) e fechadas (respostas pré-definidas e o entrevistado tem que escolher entre elas). A primeira gera uma resposta espontânea enquanto a segunda promove uma resposta estimulada.

4 METODOLOGIA

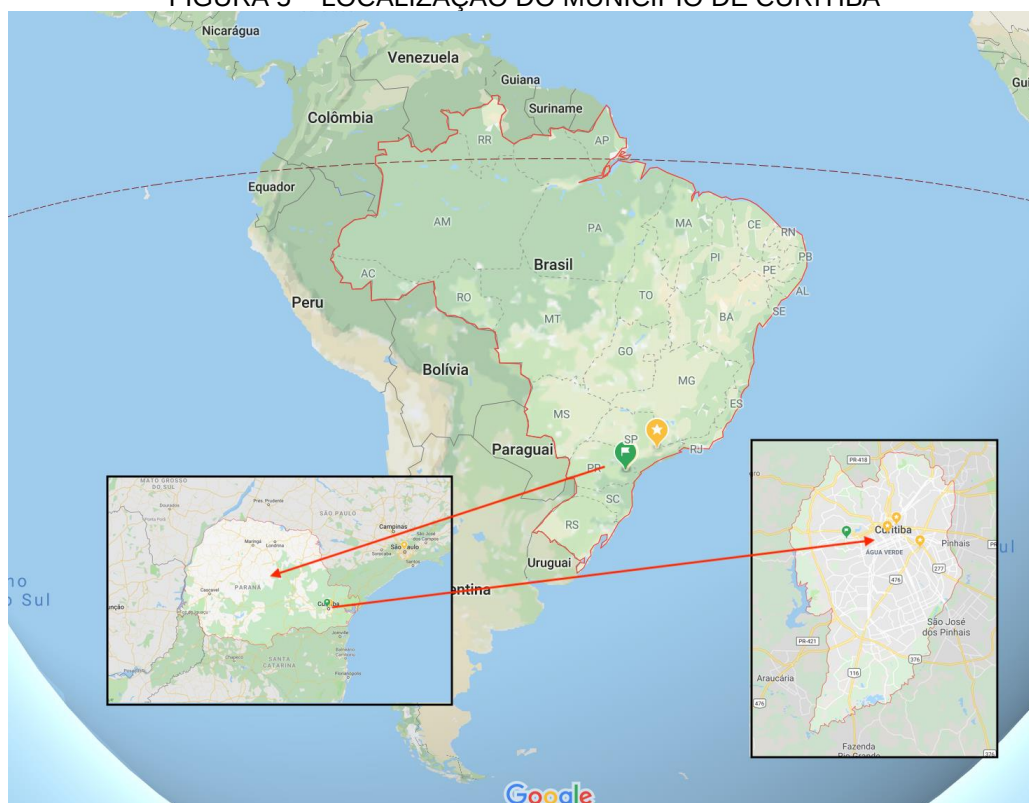
Neste capítulo serão apresentados os parâmetros referentes ao escopo do estudo, que propõe a instalação do sistema de coleta de resíduos recicláveis secos em contêineres no Centro de Curitiba.

Primeiramente serão apresentadas as diretrizes para a elaboração de um questionário a ser aplicado às pessoas que circulam na região central da cidade com o intuito de obter informações sobre a participação no atual modelo de coleta e a aceitação de implantação do novo modelo. Em seguida será apresentado o software QGIS, o qual irá contribuir para a análise geoespacial do dimensionamento da coleta de contêineres. Este dimensionamento permite avaliar a possibilidade de otimizar a quantidade e a qualidade do resíduo reciclável coletado pelo serviço municipal. Deste modo, será avaliada a viabilidade técnica de implantação do modelo alternativo de coleta de resíduos sólidos urbanos recuperáveis.

4.1 ÁREA DE ESTUDO – CENTRO DE CURITIBA

O município de Curitiba é a capital do Estado do Paraná (FIGURA 5), conta com uma população de 1.751.907 habitantes e pertence a nona maior região metropolitana brasileira. Situada sob as coordenadas 25° 25' 47" S, 49° 16' 19" W e a 934 m de altitude, a capital paranaense possui 434,67 km², sendo 319,40 km² de região urbana. A densidade populacional é de 4.030,43hab/km². (IBGE,2010).

FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA

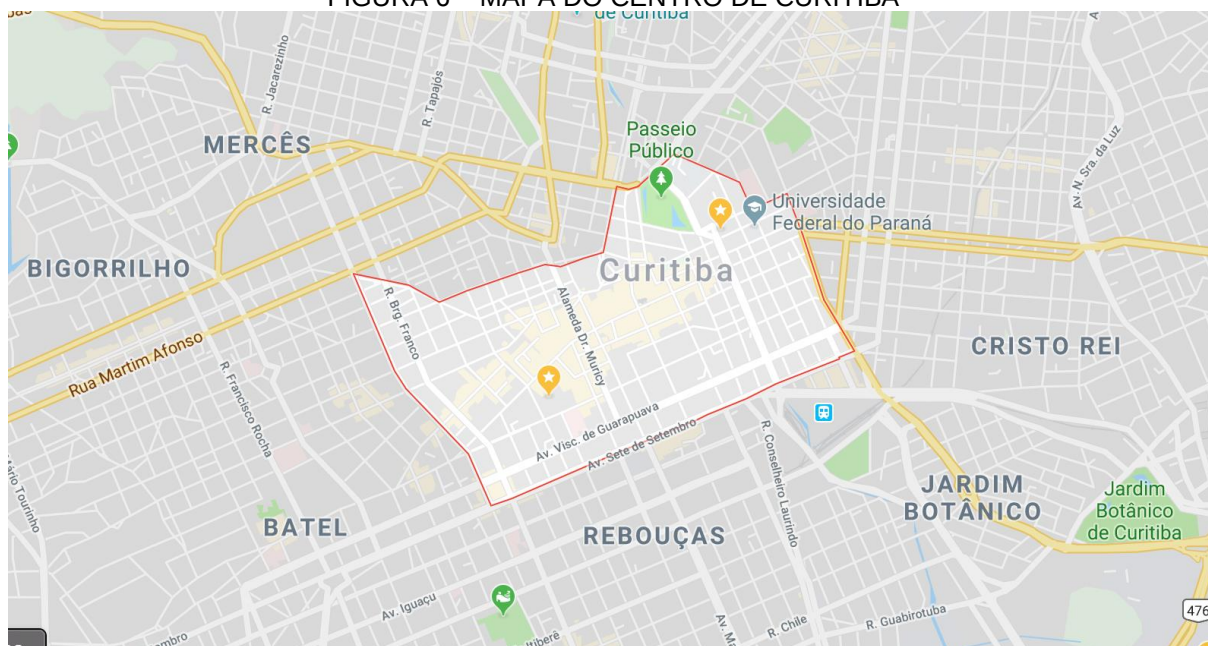


FONTE: Google Maps

O Centro de Curitiba (FIGURA 6) é a região escolhida como área do trabalho. O bairro Centro possui área territorial de 3,28 km² (0,76% do território de Curitiba), e uma população de 37.283 habitantes. Apresenta 23.360 domicílios e em cada um habita em média 1,6 habitante segundo o censo de 2010 (IBGE). A densidade demográfica do Centro é de 11.366,8hab/km².

O modelo de coleta containerizado apresenta-se como uma boa opção para regiões com alta densidade demográfica, permitindo práticas como a separação na fonte de resíduos e permite reduzir a frequência de coletas e consequentemente o tráfego de veículos da coleta em centros urbanos. Por isso foi identificado o bairro Centro como o melhor cenário para dimensionamento do projeto.

FIGURA 6 – MAPA DO CENTRO DE CURITIBA



FONTE: Google Maps

Como a cidade de Curitiba é setorizada em regionais, o bairro Centro pertence a Regional Matriz, a qual engloba 18 bairros. A regional Matriz é a 3ª mais populosa com 205.722 habitantes, sendo o bairro Centro o que possui a maior densidade populacional, aproximadamente 114hab./ha, sendo 1ha equivalente a 10.000m².

4.2 QUESTIONÁRIO

Para atingir os objetivos propostos neste estudo, foi realizada uma pesquisa com uma parcela da população que frequenta a região central por meio da aplicação de um questionário. A elaboração do questionário teve a finalidade de obter informações referentes a aceitação da população diante de uma mudança no modelo de coleta de resíduos sólidos secos recicláveis urbanos. Este foi apresentado como um *survey*, pelo qual é possível conhecer e observar a população em suas condições naturais para fazer afirmações quantitativas a respeito das características e práticas em relação ao manejo dos resíduos gerados.

A aplicação do questionário buscou obter dados da população em relação ao conhecimento e prática da coleta seletiva, forma de segregação dos resíduos nos domicílios, do conhecimento do processo e destinação dos resíduos separados, e quanto a predisposição quanto a um novo modelo de coleta de recicláveis por meio da entrega voluntária por parte da população em centros de disposição

compartilhados posicionados próximos as residências. Deste modo, foi possível analisar o potencial de adesão da população em relação ao modelo, o qual exige maior participação popular.

Neste questionário foi optado pela utilização de respostas fechadas.

Figura 6 – Modelo do Questionário Aplicado a População de Curitiba

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE TECNOLOGIA ENGENHARIA AMBIENTAL
Questionário – A Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Curitiba	
Olá, meu nome é Alan, sou estudante de Engenharia Ambiental na UFPR e para meu trabalho de conclusão de curso gostaria de sua contribuição para compreender melhor a coleta de lixo em Curitiba. Do volume total coletado pelos serviços da prefeitura, entre 5-10% é reciclado e são destinados aos aterros sanitários aproximadamente 280 mil toneladas apenas no ano de 2016.	
Sexo: () Masculino () Feminino () Outro: _____ Bairro em que reside: _____ Renda(faixa): () 1-2 S.M. () 3-4 S.M. () 5-x S.M. S.M: Salário Mínimo Profissão: _____ Idade: () <18 () 19 – 30 () 31-59 () >60	4. Conhece o destino final dos resíduos coletados pelo serviço da coleta seletiva? 4.1 Sim 4.2 Não
"Marque apenas 1 alternativa nas perguntas" 1. Você separa os resíduos domésticos ("lixo")? 1.1 Sim, sempre. 1.2 Sim, às vezes. 1.3 Não, não acho necessário. 1.4 Não, não tenho tempo. 1.5 Não sei como separar. 1.6 Prefiro não responder.	5. Estaria disposto a levar o resíduo gerado em um coletor na rua? 5.1 Sim, claro. 5.2 Sim, sempre que possível. 5.3 Depende da distância. 5.4 Não, não tenho tempo. 5.5 Não, não vejo o porquê.
2. Você costuma lavar as embalagens recicláveis? (Ex: Embalagens de molhos, derivados de leite, bebidas, etc.) 2.1 Sim, sempre. 2.2 Sim, às vezes. 2.3 Não, não sabia da necessidade. 2.4 Não, não tenho tempo. 2.5 Não sei/ Prefiro não responder.	6. Qual a distância máxima que estaria disposto a andar para descartar o resíduo? 6.1 Meia Quadra (50 m). 6.2 Uma Quadra (100m). 6.3 Duas Quadras (200m). 6.4 Não Andaria. 6.5 Se possível levaria de carro.
3. Como você separa os diferentes tipos de resíduo? 3.1 Orgânico e Reciclável. 3.2 Apenas Reciclável. 3.3 Não separo / Prefiro não responder.	7. O resíduo corretamente descartado possui maior valor agregado, deste modo, está disposto(a) a colaborar com modelos de coleta de resíduos visando a melhoria socioambiental? 7.1 Sim 7.2 Não

O questionário foi aplicado na região do bairro Centro de Curitiba, entre os meses de dezembro de 2018 e abril de 2019. Neste período 150 habitantes foram entrevistados em praças, estações, comércios e *shoppings* da região. A abordagem foi realizada aleatoriamente sempre apresentando o tema da coleta por contêineres como introdução a aplicação das perguntas do questionário.

4.3 DIMENSIONAMENTO DA COLETA

Com o objetivo de elevar a taxa de resíduos reaproveitáveis destinados as unidades de valorização de resíduos, os materiais recicláveis secos foram distribuídos em 3 diferentes categorias: 1) Azul: Papel/Papelão; 2) Vermelha: Vidro; 3) Amarela: Plástico/Metal. Este tipo de separação na fonte, onde os materiais de plástico e metal são coletados juntos é utilizado por muitas cidades, como o exemplo de Barcelona, porque a etapa da separação pode ser realizada em grande escala por separação magnética resultado em uma alta eficiência de segregação, economizando em coletores para coleta pública.

Cada uma das categorias estabelecidas foi avaliada separadamente, e por meio da qualidade do resíduo gerado – a porcentagem de resíduos recicláveis secos presentes no resíduo total gerado - o tamanho de cada coletor foi dimensionado de modo a atender a demanda produzida. Como os resíduos são produzidos em taxas diferentes e possuem densidades diferentes, o dimensionamento do volume necessário de cada categoria foi tratado independentemente. O dimensionamento foi idealizado visando identificar o volume exigido para tal processo, mesmo sabendo de possíveis restrições de aplicação devido a baixa disponibilidade de espaço em algumas áreas do bairro Centro.

