

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**PROPOSTA DE MODELO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL
NOS SISTEMAS DE COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: ESTUDO DE CASO NO DISTRITO FEDERAL**

MURILO DE CARVALHO MARQUES

**ORIENTADOR: FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA
COORIENTADOR: PAULO CELSO DOS REIS GOMES**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO**

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**PROPOSTA DE MODELO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL
NOS SISTEMAS DE COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: ESTUDO DE CASO NO DISTRITO FEDERAL**

MURILO DE CARVALHO MARQUES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA, PhD (ENC – UnB)
(ORIENTADOR)

FABIANA SERRA DE ARRUDA, Dra. (ENC – UnB)
(EXAMINADORA INTERNA)

REJANE ENNES CICCERELLI, Dra. (IG – UnB)
(EXAMINADORA EXTERNA)

FICHA CATALOGRÁFICA

MARQUES, MURILO DE CARVALHO

Proposta de modelo de consumo de combustível nos sistemas de coleta dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso no Distrito Federal [Distrito Federal] 2018.

xi, 108 p. (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2018)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Emissões atmosféricas

2. Coleta de resíduos

3. Consumo combustível

4. Papa-Lixo

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARQUES, M. C. (2018). Análise das emissões de poluentes atmosféricos na coleta porta a porta e ponto a ponto de resíduos sólidos urbanos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 115 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Murilo de Carvalho Marques.

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise das emissões de poluentes atmosféricos na coleta porta a porta e ponto a ponto de resíduos sólidos urbanos

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Murilo de Carvalho Marques
Rua 3 Chácara 88 Casa 12 – Vicente Pires
72.110-800 – Brasília/DF - Brasil

Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido,
mas aquele que vai acompanhado,
com certeza vai mais longe.

Clarice Lispector

RESUMO

A geração de resíduos sólidos no Brasil tem sofrido aumentos anuais significativos, crescendo mais do que a população do país. Em 2016, foram gerados 78,3 milhões de toneladas de resíduos, deste total, 91% dos resíduos foram coletados. A coleta é realizada por caminhões movidos a óleo diesel com carrocerias sem compactação ou com carrocerias compactadoras, responsáveis por emitir diversos poluentes atmosféricos, como o CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, CO e Material Particulado, que podem causar danos à vegetação e a colheita, desencadear chuvas ácidas, contaminar o solo e a água e provocar doenças respiratórias e cardiovasculares em curto prazo, e em longo prazo, contribuir para a intensificação do efeito estufa e do aquecimento global. Este projeto de conclusão de curso tem como objetivo analisar a contribuição de poluentes atmosféricos (gases de efeito estufa e poluentes locais) gerados pela coleta de resíduos sólidos urbanos através do consumo de combustível. Sendo gerados ao final do trabalho, modelos capazes de estimar o consumo de combustíveis a partir das distâncias percorridas, peso transportado, tempo em movimento, tempo parado e tempo total gasto com a coleta.

Palavras-chave: Consumo de combustível; Resíduos sólidos urbanos; Sistemas de coleta; Emissões atmosféricas.

ABSTRACT OF BACHELOR THESIS

Solid waste generation in Brazil has experienced significant annual increases, growing more than the country's population. In 2016, 78.3 million tons of waste were generated, of this total, 91% of the waste was collected. The collection is carried out by heavy-duty diesel vehicles, responsible for emitting various atmospheric pollutants such as CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, CO and Particulate Material, which can cause damage to the vegetation and the harvest, triggering acid rain, contaminating soil and water, and causing respiratory and cardiovascular diseases in the short term, and in the long term, contribute to the intensification of the greenhouse effect and global warming. This graduation final project aims to analyze the contribution of atmospheric pollutants generated by the collection of municipal solid waste through fuel consumption. At the end of the study, models capable of estimating fuel consumption based on distances traveled, transported weight, time in motion, stopped time and total time spent collecting were generated

Keywords: Atmospheric emissions; Fuel consumption; Waste collection; Semi-buried container.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 3 |
| 2.1 | OBJETIVOS GERAIS | 3 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 3.1 | DEFINIÇÃO DO ESCOPO E FRONTEIRAS DA PESQUISA | 4 |
| 3.2 | MÉTODOS DE ANÁLISE | 9 |
| 3.3 | REVISÃO TEÓRICA | 14 |
| 4 | METODOLOGIA | 18 |
| 4.1 | SELEÇÃO DE ROTAS..... | 18 |
| 4.2 | ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS | 19 |
| 4.2.1 | LEVANTAMENTO DE DADOS | 21 |
| 4.2.2 | ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS..... | 21 |
| 4.2.3 | ESTIMATIVA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS | 22 |
| 4.3 | PROPOSIÇÃO DE MODELOS..... | 23 |
| 4.4 | ANÁLISE DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS A PARTIR DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS | 23 |
| 4.5 | ESTUDO DE CASO | 23 |
| 5 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 28 |
| 5.1 | ESCOLHA DAS ROTAS..... | 28 |
| 5.2 | LEVANTAMENTO DE DADOS | 34 |
| 5.2.1 | DESCRIÇÃO DOS DADOS | 35 |
| 5.2.2 | COLETA DE DADOS | 38 |
| 5.2.3 | PROCESSAMENTO DOS DADOS | 41 |
| 5.3 | SAÍDAS DE CAMPO | 47 |
| 5.3.1 | SAÍDA DE CAMPO – VA 97 | 48 |
| 5.3.1 | SAÍDA DE CAMPO – VA 202 | 53 |
| 5.3.1 | SAÍDA DE CAMPO – VA 204 | 56 |
| 5.4 | MODELO..... | 57 |
| 5.5 | EMISSÕES ATMOSFÉRICAS | 62 |

| | |
|--|----|
| 5.6 DISCUSSÃO | 68 |
| 6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS | 77 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 83 |
| APÊNDICES..... | 86 |
| A1 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA | 86 |
| A2 – CÓDIGO PROGRAMA EXTRAÇÃO DOS TEMPOS | 90 |
| A3 – TERMO DE RESPONSABILIDADE - SLU | 93 |
| A4 – TERMO DE RESPONSABILIDADE – VALOR AMBIENTAL | 95 |
| A5 – MODELOS DE PAPA-LIXO ENCONTRADOS EM CAMPO | 96 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Geração de RSU (ton/ano). | 5 |
| Figura 2 – Número de publicações relacionadas ao tema de 2004 a 2018..... | 10 |
| Figura 3 – Avaliação de Ciclo de Vida – ACV..... | 11 |
| Figura 4 – Tempo de coleta por Kg de RSU coletado por rota. | 17 |
| Figura 5 – Fluxograma metodologia.Fonte: Elaboração própria do autor. | 20 |
| Figura 6 - Geração de RSU per capita nos estados e no Distrito Federal. | 24 |
| Figura 7 – Papa-lixo no Sol Nascente (Ceilândia). | 26 |
| Figura 8 – Mapa de RA’s abastecidas pelo serviço de coleta por empresas licitadas..... | 27 |
| Figura 9 – Localização dos Papa-Lixo. | 28 |
| Figura 10 – Rota de coleta do Papa-Lixo na região do Sol Nascente e regiões no seu entorno. | 31 |
| Figura 11 – Rota de coleta – VA 97..... | 33 |
| Figura 12 – Rota de coleta – VA 202..... | 34 |
| Figura 13 – Rota de coleta – VA 204..... | 34 |
| Figura 14 – Características dos dados. | 37 |
| Figura 16 – Precipitação acumulada (mm) do Distrito Federal. | 40 |
| Figura 17 – Diferentes rotas realizadas pelo caminhão VA 202 ao longo de uma semana. | 41 |
| Figura 18 – Rota excluída da análise – VA 204 – 27/06/2018. | 43 |
| Figura 19 – Ações realizadas pelo software. | 44 |
| Figura 20 – Central de Tratamento de Lixo de Ceilândia. | 45 |
| Figura 21 – Descarga de RSU na UTMB – P. Sul – I – (12/11/2018)..... | 46 |
| Figura 22– Descarga de RSU na UTMB – P. Sul – II – (12/11/2018)..... | 46 |
| Figura 25 – Computador de bordo RasSystem – (19/10/2018)..... | 49 |
| Figura 26 – Caminhão compactador acoplado de muck (<i>truck-crane</i>) – (19/10/2018). | 49 |
| Figura 27 - coletor auxilia a fixação do gancho do muck no Papa-Lixo – (19/10/2018)..... | 50 |
| Fonte: Elaboração própria do autor. Figura 28 – Papa-Lixo retirado do solo e descarregado na carroceria do caminhão compactador acoplado de munck – (19/10/2018)..... | 50 |
| Figura 29 – Acesso prejudicado aos Papa-Lixo durante a chuva – (19/10/2018)..... | 51 |
| Figura 30 – Pá carregadeira e caminhão caçamba coletando entulho e resíduos acumulados em área pública no setor habitacional Sol Nascente – (19/10/2018). | 52 |
| Figura 31 – Coleta e arremesso das sacolas na carroceria do caminhão na coleta porta-a-porta – (12/11/2018). | 54 |
| Figura 32 – Autor mais a equipe de coleta com o motorista e os três coletores – (12/11/2018). | 54 |
| Figura 33 – Condições de operação na coleta porta-a-porta – (12/11/2018). | 55 |
| Figura 34 – Pavimentação e condição das vias da rota percorrida pelo caminhão VA202 – (12/11/2018). | 56 |
| Figura 40 – Consumo real Vs Consumo modelo 1 – VA 97..... | 59 |
| Figura 41 – Consumo real Vs Consumo modelo 1 – VA 202 e VA 204. | 61 |
| Figura 42 – Consumo real Vs. Consumo modelo 13 – VA 202 e VA 204..... | 62 |
| Figura 23 – Análise dos resultados de distância percorrida por litro de combustível consumido para o caminhão VA204 em dezembro. | 64 |
| Figura 24 – Consumo médio de combustível por caminhão. | 68 |
| Figura 35 – Peso médio dos RSU transportados por litro de combustível consumido por caminhão (Ton./L)..... | 71 |
| Figura 36 – Distância média percorrida por litro de combustível consumido por caminhão (Ton./L) | 72 |
| Figura 37 – Setores censitários atendidos pela coleta do VA 204. | 74 |

| | |
|---|----|
| Figura 38 – Setores censitários atendidos pela coleta do VA 202. | 74 |
| Figura 39 – Setores atendidos pela coleta do VA 97. | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Tabela 1 – Geração de RSU e crescimento populacional. | 4 |
| Tabela 2 – Fontes, características e efeitos de parte dos poluentes emitidos pela queima do óleo Diesel. | 8 |
| Tabela 3 – Valores de referência para veículos Pesados do Ciclo diesel obtidos através do ciclo de testes ESC/ELR. | Erro! Indicador não definido. |
| Tabela 4 – Valores de referência para veículos pesados do ciclo diesel obtidos através do ciclo de testes ETC. | Erro! Indicador não definido. |
| Tabela 5 – Rotas percorridas pelo quinto veículo. | 16 |
| Tabela 6 – Rotas de coleta de resíduos selecionadas dos caminhões VA 202 e VA 204. | 32 |
| Tabela 7 – Precipitação acumulada mensal e anual (mm) – Normas climatológicas do Brasil 1961 – 1990. | 40 |
| Tabela 21 – Parâmetros dos modelos de consumo de combustível – VA97. | 58 |
| Tabela 22 – Desvio-padrão dos modelos de consumo de combustível – VA97. | 58 |
| Tabela 23 – Parâmetros dos modelos de consumo de combustível - VA 202 + VA 204. | 60 |
| Tabela 24 – Desvio-padrão dos modelos de consumo de combustível – VA 202 + VA 204. . | 60 |
| Tabela 8 – Consumo de combustível por distância percorrida para cada veículo avaliado. | 63 |
| Tabela 9 - Distância percorrida por litro de combustível consumido para o caminhão VA204 em dezembro. | 64 |
| Tabela 10 – Fatores de emissão por litro de Diesel consumido – Inventário Nacional Brasileiro. | 66 |
| Tabela 11 – Fatores de emissão por litro de Diesel consumido – Inventários internacionais. . | 66 |
| Tabela 12 – Consumo médio de combustível por caminhão. | 67 |
| Tabela 13 – Taxa de emissão média com base na média diária de consumo de combustível. . | 68 |
| Tabela 14 – Emissão média anual de poluentes atmosféricos. | 69 |
| Tabela 15 - Dióxido de Carbono Equivalente (CO2e) para os GEE. | 69 |
| Tabela 16 – Emissão média anual de GEE e CO2e. | 70 |
| Tabela 17 – Média do consumo de combustível, peso dos RSU coletados e quilometragem percorrida. | 70 |
| Tabela 18 – CO2e em função do peso transportado e das distâncias percorridas. | 73 |
| Tabela 19 – CO2e por população atendida. | 73 |
| Tabela 20 – Emissão de CO2e para diferentes populações atendidas. | 76 |

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV: Avaliação do Ciclo de Vida
ANP: Agência Nacional do Petróleo
CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH₄: Gás metano
CO: Monóxido de Carbono
CO₂: Gás Carbônico
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
DETRAN: Departamento Estadual de Trânsito
DF: Distrito Federal
GEE: Gases do Efeito Estufa
GPS: Sistema de Posicionamento Global
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR: Norma Brasileira
N₂O: Óxido Nitroso
NO_x: Óxido de Nitrogênio
PCPV: Plano de Controle de Poluição Veicular
PEV: Ponto de Entrega Voluntária
PF: Projeto Final de Graduação
PNAD: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
PORT: Porta-a-porta
PROCONVE: Programa de Controle da Poluição do Ar para Veículos Automotores
PROMOT: Programa de Controle da Poluição do Ar para Motociclos e Veículos Similares
PRONAR: Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
RA: Região Administrativa
RSU: Resíduos Sólidos Urbanos
RS: Resíduos Sólidos
SLU: Serviço de Limpeza Urbana
VA: Valor Ambiental

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Art. 3º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bem descartados resultantes de atividades humanas em 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 esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A mesma lei define ainda Resíduo Sólido Urbano (RSU) como os originários de atividades domésticas em residências urbanas e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (Art. 13, item I, subitem i).

A Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, em seu Art. 6º diz que o lixo originário de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano. Portanto, Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são gerados por atividades diárias nas casas, hospitais, escolas, empresas e indústrias, sendo divididos em suas duas principais fontes, residencial e comercial.

No Brasil, a geração de resíduos tem sofrido aumentos anuais significativos, crescendo mais do que a população do país. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no Brasil foram gerados 78,3 milhões de toneladas de RSU em 2016, dos quais 91% (71,3 milhões de toneladas) foram coletados. Do total de resíduos coletados, 54,8% foram para aterros sanitários, 24,2% para aterros controlados e o restante, 17,4%, para os lixões.

A coleta dos RSU no Brasil é realizada por caminhões com carrocerias sem compactação ou com carrocerias compactadoras. Quanto ao combustível utilizado, em sua maioria os caminhões são movidos a óleo diesel. O Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR, 2015) utiliza apenas caminhões movidos a diesel em seu inventário de emissões atmosféricas, devido a participação de caminhões elétricos ou movidos a etanol (caminhões do ciclo otto) possuírem participação não significativa na frota.

De acordo com Radetic *et al.* (2016), a lista de contaminantes emitidos pela queima do óleo diesel inclui o dióxido de carbono (CO₂), o óxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado, dióxido de enxofre (SO₂); sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃) e metais pesados – cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), selênio (Se), dentre outros. Onde segundo Agar *et al.* (2012), os principais poluentes atmosféricos emitidos pela queima do óleo diesel são o CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, CO e Material Particulado.

No Brasil, acrescenta-se o CH₄ (metano) na lista do Radetic *et al.* (2016) devido à presença obrigatória de Biodiesel misturado ao óleo diesel desde 2008. Inicialmente 2% do volume de óleo diesel deveriam ser compostos de biodiesel, mas esse valor sofreu aumento e desde março de 2017 passou a ser de 8%, com cronograma de aumento para 10% em março de 2019, segundo a Lei 13.263/2016.

Segundo o relatório de qualidade do ar da CETESB (2017), os poluentes atmosféricos podem causar em curto prazo danos à vegetação e a colheita, desencadear chuvas ácidas, contaminar o solo e a água, provocar doenças respiratórias e cardiovasculares, aumentar as mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis. E em longo prazo, contribuir para a intensificação do efeito estufa e do aquecimento global.

Com objetivo de controlar e reduzir a poluição atmosférica por fontes móveis (veículos automotores), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), criou os programas de controle da poluição do ar por veículos automotores (PROCONVE) e por motocicletas e veículos similares (PROMOT). Os programas fixam prazos e limites máximos de emissão atmosférica para cada categoria, estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores fabricados no Brasil e no exterior.

Diante dos impactos apresentados pelas emissões atmosféricas, este PF visa analisar o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes atmosféricos gerados pela coleta e transporte de RSU.

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro consiste na introdução ao tema e explicação sobre a estrutura adotada; o segundo capítulo define os objetivos gerais e específicos da realização deste Projeto Final de Graduação (PF); o terceiro capítulo apresenta a fundamentação teórica, com a contextualização dos itens fundamentais para a compreensão do tema, bem como um levantamento dos estudos já realizados e relacionados ao tema; o

quarto capítulo apresenta a metodologia adotada; o quinto capítulo apresenta os resultados e discussões do trabalho; o sexto capítulo apresenta as conclusões do PF e os aspectos futuros a respeito do tema escolhido.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo geral propor modelos que representem o consumo de combustível para os sistemas de coleta Porta-a-porta (PORT) e Ponto de Entrega Voluntária (PEV) baseado no estudo de caso no Distrito Federal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprir o objetivo geral, este trabalho, no contexto de um Projeto Final de Graduação do curso de Engenharia Ambiental da UnB, busca propor modelos que representem o consumo de combustível por caminhões movidos a óleo diesel ao realizar o serviço de coleta e transporte de RSU no DF. Serão avaliadas as contribuições de dois modelos diferentes de coleta, Porta-a-porta (PORT) e Ponto de Entrega Voluntária (PEV), que serão explicados no capítulo 3 deste trabalho. Assim, tem-se como objetivos específicos:

- Selecionar rotas de coleta e transporte de RSU para a coleta Porta-a-porta e PEV passíveis de comparação;
- Propor modelos que representem o consumo de combustível para a coleta Porta-a-porta e PEV;
- Estimar as emissões de poluentes atmosféricos dos veículos que realizam a coleta e o transporte de RSU para as rotas selecionadas, através do consumo de combustível dos veículos e de ajustes das taxas de emissões atmosféricas obtidas a partir da literatura nacional, e quando ausente, da literatura internacional;
- Comparar os padrões de emissão atmosférica obtidos para as rotas selecionadas

O presente trabalho limita-se a estimar a emissão de poluentes atmosféricos com base no consumo de combustíveis fósseis das rotas de coleta selecionadas, através do ajuste das taxas de emissões atmosféricas obtidas a partir da literatura nacional, e quando ausente, da literatura

internacional.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, conceitos e informações necessários para o desenvolvimento do estudo foram abordados, a fim de se criar o embasamento teórico para o desenvolvimento do tema apresentado.

3.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO E FRONTEIRAS DA PESQUISA

3.1.1 Resíduos Sólidos

A geração de resíduos tem sofrido aumentos anuais significativos, crescendo mais do que a população do país, conforme apresentam a Tabela 1 e a Figura 1, obtidos através dos Panoramas dos RS no Brasil de 2008 a 2016 da ABRELPE, e das projeções populacionais do país realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Enquanto as taxas de crescimento populacional pouco ultrapassam 1%, as de geração de resíduos encontram-se todas acima de 1,25%.

Tabela 1 – Geração de RSU e crescimento populacional.

| Ano | Geração RSU Total | Geração RSU Per capita | Taxa de Crescimento na Geração de RSU | População | Taxa de Crescimento Populacional |
|------|-------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------|----------------------------------|
| | t/ano | Kg/hab./dia | % | hab. | % |
| 2008 | 52.933.296 | 0,923 | - | 191.532.439 | - |
| 2009 | 57.011.136 | 0,985 | 7,70% | 193.543.969 | 1,05% |
| 2010 | 60.868.080 | 1,037 | 6,77% | 195.497.797 | 1,01% |
| 2011 | 61.936.368 | 1,045 | 1,76% | 197.397.018 | 0,97% |
| 2012 | 62.730.096 | 1,037 | 1,28% | 199.242.462 | 0,93% |
| 2013 | 76.387.200 | 1,041 | 21,77% | 201.032.714 | 0,90% |
| 2014 | 78.583.405 | 1,062 | 2,88% | 202.768.562 | 0,86% |
| 2015 | 79.889.010 | 1,071 | 1,66% | 204.450.649 | 0,83% |

Fonte: ABRELPE (2008 - 2016) e IBGE (2008 – 2016).