A caracterização do volume a ser considerado neste trabalho foi feita por meio do levantamento da qualidade do resíduo gerado na cidade de Curitiba realizado pelo IFC (2015), apresentado no GRÁFICO 15, descrito a seguir: Plástico Duro(10%), Papel(9%), Plástico Fino(6%), Metais Não Ferrosos(5%), Papelão(4%), Vidro(4%), Tetra-Pak(2%) e Metais Ferrosos(1%) totalizando 41% do resíduo total gerado em Curitiba.

De acordo com a categorização proposta de 3 (três) linhas de coletas distintas dos RSU, os resíduos de características similares foram agrupados conforme apresentado na TABELA 4, sendo que a categoria azul representa o papel, papelão e

Treta-Pak com 15% do resíduo gerado, a categoria amarela representa 22% com os resíduos de plásticos e metais, e pôr fim a categoria vermelha para coleta de vidro com 4% do RSU total gerado na cidade de Curitiba.

TABELA 4 – CATEGORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS SECOS PROPOSTA PARA O PRESENTE TRABALHO, UTILIZANDO A CLASSIFICAÇÃO DO RSU COLETADO EM CURITIBA SEGUNDO O IFC (2015)

RESÍDUOS (%)	AZUL	AMARELO	VERMELHO
Plástico Duro	-	10	-
Plástico Fino	-	6	-
Papel	9	-	-
Papelão	4	-	-
Vidro	-	-	4
Treta-Pak	2	-	-
Metais Ferrosos	-	1	-
Metais Não Ferrosos	-	5	-
TOTAL (%)	15	22	4

FONTE: O AUTOR

Então, considerando que a população do Bairro Centro seja de 37.283 habitantes (IBGE, 2010), e adotando a taxa de geração de 1,4 kg/hab./dia como apresenta o QUADRO 5, obtém-se geração diária igual a 52.196 t/dia como apresentado na TABELA 5.

TABELA 5 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS NO BAIRRO CENTRO DE CURITIBA

	Geração Total [kg]	Plástico/Metal [kg]	Papel [kg]	Vidro [kg]	Total Recicláveis [kg]
	100%	22%	15%	4%	41%
1 Dia	52.196,20	11.483,16	7.829,43	2.087,85	21.400,44

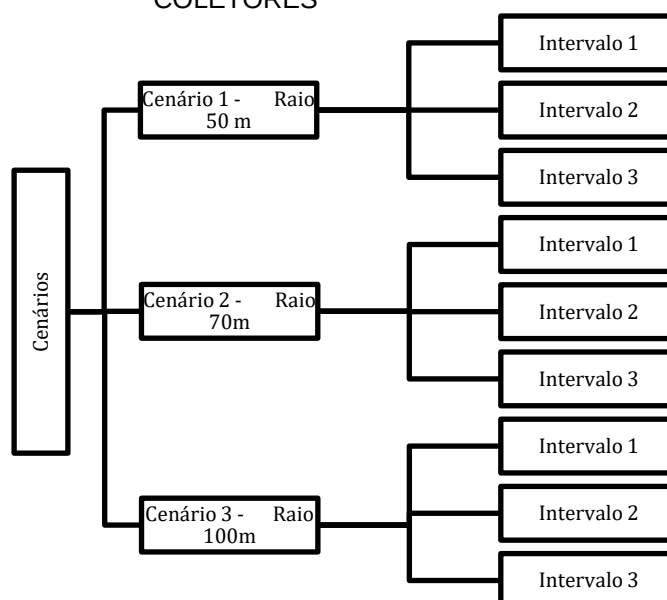
Fonte: Adaptado de IFC (2015)

4.3.1 Intervalos de Coleta

A fim de avaliar os diferentes cenários de coleta de RSU recicláveis secos, foram considerados três diferentes intervalos de tempo, com o objetivo de avaliar as possíveis vantagens proporcionadas pelo modelo de contêiner compartilhado, em regiões centrais, onde a densidade populacional é relativamente maior em comparação com o resto da cidade. O Intervalo 1 retrata um modelo de coleta onde é

empregado um período de 3 dias entre as coletas realizadas pelo serviço público municipal, já o segundo apresenta um período de 5 dias entre as coletas e, por último, o Intervalo 3 que possui um período de 10 dias entre as coletas. Estes intervalos de coleta foram avaliados em cada um dos três cenários apresentados no organograma da FIGURA 7. O Cenário 1 é representado por coletores atendendo um raio de 50m a partir de sua posição. Já o Cenário 2 é representado por coletores responsáveis com 70m a partir de sua posição. E por último o Cenário 3 é representado por coletores atendendo 100m de alcance.

FIGURA 7 – ORGANOGrama CENÁRIOS CONFORME RAIo DE ALCANCE DOS COLETORES



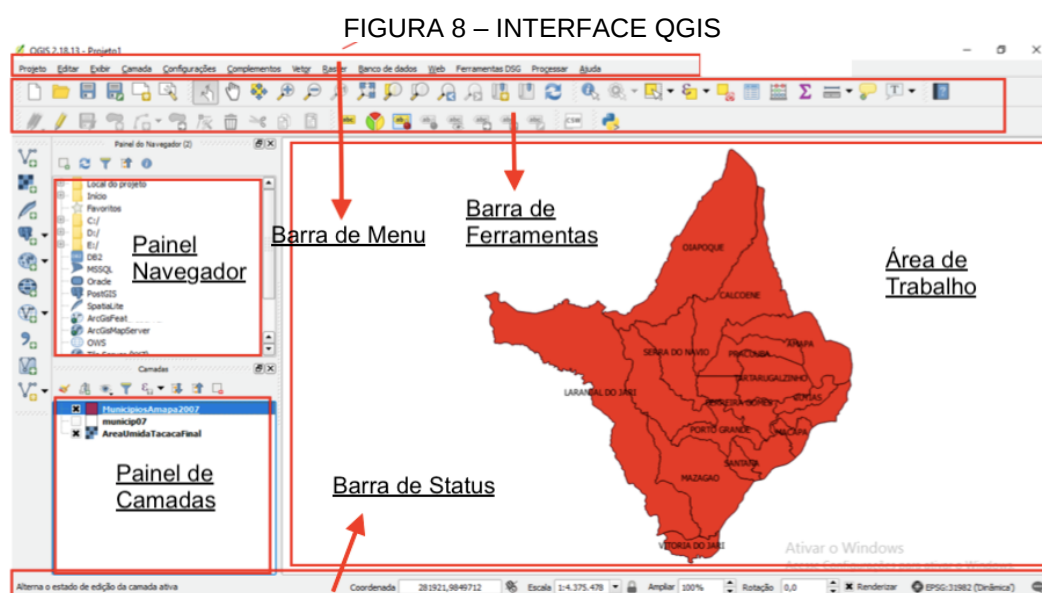
FONTE: O AUTOR

Tendo em mente as diferentes possibilidades de frequências de coleta, cada categoria de resíduos (Plástico/Metal, Papel/Papelão e Vidro) é avaliada separadamente a fim de quantificar as eficiências de cada intervalo de coleta. Como a geração dos resíduos não ocorre na mesma proporção entre as categorias determinadas, avalia-se os cenários visando otimizar o processo de coleta reduzindo os custos e os impactos gerados pela atividade de transporte dos RSU. Por exemplo, considerando o intervalo de três dias entre cada coleta, onde as taxas de resíduos geradas pela população na área respectiva de cada coletor são dimensionadas em função do período, é possível obter as frequências de coleta, e avaliar os impactos ambientais produzidos pelo serviço de coleta municipal nos diferentes cenários. Para

este dimensionamento de volume total gerado, utiliza-se como base a geração diária (L/dia) em função da área abrangida pelo coletor.

4.3.2 Análise QGIS – Dimensionamento

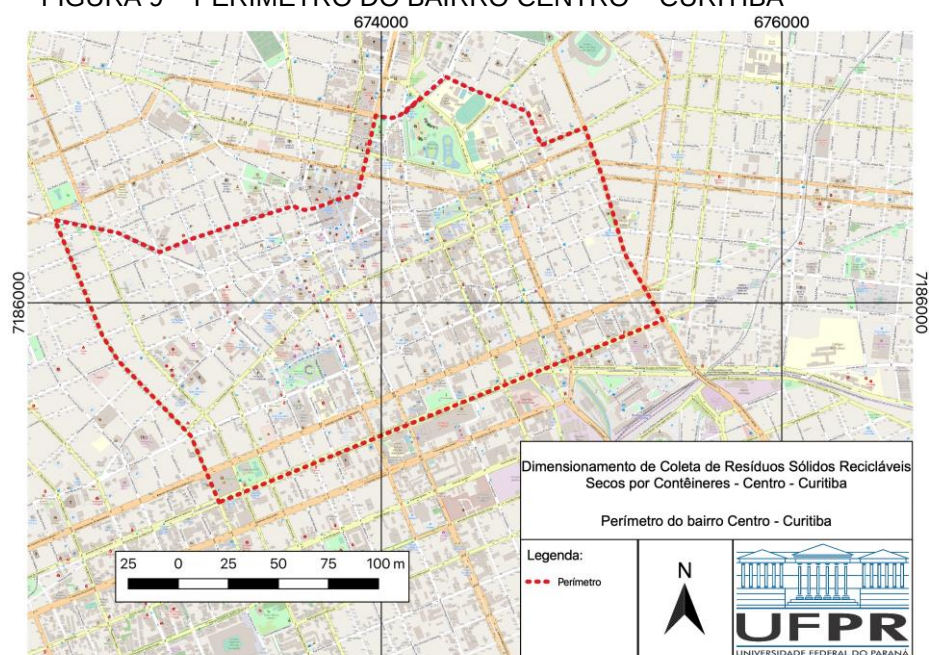
A ferramenta Quantum GIS (QGIS) é um programa de Sistema de Informação Geográfica – SIG, de código aberto, gratuito que funciona em diversos sistemas operacionais como Windows, Linux e Mac IOS, e que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. O QGIS permite compor mapas a partir de camadas *raster*, que são informações geradas por satélites, ou vetoriais, onde os dados podem ser armazenados como pontos, linhas ou polígonos. O geoprocessamento trata-se do processamento informatizado dos dados georreferenciados. Programas como o QGIS permitem o uso e análise de informações cartográficas para produzir informação geográfica através da sua interface de operação conforme apresenta a FIGURA 8.



FONTE: O AUTOR

Para executar tal atividade, primeiramente foi importado o arquivo referente a região central de Curitiba, no qual o formato é o *geotiff*, arquivo georreferenciado e corrigido para uso no programa QGIS e assim utilizado para análise da disposição espacial dos centros coletores. Assim que georreferenciado a imagem, foi delimitado o perímetro do bairro Centro como mostra a FIGURA 9.

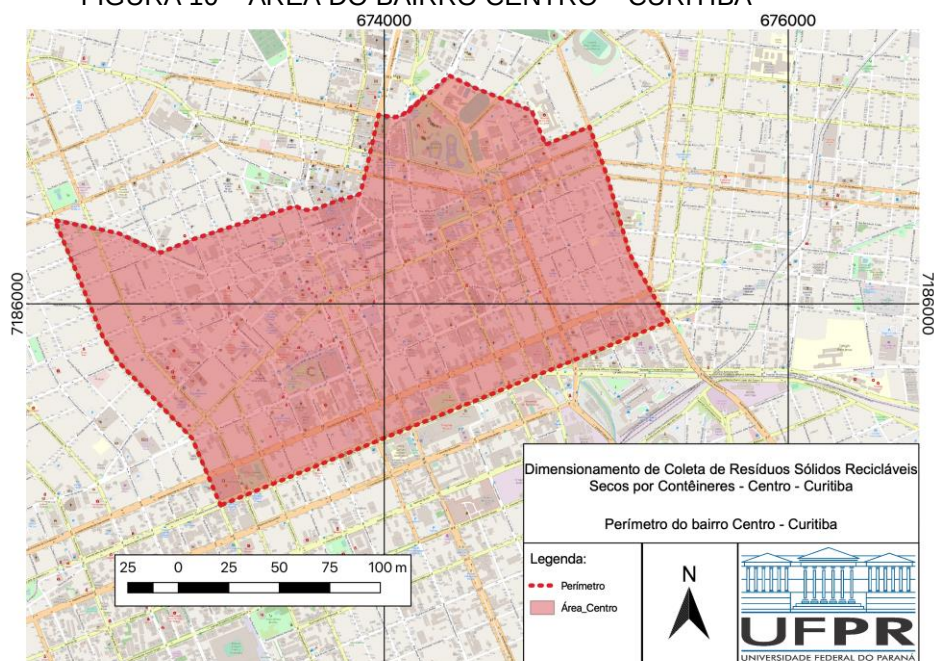
FIGURA 9 – PERÍMETRO DO BAIRRO CENTRO – CURITIBA



FONTE: O Autor

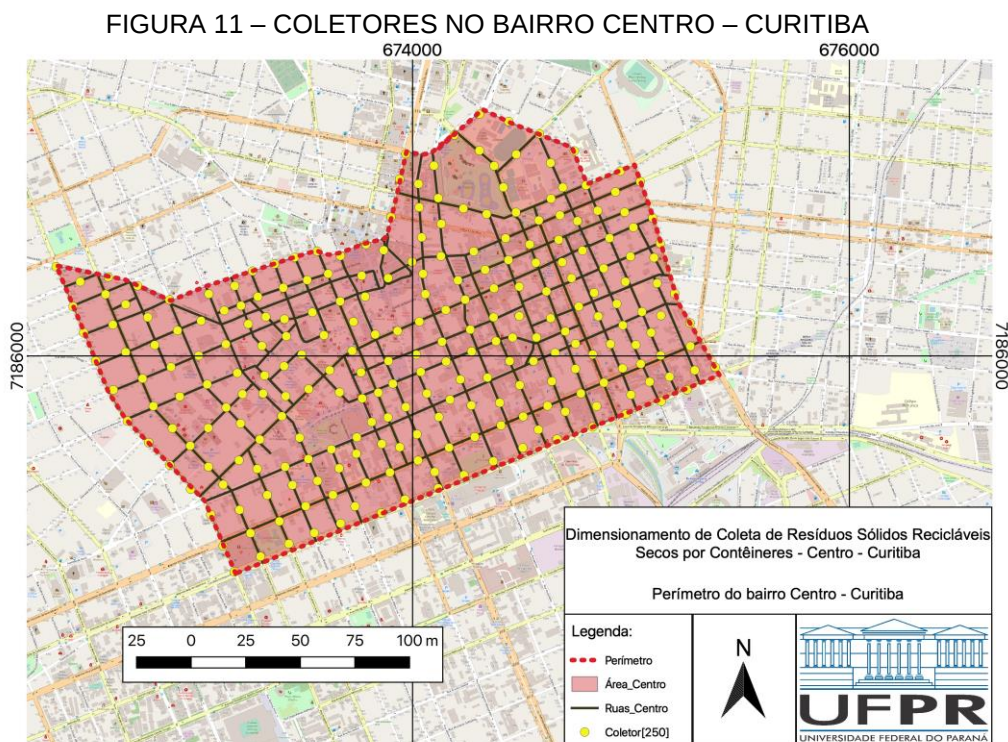
Após inserir o arquivo georreferenciado, foi possível trabalhar os dados de modo que cada coletor fosse representado por pontos num *shapefile* vetorial, podendo deste modo construir as zonas de coleta conforme a demanda de geração para cada categoria de resíduo. Primeiro foi dimensionado a área do bairro considerando a parte interior do perímetro.

FIGURA 10 – ÁREA DO BAIRRO CENTRO – CURITIBA



FONTE: O Autor

Assim foi possível posicionar cada coletor nas ruas do Centro de Curitiba de acordo com o alcance determinado para o contêiner da coleta (FIGURA 11).



FONTE: O Autor

Nesta etapa, ao delimitar as ruas do bairro centro no software QGIS, pôde-se efetuar o cálculo de dimensionamento da distância total referente as ruas a serem percorridas pelo serviço de coleta. Para isso, utiliza-se de uma ferramenta de cálculos geoespaciais, “Análise Estatística”, a qual, com base nas linhas georreferenciadas (Ruas), retorna o valor da distância total somando todos os trechos no domínio do bairro Centro de Curitiba.

Através da distribuição dos centros de coleta foi possível quantificar a taxa de geração de RSU e a capacidade dos coletores para armazenamento avaliando os diferentes cenários disponibilizados. Para efetuar a análise dos cenários foram considerados 3 (três) tamanhos de contêineres, 700L, 1000L e 2500L, os quais possuem respectivamente a capacidade máxima de 345kg, 450 kg e 1100kg como apresenta a TABELA 6. Os dados e valores referentes aos coletores foram obtidos por meio de uma pesquisa realizada em janeiro de 2019 com a empresa Contemar Ambiental, a qual apresentou a ficha técnica e orçamento referente aos coletores.

TABELA 6 – VOLUME, CAPACIDADE E VALOR DOS CONTÊINERES

TIPO	VOLUME [L]	CAPACIDADE [kg]	VALOR [R\$]
A	700	345	1600
B	1000	450	1800
C	2500	1100	6500

FONTE: Contemar Ambiental

FIGURA 12 – CONTÊINER 700L, 1000L E 2500L



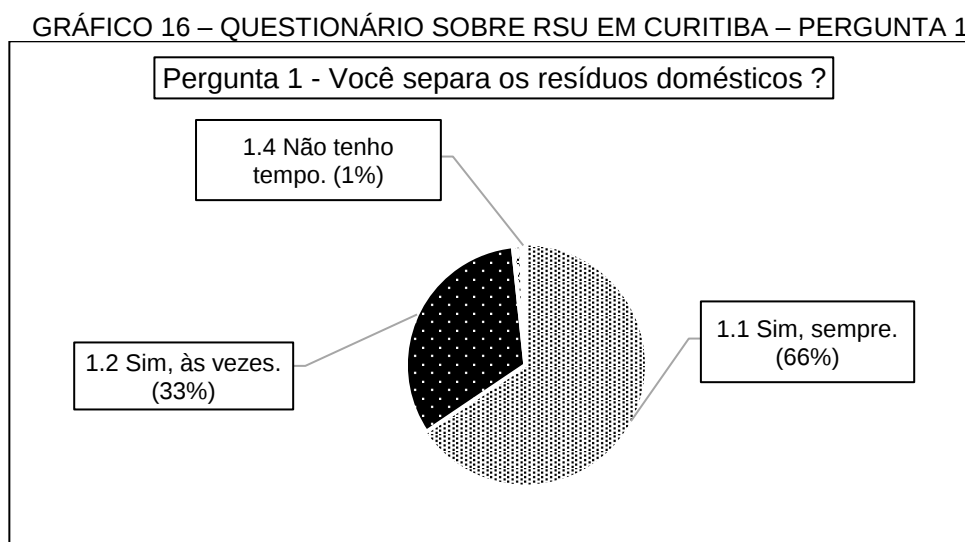
Fonte: Contemar Ambiental

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados a análise geoespacial produzida no software QGIS, a elaboração e avaliação de cenários do dimensionamento do sistema de coleta por contêineres e as respostas referentes aos questionários aplicados a uma parcela da população de Curitiba.

5.1 RESPOSTAS QUESTIONÁRIO APLICADO A UMA PARCELA DA POPULAÇÃO DA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE CURITIBA

Através dos questionários aplicados à população de Curitiba, obteve-se dados e informações em relação: a) ao conhecimento e prática da coleta seletiva, b) forma de segregação dos resíduos nos domicílios, c) conhecimento do processo e destinação dos resíduos separados, d) quanto a predisposição em função de um novo modelo de coleta de recicláveis por meio da entrega voluntária em centros de coleta compartilhados dispostos próximos as residências. As respostas aos questionários são apresentadas nos Gráficos 16 a 22.

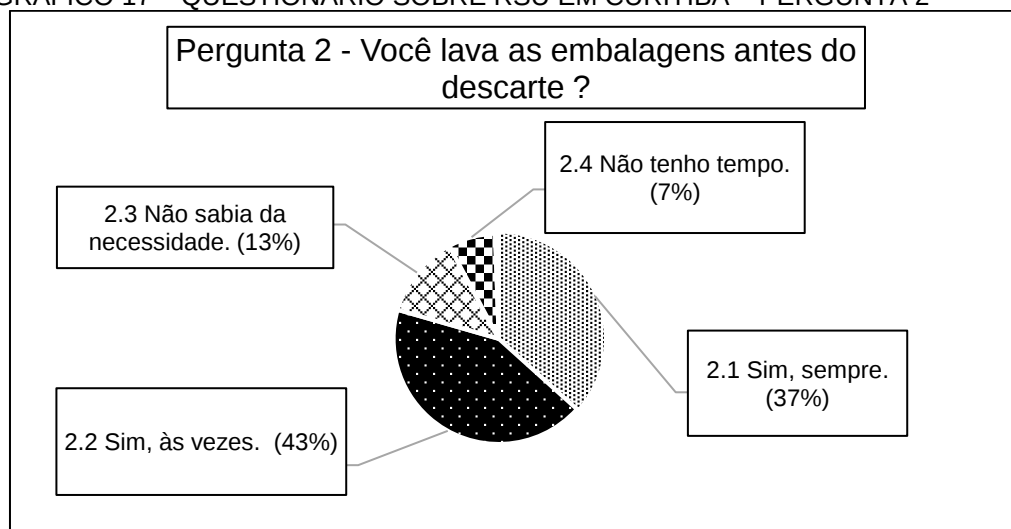


Fonte: O Autor

O GRÁFICO 16 representa as respostas obtidas pela primeira pergunta que foi relacionada quanto a parcela da população que de alguma forma separa os resíduos domiciliares, seja separando materiais recicláveis, compostáveis, óleo usado, materiais perigosos que exigem descarte especial (tais como remédios, pilhas,

baterias, eletrônicos, entre outros). Desta forma obteve-se que aproximadamente 66% da população separa os resíduos sempre. Enquanto 33% separa às vezes e uma pequena parcela de 1% não acha necessário. Então neste caso pode-se considerar que praticamente toda população em algum momento pratica a separação dos resíduos domiciliares.

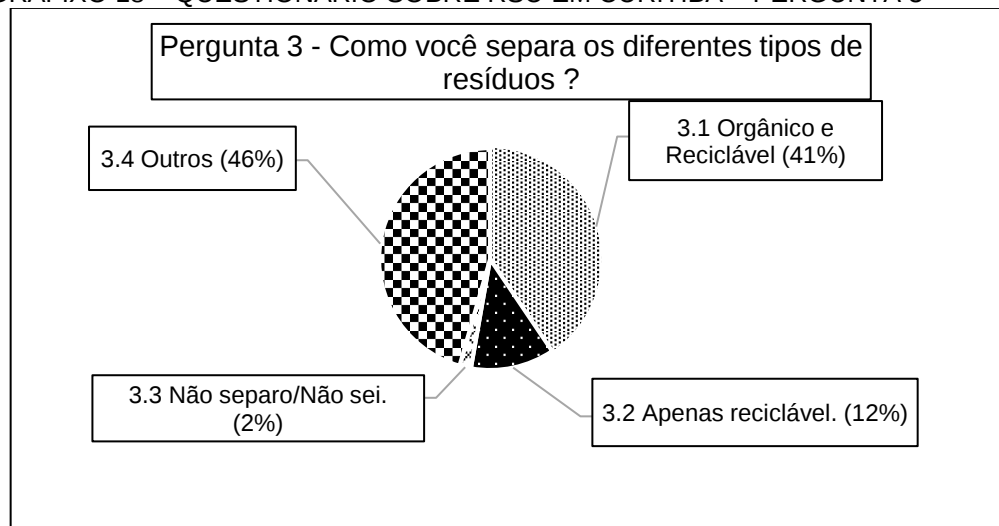
GRÁFICO 17 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 2



Fonte: O Autor

Na segunda pergunta (GRÁFICO 17), 37% dos entrevistados afirmaram sempre lavar embalagens de recicláveis. Pelo menos 80% (2.1+2.2) deles afirmam que às vezes lavam embalagens, e 20% (2.3+2.4) diz não ter tempo ou não sabia da necessidade.

GRÁFICO 18 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 3



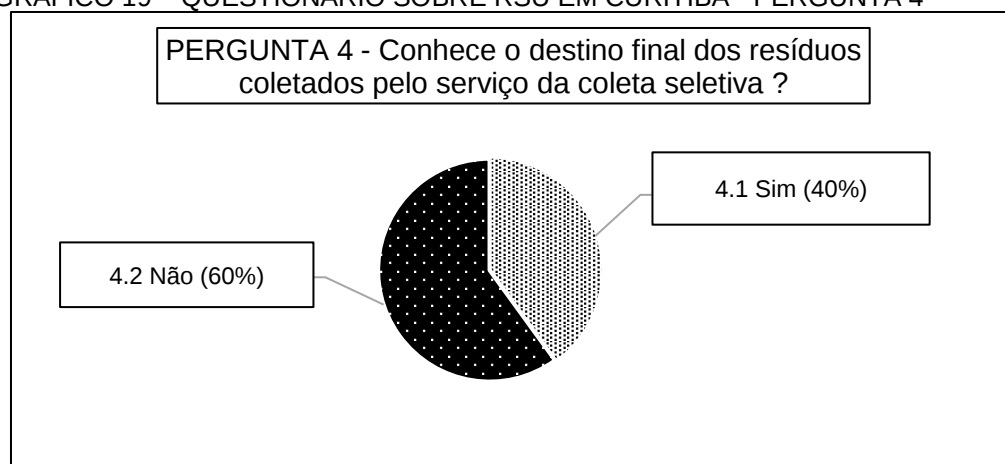
Fonte: O Autor

A pergunta 3 (GRÁFICO 18), foi em relação ao nível de separação doméstica que a população pratica. Nesta pergunta, a opção 3.4 (Outros) serviu como uma alternativa às pessoas que além de separar orgânico e reciclável, praticava também a separação em por exemplo: rejeitos, separação do óleo de cozinha, pilhas e baterias, e medicamentos.

Então nesta pergunta foram obtidas as seguintes respostas: 41% separa Orgânico e Reciclável, 12% separa apenas o Reciclável, 2% não separam ou não sabem e 46% separam além das categorias orgânico e reciclável. Logo, neste caso pode-se concluir que 87% (3.1+3.4) da população já separa os resíduos conforme a coleta seletiva praticada na cidade.