OBS: Ao estimar os dados de população a partir da geração per capita e total de RSU, obtém-se valores diferentes dos encontrados pelo IBGE, devido à dificuldade de se obter com precisão os dois tipos de dado, no entanto, percebe-se uma melhora a partir de 2013, onde podem ser encontrados valores mais próximos.

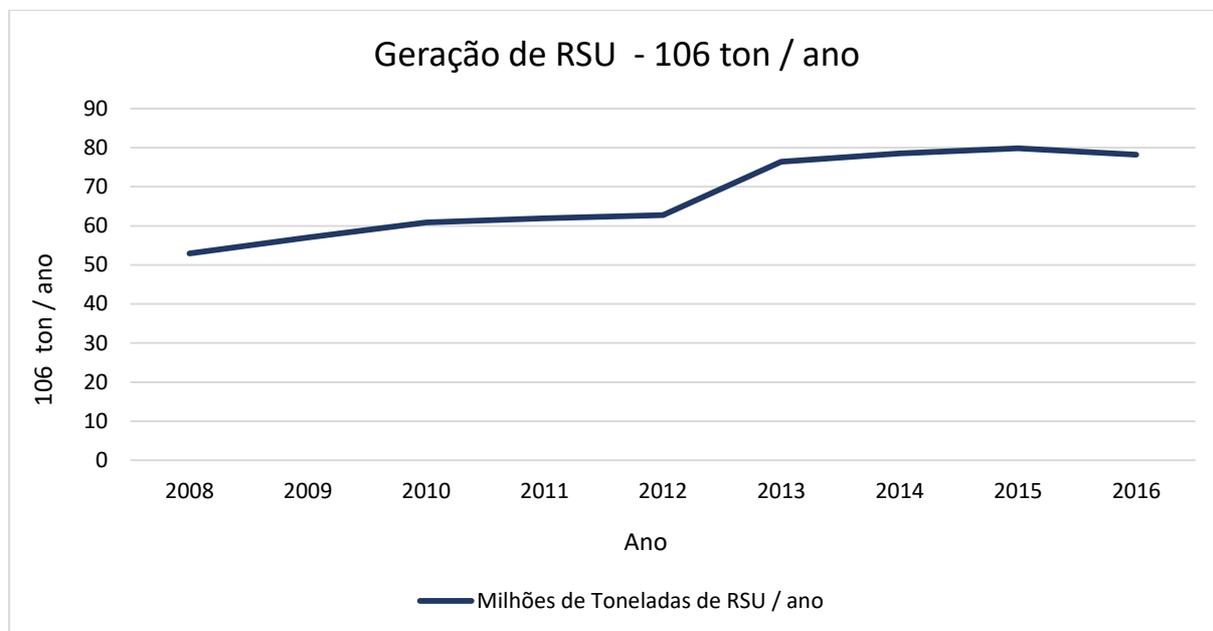


Figura 1 – Geração de RSU (ton/ano).

Fonte: ABRELPE (2008 - 2016).

Segundo a ABRELPE (2016), o Brasil gerou 78,3 milhões de toneladas de resíduos em 2016, deste total, 71,3 milhões de toneladas (91%) foram coletados e transportados para aterros sanitários, controlados e lixões, enquanto 7 milhões de toneladas (9%) sequer foram coletados. Do total de resíduos gerados, 39 milhões de toneladas (49,9%) receberam destinação adequada, sendo dispostos em aterros sanitários ao longo de todo o país, enquanto 39,2 milhões de toneladas (50,1%) receberam destinos impróprios, sendo dispostos 17,2 milhões (43,9%) em aterros controlados, 15 milhões (38,1%) em lixões e 7 milhões (18%) não foram coletados, sendo queimados ou depositados nas ruas, corpos d'água, terrenos baldios, dentre outros.

Segundo o Ministério do meio ambiente (2018), as formas de coleta mais comuns existentes no Brasil são a coleta porta-a-porta e a coleta por Ponto de Entrega Voluntária (PEV), também conhecida como coleta ponto-a-ponto. Sendo a porta-a-porta o tipo de coleta em que um caminhão ou outro veículo passa em frente às residências e comércios recolhendo os resíduos que foram separados pela população. Já os pontos de entrega voluntária (PEV) ou coleta ponto a ponto, consistem em locais situados estrategicamente próximos de um conjunto de residências ou instituições para entrega dos resíduos segregados e posterior coleta pelo poder público.

3.1.2 Consumo de combustíveis

De acordo com Gordon *et al.* (2003), aproximadamente 91% dos 136.000 veículos de coleta de resíduos, 12.000 veículos de transferência e 31.000 veículos dedicados a reciclagem nos Estados Unidos eram movidos a óleo diesel em 2003. Realidade não muito distante da realidade brasileira, que em seu inventário de emissões por veículos rodoviários (parte do Programa Nacional de Inventários de Fontes Poluidoras do Ar, principal marco do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR – criado a partir da resolução CONAMA N°5 de 1989) considera apenas caminhões movidos a diesel, devido à participação de caminhões elétricos ou movidos a etanol (motores do ciclo Otto) possuir participação não significativa na frota.

Motores de ciclo Otto são motores de combustão interna, que operam com uma mistura de ar e combustível, utilizando como combustíveis: gasolina, gás ou álcool, segundo Tillmann (2013).

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é o órgão federal responsável pela regulação das indústrias de petróleo e gás natural e de biocombustíveis. Vinculada ao Ministério de Minas e Energia, é uma autarquia federal especial que executa a política nacional para o setor, com foco na garantia do abastecimento de combustíveis e na defesa dos interesses dos consumidores.

A Agência atua desde a prospecção de petróleo e gás natural nas bacias sedimentares do Brasil até os procedimentos para assegurar a qualidade dos combustíveis vendidos ao consumidor final. A qualidade dos combustíveis é regida por uma série de normas, no caso do óleo diesel de uso rodoviário, pela Resolução ANP N° 50/2013, que classifica o combustível em duas classes:

- Óleo Diesel A – Combustível produzido nas refinarias, centrais de matérias-primas petroquímicas, formuladores, ou por processo diverso desde que autorizado pela ANP, voltado a veículos de uso rodoviário com motores movidos a Diesel, sem adição de biodiesel.
- Óleo Diesel B – Óleo Diesel A + Biodiesel.

Desde 2008 é obrigatória a adição de Biodiesel (B100) ao óleo diesel. Inicialmente, 2% do volume de óleo diesel deveriam ser compostos de biodiesel, mas esse valor aumentou e desde março de 2017, passou a ser de 8%, com cronograma de aumento para 10% em março de

2019, segundo a Lei 13.263/2016.

Além da classificação entre óleo diesel A ou B, os mesmos também se diferenciam pela quantidade de enxofre presente, sendo conhecidos como:

- Óleo Diesel A S10 e B S10 – Combustível com teor de enxofre de até 10 mg/kg
- Óleo Diesel A S500 e B S500 – Combustível com teor de enxofre de até 500 mg/kg

De acordo com a ANP, o teor de enxofre é um dos indicadores da qualidade do combustível, em geral, quanto menor seu valor, melhor, pois sua presença reduz a vida útil do motor e aumenta as emissões de SO₂ e SO₃ (óxido de enxofre), que quando em contato com a água presente na atmosfera, pode provocar a chuva ácida, ademais, o enxofre pode contribuir para elevar as emissões de material particulado, devido à presença de sulfatos.

3.1.3 Emissões atmosféricas

O art. 5º da Resolução ANP Nº 50/2013 obriga o uso do combustível S10 para toda a frota de ônibus de algumas cidades no país, como Belém, Fortaleza e Recife, evitando-se assim a liberação de altas taxas de óxido de enxofre e material particulado para a atmosfera por essa atividade. Apesar de todas as vantagens associadas a essa norma, a mesma não se aplica a frota de veículos de coleta de resíduos ou outros tipos de caminhões movidos a óleo diesel, estando sujeitos, portanto a maiores emissões de SO₂ e SO₃.

Além dos gases citados, de acordo com Radetic *et al.* (2016), a lista de contaminantes emitidos pela queima do óleo diesel inclui o dióxido de carbono (CO₂), o óxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NOX), material particulado, dióxido de enxofre (SO₂); sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃) e metais pesados – cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), selênio (Se), dentre outros.

Apesar da quantidade de diferentes tipos de gases emitidos, segundo Maimoun *et al.*(2013) os principais gases de efeito estufa (GEE) emitidos pelos caminhões de coleta de resíduos são o CO₂, CH₄ e o N₂O.

Sendo os gases de efeito estufa (GEE) definidos pela Lei Nº 12.187 de 29 de dezembro de

2009, em seu Art. 2º, Item V da política Nacional sobre Mudança do Clima, como constituintes gasosos, naturais ou antrópicos, que, na atmosfera, absorvem e reemitem radiação infravermelha. Onde se encontram o CO₂, CH₄, N₂O, O₃, Halocarbonos, vapor d'água, dentre outros.

Segundo Agar *et al.* (2012), os principais poluentes atmosféricos emitidos pela queima do óleo diesel são o CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, CO e Material Particulado. Acrescenta-se o CH₄ (metano) na lista do Radetic *et al.* (2016) devido a presença de Biodiesel misturado ao óleo diesel em alguns países como Canadá, União Europeia e Brasil.

Tabela 2 – Fontes, características e efeitos de parte dos poluentes emitidos pela queima do óleo Diesel.

| Poluente | Características | Fontes Principais | Efeitos Gerais ao Meio Ambiente |
|---|---|---|--|
| Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra. | Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera). | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo. |
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra. | Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo. |
| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis. | Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes. | Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas. |
| Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) | Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos. | Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações. | Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita. |

Fonte: CETESB (2010).

As emissões de poluentes atmosféricos causam diversos impactos no meio ambiente e na saúde humana. Em escala global, muitos poluentes possuem como efeito a intensificação do efeito estufa, contribuindo com o aumento do aquecimento global, que pode levar ao aumento da intensidade de eventos extremos, como verões mais quentes e invernos mais rigorosos,

provocar alterações nos ciclos da chuva, no nível do mar, dentre outros. Regionalmente os GEE podem provocar as chuvas ácidas, que devido ao relevo e condições de vento, pode ocorrer a longas distâncias da fonte geradora. Quanto aos efeitos locais, conforme apresenta a Tabela 2 acima, os GEE podem impactar a fauna e a flora, contaminar o solo e a água, provocando efeitos na saúde humana concentrados em sua maior parte no sistema respiratório.

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE

Em busca de trabalhos relacionados ao tema, foi realizada pesquisa com base nas seguintes palavras-chave: “*waste collection*” E “*emission*”. Utilizou-se o conectivo E ao invés de OU porque o objetivo era encontrar trabalhos que tratassem ao mesmo tempo de emissões de poluentes atmosféricos e coleta de resíduos. Caso fossem trabalhadas apenas emissões e não necessariamente coleta de resíduos, poderiam aparecer quaisquer trabalhos relacionados a emissões, como emissões atmosféricas de fábricas, indústrias, automóveis, dentre outros.

O objetivo do trabalho, independente da metodologia adotada, é propor modelos que representem o consumo de combustível e a partir desses valores, estimar a emissão de poluentes atmosféricos emitidos por diferentes rotas de coleta de resíduos (sendo ao menos uma PORT e a outra PEV). Portanto, optou-se em não especificar a metodologia através das palavras-chave, mas sim em manter as duas palavras chave citadas, expandindo-se assim os resultados.

A busca foi realizada na plataforma *Scopus*, por ser o maior banco de dados de resumos e citações de periódicos, livros e anais de congressos, oferecendo uma visão abrangente dos resultados de pesquisa do mundo em diversas áreas do conhecimento. A plataforma é a que possui acesso ao maior número de periódicos científicos, mais do que as demais bases como *Web of Science* ou *Journal Citation Reports*. Ademais, graças ao convênio entre a Universidade de Brasília e a Capes, é possível acessar gratuitamente todos os recursos da plataforma, incluindo o download da maior parte dos artigos científicos citados.

Ao todo, foram publicados 208 documentos com as duas palavras-chave citadas juntas desde janeiro de 1975 até maio de 2018. Ao limitar a busca para os últimos 15 anos, esse valor cai para 186 documentos, os quais se dividem em artigos, anais de congressos, capítulos de livros, dentre outros. Para a análise em questão, foram utilizados apenas os artigos científicos e os anais de congressos, reduzindo esse valor a 168 documentos (40 anais de

congresso e 128 artigos científicos).

A maioria dos documentos vinculados ao tema (106 dos 168 – 63%) apesar de possuir como palavras chave emissões e coleta de resíduos, trabalham com o tema sem abordar a emissão de poluentes atmosféricos através de veículos de coleta de resíduos, abordando temas como a exposição dos trabalhadores aos gases emitidos pelo caminhão de coleta ou a emissão de poluentes exclusivamente pela disposição final do resíduo (incineração, aterro sanitário, aterro controlado, dentre outros).

A parte restante (62 dos 108 documentos – 37%) aborda diretamente o tema emissão e coleta de resíduos, no entanto, alguns desses documentos trabalham com a emissão de poluentes apenas como consequência de uma determinada atividade, como a otimização das rotas de coleta, que leva a redução no consumo de combustível e, portanto, a redução na emissão de poluentes atmosféricos, sem abordar de fato como a emissão é calculada.

A imagem abaixo apresenta o número de publicações diretamente ligadas ao tema emissão e coleta de resíduos ao longo dos últimos 15 anos. O período entre 2015 e 2017 foi o que apresentou o maior número de publicações, ficando o ano 2018 de fora destes anos provavelmente porque foram analisados apenas os primeiros cinco meses de 2018, dado que a revisão bibliográfica foi realizada no mês de maio deste ano. Mesmo não conseguindo abordar todo o ano de 2018, apenas duas publicações o separam do ranking dos três anos com maior número de publicações, ou seja, caso a taxa de publicações se mantenha, este ano será o ano com o maior número de publicações vinculadas a esse tema.

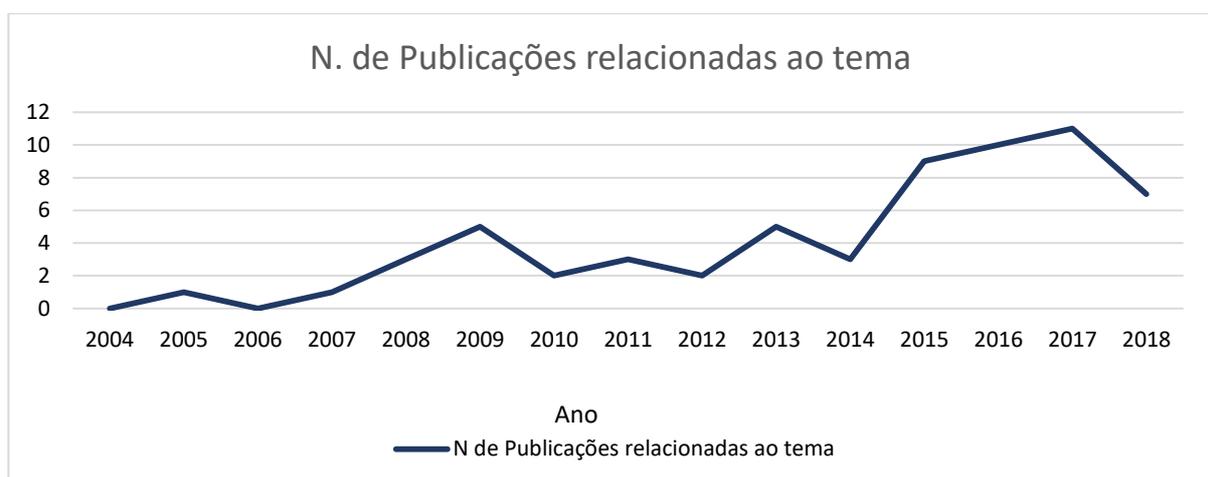


Figura 2 – Número de publicações relacionadas ao tema de 2004 a 2018.

Fonte: SCOPUS (2018).

Dentre as 62 publicações, 23 (37%) se referem à otimização de rotas de coleta, reduzindo a emissão de poluentes como consequência, em seguida, 16 (26%) obtêm a emissão de gases por ACV, 2 (3%) obtêm os valores a partir de medições feitas diretamente no escapamento dos veículos, e o restante, 21 publicações (34%), estimam a emissão de poluentes de diversas maneiras distintas, desde a utilização direta de dados secundários de emissão atmosférica, a até mesmo adaptações aos dados secundários através de dados de receptores de navegação automotivo GNSS, como pode ser visualizado no Anexo 1 deste documento. A maior parcela das publicações se refere a otimização de rotas de coleta, que trabalham com a emissão de poluentes apenas como consequência da otimização das rotas de coleta, não se atentando a sua determinação, não se enquadrando, portanto, no objetivo do PF.



Figura 3 – Avaliação de Ciclo de Vida – ACV

Fonte: SOZIN, J.P.F.; MELO, P.C. (2017).

A segunda maior parcela das publicações que se referem diretamente ao tema (aproximadamente 26%) trabalha com as emissões de poluentes através de Análises de Ciclo de Vida (ACV) da coleta de resíduos sólidos. A Avaliação do Ciclo de Vida é um método de avaliação de produtos ou processos, que consiste na realização de um inventário de dados de entrada e de saída associados a um objeto de estudo. No Brasil, esse método é regido pela norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), que apresenta os requisitos necessários para a

condução de uma ACV. Esta avaliação é composta por quatro fases, que são a definição do objetivo e do escopo, a análise do inventário, a avaliação dos impactos e a interpretação, como pode ser visto na Figura 3 acima.

Apesar de uma importante ferramenta na avaliação dos impactos de um produto ou serviço, e de ser possível ao restringir as fronteiras da análise para apenas a operação do veículo de coleta (portão da fábrica ao túmulo), é importante lembrar que o objetivo do trabalho é propor modelos que representem o consumo de combustível e a partir dos valores obtidos, estimar a contribuição de poluentes atmosféricos pela coleta PORT e PEV, levando-se em conta quaisquer fatores que possam alterar seu consumo de combustíveis e logo, sua emissão de poluentes atmosféricos. Ao realizar uma ACV, seria necessário definir uma unidade funcional, como a emissão referente ao consumo de 1 litro de óleo diesel, o que poderia ser obtido pelo consumo de combustíveis médio do caminhão compactador ao realizar determinada rota e através de dados secundários de emissão atmosférica por litro de combustível. No entanto, não seria possível mensurar os detalhes de cada coleta, tampouco avaliar qual seu grau de importância no consumo e na emissão de poluentes, por exemplo, quanto é consumido a cada ponto de parada (contêiner na coleta PEV e na porta de cada casa na coleta porta a porta) ou quanto é consumido através da compactação dos resíduos no caminhão compactador ou o quanto é consumido durante o transporte de resíduos até o aterro sanitário.

De acordo com Hauser (2015), o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes atmosféricos dos veículos de coleta de resíduos são altamente dependentes da classe do veículo, de seu peso (onde entra o peso transportado), de seu ano de fabricação, condições de direção, tipo de combustível utilizado, velocidade do veículo, condições da via e tipo de estrada percorrida (pavimentada ou não pavimentada), e as habilidades do condutor. Em função do peso, do combustível utilizado e das curtas distâncias percorridas entre cada ponto de parada, uma simples rota emite quantidades significativas de poluentes atmosféricos.

As emissões atmosféricas sofrem influência da rota, das condições de tráfego, das condições da via, do peso carregado pelo caminhão, e especialmente das condições em que o motor opera (se o caminhão está se deslocando ou se encontra parado, porém ligado), dentre outros fatores. Portanto, utilizar dados médios de consumo de combustíveis ou de emissões calculadas com base no consumo médio de combustíveis geradas em outros locais pode trazer resultados diferentes da realidade, sendo necessário, portanto, realizar uma adaptação dos

dados secundários disponíveis.

Outra metodologia presente nos artigos encontrados e de acordo com os objetivos do trabalho foi o levantamento do dado primário de emissões de poluentes atmosféricos, através da instalação de sensores nos escapamentos dos veículos de coleta de resíduos, conforme a norma ABNT NBR 15.634 de 2012.

Essa com certeza é a metodologia mais acurada para a determinação das emissões, e caso seja feita ao longo de um período de 12 meses, poderá ser capaz de mensurar as variações não apenas semanal, mas mensal e sazonal. Apesar de ser o método com melhores resultados, para que seja executado, demanda-se uma grande estrutura, pois são necessários além dos aparelhos de medição, um sistema capaz de enviar os dados coletados em tempo real (ou que a coleta dos dados ocorra com alta frequência), e um laboratório em que os aparelhos de medição possam ser calibrados/testados e os dados apurados.

Por fim, foi utilizada a única metodologia restante das pesquisadas, e que melhor se encaixa com o objetivo do trabalho e com as informações e recursos disponíveis, a estimativa do consumo de combustíveis através de receptor de navegação móvel GNSS.