A população curitibana não possui o hábito de separar os resíduos orgânicos dos rejeitos pelo fato da coleta não discriminar os diferentes tipos de resíduos. No modelo de tratamento atual, onde o resíduo orgânico representa 40% do volume total gerado, além de ser reciclado pode ainda gerar energia através do subproduto da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica que é o gás metano (CH_4) em aterros sanitários.

GRÁFICO 19 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA - PERGUNTA 4

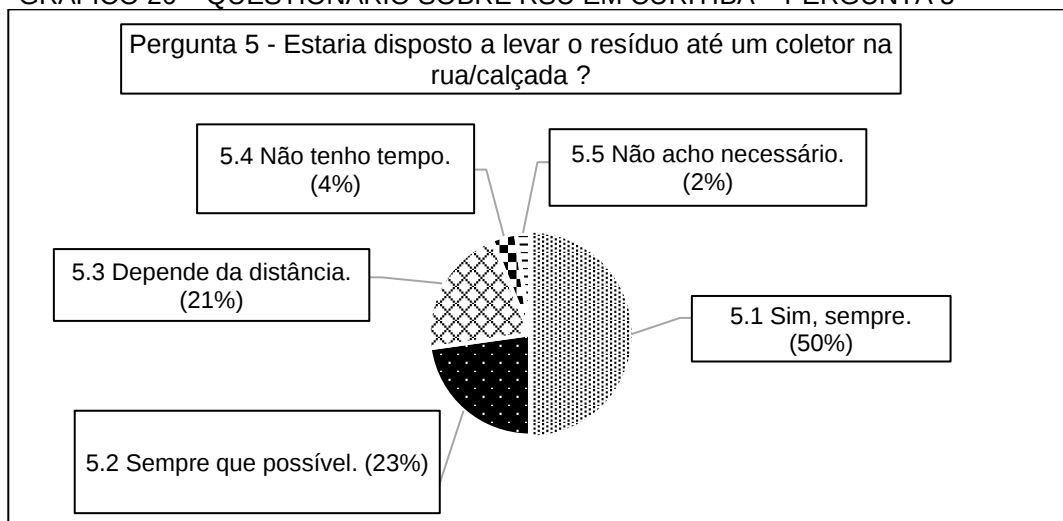


Fonte: O Autor

Com relação à pergunta 4 (GRÁFICO 19), 40% respondeu conhecer os destinos dos resíduos, enquanto 60% afirmou não ter conhecimento. Com isso, nota-se que mesmo sem terem conhecimento da destinação dos resíduos descartados, uma parte da população por algum motivo possui o hábito de separar os resíduos.

Como a taxa de conhecimento do destino ainda não é uma informação bem disseminada, surge a oportunidade de apresentar à população os benefícios da separação na fonte e da disposição em contêineres.

GRÁFICO 20 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 5

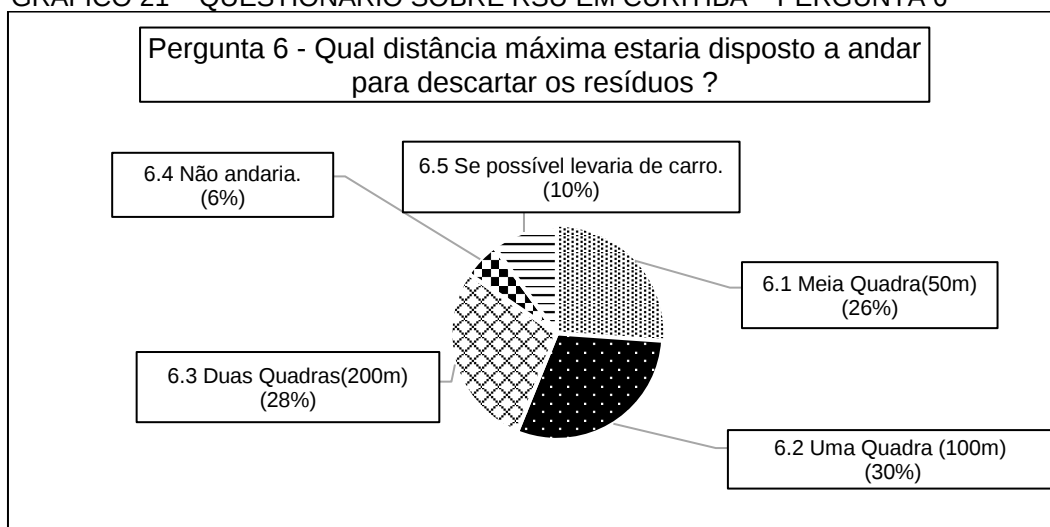


Fonte: O Autor

Na pergunta 5 (GRÁFICO 20), foi questionado sobre a disposição em participar ativamente do processo de coleta de resíduos levando-os até uma central de contêineres. Então 50% respondeu estar disposto, 23% diz participar sempre que possível, 21% diz que depende da distância, 4% diz não ter tempo para tal tarefa e 2% não acha necessário.

Estes resultados são bem satisfatórios do ponto de vista da aceitação da população, pois se analisado as alternativas 5.1 e 5.2, pelo menos 70% da população estaria disposta a contribuir sempre que possível com o descarte em contêineres. Além disso, na resposta 5.3, mais de 80% das respostas aceitariam deslocar-se pelo menos 200m (GRÁFICO 21), então o modelo de coleta apresenta alta taxa de aprovação por parte da população. Tal taxa poderia ser otimizada através de medidas coercitivas ou incentivos fiscais, pois assim a população trataria o descarte dos resíduos gerados com maior responsabilidade.

GRÁFICO 21 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 6



Fonte: O Autor

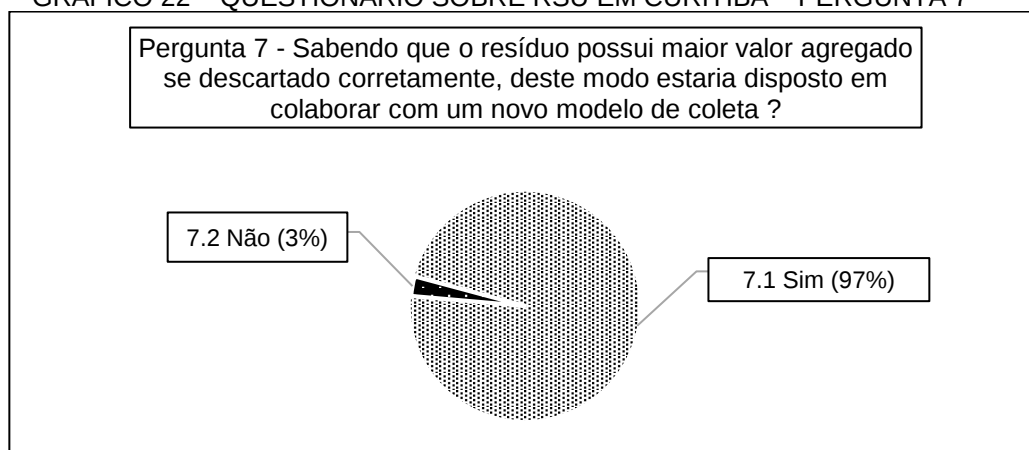
Na pergunta 6 (GRÁFICO 21), foi questionado sobre a distância aceitável para deslocamento durante a tarefa de descartar os resíduos domésticos. A maioria respondeu ser adepto a um descarte via disposição em coletores, 26% respondeu andar até 50m, 30% diz estar disposto a andar 100m até o local do descarte, e 28% andaria até 200m para tal tarefa. No caso de não se deslocar, 6% dos entrevistados disseram não estar dispostos e 10% aceitaria realizar o descarte de carro.

No caso de um dimensionamento onde sistema de coleta onde o raio de alcance do coletor seja de 100m, apenas 58% (6.2+6.3) da população estaria de acordo. Porém se o dimensionamento for realizado para um raio de 50m, então teríamos 84% (6.1+6.2+6.3) de aceitação por parte da população segundo as respostas.

A criação de centros de entrega voluntária também se apresenta como uma alternativa, já que 10% da população concorda em dispor seus resíduos de carro. Então se além do sistema de contêineres fossem estabelecidos centros de entrega voluntária atingir-se-ia 94% de aceitação (6.1+6.2+6.3+6.5).

Na sétima e última pergunta (GRÁFICO 22) foi apresentada a opção relacionada ao interesse no novo modelo de coleta via contêineres, onde 97% diz estar disposto em participar do novo modelo de coleta de resíduos sólidos urbanos.

GRÁFICO 22 – QUESTIONÁRIO SOBRE RSU EM CURITIBA – PERGUNTA 7



Fonte: O Autor

Deste modo, é possível analisar o potencial de adesão da população em relação ao modelo proposto, o qual exige maior participação da sociedade. Segundo os resultados do questionário aplicado, aproximadamente 84% da população se deslocaria em até 200m para descartar os resíduos, logo temos um bom cenário quanto a aceitação de um modelo alternativo, uma vez que as propostas de dimensionamento apresentam distâncias inferiores a 200m.

Através dos resultados obtidos, pode-se inferir que praticamente toda a população separa os resíduos de alguma forma. No entanto, aproximadamente 40% dos resíduos destinados às unidades de valorização não são aproveitadas, ou por motivo de contaminação, ou pela falta de demanda de comércio.

A contaminação dos resíduos pode ocorrer no momento do descarte conjunto de recipientes de armazenamento como molhos e bebidas e papéis, podendo o segundo ser contaminado e inviabilizar a sua reciclagem, por isso a correta separação no descarte deve ser realizada.

A falta de comércio de resíduos não pode ser uma justificativa para a não reciclagem. Neste caso a administração pública deve intervir de modo a fomentar o mercado de materiais recicláveis. Quanto à contaminação dos resíduos recicláveis, é preciso instruir a população a praticar o descarte correto, pois como no atual modelo os resíduos sólidos secos são descartados e coletados juntos, deve-se cuidar para que restos de produtos em embalagens não contaminem matérias como o papel, reduzindo o aproveitamento do material a ser reciclado.

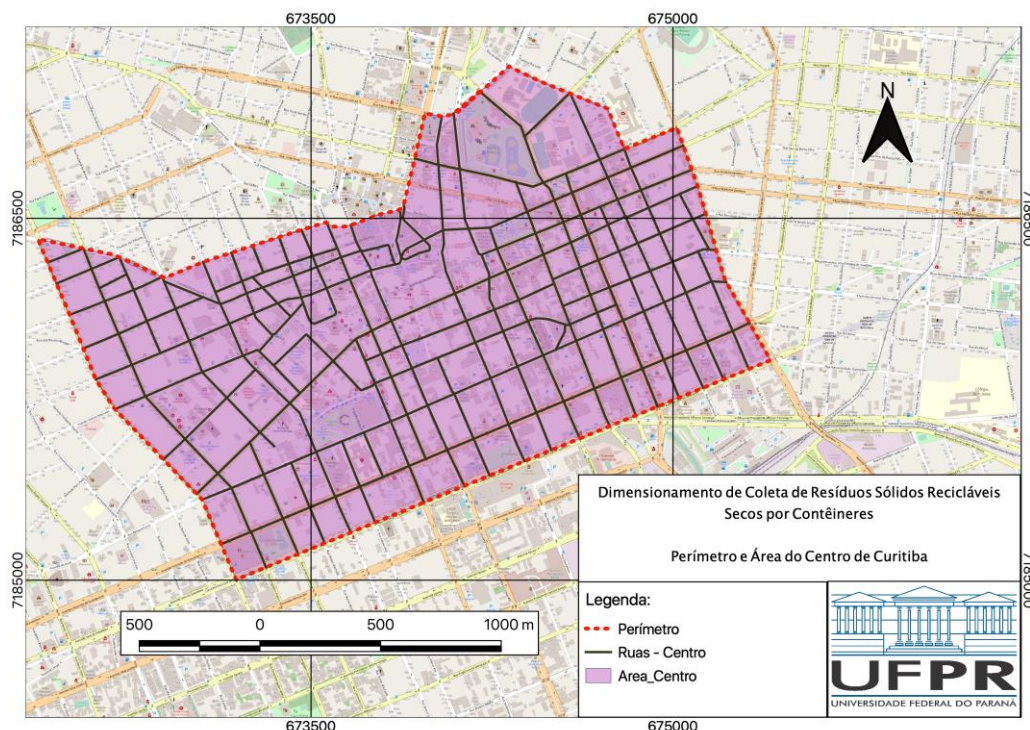
Além disso, mais da metade (60%) dos habitantes diz não ter conhecimento do destino de seus resíduos. Então percebe-se a necessidade de intervenção por

parte dos canais de comunicação públicos em aproximar os habitantes dos processos da coleta de RSU a fim de expressar a necessidade de reduzir o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários. Através destes dados, percebe-se que a educação ambiental quanto ao ciclo de vida dos RSU pode ser explorada melhor pela Administração Pública. A partir do momento em que a população tiver conhecimento das etapas e processos de valorização dos resíduos recicláveis secos, então pode ser que os habitantes compreendam a necessidade da responsabilidade compartilhada para melhorar a qualidade dos serviços de coleta municipal.

5.2 DIMENSIONAMENTO DA DISTÂNCIA TOTAL DAS RUAS DO BAIRRO CENTRO

Nesta etapa utilizou-se o software QGIS para dimensionar o perímetro, a área e a distância total de ruas. Esta atividade é realizada através das ferramentas vetoriais do programa que retornam a FIGURA 13 a seguir.