Segundo Agar *et al.* (2007), “Este projeto mostrou que os dados de receptor de navegação móvel GNSS em veículos de coleta de resíduos sólidos podem ser obtidos de forma confiável. Sua obtenção através do receptor é eficaz e eficiente. Os dados podem ser usados para derivar valores médios de parâmetros importantes de coleta de RSU. Os dados são muito mais precisos do que os disponíveis em estudos de tempo e movimento ou registros de caminhões e podem ser coletados por períodos mais longos. A coleta de dados usando um receptor de navegação móvel GNSS é uma melhoria significativa em relação aos métodos tradicionais de coleta de dados”.

Tabela 3 – Principais artigos para o desenvolvimento deste trabalho

| |
|--|
| Agar et al. (2007) e Agar et al. (2005) |
| Hauser (2015) |
| Lim`s et al. (2002) |
| RADETIć et al. (2016) |

Do total de artigos pesquisados, destacam-se os apresentados na Tabela 3 como os principais para o desenvolvimento deste trabalho.

3.3 REVISÃO TEÓRICA

Para estimar as emissões atmosféricas da coleta de resíduos através de Receptor de Navegação Móvel GNSS, Agar *et al.* (2007), na cidade de Hamilton (490 mil habitantes) na província de Ontario no Canadá utilizou a seguinte metodologia:

- Levantamento de dados primários através de Receptor de Navegação Móvel GNSS:
 - Localização geográfica; tempo (data/hora); velocidade instantânea; número de vezes em que o guindaste é utilizado para erguer as lixeiras e o número de vezes em que o motor foi ligado/desligado.
- Estimativa do consumo de combustíveis fósseis: A maneira com que o veículo de coleta é utilizado influencia no consumo de combustíveis, que determina a emissão de poluentes atmosféricos. Quando o caminhão está se movendo (“*Driving time*”) apresenta padrões de emissão diferentes de quando está parado recebendo e compactando resíduos (“*Idling time*”), pois seu consumo de combustível é diferente. Segundo Bender *et al.* (2014), o processo de compactação dos resíduos possui influência significativa no consumo de combustíveis, devendo ser levado em consideração nos modelos de simulação dos veículos. Durante a compactação o motor dos veículos de coleta de resíduos varia de 600 rpm (rotações por minuto) para 1215 rpm. Portanto, determina-se o tempo em que o veículo passa se movendo e o tempo em que leva parado, porém operando, recebendo e compactando resíduos. A partir dos tempos, obtém-se o consumo de combustível. Para diferenciar o período em que o veículo estava no “*Driving time*” ou no “*Idling time*”, utilizou-se primeiro o dado de motor ligado/desligado, e a partir dos períodos em que o motor estava ligado, através da velocidade instantânea, diferenciou-se “*Idling time*” (velocidade = 0 km/hora) de “*Driving time*” (velocidade > 0 km/hora). Por fim, ao partir de dados secundários do consumo de combustível no “*Idling time*”, obtém-se o volume de combustível consumindo com o veículo parado compactando os resíduos, que é subtraído pelo volume total de diesel consumido, obtendo-se assim o volume de combustível gasto no “*Driving time*”;

- Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos (CO₂, CO, HC, NO_x e Material particulado): Através de dados secundários de taxa de emissão atmosférica por litro de combustível consumido extraídos de artigos científicos, órgãos ambientais e agências reguladoras, foram determinadas as emissões de poluentes atmosféricos através do produto entre os valores de emissão encontrados e a estimativa do consumo de combustíveis. Sendo determinada a emissão de poluentes atmosféricos para cada rota de coleta obtida através do receptor de navegação móvel GNSS.

O mesmo autor em um trabalho mais antigo - Agar *et al.*(2005) - utilizando os mesmos dados levantados na cidade de Hamilton (490 mil habitantes), na província de Ontario no Canadá, demonstrou o uso potencial de dados coletados por receptor de navegação móvel GNSS para os serviços de limpeza urbana. Através do monitoramento de cinco veículos de coleta, demonstrou que os dados do receptor de navegação móvel GNSS para os veículos de coleta de resíduos podem ser utilizados de maneira confiável, são levantados de maneira eficiente e são muito úteis em questões de planejamento, obtendo-se um modelo (equação matemática) que relaciona distância percorrida, N° de casas atendidas e N° de lixeiras descarregadas, de modo que assim, possa-se estimar quanto tempo será gasto com a coleta.

Dos cinco veículos utilizados, dois eram caminhões compactadores convencionais operados pela empresa de limpeza pública. O terceiro caminhão também era compactador, mas operado por empresa contratada. O quarto coletava resíduos recicláveis, e o quinto, era um caminhão com dois compartimentos, sendo um destinado para a coleta de resíduos indiferenciados, e o outro, para a coleta de resíduos orgânicos, equipado com uma espécie de guindaste capaz de levantar e esvaziar as lixeiras. Os caminhões operam em diferentes situações - zona rural, periurbana e urbana - de acordo com o dia da semana.

Os cinco caminhões foram equipados com aparelhos *Trimble Telvisant CrossCheck GPRS 1900 Mobile data recorders*, receptores de navegação móvel GNSS capaz de coletar a localização geográfica dos caminhões, suas velocidades instantâneas (velocidade do veículo naquele instante), o número de vezes em que foi dada a partida no veículo, e os momentos em que o veículo saía dos limites de sua rota, sendo todos os dados coletados de minuto a minuto e enviados a cada 15 minutos para um servidor na web. Para o quinto veículo, além dos dados citados, seu aparelho era capaz de contabilizar o número de vezes em que o guindaste havia sido utilizado.

Além dos dados dos receptores, o projeto também utilizava a massa dos resíduos transportados (obtidos nas balanças de pesagem), o horário em que os veículos entraram e saíram da balança e o consumo de combustíveis dos três veículos pertencentes ao município, obtidos através dos valores dos odômetro e número de vezes em que o veículo foi abastecido.

Em média foram feitas 450 coletas de dados por veículo por dia, o que multiplicado por cinco veículos e pela extensão do projeto, dá uma quantidade significativa de dados. Deste total, aproximadamente 90% eram coletados automaticamente, estando sujeitos à coleta manual apenas o registro de combustível e os dados de pesagem do veículo.

Devido à quantidade de dados levantados, regressões com significado estatístico puderam ser utilizadas, obtendo-se modelos que relacionam os parâmetros com o tempo gasto com a coleta, obtendo-se ao final, uma equação com R^2 de 81% para o caminhão com dupla coleta.

O veículo de dupla coleta é utilizado em cinco rotas de coleta diferentes, sendo uma para cada dia da semana, conforme a tabela abaixo. Ademais, possui volume igual a 15,3 m³ e opera apenas com um único trabalhador. Seu maior compartimento armazena os resíduos misturados, enquanto o menor, resíduos orgânicos, onde se localiza o guindaste responsável por erguer as lixeiras de 140 litros espalhadas ao longo de Hamilton.

Tabela 4 – Rotas percorridas pelo quinto veículo.

| Dia de coleta | Urbanização | Capacidade do Contêiner | Número de casas | Distância da rota (km) | Densidade de casas (casas/km) |
|----------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Segunda-feira | Rural | 140 L | 508 | 82,45 | 6,16 |
| Terça-feira | Baixa densidade | 140 L | 404 | 21,36 | 18,92 |
| Quarta-feira | Urbana | 140 L | 493 | 11,41 | 43,22 |
| Quinta-feira | Média densidade | 46,5 L | 435 | 3,44 | 126,5 |
| Sexta-feira | Baixa densidade | 140 L | 493 | 9,64 | 51,17 |

Fonte: Agart et al (2005).

Constatou-se que o tempo médio gasto com a coleta de RSU gerado em apenas um domicílio pode variar bastante na cidade de Hamilton, chegando a 25 segundos em regiões com maior densidade populacional (onde a coleta é realizada na quinta-feira) e 51 segundos no local que apresenta a maior distância entre as casas (onde a coleta é realizada na segunda-feira).

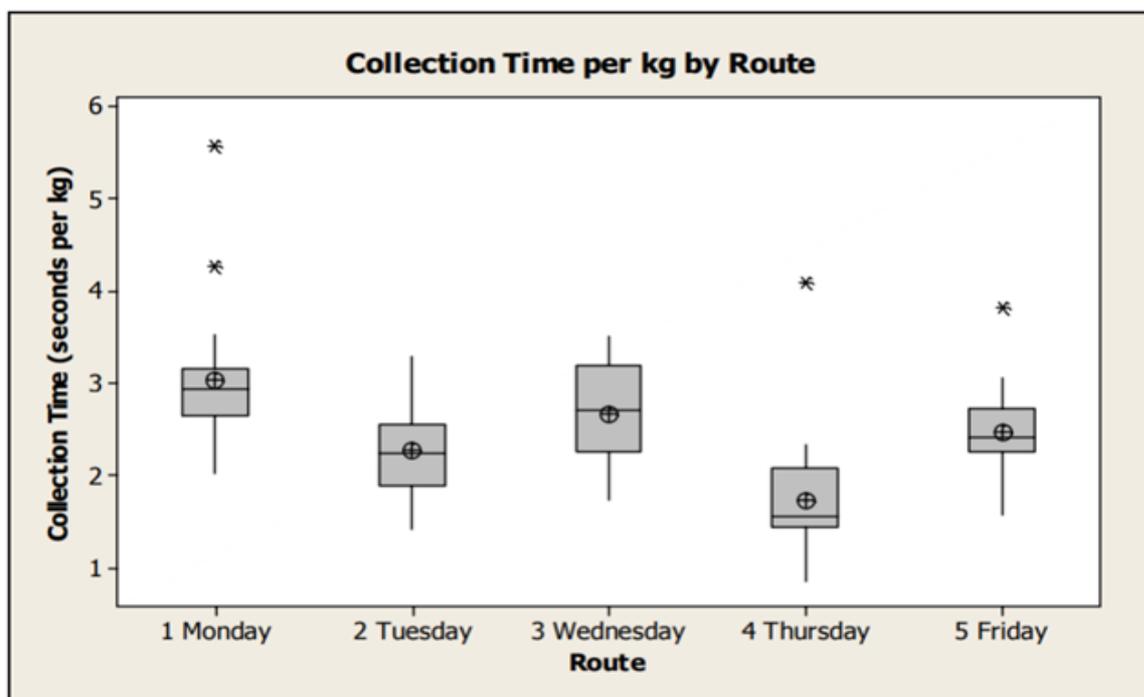


Figura 4 – Tempo de coleta por Kg de RSU coletado por rota.

Fonte: Agart et al (2005).

Outra análise que pôde ser realizada a partir dos dados dos receptores de navegação móvel GNSS, é associar o tempo de coleta ao resíduo coletado, dividindo-se o tempo total gasto com a rota de coleta pela massa de resíduos coletada. As diferenças não foram tão gritantes quanto com o tempo médio gasto com a coleta, conforme apresenta a Figura 4 acima.

Por último, através das análises de regressão, foi possível mensurar o impacto que diferentes parâmetros de rota podem causar no tempo de coleta, onde após a análise de uma série de fatores potenciais, destacaram-se a distância da rota de coleta (km), o número de casas presentes na rota e o número de vezes em que o guindaste foi ativado, obtendo-se a seguinte equação, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 81%:

$$Tempo = -35,7 + 2,18 \times Distância + 0,477 \times N^{\circ} Casas + 0,367 \times N^{\circ} Lixeiras$$

Através das experiências de Agar et al. (2005) e Agar et al. (2007), fica claro o potencial de uso dos dados coletados por GPS para os serviços de limpeza urbana, podendo ser utilizados de maneira confiável, levantados de maneira eficiente e muito úteis em questões de planejamento, podendo-se obter modelos que relacionam os parâmetros de coleta através de regressão linear, desde o tempo gasto com a coleta, a até mesmo o consumo de combustível e os padrões de emissão atmosférica.

4 METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo geral e os específicos, a metodologia foi dividida em seis grupos, conforme apresenta o fluxograma da Figura 5 abaixo:



Figura 5 – Fluxograma com a metodologia.

Fonte: Elaboração própria do autor.

4.1 SELEÇÃO DE ROTAS

Para que a análise seja eficaz, é necessário escolher rotas com condições que possam influenciar o consumo de combustível e, portanto, a emissão de poluentes atmosféricos, de maneira semelhante.

Em primeiro lugar, deve se escolher rotas que colem os resíduos de regiões com características socioeconômicas e urbanísticas semelhantes, de modo que a taxa de geração de resíduos seja parecida, bem como a taxa de ocupação, de modo que os RSU gerados sejam igualmente distribuídos nas rotas, e assim, a influência do peso transportado pelo veículo no consumo de combustível também seja igualmente distribuída.

Tendo em vista que a frota de veículos de coleta em sua maioria no Brasil é composta por veículos movidos a diesel, o combustível utilizado não é uma grande preocupação. No entanto, como apresentado anteriormente, há dois tipos de óleo diesel no país (A S10 e A S500) que apresentam teor de enxofre diferente e, portanto, emissões atmosféricas diferentes, sendo importante se certificar que o combustível utilizado é o mesmo.

Outros fatores que influenciam diretamente o consumo de combustíveis são as condições da via e tipo de estrada percorrida. Para que sua influência sobre o consumo de combustíveis e emissões atmosféricas seja igualmente distribuída para as duas rotas, é necessário escolher rotas tipo PEV e porta a porta que apresentem condições de pavimentação semelhantes, de modo que, caso se escolha uma rota na zona rural com estradas vicinais, a outra rota também

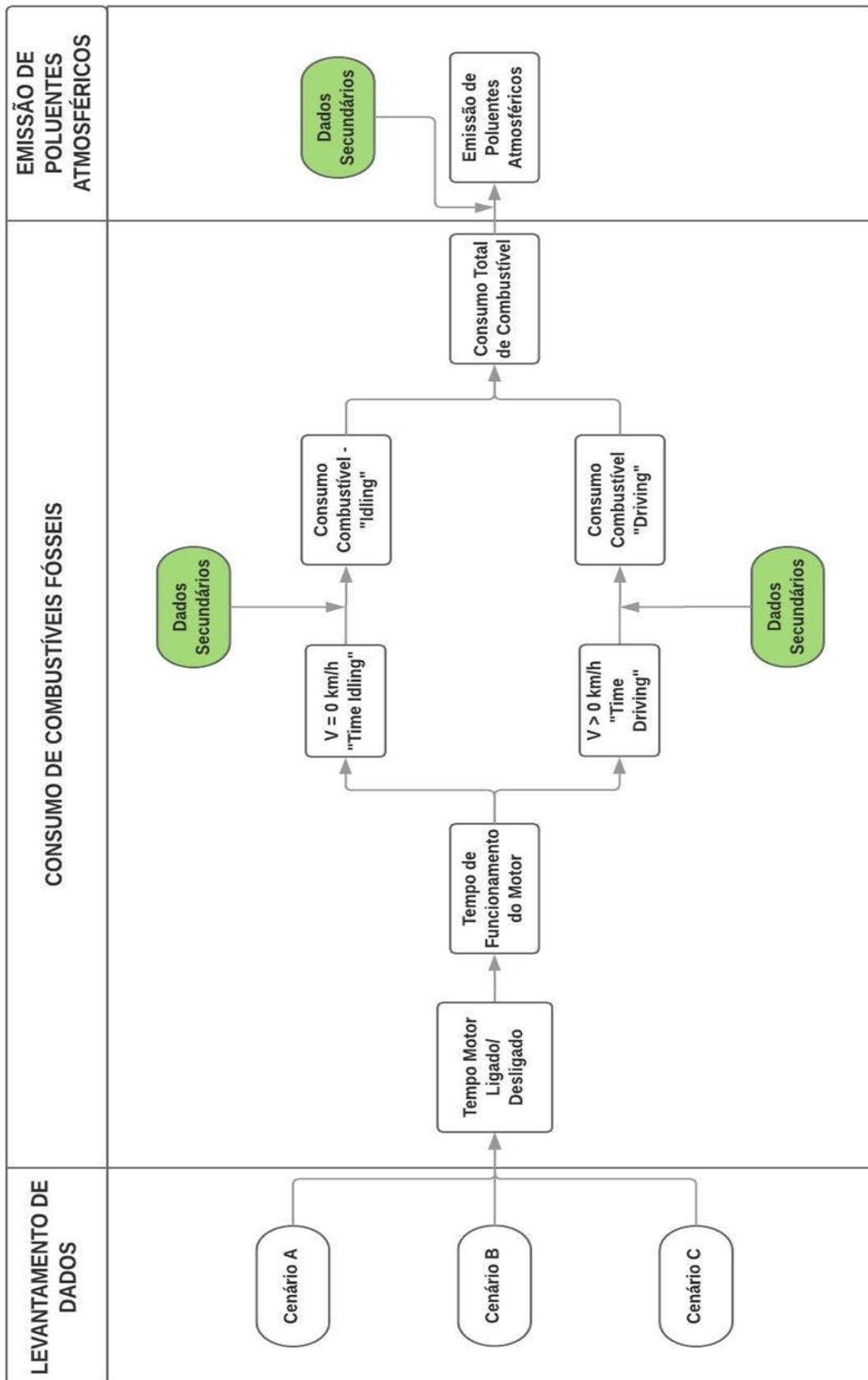
deve ocorrer em estrada vicinal na zona rural.

Por último, caso haja dados disponíveis para rotas que colem resíduos de regiões com condições sócioeconômicas parecidas, que as rotas sejam abastecidas pelo mesmo combustível e que percorram locais com condições de vias semelhantes, devem ser escolhidos caminhões fabricados no mesmo ano, de modo que assim sua influência sobre o consumo de combustíveis e emissões atmosféricas seja igualmente distribuída para as duas rotas.

4.2 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A quantificação das emissões de poluentes atmosféricos é dividida em três etapas, o levantamento de dados, a estimativa do consumo de combustíveis e por último, a estimativa da emissão de poluentes atmosféricos, conforme apresenta a Figura 6 abaixo:

Figura 6 – Fluxograma estimativa das emissões de poluentes atmosféricos.



Fonte: Elaboração própria do autor.

4.2.1 Levantamento de dados

Depois de selecionadas as rotas, o próximo passo é estimar as emissões de poluentes atmosféricos. Nesta etapa é necessário obter os dados de localização geográfica do veículo, velocidade instantânea, volume de combustível consumido, sendo todos os dados apresentados associados a data e horário em que a atividade foi registrada e com as seguintes funções:

- Localização geográfica do veículo – Necessário para obter a distância percorrida;
- Velocidade instantânea - A partir dos períodos em que o veículo estava ligado, utiliza-se a velocidade instantânea (velocidade no momento em que o dado é coletado, diferente da velocidade média) para diferenciar os períodos em que o veículo estava se movendo (“*driving time*”) dos períodos em que o veículo estava ligado e parado, provavelmente compactando ou recebendo resíduos (“*idling time*”). Essa diferença de tempo é importante para a estimativa do consumo de combustíveis, pois para cada condição o veículo possui um padrão de consumo diferente e, portanto, padrões de emissão diferenciados;
- Volume de combustível consumido - Necessário para determinar a quantidade de combustível gasto com o caminhão se deslocando (“*time driving*”) e com o caminhão ligado, porém parado recebendo ou compactando os resíduos (“*time idling*”). Dado importante, pois as condições de operação do veículo influenciam o consumo e a emissão de poluentes atmosféricos.

Neste trabalho os dados foram obtidos diretamente com as empresas que realizam o gerenciamento dos RSU, o Serviço de Limpeza Urbana (SLU) e a Valor Ambiental (VA).

Para que o estudo seja capaz de levantar algumas variações existentes na geração de resíduos e na coleta é importante que sejam escolhidos dias diferentes. Para que os dados sejam capazes de perceber as variações sazonais (aumento do peso dos resíduos em função do acúmulo de água da chuva nos contêineres) ou variações na geração de resíduos, como o aumento na geração nos períodos de festas (natal e ano novo) ou sua redução no período de férias, serão necessários dados para mais do que alguns dias de coleta.

4.2.2 Estimativa do consumo de combustíveis

Através dos dados de abastecimento do veículo e das distâncias percorridas obtidas através da localização geográfica do caminhão, obtém-se uma média do consumo de combustível por distância (Km) percorrida. Ao multiplicar este valor pela distância deslocada pelo veículo, obtém-se o consumo de combustível para o caminho percorrido.

Para diferenciar o consumo de combustíveis por atividade – *Driving* e *Idling* - calcula-se o tempo em que o motor estava funcionando a partir dos dados coletados por receptores de navegação móvel GNSS instalado nos caminhões.

Após se obter o tempo de funcionamento do motor é importante dividir esse período entre motor funcionando e o caminhão se movendo (velocidade instantânea maior do que 0 km/h - “*time driving*”) e o motor funcionando e o caminhão parado (velocidade instantânea igual a 0 km/h - “*time idling*”). Basta obter um dos tempos (“*time driving*” ou “*time idling*”) para se obter outro, pois a soma dos dois tempos compõe o tempo de funcionamento total do motor.