FIGURA 13 – DIMENSIONAMENTO PERÍMETRO E ÁREA DO BAIRRO CENTRO – CURITIBA



Fonte: QGIS

No programa, após definir e delimitar a região da camada referente ao perímetro do bairro Centro, é possível por meio das ferramentas vetoriais georreferenciadas, obter as informações desejadas. O valor do perímetro é equivalente a 8,62km. Já o dimensionamento da área o retorna o valor de 3,279km², ou também, 327,9ha. O traçado das ruas determina a distância total a ser percorrida numa campanha da coleta municipal e é mensurado pela ferramenta “Análise Estatística”, a qual retorna uma distância de aproximadamente 52,2km para o Centro de Curitiba (FIGURA14). Este valor de trajeto é obtido somando as distâncias das ruas do centro e o perímetro.

FIGURA 14 – PRINT RESULTADO DA DISTÂNCIA TOTAL DAS RUAS DO BAIRRO CENTRO, CURITIBA - QGIS

Campo analisado: Dist_Ruas	Campo analisado: Dist_Perí
Contagem: 51	Contagem: 1
Valores únicos: 46	Valores únicos: 1
Valores NULL (perdidos): 0	Valores NULL (perdidos): 0
Valor mínimo: 0.03	Valor mínimo: 8.62
Valor máximo: 2.65	Valor máximo: 8.62
Intervalo: 2.62	Intervalo: 0.0
Soma: 43.62999999999999	Soma: 8.62
Valor médio: 0.8554901960784311	Valor médio: 8.62
Valor da mediana: 0.73	Valor da mediana: 8.62
Desvio padrão: 0.6519031376548784	Desvio padrão: 0.0
Coeficiente de Variação: 0.7620229204767088	Coeficiente de Variação: 0.0
Minoria (valor de ocorrência mais rara): 0.03	Minoria (valor de ocorrência mais rara): 8.62
Maioria (valor mais frequente): 0.16	Maioria (valor mais frequente): 8.62
Primeiro quartil: 0.36	Primeiro quartil: 8.62
Terceiro quartil: 1.0750000000000002	Terceiro quartil: 8.62
Intervalo interquartil (IQR): 0.7150000000000002	Intervalo interquartil (IQR): 0.0

$$\text{Dist_total} = 43,629 + 8,620 = 52,249$$

Fonte: QGIS

5.3 DISTÂNCIA ENTRE A POPULAÇÃO E O COLETOR

A característica deste modelo é o modo de disposição no qual centros de resíduos são distribuídos pela cidade. Feito isso, a população terá de assumir o compromisso de dispor os resíduos recicláveis em coletores posicionados em locais pré-determinados.

Para definir os melhores parâmetros a serem adotadas pelo modelo, o presente trabalho dimensionou, comparou e analisou três diferentes cenários, onde o coletor seria disposto no centro de uma área circular, com raio preestabelecido, o qual determina a área de seu alcance. Como os cenários avaliaram 3 categorias de materiais distintos - plástico/metalo, papel/papelão, vidro -, foi preciso avaliar a quantidade produzida de tais RSU por área.

Por exemplo, considerando uma área equivalente a 1ha, onde habitam em média 114 pessoas e a taxa de geração de 1,4kg/hab./dia, são gerados diariamente 159,6kg de RSU. Adotando as proporções de composição de resíduos recicláveis conforme TABELA 4, Plástico/Metal (22%), Papel/Papelão (15%) e Vidro (4%) obtém-se as quantidades apresentadas na TABELA 7.

TABELA 7– GERAÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS SECOS EM 1HA NA REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA

Resíduo	Quantidade Diária [kg/dia]	Peso Específico [kg/m3]	Peso Específico [kg/L]	Volume Diário[L/dia]
Plástico/Metal	35,11	184	0,184	190,27
Papel/Papelão	23,94	431	0,431	55,38
Vidro	6,38	694	0,694	9,17

Fonte: O Autor

5.4 ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS

De acordo com a TABELA 7, a categoria de resíduos Plástico/Metal é a que possui a geração diária mais volumosa, pois em comparação com as outras categorias, considerando a mesma área e intervalo de tempo, é a que apresenta o maior volume de resíduos.

Por meio da equação da densidade (ρ) [3] é possível dimensionar o volume ocupado pelos resíduos gerados, como:

$$\rho = \frac{\text{massa}[kg]}{\text{Volume}[m^3]} \quad [3]$$

O volume ocupado é calculado pela equação [4]:

$$\text{Volume} = \frac{\text{massa}[kg]}{\rho[\frac{kg}{L}]} \quad [4]$$

A fim de mensurar a capacidade de armazenamento, como exemplo considera-se a capacidade de um coletor como o fator de referência, na mesma área de 1ha da região do bairro Centro, como mostra a TABELA 8. Dividindo a capacidade do contêiner pela geração diária de Plástico/Metal temos:

$$\frac{\text{Capacidade}(700L)}{\text{Geração Diária}(pm)} = \frac{700L}{190,27L/dia} = 3,68 \text{ dias}$$

Portanto, um coletor de 700L é capaz de armazenar resíduos sólidos da Categoria Plástico/Metal por 3,68 dias, ou seja, aproximadamente 4 dias até a necessidade de realização da próxima coleta. Já para o mesmo cenário a Categoria Papel/Papelão suporta 12,6 dias, enquanto os resíduos de vidro podem ser armazenados por 76,3 dias. Assim podemos visualizar quantitativamente que a categoria que exige maior frequência de coleta é o Plástico/Metal devido ao seu maior volume de geração diário.

TABELA 8 – CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DOS COLETORES PARA ÁREA DE 1HA
Capacidade de Armazenamento Diário de 1 Coletor em 1ha [dias]

1 Coletor	Plástico/Metal	Papel/Papelão	Vidro
700	3,7	12,6	76,3
1000	5,3	19,9	109,1
2500	13,1	45,1	272,6

Fonte: O Autor

Como a geração diária a ser considerada neste estudo varia em função do raio e do intervalo de tempo selecionado, adota-se a simbologia $GDi(r)$, sendo r = raio; i = (pm :Plástico/Metal ou pp :Papel/Papelão ou v :Vidro).

Considerando um coletor cujo raio de alcance seja determinado em 50m, temos que a área equivalente a um raio de 50m em há seja 0,785ha, como mostra a equação (5).

$$A = \pi r^2 = 7.853,98m^2 = 0,785ha$$

[5]

De acordo com a densidade demográfica do bairro Centro de Curitiba em 2010, se em 1ha são gerados 190,27L de Plástico/Metal, então em 0,785ha são gerados 149,36L, como apresenta o QUADRO 8.

QUADRO 8 – SIMBOLOGIA GERAÇÃO DIÁRIA EM FUNÇÃO DO RAI0 (R)

	R = 50m	R = 70m	R = 100m
Geração Diária	<i>Gdi(50)</i>	<i>Gdi(70)</i>	<i>Gdi(100)</i>
Plástico/Metal [L]	149,36	293,02	597,45
Papel/Papelão [L]	43,47	85,3	173,9
Vidro [L]	7,20	14,12	28,80

Fonte: O Autor

5.5 QUANTIFICAÇÃO DE COLETORES PELO RAI0 DE ALCANCE

Estabelecendo como exemplo o Cenário1, o qual considera 50m como a distância máxima de qualquer habitante até um centro de coletores, então utiliza-se um círculo de R=50m onde a área equivale a 7854m², ou também 0,785 ha(hectares).

$$\text{Área (50m)} = A = \pi r^2 = 7853,98m^2 = 0,785 \text{ ha}$$

Sabendo que o bairro Centro possui 328 ha de área, neste cenário, cada coletor abrange uma área de 0,785 ha, e então estima-se uma quantidade mínima de 417,83 coletores para cobrir toda a sua extensão conforme a equação (2) abaixo.

$$\text{Quantidade de Coletores} = \frac{328ha}{0,785ha} = 417,83$$

Considerando que a densidade demográfica no Centro de Curitiba seja de 113,67 habitantes por hectare (hab./ha), neste caso, um coletor é responsável em atender aproximadamente 90 habitantes. Fazendo isto respectivamente para os coletores atendendo 70m e 100m, obtém-se os resultados como apresenta a TABELA 9.

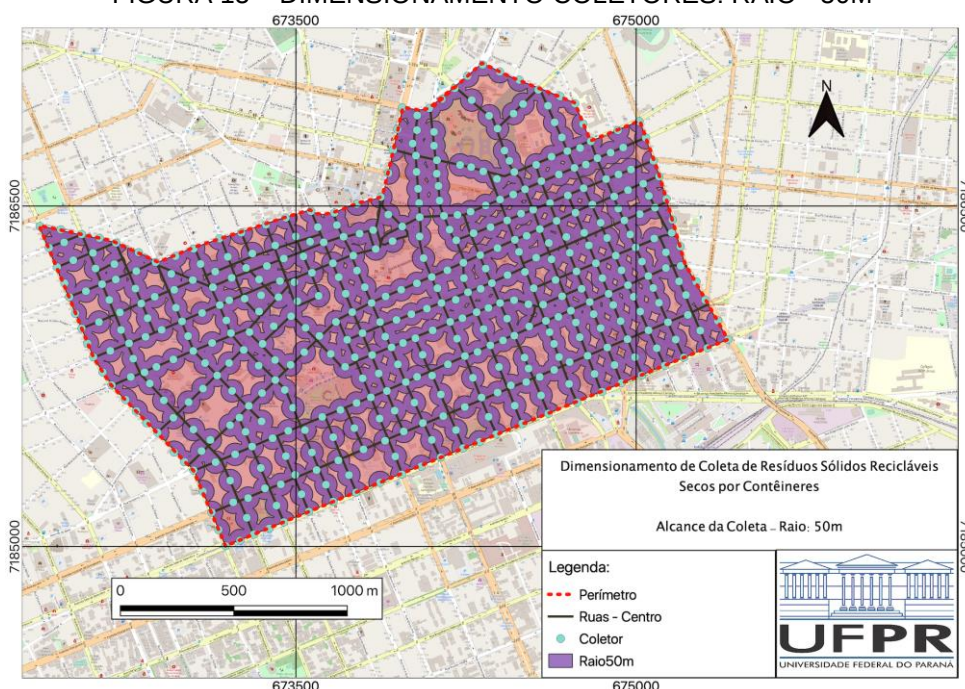
TABELA 9 – QUANTIDADE DE COLETORES EM FUNÇÃO DO RAI0 DE ALCANCE

Raio[m]	Área[m ²]	Área [ha]	Quantidade de Coletores	Habitantes/Coletor
50	7853,98	0,785	417,62	90
70	15393,80	1,54	213,07	175
100	31415,93	3,14	104,41	358

Fonte: O Autor

Ao obter a quantidade mínima de coletores para atender a área do bairro Centro de Curitiba, permite-se o dimensionamento a fim de visualizar a disposição dos coletores. Com a ajuda do software QGIS é possível delimitar uma área de alcance para cada coletor inserido no dimensionamento. Em relação as áreas adjacentes na coleta, estas podem ser contabilizadas e então adicionar a área equivalente em contêineres adicionais. Desta forma, quando avaliada a distância de 50m, temos pela TABELA 9 que a quantidade mínima de coletores para atender a demanda de geração do Centro é de 417,62 contêineres, e gera-se o cenário reproduzido da Figura 15.

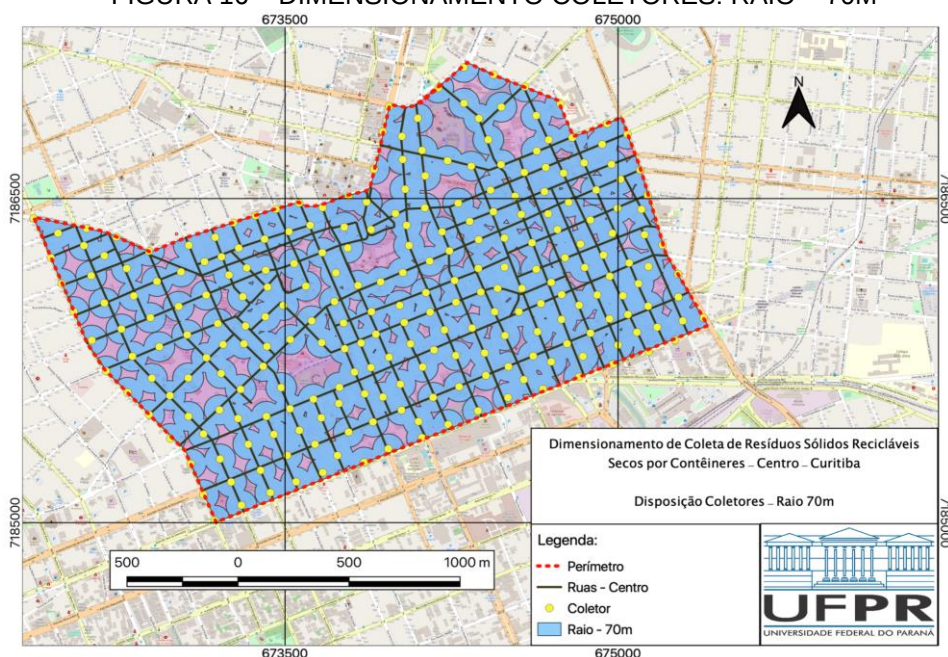
FIGURA 15 – DIMENSIONAMENTO COLETORES: RAIOS - 50M



Fonte: QGIS

Realizando o dimensionamento para a distância máxima de 70m gera-se no QGIS o modelo como apresenta a FIGURA 16. Nesta imagem, se comparada com o Cenário 1(50m), a quantidade de coletores reduz para 214 coletores cobrindo a região do Centro do município.