A primeira consideração feita nessa etapa é que todo o combustível utilizado para abastecer o veículo é utilizado no “*time driving*” ou no “*time idling*”, ou seja, assume-se que não ocorre evaporação do combustível no tanque do caminhão, que não há perdas ou qualquer vazamento.

A partir de dados secundários de consumo de combustível com o caminhão ligado, parado e compactando ou recebendo resíduos (“*time idling*”), obtidos a partir da literatura nacional e, quando ausente, da literatura internacional, obtém-se o quanto foi gasto de combustível com o veículo parado. Ao subtrair esse valor pelo volume total de combustíveis utilizados, obtém-se o consumo de combustíveis com o veículo se movendo. Ao dividir esse valor pela distância percorrida, obtém-se o consumo real de combustível gasto com o deslocamento.

4.2.3 Estimativa das emissões atmosféricas

Com base no consumo de combustíveis calculado no item anterior e em dados secundários de emissão de poluentes atmosféricos (gases de efeito estufa e poluentes locais) obtidos a partir da literatura nacional e quando ausente, da literatura internacional, são estimadas as emissões de poluentes atmosféricos.

Os dados de emissões atmosféricas são fornecidos em função do litro de óleo diesel consumido, portanto, obtém-se o quanto é emitido por rota de coleta através do produto entre volume de combustível utilizado e o dado secundário de emissão de poluentes atmosféricos.

4.3 PROPOSIÇÃO DE MODELOS

Com o consumo de combustível estimado e os dados a respeito das distâncias percorridas, tempos gastos com a coleta e toneladas de RSU recolhidas, foram propostos modelos que apresentassem as relações entre os dados citados e o consumo de combustível.

Devido à natureza linear apresentada entre os parâmetros e o consumo de combustível – dado que ao aumentar o tempo de coleta, ou as toneladas recolhidas, ou as distâncias percorridas, se espera aumento no consumo – foram testadas todas as possíveis combinações dos parâmetros para regressões lineares.

4.4 ANÁLISE DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS A PARTIR DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS

Foram analisados os dados estimados de emissão de poluentes atmosféricos por rota percorrida, pela soma de todas as rotas realizadas ao longo de um ano, pelas distâncias deslocadas, toneladas de RSU recolhidas e população atendida. De modo que se pudessem comparar as rotas quanto as suas emissões.

Para a obtenção da população atendida foram utilizados dados do censo de 2010 do IBGE. Quanto às distâncias percorridas, conforme indicado no item 4.2.1, são obtidas a partir das coordenadas dos caminhões. Por fim, as toneladas recolhidas foram obtidas através do SLU, pois esse dado é fundamental para o pagamento do serviço de coleta as empresas contratadas pela autarquia.

4.5 ESTUDO DE CASO

O Distrito Federal (DF) gerou 1,55 Kg de RSU por habitante por dia em 2015, ocupando o posto de cidade com maior geração per capita de resíduos do país neste mesmo ano, conforme apresenta a Figura 7.

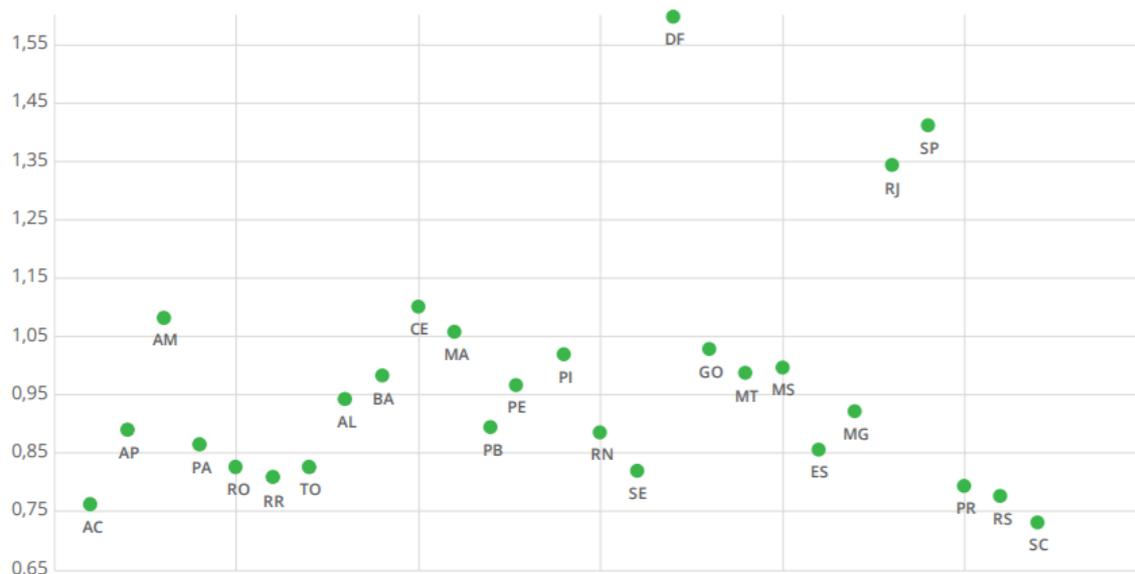


Figura 7 - Geração de RSU per capita nos estados e no Distrito Federal.

Fonte: ABRELPE (2015).

Os principais motivos para o aumento no volume de resíduos produzidos são o crescimento populacional, dado que está é a região com maior taxa de crescimento populacional do país, e o aumento na taxa de geração per capita de resíduos. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio Contínua (Pnad) do IBGE, o DF foi a unidade da Federação com maior crescimento populacional entre 2012 e 2017, sofrendo aumento de 11,4% em cinco anos. Quanto ao aumento da taxa de geração per capita de resíduos, está associada principalmente ao alto padrão de vida que a cidade possui, devido aos altos salários ligados especialmente ao setor público. Segundo o Cadastro Central de Empresas de 2015 do IBGE, o DF possui salário médio mensal de 5,7 salários mínimos, ocupando o posto de 7º município com maior salário do país, de um total de 5.570 municípios pesquisados.

“Conforme demonstrado no texto à geração per capita e a caracterização dos resíduos sólidos tem a ver com o desenvolvimento econômico de um país, o poder aquisitivo e o correspondente consumo de uma população. Famílias mais abastadas, cidades maiores e países mais ricos apresentam indicadores de geração per capita de resíduos sólidos superiores às famílias mais pobres, cidades menores e países em desenvolvimento” Campos (2012).

Ligado ao aumento na geração de resíduos e ao crescimento populacional está à dispersão populacional, característica marcante da região, que apesar de grande população, possui apenas 444,66 hab./km², valor baixo se comparado aos demais centros urbanos do país,

ocupando o posto de 165º município com maior densidade demográfica de um total de 5.570 municípios pesquisados no censo de 2010 do IBGE. Tamanha dispersão se deve aos parcelamentos irregulares presentes da região, a grilagem de terras, a região central ser tombada, impossibilitando sua expansão, e principalmente pelo rápido crescimento populacional, o qual não consegue ser acompanhado pelas políticas de planejamento urbano.

Somado ao crescimento populacional, ao aumento da geração de resíduos e a dispersão da população, está o aumento no número de coletas de resíduos realizadas, bem como o aumento nas distâncias percorridas para atender uma população cada vez maior e cada vez mais dispersa.

Segundo a ABRELPE (2016), o Distrito Federal gerou em média 4.667 toneladas de RSU por dia em 2016, das quais 4.586 toneladas foram coletadas, representando uma taxa de coleta de 98%. Neste mesmo ano, o DF gerou 1,7 milhões de toneladas de RSU, onde 1,67 milhões (98%) foram coletados e encaminhados para o antigo aterro controlado do Jóquei, para o mercado de recicláveis através das ações das associações de catadores, e para as usinas de compostagem da Asa Sul e Ceilândia, onde a partir de 2017 acrescentasse a lista de locais de acondicionamento, o aterro sanitário de Brasília, e em 2018, com o fechamento total do aterro do Jóquei, a sua exclusão da lista.

No DF a coleta é dividida em convencional e seletiva, sendo a convencional, destinado aos resíduos úmidos e mistos das residências e comércio (com volume diário limitado a 120 litros), e a coleta seletiva, o recolhimento de materiais recicláveis, que não devem ser misturados ao lixo comum, das residências ou local de trabalho.

Na coleta convencional e seletiva realizadas pelo poder público, são utilizados caminhões com carrocerias compactadoras para a coleta convencional, e com carrocerias compactadoras e não compactadoras para a coleta seletiva. Havendo ainda uma terceira categoria no DF, os caminhões destinados a coleta do Papa lixo, contêiner semienterrado com dimensões de 5 m³ (um contêiner possui entre 1 e 1,2 m³), cuja coleta é realizada por caminhões compactadores acrescidos de guindaste (Munck) capaz de levantar o papa lixo e depositar seus resíduos em sua carroceria compactadora, conforme apresenta a Figura 8 abaixo:



Figura 8 – Papa-lixo no Sol Nascente (Ceilândia).

Fonte: SLU (2018).

O Papa-Lixo é instalado em locais estrategicamente próximos de um conjunto de residências ou instituições, para a entrega dos resíduos segregados e posterior coleta pelo poder público. São utilizados em regiões onde a coleta porta-a-porta opera com dificuldade ou não pode ser realizada, devido as ruas serem estreitas, impossibilitando que o veículo realize manobras.

Os Papa-Lixo foram projetados inicialmente de modo que o deslocamento máximo do usuário seja de 2,5 km, e alocado de acordo com a densidade populacional e taxa de geração de resíduos. Reduzindo o acúmulo de lixo nas ruas, melhorando as condições de coleta e diminuindo os custos com o serviço, dado que em alguns locais de difícil acesso, antes do papa lixo, eram utilizadas pás mecanizadas para recolher os resíduos depositados nas entradas dos bairros e os colocar em caminhões tipo caçamba, que os levavam até o aterro controlado do Jóquei.

O SLU é uma autarquia do governo do Distrito Federal vinculada à secretaria de Estado de Infraestrutura e serviços públicos, cuja finalidade é a gestão da limpeza urbana e do manejo dos resíduos sólidos. Operando através da fiscalização dos serviços de limpeza urbana

contratados através de licitações. Atualmente as duas empresas contratadas pela Autarquia são a Valor Ambiental e a Sustentare, sendo a primeira responsável pelas RA's mais a sudoeste do DF – Taguatinga, Ceilândia, Samambaia – e a segunda, pelas RA's a nordeste, noroeste e sudeste do DF – Brazlândia, Planaltina, Paranoá - conforme a imagem abaixo:

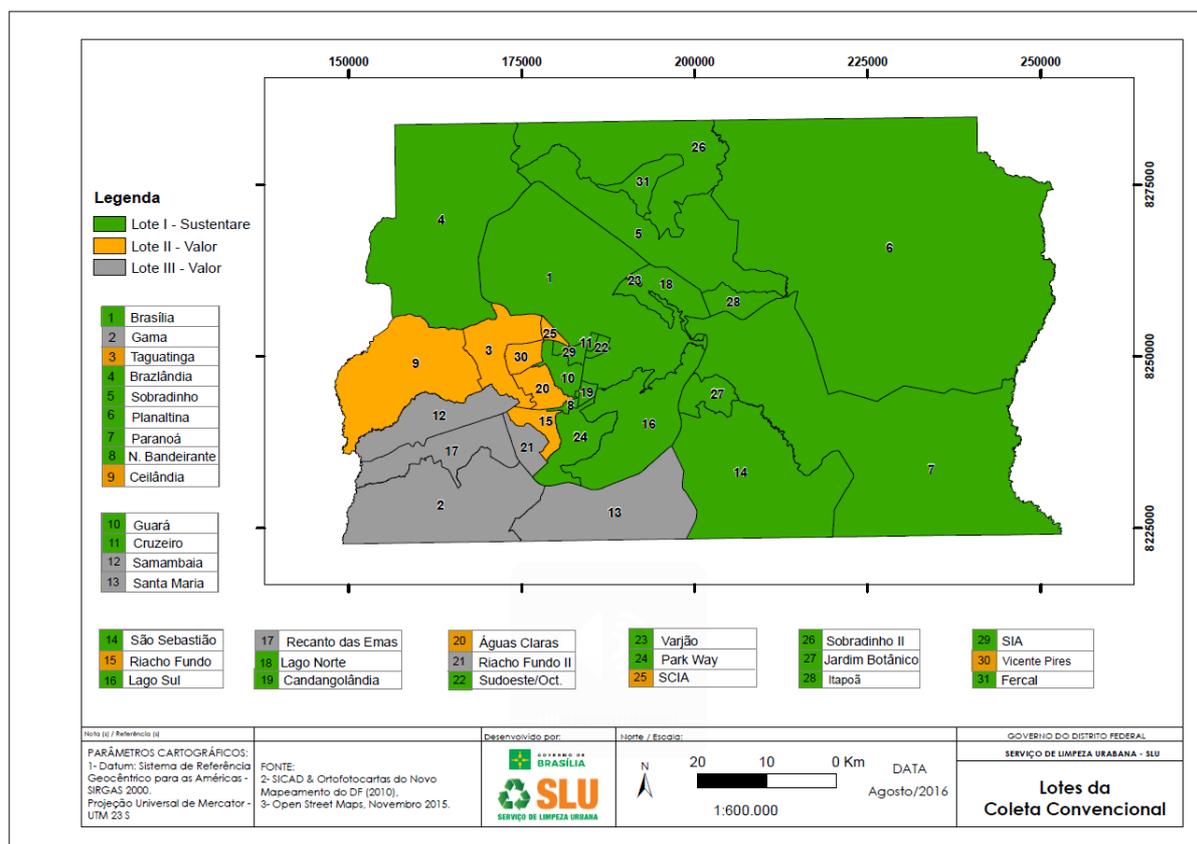


Figura 9 – Mapa de RA's abastecidas pelo serviço de coleta por empresas licitadas.

Fonte: SLU (2018).

Ambas as empresas possuem sua própria frota de veículos de coleta e já realizam algum tipo de monitoramento através de receptores de navegação móvel GNSS a mais de um ano, contendo, portanto, dados capazes de apresentar as variações semanais, mensais e sazonais da taxa de geração de RS, fator que influencia a rota de coleta e, portanto, o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes atmosféricos.

Quanto a Valor Ambiental (VA), o monitoramento de sua frota de veículos é realizado pela empresa RasSystem, empresa de São Paulo responsável por rastrear seus caminhões de coleta, fornecendo sua localização geográfica, bem como dados de velocidade instantânea,

Do modo a auxiliar a escolha de rotas passíveis de comparação, conforme apresenta o item 3.2 sobre a relação entre alguns parâmetros e o consumo de combustíveis, fatores como as habilidades do condutor, condição de direção e a velocidade do veículo foram deixadas de lado, pois possuem maior relação com o fator humano, com o condutor do veículo. Enquanto fatores como o peso transportado, características do veículo e as condições das vias foram melhor trabalhadas.

A partir da localização dos papa-lixo, foram então procuradas regiões atendidas pela coleta porta a porta, com características socioeconômicas, urbanísticas e com condições de vias semelhantes. De modo que parte dos fatores que influenciam o consumo de combustíveis pudesse ser atendido, e mantido próximo da mesma faixa.

Foram procuradas condições socioeconômicas semelhantes, pois se tem conhecimento que fatores de renda, educação e faixa etária, possuem relação direta com a taxa de geração e tipo de RSU produzido. Regiões que geram maior quantidade de resíduos precisam de maior número de viagens para a coleta de seus resíduos, reduzindo-se, portanto, o número de pessoas atendidas por cada rota de coleta, aumentando as distâncias percorridas (uma vez que se exige maior número de viagens para atender a região), levando ao maior consumo de combustível e maior emissão de poluentes atmosféricos.

No DF, regiões com alto poder aquisitivo, como a Asa Sul e Águas Claras possuem alta taxa de geração de RSU, no entanto, o primeiro bairro possui população com faixa etária mais avançada, enquanto no segundo predomina uma população mais jovem. Apesar do poder de compra relativamente próxima, Águas Claras gera RSU com baixa concentração de matéria orgânica e alta concentração de materiais recicláveis (baixa densidade), enquanto na Asa Sul, gera-se RSU com maior predomínio de matéria orgânica (alta densidade). Por questões culturais ligadas a faixa etária, a população mais velha prefere comprar uma fruta inteira e descartar mais de a metade, do que comprar apenas uma parte da fruta envolvida em uma série de embalagens plásticas e de isopor, como ocorre em Águas Claras.

Tendo em vista que o trabalho foca no consumo de combustíveis e em emissões atmosféricas, fatores que exercem influência sobre os mesmos, devem ser mantidos o mais próximo possível. Portanto, a melhor opção é a escolha de locais com taxas de geração e gravimetria de RSU próximas, de modo que os fatores de influência do peso transportado pelo caminhão nas emissões atmosféricas sejam próximos, independente da rota ou tipo de coleta.

Até Setembro de 2018 foram instalados 67 Papa-Lixo em quatro RA`s – Águas Claras, Ceilândia, Vicente Pires e SCIA, distribuídos nas seguintes localidades:

- Pôr do Sol (Ceilândia) – 10;
- Sol Nascente (Ceilândia) - 41;
- Arnieiras (Águas Claras) – 6;
- Vicente Pires (Vicente Pires) – 1;
- Santa Luzia (SCIA) – 9.

A coleta dos Papa-Lixo é realizada por dois caminhões, sendo a região do Sol Nascente (RA Ceilândia) a única a possuir uma rota exclusiva para sua coleta, enquanto nas demais, o caminhão coleta o resíduo de uma RA e se desloca para coletar os resíduos de outra, de modo que encha seu compartimento e possa retornar ao local de descarte. Alterando-se assim a característica marcante da coleta de RSU, as curtas distâncias percorridas entre um ponto de parada e outro, uma vez que inclui as longas distâncias percorridas entre os bairros a velocidades mais elevadas e sem pontos de parada, alterando, portanto, o consumo de combustíveis e enviando a análise das emissões atmosféricas.

Foi escolhida a rota de coleta do Papa-Lixo na região do Sol Nascente por haver rotas de coleta exclusivas para a região, por ser o local com maior número de papa-lixo instalados (e a mais tempo, aumentando a disponibilidade de dados), e por estar inserida em Ceilândia, compartilhando infraestrutura urbana com as demais localidades da RA e possuindo características socioeconômicas próximas das áreas em seu entorno.

A Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílios (PDAD) - CODEPLAN (2015) para Ceilândia apresenta uma série de informações a respeito da distribuição da população por idade, nível de escolaridade, setor de atividade remunerada, renda domiciliar média mensal, segundo o sexo, dentre outros. Os dados são apresentados para toda a população de Ceilândia, para as regiões do Sol Nascente e Pôr do Sol (dados das duas localidades juntas) e para a Ceilândia tradicional (Todas as localidades da RA Ceilândia com exceção do Sol Nascente e Pôr do Sol).

É possível notar a grande similaridade dos dados apresentados, com exceção da população com idade mais avançada (65 anos ou mais) e com idade entre 0 e 4 anos, e das rendas mensais e per capita. No Pôr do Sol e no Sol Nascente as porcentagens das populações entre 0 e 4 anos são maiores do que em Ceilândia tradicional, enquanto em Ceilândia tradicional, as

porcentagens das populações com mais de 65 anos são maiores. Além disso, a renda domiciliar mensal é 30% maior em Ceilândia tradicional do que no Pôr do Sol e no Sol Nascente, e a renda per capita chega a ser 50% maior.