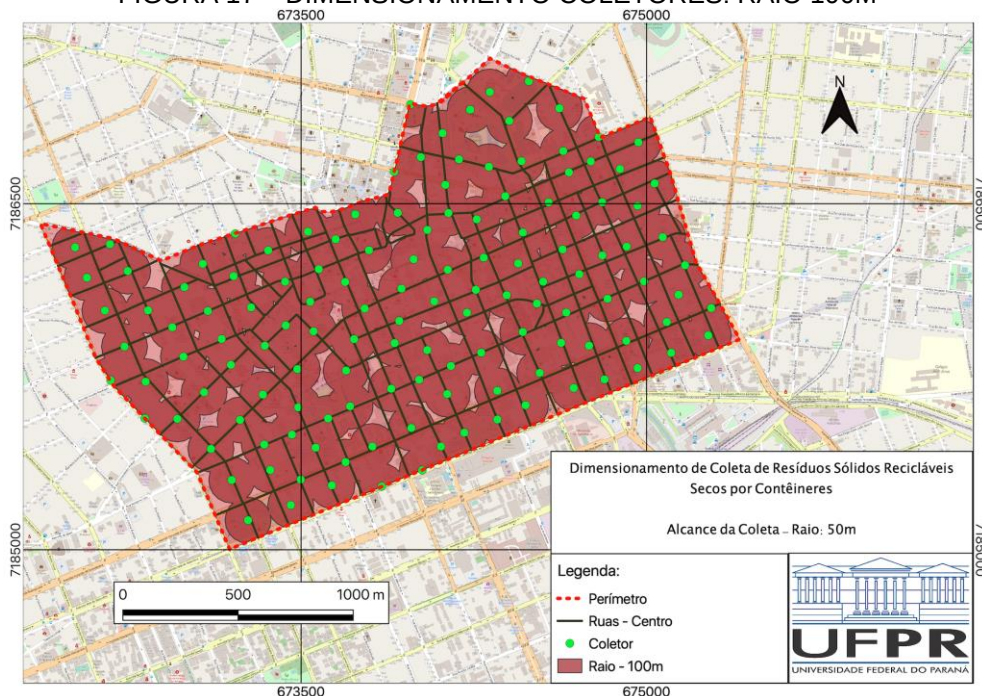
FIGURA 16 – DIMENSIONAMENTO COLETORES: RAI0 – 70M



Fonte: QGIS

Já para o Cenário 3, onde simula-se o raio de alcance do coletor de 100m, obtém-se 105 coletores cobrindo os 328ha de área do bairro Centro como mostra a Figura 17.

FIGURA 17 – DIMENSIONAMENTO COLETORES: RAI0 100M



Fonte: QGIS

Em seguida, como já se conhece a quantidade mínima de coletores para atender o bairro Centro de Curitiba em cada um dos três cenários estabelecidos, então

precisa-se descobrir qual o volume de armazenamento necessário para comportar cada uma das categorias de resíduos. Diferentes capacidades de coletores podem ser utilizadas em função da taxa de geração de cada categoria. Por isso, como sequência do estudo de viabilidade técnica, três intervalos de tempo (Δt) são avaliados analisando-se o volume gerado a fim de definir quais contêineres de disposição são mais adequados para cada opção de cenário.

Neste trabalho, a quantidade de contêineres é determinada em função do raio de alcance, pois cada raio de alcance exige uma demanda mínima de coletores para atender a todos os habitantes. Sendo assim cada raio de alcance assumirá uma quantidade mínima de coletores.

5.6 DIMENSIONAMENTO DOS CENÁRIOS

Com o propósito de facilitar a análise e a comparação, as categorias de resíduos foram avaliadas separadamente, buscando identificar quais as melhores opções de coleta para cada categoria de resíduo sólido reciclável. Com o intuito de simplificar a nomenclatura dos cenários, estabeleceu-se uma simbologia. Os cenários foram identificados da seguinte forma:

$$Ci(r,\Delta t)$$

Onde:

C = cenário

i = categoria (*pm*: Plástico/Metal, *pp*: Papel/Papelão, *v*: Vidro);

r = raio de alcance escolhido;

Δt = intervalo de tempo entre as coletas;

Considerando uma semana de 7 dias, como os três intervalos estudados foram pré-definidos em três, cinco e dez dias, estes representam respectivamente que o serviço de coleta deve ser realizado aproximadamente 2 vezes por semana para o primeiro, o segundo intervalo (5 dias) praticamente 1 vez por semana, levando em conta que são trabalhados seis dias por semana e no terceiro implica em 3 campanhas de coleta no período de 1 mês, conforme apresentado na Tabela 10.

TABELA 10 – SIMBOLOGIA CENÁRIOS

Simbologia dos Cenários			
Cenários	$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
50 m	$Ci(50,3)$	$Ci(50,5)$	$Ci(50,10)$
70m	$Ci(70,3)$	$Ci(70,5)$	$Ci(70,10)$
100m	$Ci(100,3)$	$Ci(100,5)$	$Ci(100,10)$

Fonte: O Autor

5.6.1 Categoria Plástico/Metal

Esta categoria de resíduos é composta principalmente por embalagens de bebidas, como as garrafas plásticas (PET), embalagens de produtos químicos (PEAD), embalagens plásticas, plásticos descartáveis e latas de alumínio. Devido a finalidade destes resíduos, que é o armazenamento de produtos, na hora do descarte muitas vezes não são tomadas as devidas precauções necessárias. Antes de dispor,

deve-se verificar atentamente para que não haja resíduos de líquidos presentes. Estes dois tipos de embalagens geralmente são coletados nos mesmos coletores em função de suas propriedades distintas, permitindo uma separação pós coleta com alta taxa de aproveitamento e economia na quantidade de coletores dispostos para a população.

Através da Geração Volumétrica Diária ($GDi(r)$), onde “ i ” representa a categoria a ser dimensionada (pm : Plástico/Metal, pp : Papel/Papelão e v : Vidro), e “ r ” representa o raio escolhido, pode-se estimar o volume gerado em função do intervalo estabelecido. Por exemplo, para a Categoria Plástico/Metal, admitindo o cenário 1 onde $R=50m$ e o $\Delta t = 3 \text{ dias}$, temos:

$$Volume(\Delta t \rightarrow 3 \text{ dias}) = GD_{pm}(50) * \Delta t = 150,31 \left[\frac{L}{dia} \right] * 3 [\text{dias}] = \mathbf{450,94 L}$$

Resolvendo esta equação para as três distâncias e os três intervalos de tempo obtém-se os resultados conforme a TABELA 11.

TABELA 11 – GERAÇÃO DA CATEGORIA PLÁSTICO/METAL EM LITROS

Plástico/Metal	Geração em Litros[L]		
	$\Delta t=3 \text{ dias}$	$\Delta t = 5 \text{ dias}$	$\Delta t = 10 \text{ dias}$
50 m	450,94	751,57	1503,13
70m	879,05	1465,08	2930,16
100m	1792,34	2987,24	5974,47

Fonte: O Autor

Agora pode-se analisar o volume de armazenamento exigido conforme o cenário escolhido e determinar quais coletores comerciais atendem à demanda de resíduos. Como o Plástico e o Metal são geralmente resíduos utilizados para armazenamento de produtos, o peso específico desta categoria costuma ser menor e consequentemente ocupar mais espaço nos coletores. Logo, os volumes de coletores compatíveis com o volume de material plástico/metall gerado são apresentados na TABELA 12.

TABELA 12 – CAPACIDADE DOS COLETORES CONFORME CENÁRIO DIMENSIONADO

Plástico/Metal	Volume do Coletor em Litros[L]		
	$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
50 m	700L	1000L	2500L
70m	1000L	2500L	n/a
100m	2500L	n/a	n/a

n/a: Volume gerado excede a maior capacidade de contêiner.

Fonte: O Autor

Determinado o volume dos coletores a serem dispostos para coleta municipal de resíduos, foi possível calcular o investimento fixo a ser empregado em função do montante de coletores necessários. Como a quantidade de contêineres é dimensionada pela distância máxima do habitante até um coletor, ao determinar o volume do coletor necessário para armazenar os resíduos urbanos gerados pode-se estimar o montante do investimento a ser realizado. Utilizando os volumes apresentados pela TABELA 12 temos para o raio de 50m a quantidade de 418 contêineres, para o radio de 70m a quantidade de 214 contêineres e para o raio de 100m a quantidade de 105 contêineres. Multiplicando a quantidade de contêineres pelo preço do coletor (TABELA 6), obtém-se os seguintes montantes de investimento financeiro.

TABELA 13 – MONTANTE DE INVESTIMENTO CONFORME CENÁRIOS AVALIADOS CATEGORIA - PLÁSTICO/METAL – BAIRRO CENTRO

Plástico/Metal	Quantidade	Investimento em Coletores [R\$]		
		$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
50 m	418	R\$ 668.800,00	R\$ 752.400,00	R\$ 2.717.000,00
70m	214	R\$ 385.200,00	R\$ 1.391.000,00	n/a
100m	105	R\$ 682.500,00	n/a	n/a

n/a: Volume gerado excede a maior capacidade de contêiner.

Fonte: O Autor

Através dos volumes determinados pela TABELA 12 e multiplicando a quantidade exigida pelo preço do respectivo coletor, obtém-se os valores gerados na TABELA 13, e assim observa-se que o cenário *Cpm(70,3)* utilizando coletores de 1000L apresenta o melhor custo-benefício (R\$385.200,00) em relação ao outros resultados para a Categoria Plástico/Metal.

Então, ao analisar os dados gerados para o dimensionamento de contêineres da Categoria Plástico/Metal, identifica-se principalmente pelo valor do investimento em coletores, que o cenário $Cpm(70,3)$ apresenta-se como a opção mais acessível economicamente. Este cenário utiliza a distância máxima da população até um coletor de 70m, assim podemos considerar que são realizadas mensalmente aproximadamente dez campanhas de coleta da Categoria Plástico/Metal se considerado o intervalo de três dias.

TABELA 14 – DISTÂNCIA PERCORRIDA PELOS CENÁRIOS 1,2 E 3

Distância Mensal Percorrida			
Distância Coleta Atual ($\Delta t=1$ dia) [km]	1254,00		
Plástico/Metal	$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
Distância Cenários [km]	522,50	313,50	156,75
Economia [km]	731,50	940,50	1097,25
Economia (%)	58,33	75,00	87,50

Fonte: O Autor

Na TABELA 14 considera-se a coleta atual conforme apresentado no Relatório Municipal de Saneamento (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2017), onde a coleta na região central de Curitiba acontece diariamente no período de segunda-feira até sábado, representando aproximadamente 24 campanhas coletas mensais, o que equivale a aproximadamente 1254 km mensais no bairro Centro. Por meio deste valor de referência do trajeto da coleta, pode-se avaliar que o Intervalo de Coleta ($\Delta t=3$ dias) implicará numa redução mensal de trajeto da coleta de 731,5km (58,33%).

5.6.2 Categoria Papel/Papelão

Na Categoria Papel/Papelão são descartados materiais como papel, papelão, embalagens de papelão, *TetraPak*, entre outros. Como já apresentado anteriormente, o peso específico desta categoria é de aproximadamente 0,431kg/L. Por meio da Geração Volumétrica Diária de Papel/Papelão para o raio de 50m ($GD_{pp}(50)$), pode ser estimado o volume gerado em função do intervalo de tempo estabelecido. Por exemplo, para a Categoria Papel/Papelão, adotando o cenário $Cpp(50,3)$:

$$Volume(\Delta t \rightarrow 3 \text{ dias}) = GDpp(50) * \Delta t = 43,75 \left[\frac{L}{dia} \right] * 3 [\text{dias}] = 131,26 L$$

Resolvendo esta equação para as três distâncias e os três intervalos de tempo obtém-se os resultados conforme a TABELA 15.

TABELA 15 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CATEGORIA PAPEL/PAPELÃO

Papel/Papelão	Geração em Litros[L]		
	$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
50 m	131,26	218,76	437,53
70m	255,87	426,45	852,90
100m	521,71	869,52	1739,04

Fonte: O Autor

A partir da quantificação dos volumes gerados para cada cenário, pode-se determinar o volume mínimo dos coletores a serem empregados nesta categoria de coleta. Para isso, deve-se escolher para cada cenário, o menor coletor compatível com o volume de geração dimensionado para a Categoria Papel/Papelão como apresenta a TABELA 16 abaixo.

Por esta análise pode-se inferir que a Categoria Papel/Papelão é a segunda mais volumosa pois além de possuir uma taxa de geração elevada, o peso específico é menor do que a Categoria Vidro ocupando mais espaço por quilograma de resíduo descartado.

TABELA 16 – VOLUME MÍNIMO DOS COLETORES – CATEGORIA PAPEL/PAPELÃO

Papel/Papelão	Volume do Coletor em Litros[L]		
	$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
50 m	700L	700L	700L
70m	700L	700L	1000L
100m	700L	1000L	2500L

n/a: Volume gerado excede a maior capacidade de contêiner.

Fonte: O Autor

Determinado o volume do coletor necessário para armazenar o volume de resíduos desta categoria, é possível quantificar o investimento fixo para a coleta de Papel/Papelão. Como se pode inferir da Tabela 16, a maioria dos cenários são comportados pelo contêiner de volume equivalente a 700L, menos para os cenários

$C_{pp}(70,10)$, $C_{pp}(100,5)$ e $C_{pp}(100,10)$ que exigem capacidade de armazenamento superiores, e para estes casos adota-se o contêiner de 1000L e 2500L. Então, aplicando a mesma metodologia utilizada no cálculo do valor a ser investido em contêineres da Categoria Plástico/Metal realizada previamente, estipula-se os valores em relação a escolha do volume dos coletores em função do Δt como apresenta a TABELA 17.

TABELA 17 – MONTANTE DE INVESTIMENTO CONFORME CENÁRIOS AVALIADOS
COLETORES – PAPEL/PAPELÃO

Investimento em Coletores [R\$]							
Papel/Papelão	Quantidade	Δt=3 dias		Δt = 5 dias		Δt = 10 dias	
50 m	418	R\$	668.800,00	R\$	668.800,00	R\$	668.800,00
70m	214	R\$	342.400,00	R\$	342.400,00	R\$	385.200,00
100m	105	R\$	168.000,00	R\$	189.000,00	R\$	682.500,00

Fonte: O Autor

Analisando os dados gerados na Tabela 17, nota-se que para a Categoria Papel/Papelão o melhor cenário em relação ao investimento em coletores apresenta-se no caso do maior raio de alcance no cenário $C_{pp}(100,3)$, cujo valor é R\$168.000,00. Porém este cenário implica no menor Δt do estudo, o qual apresenta menos vantagens em relação ao serviço de coleta devido as distâncias totais percorridas. Já o pior cenário é no caso do cenário $C_{pp}(100,10)$, por ser exigido o uso do contêiner de 2500L, aumentando o custo relativo aos coletores.

Porém se considerado a análise anterior da Categoria Plástico/Metal, onde o melhor custo benefício foi representado pela distância de 70m, implicando na quantidade de 214 coletores deve-se analisar a mesma distância máxima até os contêineres para todas as categorias de resíduos sólidos recicláveis, com o intuito de contemplar a disposição de todas as categorias em cada centro de coletores disponibilizados para os habitantes.

Sendo assim, para os cenários de raio igual a 70m, os montantes de investimento em coletores são bem próximos com R\$ 342.400,00 para $C(70,3)$ e $C(70,5)$, enquanto para $C(70,10)$ é R\$ 385.200,00. Então, neste caso a opção mais viável é quando o Δt igual a 5 dias seja selecionado. Logo, o cenário $C(70,5)$ é considerado o mais ideal devido a economia no serviço da coleta como apresentado na TABELA 14, onde o $\Delta t = 5$ dias infere numa economia de 75% frente a frequência de coleta atual.

5.6.3 Categoria Vidro

No caso do descarte de resíduos da Categoria Vidro apresentam-se praticamente materiais como garrafas e potes de vidro, onde o material se difere devido a sua coloração.

Sabendo que para melhores taxas de aproveitamento na reciclagem do vidro é necessário que as cores sejam segregadas na fonte, deixamos esta sugestão/evolução para futuros investimentos na coleta seletiva. E deste modo iremos considerar um único sistema de coleta para a Categoria Vidro. Levando em conta as três categorias analisadas, o Vidro é a que apresenta a menor taxa de geração pela população, onde a geração diária é de 0,081L/hab., então uma área de 1ha gera aproximadamente 9,172L/dia.

Adotando a mesma metodologia das categorias anteriores, utiliza-se o $GDv(r)$ em função do raio e do intervalo de tempo escolhido. Por exemplo, adotando o raio de 50m ($GDv(50)$) e o intervalo de 3 dias obtém-se:

$$Volume(\Delta t \rightarrow 3 \text{ dias}) = GDv(50) * \Delta t = 7,246 \left[\frac{L}{dia} \right] * 3 [dias] = 21,74 L$$

Resolvendo para todos os cenários obtém-se a TABELA 18.

TABELA 18 – GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CATEGORIA VIDRO

Geração em Litros [L]			
Vidro	$\Delta t=3$ dias	$\Delta t = 5$ dias	$\Delta t = 10$ dias
50 m	21,74	36,23	72,46
70m	42,37	70,62	141,25
100m	86,40	144,00	288,00

Fonte: O Autor

Analisando os volumes gerados conforme cada cenário da Categoria Vidro, nota-se que o volume de geração é bem menor do que a capacidade do menor contêiner (700L) em estudo e atende todos os cenários para geração de vidro. Desta forma, a TABELA 19 apresenta o resultado para os cenários analisados.

Neste caso, observa-se que o fator decisivo é o intervalo de tempo, pois o mesmo coletor é capaz de armazenar o resíduo de vidro gerado em todos os cenários. Assim, como a categoria limitante foi o Plástico/Metal, o qual apresentou melhores resultados para o raio de 70m, então iremos determinar o cenário $Cv(70,10)$

como a melhor opção. Assim, todas as categorias apresentam a mesma quantidade de coletores onde cada centro de coletor terá um contêiner para disposição do resíduo reciclável seco.

Avaliando os custos de investimento da Categoria Vidro, observa-se que a variável que dimensiona os valores é o intervalo de tempo (Δt), pois o coletor(700L) é o mesmo para todos os cenários (TABELA 19).

TABELA 19 – MONTANTE DE INVESTIMENTO CONFORME CENÁRIOS AVALIADOS
COLETORES VIDRO – BAIRRO CENTRO

		Investimento em Coletores [R\$]			
Vidro	Quantidade	$\Delta t=3$ dias		$\Delta t = 5$ dias	
		$\Delta t = 10$ dias			
50 m	418	R\$	668.800,00	R\$	668.800,00
70m	214	R\$	342.400,00	R\$	342.400,00
100m	105	R\$	168.000,00	R\$	168.000,00

Fonte: O Autor

Deste modo, considerando que o raio é definido pelo dimensionamento da Categoria Plástico/Metal, então obtém-se o montante de investimento para a Categoria Vidro de R\$343.400,00. O intervalo de tempo (Δt) escolhido para este tipo de material é o de dez dias em função da economia em relação a distância total percorrida para coleta ser menor.

5.6.4 Análise do Cenário Selecionado

Finalizando a análise dos cenários, identifica-se que a Categoria Plástico/Metal, por possuir a maior taxa de geração diária por habitante, representa a categoria limitante devido ao seu dimensionamento ser o de maior exigência na capacidade de armazenamento. Deste modo a distância máxima de 70m como o raio de alcance dos coletores apresentou-se como o cenário ideal pelas análises realizadas. Em face de um planejamento de implantação de um sistema de coleta por contêineres, a análise e seleção de cenários deve ser realizada avaliando mais fatores além do investimento econômico. Questões urbanísticas e sociais também influenciam a aplicabilidade deste modelo, pois a restrição de espaço urbano em regiões centrais e participação da população são fatores decisivos para o funcionamento adequado deste modelo de coleta.

Adotando o raio de alcance igual a 70m, dimensiona-se que a quantidade mínima de coletores seja de 214 para a área do bairro Centro de Curitiba para cada categoria de resíduos. Na Categoria do Plástico/Metal serão adotados coletores de 1000L onde as campanhas de coleta ocorrerão em um intervalo de 3 dias, resultando numa distância mensal percorrida de 522,5km. Neste período de 3 dias são gerados 187.225L de Plástico e Metal, onde os coletores terão disponibilidade para armazenar 214.000L.

No caso da Categoria Papel/Papelão serão adotados contêineres de 700L e coleta com intervalo de 5 dias, a qual resultará numa distância mensal percorrida de 313,5km. Neste intervalo de 5 dias serão gerados mensalmente 91.102L de Papel/Papelão na área do Centro e a capacidade dos centros de coleta será de 149.800L.

Agora para a Categoria Vidro, coletores de 700L e um intervalo entre as coletas de 10 dias, resultando numa distância mensal percorrida de 156,75km. Neste intervalo de 10 dias serão gerados 30.143,2L e a capacidade de armazenamento será de 149.800L. Para este caso, nota-se que o coletor de 700L é superestimado para a Categoria Vidro, o que possibilita avaliar um coletor de volume reduzido.

QUADRO 9 – DIMENSIONAMENTO DOS CENÁRIOS PARA COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS NO CENTRO DE CURITIBA

	Plástico/Metal	Papel/Papelão	Vidro
Volume Coletor [L]	1000L	700L	700L
Quantidade Coletores	214	214	214
Δt [dias]	3	5	10
Quantidade Campanhas de Coleta Mensal	10	6	3
Distância Mensal Percorrida [km]	522,50	313,50	156,75
Geração Diária Centro [L]	62.408,5	18.220,4	3.014,3
Geração Δt [L]	187.225,5	91.102	30.143,2
Volume Armazenamento Δt [L]	214.000	149.800	149.800
Capacidade Ocupada	87,5%	60,8%	20,1%

Fonte: O Autor

Como a coleta de recicláveis atual é realizada diariamente de Segunda a Sábado no bairro Centro, contabilizamos 24 campanhas mensais, totalizando 1254km percorridos. Analisando o QUADRO 9, para a quantidade de campanhas de coleta mensal, obtém-se 10 (Plástico/Metal), 6 (Papel/Papelão) e 3 (Vidro), o que totaliza 19 campanhas mensais, o equivalente a 992,75km, economia de 21% se comparado ao modelo atual. Se considerarmos a coleta dos resíduos Papel/Papelão e Vidro nos mesmos dias, pode-se reduzir ainda mais a frequência da coleta para 16 campanhas em um mês, equivalente a 836km, economia de 33% frente ao modelo de coleta atual.

Se avaliado o investimento inicial em contêineres para atender a demanda do bairro Centro, através da quantidade e volume dimensionado, obtém-se o montante de R\$1.072.000,00 (TABELA 21) com base no orçamento da Empresa Contemar Ambiental.

TABELA 20 – INVESTIMENTO REFERENTE AOS COLETORES

Categoria	Volume do Coletor	Quantidade	Investimento Coletor	
Plástico/Metal	1000L	214	R\$	385.200,00
Papel/Papelão	700L	214	R\$	343.400,00
Vidro	700L	214	R\$	343.400,00
TOTAL		642	R\$	1.072.000,00

Fonte: O Autor

Segundo informações fornecidas pelo Departamento de Limpeza Pública da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA), para o ano de 2019, o contrato firmado destina mensalmente R\$1.984.827,76 para a coleta de resíduos recicláveis no município de Curitiba (Chiuratto, 2019), onde está incluído o serviço da coleta seletiva, cambio verde e estações sustentabilidade. Como não há o detalhamento dos gastos, não há como comparar diretamente. Porém se considerado que são utilizadas 61 equipes para o serviço de coleta municipal, com o modelo proposto, a redução de 24 para 16 campanhas mensais resulta numa redução de 33%, à grosso modo pode-se dizer que serão necessárias 41 equipes no novo modelo.

$$\frac{\text{Gasto Total Mensal}}{n^{\circ} \text{ de equipes}} = \frac{R\$ 1.984.827,76}{61} = R\$ 32.538,16/\text{equipe}$$

Multiplicando então o custo por equipe por 41, obtém-se que o gasto diminuiria para R\$1.334.064,56.

Para a realização de uma análise custo-benefício ou uma avaliação de período de *payback*, será necessário buscar informações detalhadas referentes ao modelo de

coleta atual, como valores referentes a gastos com veículos. Além disso, se considerado um modelo onde inclui-se os resíduos orgânicos(recicláveis) exigiria uma análise mais profunda quanto aos valores da coleta pois atualmente os serviços públicos de coleta de RSU são separados pela coleta de materiais secos e úmidos.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através da pesquisa aplicada a população de Curitiba, mostraram que a maioria dos habitantes estão dispostos a colaborar com um novo modelo de coleta, porém mesmo com a alta participação na coleta seletiva, 60% ainda desconhecem o destino dos resíduos descartados. Logo, como a taxa de conhecimento da destinação final ainda não é uma informação bem disseminada, surge a oportunidade de apresentar a população os benefícios da separação na fonte e da disposição em contêineres.

Neste ponto, abre-se uma oportunidade para o poder público buscar formas de conscientizar as pessoas de que a qualidade do resíduo descartando pelo município influencia diretamente na taxa de aproveitamento das unidades de valorização, propiciando o desenvolvimento de uma economia circular.

A possibilidade de descarte via veículos automotivos também foi de interesse da população, o que abre espaço para a oportunidade de desenvolvimento de centros de coleta pela cidade, os quais serviriam de incentivo a separação e diversificação de outros resíduos, podendo receber pilhas, lâmpadas, móveis, tecidos, óleo, entre outros.