A Imagem abaixo apresenta a rota de coleta do Papa-Lixo na região do Sol Nascente, os Papa-Lixo instalados e as regiões em seu entorno:

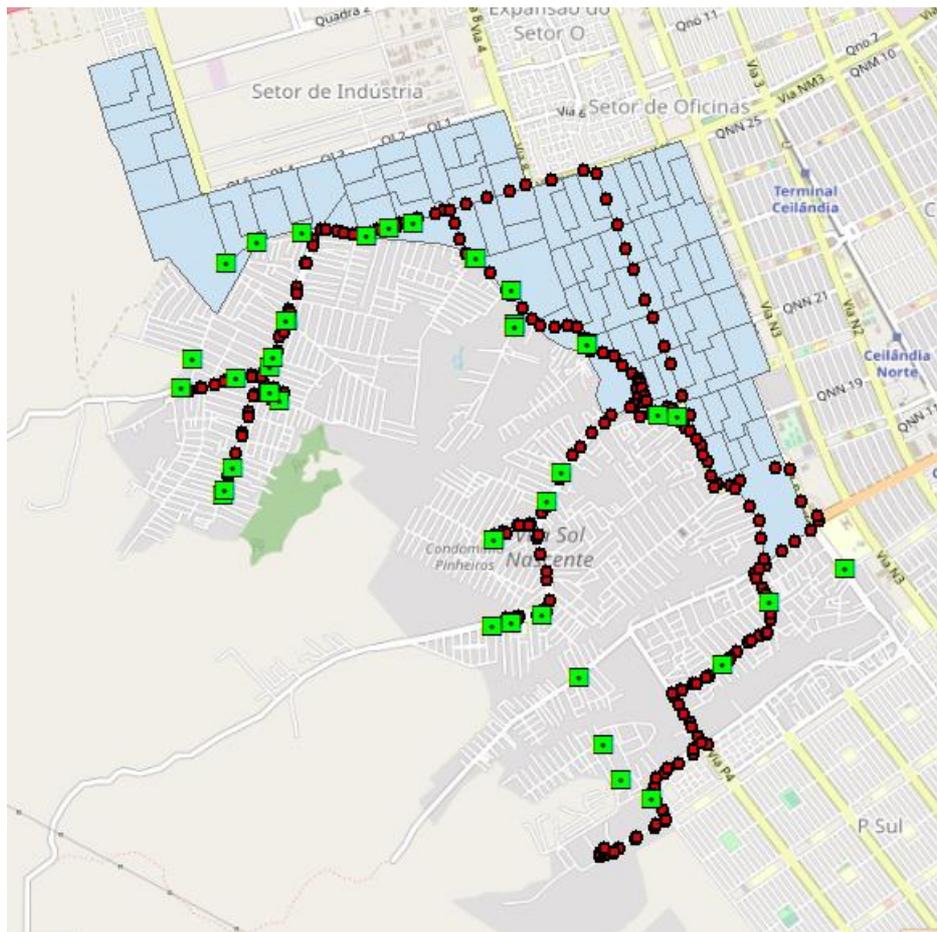
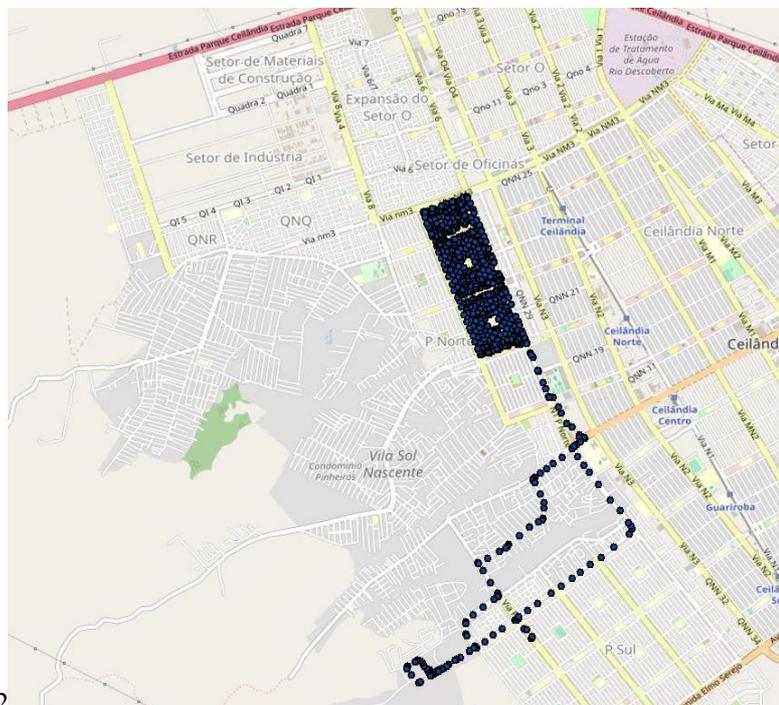
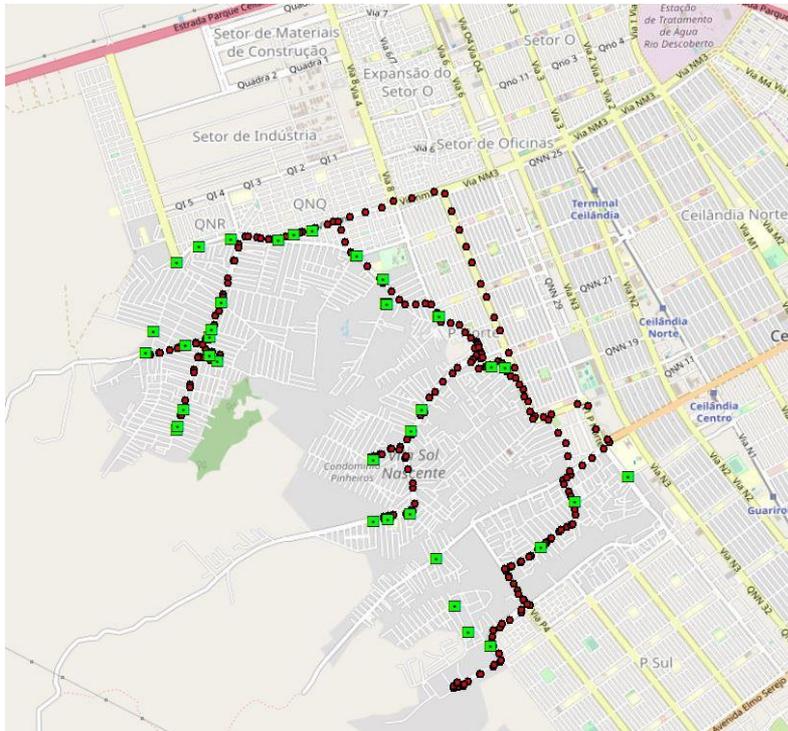


Figura 11 – Rota de coleta do Papa-Lixo na região do Sol Nascente e regiões no seu entorno.

Fonte: Própria.

Uma vez definida a rota de coleta do Papa-Lixo do Sol Nascente para a análise, buscou-se quais rotas de coleta porta-a-porta eram responsáveis por atender as regiões em seu entorno (apresentadas na Figura 11 acima), de onde foram selecionadas as rotas percorridas pelos caminhões VA202 e VA204, conforme apresenta a Tabela 5 e as Figuras 12, 13 e 14 abaixo:



Figura

12

Figura 13

Tabela 5 – Rotas de coleta de resíduos selecionadas dos caminhões VA 202 e VA 204.

| Veículo | Coleta | Vias Percorridas | Horário Início | Horário Término |
|--------------|--------------|-------------------------------|----------------|-----------------|
| VA202 | Convencional | QNP 09,13 e 17 (Ceilândia) | 07:00 | 15:20 |
| VA204 | Convencional | QNR 1, 2, 3, 4 e 5 | 07:00 | 15:20 |

(Ceilândia)

Fonte: Própria.

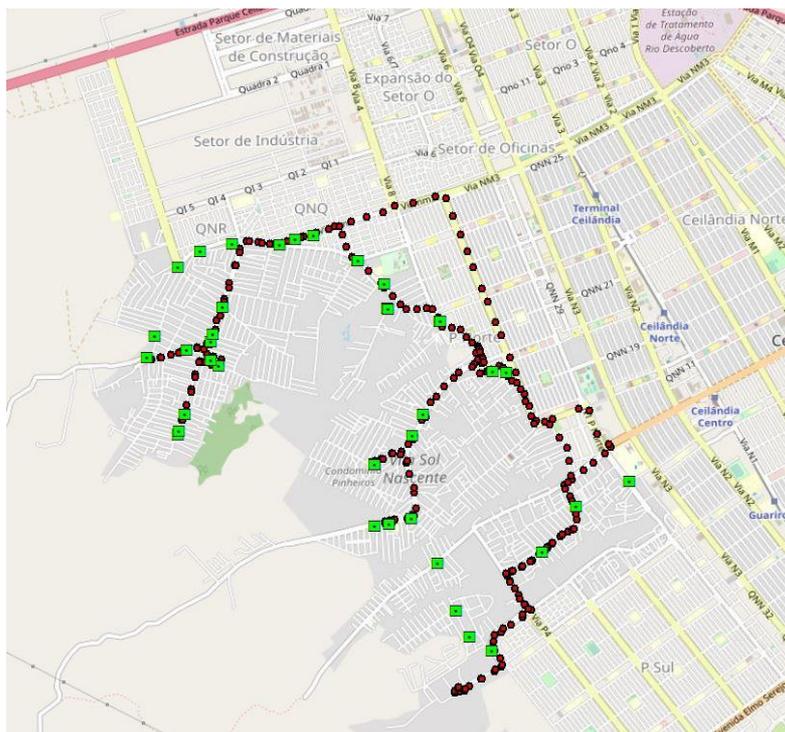


Figura 12 – Rota de coleta – VA 97.

Fonte: Própria.

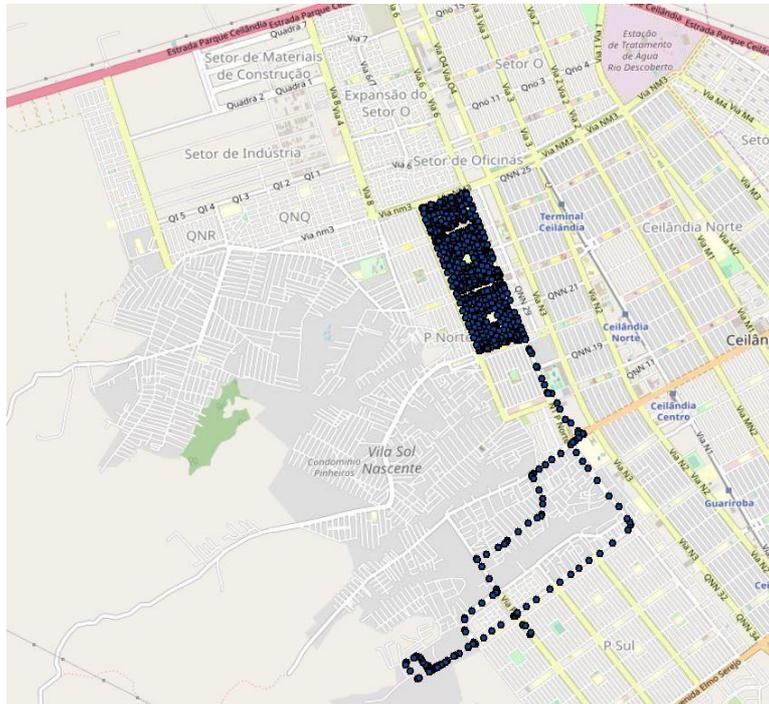


Figura 13 – Rota de coleta – VA 202.

Fonte: Própria.

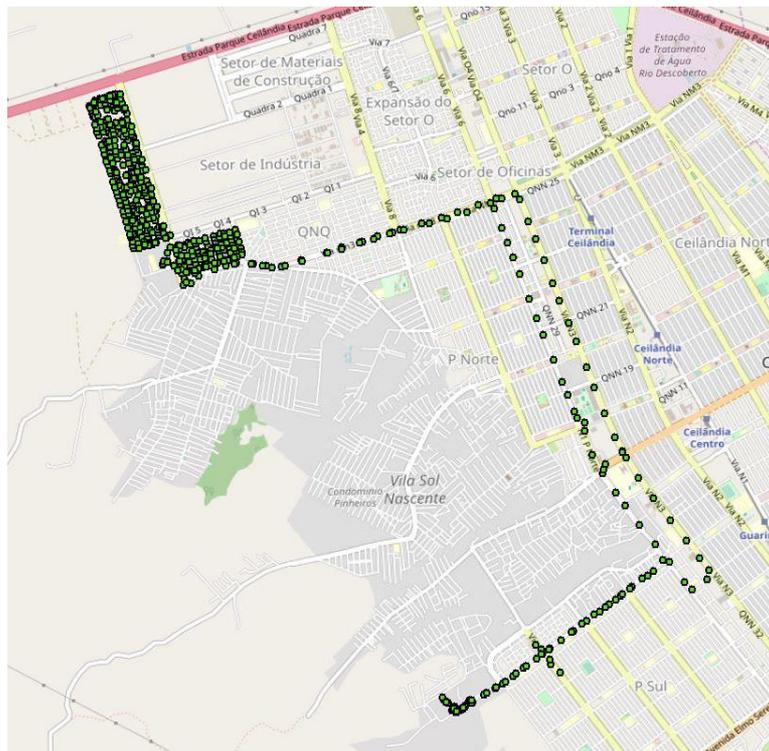


Figura 14 – Rota de coleta – VA 204.

Fonte: Própria.

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Depois de identificadas as rotas, o próximo passo foi estimar as emissões de poluentes atmosféricos a partir dos dados extraídos do computador de bordo (aparelho de GPS) dos caminhões responsáveis por cada rota.

5.2.1 Descrição das

Os dados coletados pelos receptores de navegação móvel GNSS são armazenados em Tabelas com as colunas apresentadas abaixo, conforme apresenta b:

- **Evento:** Qual atividade estava sendo desempenhada pelo veículo naquele instante. Podendo este campo ser preenchido pelas seguintes opções:
 - Abastecimento; Coletor; Carga da balança; Domiciliar; Entrada na descarga; Fim da coleta; Fim da Operação; Fim da refeição; Horímetro Final; Horímetro Inicial; Ignição Desligada; Ignição Ligada; Início da Coleta; Início da Refeição; Manutenção; Motorista; Movimento; Odometro Final; Odometro Inicial; Parada; Reiniciado; Saida da Descarga; Senha do fiscal; Setor Rota; Tíquete da balança; Tíquete do Abastecimento; Troca de equipe.
- **Valor do Evento:** São inseridas as informações referentes à Carga da balança (Peso de RSU transportado); Setor/Rota realizada; Volume de combustível utilizado no abastecimento do veículo; identificação do motorista e dos coletores; odometro final; odometro inicial; tíquete de abastecimento; tíquete da balança. Cada rota, motorista e coletor possuem um código de identificação que é inserido no início das atividades, de modo que se tenha registrado virtualmente para onde o caminhão deveria seguir, quem o estava conduzindo e quais coletores estavam trabalhando no veículo. Ademais, aparecem nesse campo os tíquetes de abastecimento e da balança, o volume de combustível utilizado para abastecer o caminhão, o peso dos resíduos descarregados, e a quilometragem registrada no odometro do caminhão no início e no final da coleta;
- **Data/Hora_1:** O dia, hora, minuto e segundo em que o GPS registrou o evento;
- **Data/Hora_2:** O dia, hora, minuto e segundo em que a informação foi recebida pelo servidor da RasSystem;
- **Velocidade:** A velocidade do veículo no instante em que as informações foram registradas (velocidade instantânea);
- **Via:** Apresenta o endereço em que o veículo se encontra;

- **Latitude:** Fornece a Latitude em Grau Decimal (Projetado no sistema de coordenada geográfica WGS84);
- **Longitude:** Fornece a Longitude em Grau Decimal (Projetado no sistema de coordenada geográfica WGS84);
- **Altitude:** Fornece a altitude em relação ao nível do mar do veículo;
- **Odometro:** Apresenta as distâncias percorridas pelo veículo tal qual o odometro alocado no painel do caminhão;
- **Bateria:** Apresenta à carga da bateria, que em teoria deveria se alterar de acordo com as demandas elétricas do veículo, como por exemplo, ligar/desligar a ignição ou operar a prensa compactadora, cuja carga elétrico é fornecida pela bateria do caminhão. No entanto, essas variações não puderam ser registradas pelo aparelho;
- **Satélites:** Quantos satélites estavam disponíveis em determinado instante para obter com certa precisão a localização geográfica do veículo.

Figura 15 – Características dos dados.

Relatório de Pontos

Veículo: VA 204
Usuário: SLUDF
Dt Processamento: 27/09/2018 19:21

Filtro Data: 07/09/2018 00:00 a 07/09/2018 23:59
Empresa: Valor Ambiental Ltda.
Filial: Brasília

| RD | Evento | Valor do Evento | Data/Hora Operação | Data/Hora Recebimento | Velocidade | Via | Latitude | Longitude | Altitude | Odômetro | Bateria | Satélites |
|---------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|------------|----------------------------|--------------|--------------|----------|----------|---------|-----------|
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:12 | 01/06/2018 14:12 | 2 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84566667 | -48,13290333 | 1146 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Parada | | 01/06/2018 14:12 | 01/06/2018 14:13 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84584 | -48,13321833 | 1144 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Entrada na Descarga | | 01/06/2018 14:12 | 01/06/2018 14:12 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84570833 | -48,132985 | 1145 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:14 | 01/06/2018 14:14 | 11 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84578833 | -48,13372833 | 1140 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:14 | 01/06/2018 14:14 | 7 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84521333 | -48,13414 | 1138 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Parada | | 01/06/2018 14:14 | 01/06/2018 14:15 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84504167 | -48,13437667 | 1147 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:19 | 01/06/2018 14:19 | 6 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,844875 | -48,13450833 | 1152 | 10756 | 100 | 17 |
| 3549733 | Parada | | 01/06/2018 14:19 | 01/06/2018 14:20 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84473667 | -48,13457667 | 1156 | 10756 | 100 | 17 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:22 | 01/06/2018 14:22 | 12 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84511333 | -48,13426667 | 1151 | 10756 | 100 | 17 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:22 | 01/06/2018 14:22 | 7 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,845785 | -48,13378 | 1146 | 10756 | 100 | 17 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:22 | 01/06/2018 14:22 | 11 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84592 | -48,13339 | 1144 | 10756 | 100 | 17 |
| 3549733 | Parada | | 01/06/2018 14:22 | 01/06/2018 14:23 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84583833 | -48,13327 | 1149 | 10756 | 100 | 17 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:24 | 01/06/2018 14:24 | 7 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84575 | -48,13300667 | 1144 | 10756 | 100 | 18 |
| 3549733 | Parada | | 01/06/2018 14:24 | 01/06/2018 14:25 | 14 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84593 | -48,13343833 | 1142 | 10756 | 100 | 18 |
| 3549733 | Carga da Balanca | 10370 | 01/06/2018 14:26 | 01/06/2018 14:26 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84595667 | -48,13353333 | 1147 | 10756 | 100 | 18 |
| 3549733 | Tiquete da Balanca | 405526 | 01/06/2018 14:26 | 01/06/2018 14:26 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84595667 | -48,13353333 | 1147 | 10756 | 100 | 18 |
| 3549733 | Saida da Descarga | 0 | 01/06/2018 14:27 | 01/06/2018 14:27 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84595667 | -48,13353333 | 1147 | 10756 | 100 | 18 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:30 | 01/06/2018 14:30 | 5 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,845835 | -48,13363167 | 1141 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Parada | | 01/06/2018 14:30 | 01/06/2018 14:32 | 0 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84573833 | -48,133645 | 1146 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:36 | 01/06/2018 14:36 | 7 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,845635 | -48,133655 | 1150 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:36 | 01/06/2018 14:36 | 6 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84549667 | -48,133545 | 1148 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:37 | 01/06/2018 14:37 | 5 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84568667 | -48,133695 | 1147 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:37 | 01/06/2018 14:37 | 14 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,845885 | -48,13338667 | 1145 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:38 | 01/06/2018 14:38 | 8 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84559667 | -48,13289 | 1143 | 10756 | 100 | 16 |
| 3549733 | Movimento | | 01/06/2018 14:38 | 01/06/2018 14:38 | 16 | LOGRADOURO SEM DENOMINAÇÃO | -15,84495 | -48,13229333 | 1146 | 10756 | 100 | 16 |

Fonte: Dados extraídos da plataforma da RAsSystem.

Dentre as informações apresentadas, a grande maioria é inserida de maneira automática, cabendo ao usuário inserir alguns dados apenas nas colunas de Evento e Valor de Evento.

O motorista do caminhão é o responsável pelo veículo e pelo receptor de navegação móvel GNSS, cabendo a ele inserir o código que representa a rota que o caminhão percorrerá (Setor/Rota); sua identificação e dos coletores que trabalharão no veículo (Coletor e Motorista); informações a respeito do abastecimento e pesagem do veículo (o motorista insere o comando Abastecimento quando o veículo para pra abastecer, ou Carga da balança quando é feita a pesagem do veículo, colocando ainda o volume de combustível utilizado para o abastecimento do veículo, o peso dos resíduos descarregados e o número do tíquete emitido referente ao abastecimento e a pesagem – utilizada para repasse de custos e organização da empresa).

Ademais, o motorista precisa inserir quaisquer atividades desempenhadas pelo veículo diferentes de se deslocar e coletar resíduos, como Entrar na Descarga (quando o veículo entra no local de descarga dos resíduos coletados, inserindo o comando Entrada na Descarga), Saída de Descarga (quando o veículo sai do local de descarga dos resíduos, inserindo o comando Saída da Descarga), quando o caminhão para no primeiro ponto de coleta (inserindo o comando Início da coleta), quando o caminhão para no último ponto de coleta (inserindo o comando Fim da coleta), quando os funcionários param o veículo ao longo da coleta para realizar alguma refeição (inserindo o comando Início da Refeição e Fim da Refeição), quando há troca na equipe de coleta, ou quando o veículo apresenta problemas técnicos ao longo da coleta e precisa parar a operação.