Com o objetivo de contemplar a aceitação da população, o questionário aplicado a população mostrou que mais de 80% da população aceita deslocar-se até 200m para descartar seus resíduos gerados, porém 26% andariam até 50m. Deste modo, para obter maior participação dos habitantes deve-se optar pelas menores distâncias para descarte de RSU. A demanda de centros de coletores foi definida em função do raio de alcance predeterminado, pois assim quanto maior o raio de cobertura, menor a quantidade de coletores.

Através da análise dos diferentes cenários dimensionados para os resíduos recicláveis, foi possível determinar o volume de armazenamento mínimo para cada categoria de resíduo. O estudo permitiu concluir que a adoção dos contêineres de volume 1000L (Plástico/Metal) e 700L (Papel/Papelão e Vidro) são os mais adequados, sendo estes posicionados em centros de coletores onde a distância máxima dos habitantes é de 70m, sendo possível realizar o serviço de coleta com intervalos de tempo maiores entre as campanhas, reduzindo assim a quantidade de viagens dos veículos de coleta em 33% se comparado ao modelo atual e por consequência aumentar a qualidade do material segregado.

Assim pode-se concluir que a adoção de um modelo de coleta de resíduos sólidos secos por contêineres é viável tecnicamente por oferecer maior flexibilidade na execução da coleta permitindo maiores intervalos entre as campanhas, reduzindo a distância total percorrida pela frota de veículos utilizadas para o serviço, diminuindo assim as emissões produzidas no transporte dos RSU.

Evidencia-se pôr fim a necessidade de intervenção e engajamento do Poder Público em aproximar os habitantes dos processos da coleta de RSU a fim de expressar a necessidade de reduzir o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários. Segundo a pesquisa realizada a destinação final ainda não é de conhecimento de todos, devendo então as ações de educação ambiental serem reforçadas, pois a população mostra-se disposta a separar os resíduos, porém desconhece dos benefícios gerados caso seja feito descarte correto.

Além disso políticas públicas são importantes para o incentivo do conhecimento e a importância da reciclagem, podendo inclusive utilizar-se de meios extrafiscais, estabelecendo taxas ou recompensas conforme o engajamento de cada habitante, como o PAYT, podendo assim, atingir uma maior parcela da população, estimulando uma evolução na gestão de resíduos sólidos recicláveis.

Sugere-se então que para futuras pesquisas quanto ao sistema de coleta de resíduos municipais de Curitiba busquem obter informações detalhadas quanto aos gastos com a coleta de RSU e também se possível utilizar de características do resíduo descartado localmente, devido a alta variabilidade da densidade dos resíduos gerados em diferentes locais e culturas, fator que influencia diretamente no volume total gerado.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. (2017). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*.
- Alessandro Buccioli, N. M. (2015). Do Not Trash the Incentive! Monetary Incentives and Waste Sorting. *Scandinavian Journal of Economics*, 4(Scand. J. of Economics 117), 1204–1229.
- AMB. (21 de 03 de 2016). *Waste management in the Area Metropolitana of Barcelona (AMB)*. Barcelona.
- AMBIRUMO. (2017). *GUIA TÉCNICO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS PAY-AS-YOU-THROW(PAYT)*. ERSAR, PORTUGAL.
- Ana Pires, G. M.-B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. 1033-1050.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). *NBR 10.004*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). *NBR 10.006*. Rio de Janeiro.
- Atiq Uz Zaman, S. L. (2011). Challenges and Opportunities in Transforming a City into a “Zero Waste City”. *Challenges*, 73-93.
- Barles, S. (2009). Urban Metabolism of Paris and Its Region. *Journal of Industrial Ecology*, 898-913.
- Bio Intelligent Service. (2012). *USE OF ECONOMIC INSTRUMENTS AND WASTE MANAGEMENT PERFORMANCES*. European Commission.
- BRASIL. (2007). *Lei nº11.445, de 5 de janeiro de 2007. Dispõe sobre diretrizes nacionais para o saneamento básico e suas políticas federais*. Brasília,DF: Diário Oficial da União.
- BRASIL. (2010). *DECRETO nº 7.404/2010. Instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS*. Brasília,DF: Diário Oficial da União.
- BRASIL. (2010). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos*. Brasília, DF: Diário Oficial da União.
- CEMPRE. (2018). *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT .
- Cervi, E. (2017). *Manual de Métodos Quantitativos para Iniciantes em Ciência Política*. Curitiba: CPOP UFPR.

- Chiuratto, E. N. (2019). Coleta Recicláveis Secos. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <eltrain@smma.curitiba.pr.gov.br> em 11 de abril de 2019.
- Christian Luiz da Silva, G. M. (2017). Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 276-292.
- CNBC. (2018). *How San Francisco sends less trash to the landfill than any other major U.S. city*. Acesso em 21 de 10 de 2018, disponível em CNBC: <https://www.cnbc.com/2018/07/13/how-san-francisco-became-a-global-leader-in-waste-management.html>
- CONAMA. (2001). *Resolução Nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para diferentes resíduos*. Brasília: MMA.
- Contarina Spa. (2015). *Integrated Waste Management*. Acesso em 1 de 11 de 2018, disponível em <https://contarina.it/files/en/ppt.pdf>
- Ellen MacArthur Foudation. (22 de abril de 2019). *Ellen MacArthur Foudation*. Fonte: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>
- EPA. (2007). *METHODOLOGY FOR ESTIMATING MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING BENEFITS*.
- EPA. (2018). *Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Overview*. Acesso em 24 de 10 de 2018, disponível em United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-overview#subtitled>
- Fudala-Ksiazek, S., Pierpaoli, M., Kulbat, E., & Luczkiewicz, A. (Março de 2016). A modern solid waste management strategy – the generation of new by-products. *Waste Management*, 49, 516 - 529.
- IBGE. (2010). *POPULAÇÃO - CIDADES*. Fonte: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>
- IDEIA CIRCULAR. (2018). *O QUE É CRADLE TO CRADLE - C2C*. Fonte: <https://www.ideiacircular.com/o-que-e-cradle-to-cradle/>
- IES, T. I. (04 de 2015). *The Circular Economy in Japan*. Acesso em 05 de 10 de 2018, disponível em <https://www.the-ies.org/analysis/circular-economy-japan>
- IFC. (2015). *Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba*. Curitiba.

- Iriarte, A., Gabarrell, X., & Rieradevall, J. (2009). LCA of selective waste collection systems in dense urban areas. *Waste Management*, 29, 903-914.
- ISWA. (2004). *Overview of Household Collection Systems in Different Cities and Regions*. ISWA Working Group of Collection and Transport Technologies (WGCTT).
- ISWA. (2013). *Underground Solutions for Urban Waste Management: Status and Perspectives*. International Solid Waste Association.
- Jia-Wei Lu, N.-B. C. (2013). Environmental Informatics for Solid and Hazardous Waste Management: Advances, Challenges, and Perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43, 1557-1656.
- Juergen Morlok, H. S.-L.-M.-L. (Fevereiro de 2017). The Impact of Pay-As-You-Throw Schemes on Municipal Solid Waste Management: The Exemplar Case of the County of Aschaffenburg, Germany. *Resources*, 6.
- Klaus Fricke, C. P. (2015). *Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos: Transferência de experiência entre Alemanha e Brasil*. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig.
- Lindhqvist, T. (2000). *Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems*. IIIEE, Lund University.
- Luz, B. (2017). *Economia Circular: Holanda - Brasil da Teoria a Prática*. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brazil.
- Manuel Strauch, P. P. (2008). *Resíduos: como lidar com recursos naturais*. São Leopoldo/RS: Editora Oikos.
- Ministério do Meio Ambiente. (2011). *PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS*. Governo Federal, Brasília.
- Mukhtar, E., Williams, I., Shaw, P., & Ongondo, F. (2016). A Tale of Two Cities: The Emergence of Urban Waste Systems in a Developed and a Developing City. *Recycling*, 254-270.
- Natália Pietzsch, J. L. (2017). Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste: A systematic literature review. *Waste Management* 67, 324-353.
- Ni-Bin Chang, Y. W. (2000). Siting recycling drop-off stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. *Fuzzy Sets and Systems*(114), 133-149.

- Nicole Seyring, M. D. (2016). Assessment of collection schemes for packaging and other recyclable waste in European Union-28 Member States and capital cities. *Waste Management & Research*, pp. 947-956.
- PERS PR. (2017). *Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná*. Curitiba.
- PINJING, H., FAN, L., & HUA Zhang. (2013). Recent developments in the area of waste as a resource, with particular reference to the circular economy as a guiding principle. *Waste as a Resource*, 144-162.
- Prefeitura Municipal de Curitiba. (2017). *Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba*. Curitiba.
- Quantum GIS Development Team. (2019). *QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project*. <http://qgis.osgeo.org>.
- Recology. (2018). *Resources recovery*. Acesso em 21 de 10 de 2018, disponível em Recology: <https://www.recology.com/environment-innovation/#waste-zero>
- Regions4Recycling. (2014). *Good Practice Flanders: PAYT*. Acesso em 2 de 11 de 2018, disponível em http://www.regions4recycling.eu/upload/public/Good-Practices/GP_OVAM_PAYT.pdf
- Sai Liang, T. Z. (2012). Comparing urban solid waste recycling from the viewpoint of urban metabolism based on physical input–output model: A case of Suzhou in China. *Waste Management* 32, 220-225.
- Samuel Niza, L. R. (2009). Urban metabolism: Methodological Advances in Urban Material Flow Accounting Based on the Lisbon Case Study. *Journal of Industrial Ecology*, 384-405.
- SEMA. (2016). *DIAGNÓSTICO DO MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – 2016*. Paraná.
- Shin-ichi Sakai, H. Y.-U. (2011). International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol.13, 86-102.
- SNIS. (2015). *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. Brasília.
- SNIS. (2016). *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. Brasília: Ministério das Cidades.
- Stahel, W. (09 de 10 de 2014). *Eco-innovation*. Acesso em 10 de 10 de 2018, disponível em European Comission: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/reuse-is-the-key-to-the-circular-economy_en

- SU, B., HESHMATI, A., & GENG, Y. (2013). A Review of the Circular Economy in China: Moving from Rhetoric to Implementation. *Journal of Clean Production*, 215-277.
- Teixeira, J., Antunes, A., & Sousa, J. (2004). Recyclable waste collection planning—a case study. *European Journal of Operational Research*(158), 543 - 554.
- World Bank. (2012). *What a Waste: A Global review of Solid Waste Management*. Washington: Urban Development Series.
- World Bank. (2012). *WHAT A WASTE: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington: World Bank.
- WRAP. (2009). *Summary Report – Material Bulk Densities*. Resource Futures.
- YAREMKO, R. K., HARRISON, R. C., & LYNN, E. (1986). *Handbook of research and quantitative methods in psychology*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Zero Waste Europe. (2018). *The Story of Ljubljana: Case Study*. Zero Waste Europe.

ANEXO 1 – MODELO QUESTIONÁRIO

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE TECNOLOGIA ENGENHARIA AMBIENTAL	
Questionário – A Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Curitiba		
Olá, meu nome é Alan, sou estudante de Engenharia Ambiental na UFPR e para meu trabalho de conclusão de curso gostaria de sua contribuição para compreender melhor a coleta de lixo em Curitiba. Do volume total coletado pelos serviços da prefeitura, entre 5-10% é reciclado e são destinados aos aterros sanitários aproximadamente 280 mil toneladas apenas no ano de 2016.		
Sexo:() Masculino()Feminino()Outro:_____ Bairro em que reside:_____ Renda(faixa): () 1-2 S.M. () 3-4 S.M () 5-x S.M. S.M: Salário Mínimo Profissão: _____. Idade:() <18 () 19 – 30 () 31-59 () >60	4. Conhece o destino final dos resíduos coletados pelo serviço da coleta seletiva? 4.1 Sim 4.2 Não	
“Marque apenas 1 alternativa nas perguntas” 1. Você separa os resíduos domésticos (“lixo”)? 1.1 Sim, sempre. 1.2 Sim, às vezes. 1.3 Não, não acho necessário. 1.4 Não, não tenho tempo. 1.5 Não sei como separar. 1.6 Prefiro não responder.	5. Estaria disposto a levar o resíduo gerado em um coletor na rua? 5.1 Sim, claro. 5.2 Sim, sempre que possível. 5.3 Depende da distância. 5.4 Não, não tenho tempo. 5.5 Não, não vejo o porquê.	
2. Você costuma lavar as embalagens recicláveis? (Ex: Embalagens de molhos, derivados de leite, bebidas, etc.) 2.1 Sim, sempre. 2.2 Sim, às vezes. 2.3 Não, não sabia da necessidade. 2.4 Não, não tenho tempo. 2.5 Não sei/ Prefiro não responder.	6. Qual a distância máxima que estaria disposto a andar para descartar o resíduo? 6.1 Meia Quadra (50 m). 6.2 Uma Quadra (100m). 6.3 Duas Quadras (200m). 6.4 Não Andaria. 6.5 Se possível levaria de carro.	
3. Como você separa os diferentes tipos de resíduo? 3.1 Orgânico e Reciclável. 3.2 Apenas Reciclável. 3.3 Não separo / Prefiro não responder.	7. O resíduo corretamente descartado possui maior valor agregado, deste modo, está disposto(a) a colaborar com modelos de coleta de resíduos visando à melhoria socioambiental? 7.1 Sim 7.2 Não	