As informações de deslocamento e parada são inseridas automaticamente pelo receptor de navegação móvel GNSS uma vez que é dada a partida no veículo. Com base na Latitude/Longitude e nos tempos, o sistema detecta se o veículo estava se deslocando ou permaneceu parado, inserindo assim os comandos (Movimento) e (Parada) na coluna EVENTO.

5.2.2 Coleta de dados

Os dados foram obtidos através do sistema virtual da RasSystem sob supervisão do SLU. O sistema possui os dados de acordo com o padrão apresentado no item 5.2.1 para todos os veículos com receptor de navegação móvel GNSS nos últimos 365 dias. Para datas mais antigas é necessário fazer uma solicitação diretamente a RasSystem, que possui o Back-Up

dos dados. É possível extrair de uma única vez dados referentes a 7 dias de operação através de planilhas com todas as informações apresentadas anteriormente.

Devido às dificuldades associadas ao manejo de um grande volume de dados – lembrando que no estudo em questão os sinais eram enviados do receptor de navegação móvel GNSS a cada 20 segundos - e por se tratar de um projeto final de graduação, optou-se por reduzir a quantidade de dados a serem coletados e utilizados.

Dentre os fatores que influenciam o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes atmosféricos, o que mais sofre influências externas é o peso transportado pelo veículo, função das variações na taxa de geração semanais e mensais, e alterações em sua densidade em função das condições climáticas.

As variações semanais e mensais de sua geração ocorrem devido aos diferentes hábitos de consumo em determinados períodos do ano. Períodos de férias, feriados e festas de final de ano alteram a taxa de geração mensal, enquanto os diferentes hábitos dos moradores nos finais de semana (passar mais tempo em casa, por exemplo), alteram a taxa de geração semanal.

A alteração sazonal no DF, que apresenta clima tropical com o predomínio de duas estações – seca/fria e chuvosa/quente – são responsáveis por alterar o peso dos resíduos, uma vez que a chuva é responsável por encharcar os resíduos, alterando o peso transportado pelos caminhões, reduzindo a população atendida por viagem, modificando o consumo de combustíveis e as emissões atmosféricas.

Quanto aos demais fatores que alteram o consumo de combustível e a emissão de poluentes atmosféricos, o tipo de combustível utilizado e a classe do veículo mantiveram-se as mesmas, uma vez que foram utilizados os mesmos caminhões para realizar cada rota de coleta estudada e os caminhões continuaram sendo abastecidos pelo combustível Diesel S10.

A respeito das velocidades do veículo, condições da via e tipo de estrada percorrida, tendo em vista que a rota não foi alterada e que as condições urbanísticas sofreram pouca alteração, as variações não foram significativas. Por fim, foi verificado nas saídas de campo que o motorista de cada caminhão se manteve o mesmo no último ano, mitigando qualquer impacto vinculado às condições de direção e as habilidades do condutor.

Trabalhar com uma série histórica de 12 meses possibilitaria avaliar todas as variações apresentadas, no entanto, devido às dificuldades apresentadas para manipulação dos dados, por se tratar de um projeto final de graduação, optou-se por reduzir a quantidade de dados a serem coletados e utilizados para dois meses, o mês mais seco e o mês mais chuvoso do ano, dado que este fator altera o peso dos resíduos e possui um impacto maior no consumo de combustíveis que os demais.

A Tabela 6 abaixo apresenta a precipitação acumulada mensal e anual para o DF extraído do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), baseado nos dados de 1961 a 1990. Sendo Junho o mês mais seco do ano, com precipitação acumulada média de 8,7 mm, e Janeiro o mês mais úmido, com precipitação acumulada média de 247,4 mm.

Tabela 6 – Precipitação acumulada mensal e anual (mm) – Normas climatológicas do Brasil 1961 – 1990.

| Jan | Fev | Mar | Abril | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-------|-------|-----|---------|
| 247,4 | 217,5 | 180,6 | 123,8 | 38,6 | 8,7 | 11,1 | 13,9 | 55,2 | 166,6 | 231,1 | 246 | 1.540,6 |

Fonte: Adaptações dos dados extraídos do INMET (2018).

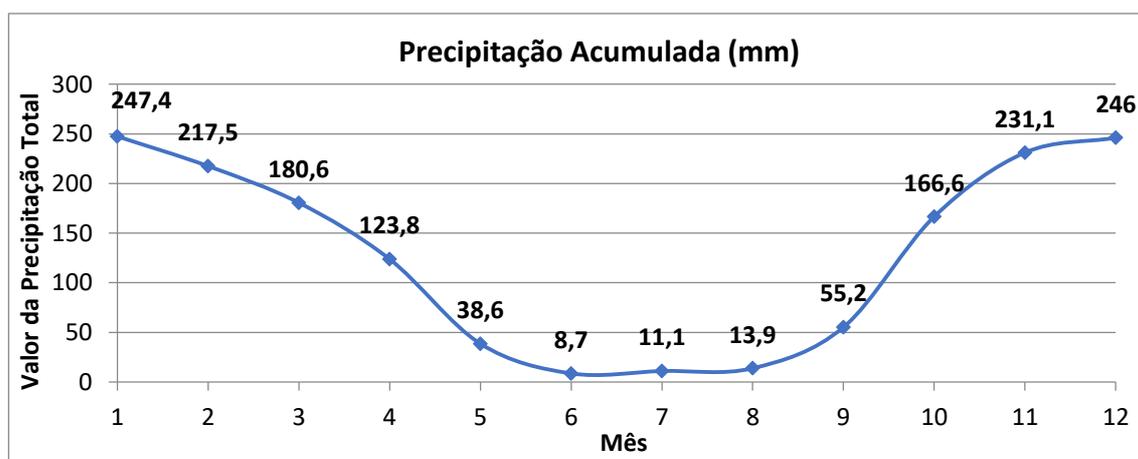


Figura 16 – Precipitação acumulada (mm) do Distrito Federal.

Fonte: Adaptações dos dados extraídos do INMET (2018).

Com isso, buscou-se dados para as rotas VA97, VA202 E VA204 dos meses de Janeiro – mais chuvoso, onde o lixo estaria mais pesado em função da chuva - e de Junho – mês mais seco do ano, onde o lixo estaria mais leve.

Foram então extraídos os dados de Janeiro e Junho para os veículos VA 97 e VA202, e de Dezembro e Junho para o VA204, pois o sistema apresentou falhas na coleta e armazenamento dos dados de Janeiro para o caminhão VA204.

5.2.3 Processamento dos dados

Dentre os caminhões avaliados, apenas o VA97 realizava a mesma rota diariamente, enquanto os demais possuíam rotinas diferentes ao longo da semana, conforme apresenta o item 5.2.5 com características dos caminhões e das rotas selecionadas. A imagem abaixo apresenta todas as rotas desempenhadas pelo caminhão VA 202 ao longo de uma semana, percorrendo regiões de Taguatinga e Ceilândia.

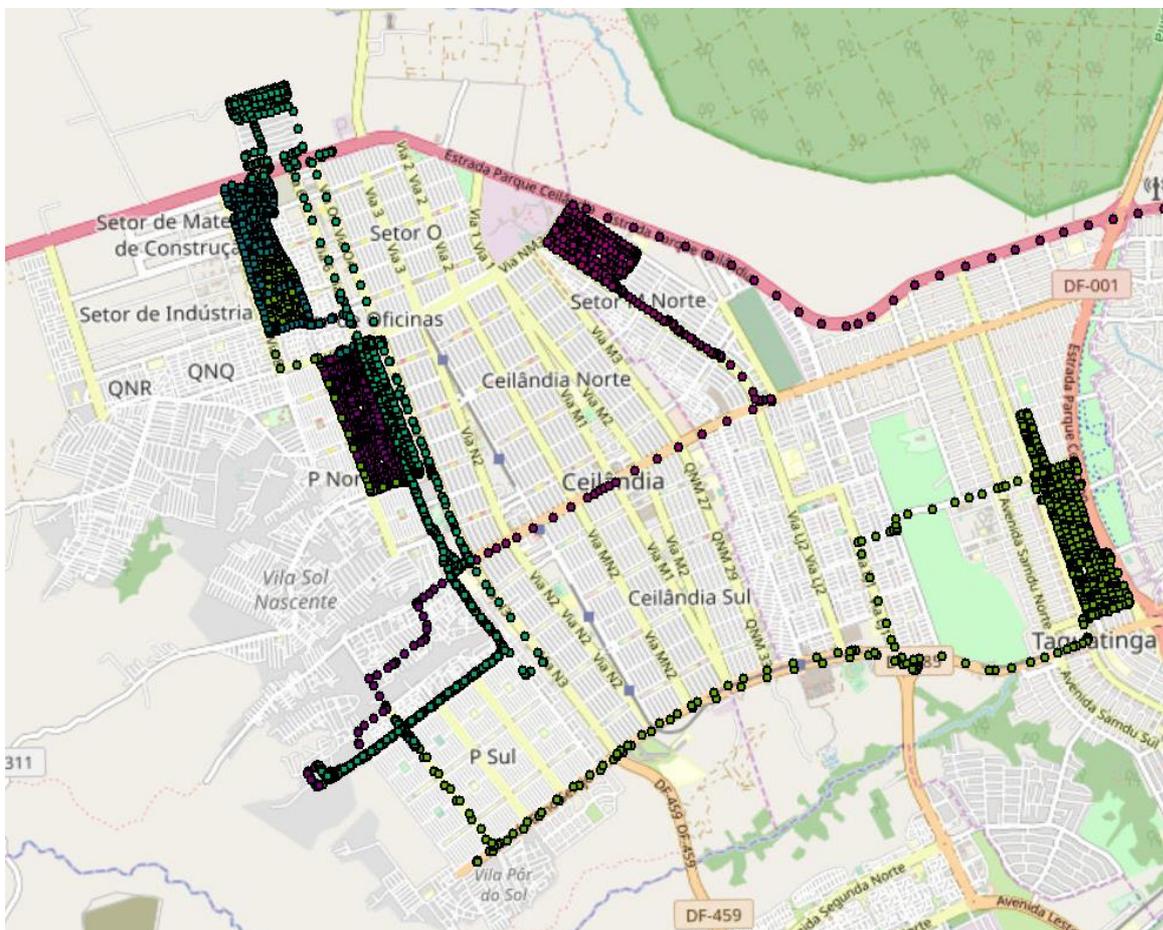


Figura 17 – Diferentes rotas realizadas pelo caminhão VA 202 ao longo de uma semana.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Com base nas diferentes rotas desempenhadas pelo mesmo veículo (VA202 e VA204), foi necessário separar e extrair os dados referentes as rotas de interesse. Para isso foi necessário

especializar cada informação coletada pelo computador de bordo com base em sua Latitude/Longitude.

Para utilizar as planilhas em um ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica) foi necessário primeiramente converter a planilha para o formato CSV (Separado por vírgula), de modo que todos os dados nela presentes estivessem separados por uma vírgula (.). Uma vez separados, foi necessário projetá-los na coordenada em que foram obtidos (Coordenada Geográfica WGS 84). Para esta operação foi utilizado o Software livre QGIS Desktop 2.18.22 devido à praticidade oferecida para converter o formato dos arquivos e suas Coordenadas (Projetadas ou Geográficas).

Com isso foi possível visualizar os caminhos percorridos pelo caminhão, e assim separar as rotas de interesse, e dentre as rotas de interesse, verificar se o caminhão percorria o trajeto acordado junto ao SLU. O critério utilizado nesta etapa foi primeiramente selecionar apenas as rotas de interesse, e dentre elas, as que não apresentassem grandes discrepâncias com relação ao caminho planejado.

Foi verificado nesta etapa que a rota planejada (e sua frequência) nem sempre eram estritamente seguidas. Várias hipóteses foram geradas, e durante a primeira saída de campo (realizada no dia 19/10/2018 e apresentada mais a frente), foi verificado que não há qualquer dispositivo dentro do caminhão ditando as direções que o veículo precisa seguir. Quando as rotas são sugeridas pela Valor Ambiental (VA) e aprovadas pelo SLU, são passadas aos motoristas de cada veículo que passarão a realizá-las, no entanto, por não haver um dispositivo indicando as direções em tempo real, os trajetos ao longo dos dias são definidos pelos motoristas, tendo como base os locais em que os resíduos precisam ser recolhidos.

Com isso, uma série de rotas dentre os dois meses selecionados foram excluídas da análise, conforme apresenta a imagem abaixo, onde é representada a rota do dia 27/06/2018, em que o caminhão VA204 saiu da sua rota em Ceilândia e foi em direção a QNG 47 na RA Taguatinga, levando 2 horas com o desvio da rota, nos quais permaneceu 1 hora com o caminhão desligado. A importância em excluir as rotas que apresentam grandes discrepâncias em relação ao roteiro, é não alterar os padrões de consumo de combustível e por consequência de emissão de poluentes atmosféricos das demais, e assim, estimar as emissões de poluentes atmosféricos dos veículos para as rotas selecionadas.

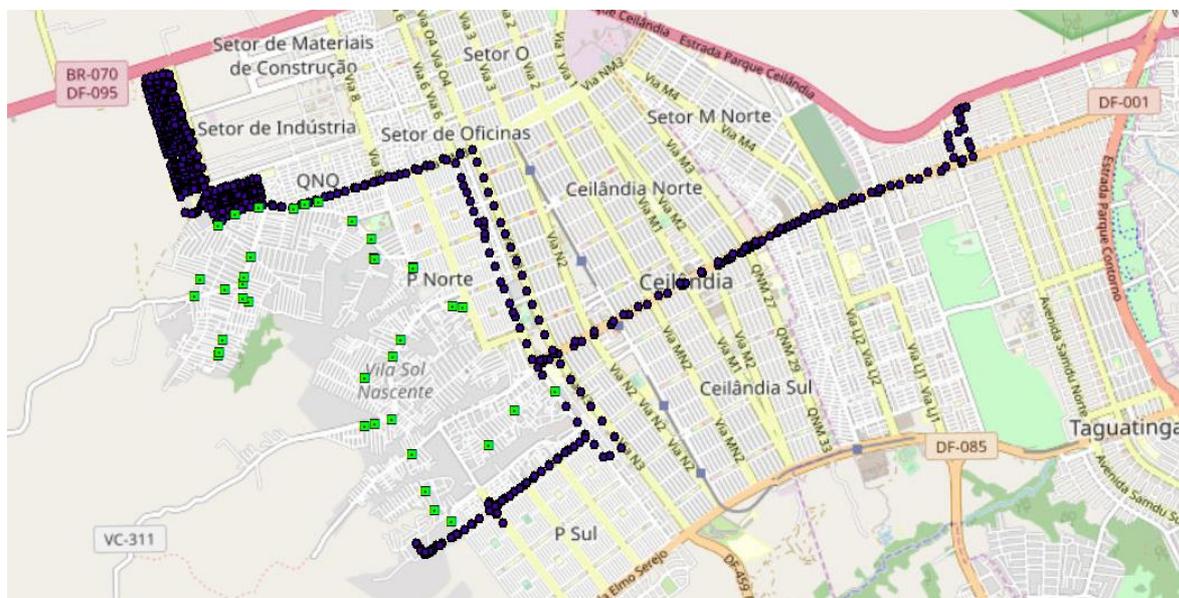


Figura 18 – Rota excluída da análise – VA 204 – 27/06/2018.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Conforme apresenta a metodologia, outro ponto importante na queima de combustíveis e na emissão de poluentes atmosféricos são as condições de operação do veículo (quanto tempo permanece parado com seu motor ligado coletando e compactando os resíduos e quanto tempo gasta se deslocando - da garagem ao primeiro ponto de coleta, de um ponto de coleta a outro e do último ponto de coleta ao local de descarte). Para isso foi necessário utilizar outras informações das planilhas obtidas.

Nesta etapa, com base nas informações contidas na coluna EVENTO de Ignição Ligada e Ignição Desligada, foram então separados os intervalos de tempo em que o veículo estava ligado. Com base nesses intervalos em que o motor estava ligado, buscava-se então a informação se o veículo estava se deslocando ou encontrava-se parado na coluna VELOCIDADE, onde valores maiores do que zero representavam o deslocamento do veículo e valor iguais à zero, que o veículo se encontrava parado. Por fim, com base nessa segunda divisão, o programa avaliaria os intervalos de tempo associados a cada grupo, fornecendo ao final o tempo que o caminhão leva se deslocando e o tempo parado com o motor ligado, conforme apresenta a imagem abaixo:

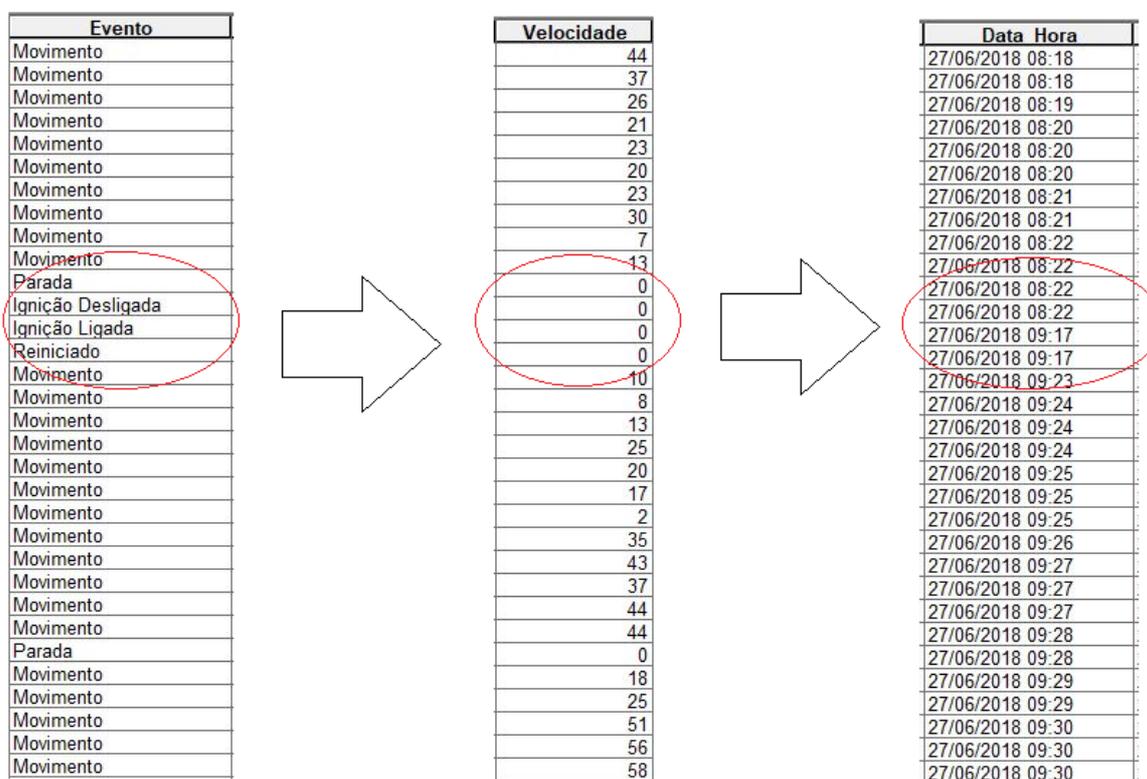


Figura 19 – Ações realizadas pelo software.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Devido à quantidade de dados a serem analisados foi criado um programa que com base nas planilhas de dados dos caminhões e na metodologia apresentada na Figura 19, fornecesse de maneira automática quanto tempo era gasto com o motor ligado e o veículo parado, e com o motor ligado e o veículo se deslocando. O programa ainda fornecia o número de paradas realizadas pelo caminhão. A linguagem utilizada foi Python através do software JetBrains PyCharm Community Edition 2018.2.4 x64 e o código encontra-se no Anexo C deste documento.

Para melhorar analisar o consumo de combustível e as emissões atmosféricas, cada rota de coleta foi dividida em cinco grupos:

1. Ignição Ligada – Início da Coleta;
2. Início da Coleta – Fim da Coleta;
3. Fim da Coleta – Entrada na Descarga;
4. Entrada na Descarga – Saída da Descarga;
5. Saída da Descarga – Ignição Desligada.

Ao separar em grupos é possível analisar o quanto cada grupo representa no volume de combustível consumido e nas emissões atmosféricas de cada rota, tornando as comparações entre as coletas porta-a-porta e PEV menos enviesadas, uma vez que poderão ser identificados, por exemplo, problemas na descarga dos resíduos ou longas distâncias percorridas entre a garagem e o primeiro ponto de coleta, ou do último ponto de coleta ao local de descarga.

Para as rotas analisadas, todos os caminhões saem do estacionamento localizado na Central de Tratamento de Lixo de Ceilândia, no Setor Habitacional Sol Nascente (Ceilândia, DF), onde se localizam a Usina de Tratamento Mecânico biológico (UTMB) P. Sul, Instalação de Recuperação de Resíduos (IRR), garagem dos caminhões da VA, Museu da limpeza urbana e as salas de operação do SLU e da VA, conforme apresenta a imagem abaixo:



Observações: (1) Estacionamento; (2) Portão de entrada/saída; (3) Balança de pesagem e salas de operação e controle da VA; (4) UTMB – P. Sul; (5) IRR; (6) Museu da Limpeza Urbana e salas de operação e controle da VA e do SLU; (7) Leiras de Compostagem da UTMB – P. Sul.

Figura 20 – Central de Tratamento de Lixo de Ceilândia.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Ao final da coleta os caminhões voltam para a Central de Tratamento de Lixo de Ceilândia, passando por uma pesagem nas balanças monitoradas por equipes do SLU (3) e descarregando os resíduos na UTMB – P. Sul (4), de onde serão triados, passando por todos os maquinários e catação manual que a usina possui.



Figura 21 – Descarga de RSU na UTMB – P. Sul – I – (12/11/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.



Figura 22– Descarga de RSU na UTMB – P. Sul – II – (12/11/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

Além dos tempos extraídos das planilhas, para melhorar a comparação, foram buscadas as informações de resíduos coletados/transportados na coluna VALOR DO EVENTO, com base no comando Carga da Balança que aparece na Coluna EVENTO, conforme apresentado na Figura 15.

Nem todas as rotas possuíam essa informação, em algumas foi necessário buscar através do tíquete da balança ou simplesmente através da placa do veículo em sistema de controle do SLU, que organiza todas as informações de pesagem de veículos – necessárias para o repasse de custos – com base no horário de entrada na descarga obtido na planilha inicial, obtendo-se assim o quanto foi coletado pelo veículo.

Neste ponto, é importante notar que nas planilhas com erros ou ausência de dados, a verificação visual através de SIG foi crucial para a verificação da entrada na descarga para assim descobrir o período em que houve a pesagem do veículo e obter assim, o peso descarregado na UTMB – P. Sul. O mesmo se aplica a obtenção dos tempos de operação e demais dados extraídos.

Por fim, os pontos criados a partir das planilhas obtidas com a RasSystem em um ambiente de SIG foram transformados em linhas, e assim foram obtidas as distancias percorridas em cada rota, desta vez através do software ArcGIS 10.4.1.

A ferramenta utilizada para realizar esta conversão foi a *Point to Line*, que converte arquivos vetoriais do tipo Ponto em arquivos vetoriais do tipo Linha, fornecendo ao final do processo o comprimento da linha gerada, a qual foi coletada e utilizada mais à frente neste trabalho.

5.3 SAÍDAS DE CAMPO

Para a realização das saídas de campo foi necessário que o SLU abrisse um ofício no Sistema Eletrônico de Informações (SEI) do GDF solicitando a autorização do estudante para levantamento e coleta de dados para elaboração de projeto final ao Diretor da Empresa Valor Ambiental (VA).

O documento continha os dados do estudante, apresentava o motivo da visita de campo - “realizar levantamento e coleta de dados para elaboração da tese final do curso de engenharia da UnB referente ao cadastramento de informações nos caminhões da referida empresa na coleta convencional e nos papa-lixos”. Seguida da especificação dos veículos e de quais rotas se desejava acompanhar.

Como resposta, a VA autorizou o acompanhamento das coletas pelo estudante desde que a responsabilidade sobre todo e qualquer acidente de trabalho, incluindo o de trajeto ou doença

profissional que viesse a ocorrer, recaísse ao SLU. Além disso, as visitas precisavam ser agendadas de acordo com a disponibilidade da empresa, sendo solicitado ainda documento de identificação e declaração de aluno regular.

O modelo do ofício do SEI e o termo de responsabilidade se encontram anexos a este documento, para que sirvam como base para outros trabalhos de campo desenvolvidos pela academia que envolvam autarquias de limpeza urbana e as empresas privadas que lhes prestam serviços.

Foram realizadas duas saídas de campo, uma no dia 19 de Outubro de 2018 e a outra no dia 12 de novembro de 2018. Na primeira saída, foi acompanhada a coleta ponto a ponto dos Papa-Lixo na rota do caminhão VA97, e na segunda, da coleta porta a porta na rota do caminhão VA202. Houve uma tentativa de acompanhar a coleta do veículo VA204 no dia 14 de novembro, mas o mesmo apresentou falhas técnicas antes mesmo de sair da garagem, impossibilitando seu acompanhamento naquele dia.

5.3.1 Saída de campo – VA 97

Foi acompanhada a coleta tipo PEV dos Papa-Lixo no dia 19 (sexta-feira) de outubro de 2018. O caminhão iniciou a coleta conforme o horário acordado para a rota com o SLU, às 7h da manhã.

Foi verificado em campo que o caminhão utilizado é um Ford Cargo 1722 E, com 220 CV de potência, 17,8 toneladas, placa JIG 1197, fabricado em 2010, movido a Diesel e abastecido com Diesel S10. Sua rota de coleta é realizada diariamente, sendo feita apenas pelo motorista e um coletor. O motorista é responsável por guiar o veículo, inserir as informações citadas no item 5.2.1 no computador de bordo, e operar o muck – equipamento montado sobre o caminhão usado para a movimentação de cargas – enquanto o coletor auxilia a fixação do gancho do muck no Papa-Lixo, de modo que o mesmo possa ser retirado do solo e descarregado na carroceria do caminhão compactador acoplado de muck, conforme apresentam as Figura 23 e Figura 24 abaixo:



Figura 23 – Computador de bordo RasSystem – (19/10/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.



Figura 24 – Caminhão compactador acoplado de muck (*truck-crane*) – (19/10/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.



Figura 25 - coletor auxilia a fixação do gancho do muck no Papa-Lixo – (19/10/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.



Figura 26 – Papa-Lixo retirado do solo e descarregado na carroceria do caminhão compactador acoplado de munck – (19/10/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

Foi utilizado um receptor de navegação móvel GNSS durante a visita, cedido pelo Instituto de Geociências (IG) da UnB para a verificação dos dados apresentados pelo sistema da RasSystem (movimento, parada, início da coleta, dentre outros) e da localização dos papa-lixo (dado fornecido pelo SLU). Sendo confirmada a veracidade das informações fornecidas pelo computador de bordo e da localização dos Papa-Lixo.

A visita ocorreu em um dia chuvoso sendo possível verificar a dificuldade da coleta de resíduos em dias de chuva, especialmente em locais com pouca estrutura de drenagem urbana. Sendo verificada muita enxurrada dificultando o acesso aos papa-lixos pelo coletor para fixação do gancho e pela comunidade que fica impossibilitada de descartar seus resíduos, conforme apresenta a Figura 27 abaixo:



Figura 27 – Acesso prejudicado aos Papa-Lixo durante a chuva – (19/10/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

Antes da instalação dos Papa-Lixo, parte dos resíduos era descartada nas ruas e queimada pela população, e outra parte era despejada em locais (em geral na entrada de um conjunto de ruas) onde uma pá carregadeira os realocava na caçamba de um caminhão. Com o Papa-Lixo, o trabalho realizado por dois maquinários pesados movidos a diesel passaram a ser feitos por apenas um, e com maior eficiência, uma vez que os caminhões do Papa-Lixo possuem além do Munck uma estrutura de compactação, aumentando sua capacidade de coleta, reduzindo a queima de combustíveis e a emissão de poluentes atmosféricos.

Apesar dessa inovação, em alguns locais os resíduos ainda precisam ser recolhidos por pá carregadeira e caminhão caçamba pelo depósito de entulho, pela ausência de Papa-Lixo no local ou pela não adesão do Papa-Lixo pela comunidade. Em dias de chuva, quando há pouco entulho ou resíduo acumulado nos locais de atuação da pá carregadeira e do caminhão caçamba, o caminhão caçamba é utilizado para auxiliar a coleta dos Papa-Lixo (Figura 28). O mesmo segue o caminhão do Papa-Lixo, que com seu Munck descarrega os resíduos do contêiner semienterrado na caçamba do caminhão. O mesmo ocorre quando um dos dois caminhões que coletam os resíduos dos Papa-Lixo encontra-se danificado.



Figura 28 – Pá carregadeira e caminhão caçamba coletando entulho e resíduos acumulados em área pública no setor habitacional Sol Nascente – (19/10/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

Mesmo com a não adesão de uma pequena parcela da comunidade, percebem-se em campo os resultados positivos de sua utilização e a adesão da maior parcela da comunidade, que elogia os contêineres semienterrados e solicita a sua instalação em locais ainda não atendidos.

Quanto à compactação dos resíduos, no início da coleta, o caminhão utiliza com uma frequência menor sua prensa compactadora (responsável por aumentar o consumo de combustível e a emissão atmosférica), no entanto, quando os RSU coletados passam a ocupar parte significativa da carroceria, o veículo passa a compactar os resíduos com uma frequência

maior. No entanto, devido ao volume descarregado por Papa-Lixo coletado, em média a prensa é utilizada a cada ponto de coleta.

Quanto à pavimentação e as condições das vias, a rota percorrida pelo caminhão VA97 possui a maior parte de seus trechos pavimentados, no entanto, o caminhão eventualmente percorre distâncias curtas entre um Papa-Lixo e outro que ainda não foram asfaltados.

A maior parte da operação é realizada nas vias principais do setor Sol Nascente, que apesar de contar com pista dupla, é repleto de comércio, obras e não conta com infraestrutura urbana adequada, dificultando a operação e deslocamento.

Por fim, foi verificado em campo que existem três modelos de Papa-Lixo, com cores, volume, materiais de fabricação e principalmente condições de operação distintas, levando a diferentes tempos de coleta, implicando em variações no tempo em que o motor se encontra ligado e o veículo parado, no consumo de combustível e, portanto, na emissão de poluentes atmosféricos. Os três modelos são apresentados no Anexo V deste documento.

5.3.2 Saída de campo – VA 202

Foi acompanhada a coleta porta-a-porta do veículo VA 202 no dia 12 (segunda-feira) de novembro de 2018. O caminhão iniciou a coleta conforme o horário acordado para a rota com o SLU, às 7h da manhã.

Foi verificado em campo que o caminhão utilizado é um Volkswagen 17 280, com 275 CV de potência, 14,2 toneladas, placa JDP 5858, fabricado em 2012, movido a Diesel e abastecido com Diesel S10. Sua rota de coleta é realizada três vezes por semana, na segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira.

A coleta é feita pelo motorista e uma equipe de três coletores (Figura 30). O motorista é responsável por guiar o veículo e inserir as informações citadas no item 5.2.1 no computador de bordo, enquanto os coletores são responsáveis por coletar as sacolas de lixo depositadas na porta das residências (algumas em lixeiras, outras no chão) e colocar na carroceria do caminhão compactador, conforme apresentam as Figura 29 e Figura 30 abaixo:



Figura 29 – Coleta e arremesso das sacolas na carroceria do caminhão na coleta porta-a-porta – (12/11/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.



Figura 30 – Autor mais a equipe de coleta com o motorista e os três coletores – (12/11/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

Foi utilizado um receptor de navegação móvel GNSS durante a visita, cedido pelo Instituto de Geociências (IG) da UnB para a verificação dos dados apresentados pelo sistema da RasSystem (movimento, parada, início da coleta, dentre outros), sendo confirmada a veracidade das informações fornecidas pelo computador de bordo.

A visita ocorreu em um dia de sol sendo possível verificar as diferenças na dificuldade da coleta em relação aos dias de chuva. Apesar de não ter chovido durante a operação, e o acesso as lixeiras e sacolas de lixo ter sido facilitado, devido a visita ter sido realizado na estação chuvosa, foi possível notar o excesso de água acumulado nas sacolas de lixo, e o impacto no volume de chorume acumulado na carroceria do caminhão.

Durante a coleta o caminhão costuma trafegar a baixas velocidades, com os coletores correndo pouco atrás, coletando as sacolas de lixo depositadas na porta das residências (algumas em lixeiras, outras no chão) e as arremessando na carroceria do caminhão, conforme apresenta a imagem abaixo:



Figura 31 – Condições de operação na coleta porta-a-porta – (12/11/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

Diferentemente da coleta do Papa-Lixo (PEV), na coleta porta-a-porta há um maior esforço por parte do coletor, que ao invés de simplesmente auxiliar a fixação do gancho do munck, precisa carregar peso, correr e arremessar este peso em direção a carroceira do caminhão, estando exposto a condições não ergonômicas de trabalho, ao contato com os RSU descartados, risco de queda durante as “corridas” atrás do caminhão e de ataques de cachorros em tentativa de proteção a sua residência. Ademais, enquanto na coleta dos Papa-Lixo apenas um coletor é necessário para a operação, na coleta porta-a-porta são necessários três.

No início da coleta, o caminhão pouco utiliza sua prensa compactadora (responsável por aumentar o consumo de combustível e a emissão atmosférica), no entanto, quando os RSU coletados passam a ocupar parte significativa da carroceria, o veículo passa a compactar os resíduos com uma frequência maior. De acordo com informações obtidas com o motorista do VA202, em média a prensa é utilizada ao final de cada rua coletada. No início da coleta, a compactação ocorre a cada duas ruas, e no final, duas vezes por rua, dando uma média de uma vez a cada rua coletada. Os trechos percorridos possuem ruas curtas, conforme apresenta o mapa da Figura 13, o que representa uma série de paradas para compactação necessárias.

Quanto à pavimentação e as condições das vias, a rota percorrida pelo caminhão VA202 apresenta condições melhores que as do VA97, pois todo o caminho percorrido é asfaltado, havendo apenas poucos buracos em alguns trechos da rota. Ademais, a maior parte da operação é realizada em vias estritamente residenciais, com pouco ou nenhum trânsito, facilitando a operação e o deslocamento do caminhão, conforme apresenta a imagem abaixo:



Figura 32 – Pavimentação e condição das vias da rota percorrida pelo caminhão VA202 – (12/11/2018).

Fonte: Elaboração própria do autor.

5.3.3 Saída de campo – VA 204

Houve uma tentativa de acompanhar a coleta Porta-a-porta do veículo VA204 no dia 14 de novembro, mas o mesmo apresentou falhas técnicas antes mesmo de sair da garagem,

impossibilitando seu acompanhamento, no entanto, foi possível coletar algumas informações do veículo.

Foi verificado em campo que o caminhão utilizado é um Volkswagen 17 280, com 275 CV de potência, 14,2 toneladas, placa JDP 3008, fabricado em 2012, movido a Diesel e abastecido com Diesel S10, mesmo modelo do VA 202. Sua rota de coleta é realizada três vezes por semana, na segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira.

5.4 MODELO

Ao avaliar a natureza física dos resultados apresentados nesse trabalho, bem como da relação entre os parâmetros utilizados (peso, distância, número de paradas, tempo em movimento, tempo parado e tempo total gasto com o motor ligado durante a coleta) e o resultado (consumo de combustível), percebe-se a relação linear entre consumo de combustível e seus parâmetros. A medida que se aumentam os valores dos parâmetros, aumenta-se o consumo de combustível e a emissão de poluentes atmosféricos.

A partir dos dados obtidos, buscaram-se modelos que apresentassem a relação entre os parâmetros e o consumo de combustível, de modo que se descobrissem quais dos parâmetros possuíam maior relação com o consumo. As equações obtidas podem ser utilizadas para estimar o consumo de outras rotas de coleta, desde que algumas das características das rotas do estudo sejam mantidas nas rotas que se deseja estimar o consumo.

Para a obtenção dos modelos, foram testadas através do software MatLab todas as possíveis regressões lineares entre os seis parâmetros utilizados, onde para cada parâmetro havia a possibilidade ou não de fazer parte do modelo. Portanto, ao final foram testadas 64 combinações.

Ao avaliar a influência dos dados obtidos para o consumo de combustível e para a emissão de poluentes atmosféricos, obtêm-se cinco modelos com apenas uma variável que representam o consumo de combustível do veículo VA97. Foram obtidos outros modelos que utilizavam diferentes parâmetros, mas que não possuíam significado estatístico, sendo desconsiderados.

Dentre os modelos com significado estatístico, o que apresentou o maior ajuste em relação aos valores observados de consumo, expresso através do R² (coeficiente de determinação) foi o modelo em função apenas das distâncias percorridas, conforme apresenta a tabela abaixo:

Tabela 7 – Parâmetros dos modelos de consumo de combustível – VA97.

| Parâmetros | | | | | | | | |
|------------|--------------|------------|----------------|------------|-----------------|--------------|-------------|----------------|
| Modelos | Intercept or | Peso (Ton) | Distância (Km) | N. Paradas | Tempo Movimento | Tempo Parado | Tempo Total | R ² |
| 1 | 26,308 | 0 | 0,91799 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,99988 |
| 2 | 26,308 | 0 | 0 | 0,2975 | 0 | 0 | 0 | 0,34683 |
| 3 | 26,308 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,1766 | 0,28196 |
| 4 | 26,308 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,33 | 0 | 0,20109 |
| 5 | 26,308 | 0 | 0 | 0 | 1,073 | 0 | 0 | 0,16395 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

O coeficiente de determinação (R²) mede o ajuste de um modelo estatístico, varia de zero a um, indicando em porcentagem o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o valor encontrado, mais representativo é o modelo.

Foram gerados 64 modelos com base em todas as possíveis combinações (foram utilizados 6 parâmetros, cada um com a possibilidade de entrar ou não no modelo, dando um total de 64 combinações). Deste total, apenas cinco possuem significado estatístico, com os seguintes desvios-padrão:

Tabela 8 – Desvio-padrão dos modelos de consumo de combustível – VA97.

| Desvio Padrão | | | | | | | | |
|---------------|--------------|------------|----------------|------------|-----------------|--------------|-------------|----------------|
| Modelos | Intercept or | Peso (Ton) | Distância (Km) | N. Paradas | Tempo Movimento | Tempo Parado | Tempo Total | R ² |
| 1 | 0,00598 | 0 | 0,00204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,99988 |
| 2 | 0,44297 | 0 | 0 | 0,08334 | 0 | 0 | 0 | 0,34683 |
| 3 | 0,46445 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,38328 | 0,28196 |
| 4 | 0,4899 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,948 | 0 | 0,20109 |
| 5 | 0,50116 | 0 | 0 | 0 | 0,49459 | 0 | 0 | 0,16395 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Os resultados encontrados para o VA97 foram excelentes, apresentando coeficiente de correlação R^2 igual a 99,98%, no entanto, devido à quantidade de dados analisados – apenas 26 rotas somadas dos meses de Janeiro e Junho – os modelos obtidos com significado estatístico possuem apenas uma variável.

O modelo 1 em questão ($Consumo = 26,308 + 0,91799 \times Distância$) apresenta a relação forte entre distância percorrida e consumo de combustível, fator provavelmente intensificado devido a distribuição não igualitária das rotas nos meses de janeiro e junho, pois foram obtidos dados de 19 rotas para Janeiro e apenas de 7 para junho, além de contar com dados de apenas uma rota. A Figura 33 abaixo apresenta os consumos reais obtidos ao longo do trabalho e os consumos gerados a partir do modelo:

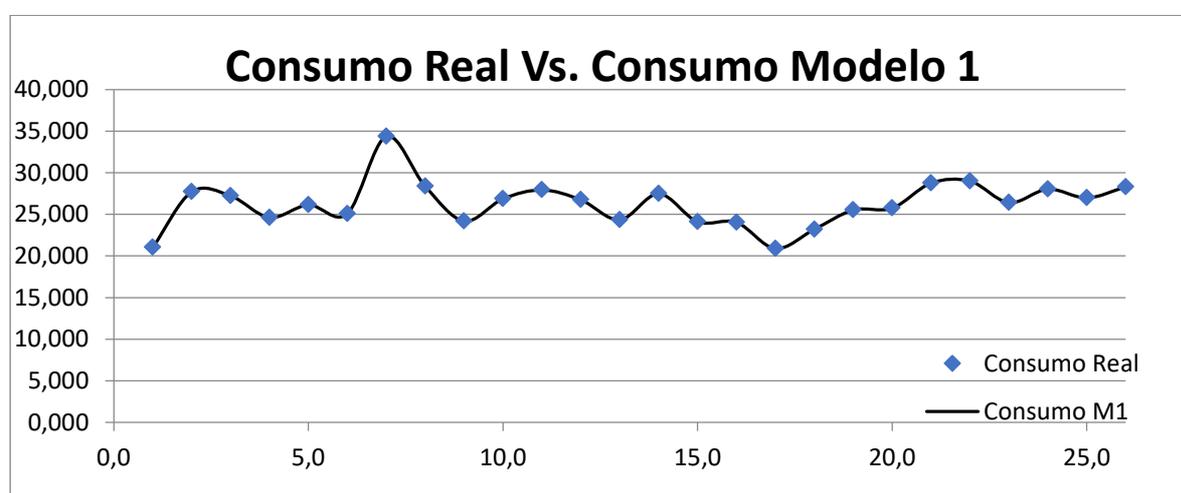


Figura 33 – Consumo real Vs Consumo modelo 1 – VA 97.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Ao realizar o mesmo processo, mas agora para as rotas obtidas dos veículos VA 202 e VA 204, obtém-se os resultados apresentados na Tabela 9.

Foram gerados 64 modelos com base em todas as possíveis combinações (foram utilizados 6 parâmetros, cada um com a possibilidade de entrar ou não no modelo, dando um total de 64 combinações). Deste total, treze possuem significado estatístico, com os desvios-padrão apresentados na Tabela 10 abaixo:

Tabela 9 – Parâmetros dos modelos de consumo de combustível - VA 202 + VA 204.

| Parâmetros | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|----------------|------------|-----------------|--------------|-------------|----------------|
| Modelos | Interceptor | Peso (Ton) | Distância (Km) | N. Paradas | Tempo Movimento | Tempo Parado | Tempo Total | R ² |
| 1 | 25,531 | 0,40255 | 0,50588 | 0 | -1,3534 | 0 | 1,6658 | 0,939 |
| 2 | 25,531 | 0,42338 | 0,52499 | 0 | 0 | 1,6509 | 0 | 0,938 |
| 3 | 25,531 | 0 | 0,4303 | 0,07970 | -2,2381 | 0 | 1,8354 | 0,933 |
| 4 | 25,531 | 0 | 0,42572 | 0,06461 | 0 | 1,9761 | 0 | 0,932 |
| 5 | 25,531 | 0,48538 | 0,52907 | 0 | 0 | 0 | 0,89139 | 0,930 |
| 8 | 25,531 | 0,66941 | 0,62886 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,918 |
| 10 | 25,531 | 0 | 0,50269 | 0,14680 | -1,1758 | 0 | 0 | 0,908 |
| 13 | 25,531 | 0 | 0,6422 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,842 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Tabela 10 – Desvio-padrão dos modelos de consumo de combustível – VA 202 + VA 204.

| Desvio-Padrão | | | | | | | | |
|---------------|-------------|------------|----------------|------------|-----------------|--------------|-------------|----------------|
| Modelos | Interceptor | Peso (Ton) | Distância (Km) | N. Paradas | Tempo Movimento | Tempo Parado | Tempo Total | R ² |
| 1 | 0,2161 | 0,11102 | 0,04193 | 0 | 0,53487 | 0 | 0,41952 | 0,939 |
| 2 | 0,21584 | 0,10819 | 0,03674 | 0 | 0 | 0,42334 | 0 | 0,938 |
| 3 | 0,22553 | 0 | 0,03941 | 0,02779 | 0,54444 | 0 | 0,43471 | 0,933 |
| 4 | 0,22462 | 0 | 0,03784 | 0,01997 | 0 | 0,40908 | 0 | 0,932 |
| 5 | 0,22794 | 0,11190 | 0,04316 | 0 | 0 | 0 | 0,30266 | 0,930 |
| 8 | 0,24514 | 0,09983 | 0,02874 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,918 |
| 10 | 0,2621 | 0 | 0,04123 | 0,02650 | 0,5611 | 0 | 0 | 0,908 |
| 13 | 0,33606 | 0 | 0,03930 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,842 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Os resultados encontrados para os veículos VA202 e VA204 apesar de apresentarem coeficiente de determinação (R²) menor do que os do VA 97, seus valores são confiáveis, e provavelmente representam uma maior variabilidade semanal, mensal e sazonal, uma vez que há uma maior quantidade de viagens analisadas (52) e de rotas (uma pra cada caminhão), as quais foram bem distribuídas entre os meses de seca e de chuva.

O modelo 1 ($Consumo = 25,531 + 0,40255 \times Peso + 0,50588 \times Distância - 1,3534 \times Tempo Movimento + 1,6658 \times Tempo Total$) é o que apresenta maior coeficiente de determinação, no entanto, para sua utilização são necessários quatro parâmetros, o que dificulta a análise, e restringe sua aplicação, uma vez que parâmetros de tempo em movimento ou parado não são facilmente obtidos.

O modelo 13 ($Consumo = 25,531 + 0,6422 \times Distância$) utiliza apenas uma variável, assim como o modelo do VA 97, no entanto, seu coeficiente de determinação foi o mais baixo encontrado com significado estatístico, mostrando a relação que existe entre consumo de combustível e outras variáveis, desde que haja dados suficientes para a análise.

Entre os dois modelos citados, o modelos 5 ($Consumo = 25,531 + 0,48538 \times Peso + 0,52907 \times Distância + 0,89139 \times Tempo Total$) e o modelo 8 ($Consumo = 25,531 + 0,66941 \times Peso + 0,62886 \times Distância$) apresentaram bons resultados, e a necessidade de um número menor de variáveis, mostrando o potencial de sua utilização. Uma vez que o modelo 8 utiliza apenas a distância percorrida e o peso transportado, e o modelo 5, além dos dois parâmetros, o tempo total de operação com o motor ligado.

As Figura 34 e Figura 35 abaixo apresentam os consumos reais obtidos ao longo do trabalho e os consumos gerados a partir dos modelos 1 e 13:

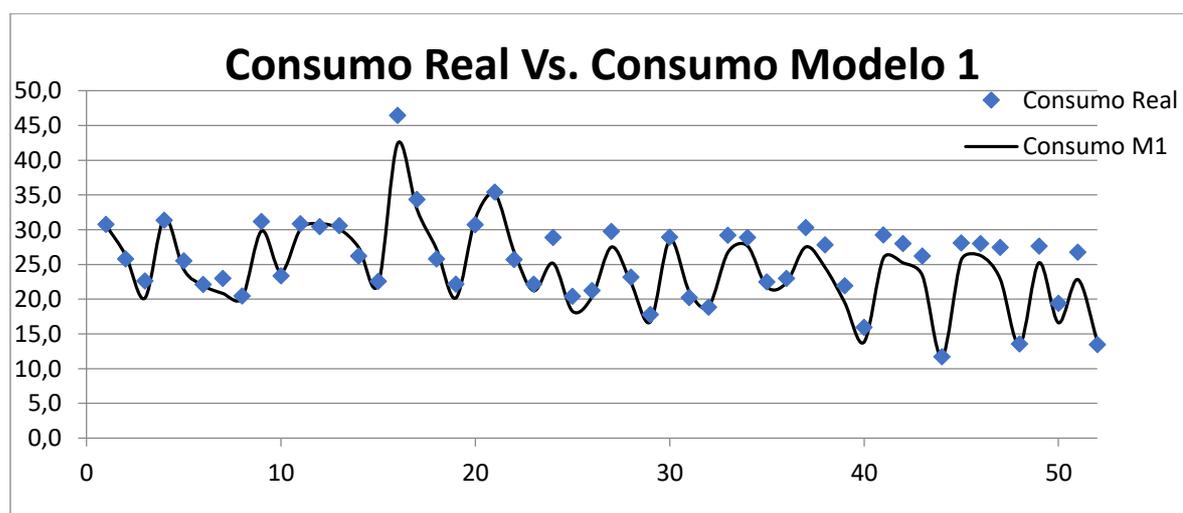


Figura 34 – Consumo real Vs Consumo modelo 1 – VA 202 e VA 204.
Fonte: Elaboração própria do autor.

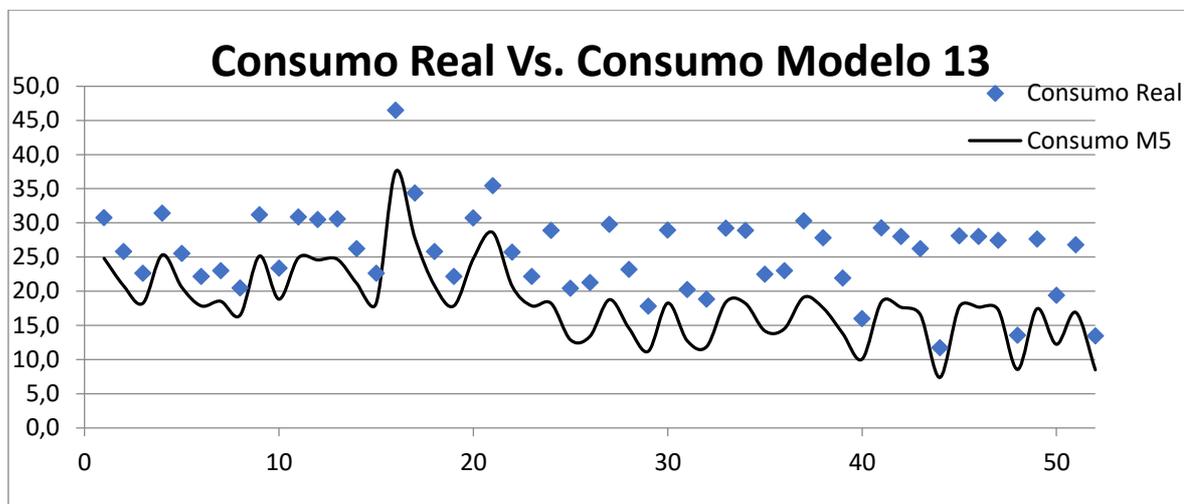


Figura 35 – Consumo real Vs. Consumo modelo 13 – VA 202 e VA 204.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Por fim é importante ressaltar que o modelo com maior coeficiente de determinação não necessariamente é o melhor modelo, devido à dificuldade de obtenção de dados. Foi verificada a relação forte entre os dados obtidos em campo e o consumo de combustível e a emissão de poluentes atmosféricos, conforme proposto no início do trabalho.

5.5 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

As emissões atmosféricas foram estimadas com base em dados secundários da emissão de poluentes atmosféricos e locais a partir da queima de combustível Diesel em duas condições de operação – Motor Ligado Veículo Parado (*Idling*) e Motor Ligado Veículo Deslocando (*Driving*).

A primeira tentativa foi de obter o consumo de combustível durante as saídas de campo, pelo volume de combustível utilizado no abastecimento do veículo, desde que o caminhão fosse abastecido antes de sair da garagem e assim que retornasse, medindo assim o consumo de combustível referente àquela rota.

Por questões logísticas da VA, não foi possível realizar o abastecimento antes e depois da coleta. No entanto, a não utilização deste dado foi benéfico ao trabalho, uma vez que considerar o consumo de uma única rota durante o período de chuva como sendo o consumo padrão poderia enviesar os resultados.

Para obter o consumo de combustíveis foi então feito um levantamento de todos os abastecimentos de cada um dos três veículos através das planilhas na coluna EVENTO e

VALOR DO EVENTO para os dois meses de dados (Dezembro e Junho – VA204 e Janeiro e Junho – VA202 e VA97).

O abastecimento ocorre todos os dias ao final das operações, portanto, ao considera-lo, compreendem-se todas as rotas realizadas pelo veículo naquele dia, levando em consideração os fatores que influenciam o consumo de combustível. Ao repetir esse processo para o mês mais seco e o mais úmido, é possível embutir no resultado a influência sazonal no consumo de combustível e obter um fator de consumo (expresso em função da quilometragem percorrida) que representa a realidade.

Foram levantados todos os volumes de combustível utilizados para o abastecimento, e as distâncias percorridas para cada intervalo de abastecimento, obtendo assim a quilometragem percorrida para cada litro de combustível (Km/L) para cada intervalo. Apesar de o consumo ser dado em função da quilometragem percorrida, o mesmo corresponde ao consumo de combustível enquanto o veículo se desloca e enquanto se encontra parado recebendo ou compactando resíduos.

Para a obtenção do resultado que representa as variações semanais, mensais, sazonais e demais fatores que influenciam o consumo de combustível, foi feita uma média ponderada do consumo (km/L) por distância percorrida (km) para os meses mais seco e mais chuvoso, conforme apresenta a tabela abaixo:

Tabela 11 – Consumo de combustível por distância percorrida para cada veículo avaliado.

| Caminhão | Km/L |
|-----------------|-------------|
| VA97 | 1,088 |
| VA202 | 0,983 |
| VA204 | 1,257 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

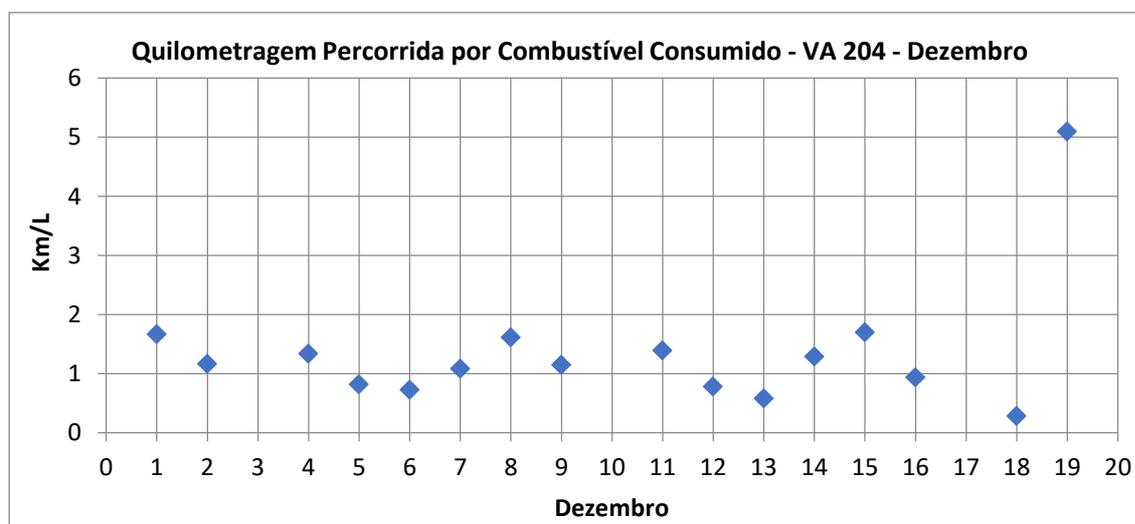
Nesta etapa foi necessário ajustar os dados, de modo que intervalos de distâncias percorridas em que não houvesse o volume abastecido fossem descartados. Após esse primeiro filtro foram retirados os resultados (km/L) com valores fora da curva, conforme apresenta a imagem abaixo a respeito do consumo de combustíveis no mês de dezembro do caminhão VA204:

Tabela 12 - Distância percorrida por litro de combustível consumido para o caminhão VA204 em dezembro.

| VA204 | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| Data | Km/L | Data | Km/L | Data | Km/L | Data | Km/L |
| 01/dez | 1,667 | 06/dez | 0,727 | 11/dez | 1,391 | 15/dez | 1,701 |
| 02/dez | 1,165 | 07/dez | 1,086 | 12/dez | 0,784 | 16/dez | 0,938 |
| 04/dez | 1,341 | 08/dez | 1,613 | 13/dez | 0,580 | 18/dez | 0,283 |
| 05/dez | 0,819 | 09/dez | 1,148 | 14/dez | 1,291 | 19/dez | 5.096 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 36 – Análise dos resultados de distância percorrida por litro de combustível consumido para o caminhão VA204 em dezembro.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Foi obtido o consumo de combustível de cada rota selecionada dividindo-se a distância em quilômetros da rota pelo fator de consumo (Km/L) apresentado na Tabela 11. Com isso, foi determinado o consumo de combustível total para cada rota, incluindo o consumo *Driving* e o *Idling*.

A importância de separar o consumo entre *Driving* e *Idling*, é avaliar o quanto de tempo e combustível é gasto com cada atividade, além das diferentes emissões atmosféricas que cada estado de operação possui quanto a poluentes locais (NOx, CO, Material Particulado),

podendo ser utilizado como critério de planejamento na escolha de um modelo de coleta em relação a outro.

Os dois estados de operação do veículo possuem a mesma taxa de emissão de Gases de Efeito Estufa, obtida através do consumo de combustível, mas valores diferentes quando se trata de poluentes locais, obtidos pelo consumo de combustível quando o motor se encontra ligado e parado (*Idling*), e em função das distâncias percorridas quando o motor se encontra ligado e se deslocando (*Driving*), conforme apresenta a Tabela 14.

Os fatores de emissão de poluentes atmosféricos utilizados neste trabalho foram extraídos do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2014) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT – que inventariou as emissões dos poluentes atmosféricos regulamentados pelo PROCONVE, além de CH₄, N₂O, CO₂, Material particulado do escapamento e Material Particulado por desgaste de freios, pneus e a pista, apresentados nas tabelas abaixo:

O Inventário em questão divide as emissões por tipo de veículos e pelo combustível utilizado. Na categoria Diesel, há dados para caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados, diferenciados de acordo com seu peso bruto total (PBT) – combinação do peso do veículo, peso da carroceria e o peso da carga – ou através de seu peso máximo total combinado (PBTC) - o peso máximo que o veículo pode transmitir para as pistas de rodagem, ou seja, o PBT acrescido de reboque. A categoria dos semipesados varia de 15 a 40 Ton., e os caminhões apresentados neste estudo, 14,2 Ton (VA202 e VA 204) e 17,8 Ton (VA97), sem contar com os resíduos transportados, que apresentam valores médios de 8.1 Ton (VA97), 12,8 Ton (VA204) e 16 Ton (VA202), o que somados dão valores menores do que 40 Ton.

Os fatores de emissão são fornecidos em g do poluente por Km percorrido, no entanto, a eficiência do motor (Km/L) utilizada pelo inventário é bastante diferente da encontrada em campo ao longo deste trabalho. O inventário utiliza valor de 3,45 Km/L, enquanto os caminhões estudados neste trabalho apresentaram valores entre 0,98 e 1,26 Km/L, mostrando a necessidade de estudos mais aprofundados e trabalhos em campo para a obtenção desses valores. Independente da diferença, para a utilização desse dado, o mesmo foi multiplicado pela eficiência apresentada no inventário em Km/L, obtendo-se assim o resultado em g de poluente por litro de combustível consumido, conforme apresenta a tabela 10 abaixo:

Tabela 13 – Fatores de emissão por litro de Diesel consumido – Inventário Nacional Brasileiro.

| Caminhões Semi-pesados | Ano de Fabricação do Veículo | CO (g/L Diesel) | NOx (g/L Diesel) | CH4 (g/L Diesel) | CO2 (Kg/L Diesel) | N2O (g/L Diesel) |
|------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | 2010 | 3,169 | 17,983 | 0,207 | 2,603 | 0,103 |
| | 2012 | 0,948 | 5,672 | 0,207 | 2,603 | 0,103 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

O inventário nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários não apresenta distinção para as emissões de poluentes atmosféricos em diferentes estados de

Tabela 14 – Fatores de emissão por litro de Diesel consumido – Inventários internacionais.

| Atividade | Tipo | Emissões | Taxa | Fonte |
|----------------|------------------|--|-----------|-------------------------|
| <i>Idling</i> | GEE | N ₂ O | 0,08 g/L | Environment Canada |
| <i>Idling</i> | GEE | CH ₄ | 0,13 g/L | Environment Canada |
| <i>Idling</i> | GEE | CO ₂ | 2730 g/L | Environment Canada |
| <i>Idling</i> | Poluentes locais | NOx | 144 g/L | Stodolsky et al. (2000) |
| <i>Idling</i> | Poluentes locais | CO | 94,6 g/L | Stodolsky et al. (2000) |
| <i>Idling</i> | Poluentes locais | Material Particulado (PM ₁₀) | 2,57 g/L | Stodolsky et al. (2000) |
| <i>Driving</i> | GEE | N ₂ O | 0,08 g/L | Environment Canada |
| <i>Driving</i> | GEE | CH ₄ | 0,13 g/L | Environment Canada |
| <i>Driving</i> | GEE | CO ₂ | 2730 g/L | Environment Canada |
| <i>Driving</i> | Poluentes locais | NOx | 6,68 g/km | Lindhjem et al. (2002) |
| <i>Driving</i> | Poluentes locais | CO | 26,6 g/km | Lindhjem et al. (2002) |
| <i>Driving</i> | Poluentes locais | Material Particulado (PM ₁₀) | 0,17 g/km | Lindhjem et al. (2002) |

Fonte: Elaboração própria do autor.

operação – *Driving* e *Idling* – no entanto, outros estudos utilizam valores diferentes para as emissões de NO_x, CO e Material Particulado, conforme apresenta a tabela abaixo:

Para separar o quanto foi consumido de combustível *Driving* e *Idling* foi utilizado dado secundário do estudo desenvolvido por Lim`s et al. para a Agência de Proteção Ambiental Americana (*U. S. Environmental Protection Agency - EPA*) a respeito das emissões atmosféricas a baixa rotação (*Idling*) de caminhões pesados movidos a diesel. Sendo igual a 3,104 L/hora.

Ao trabalhar com o consumo de combustível *Idling* os valores são dados em função do tempo. Multiplicando essa taxa de consumo pelo tempo em horas que o caminhão permaneceu ligado e parado (extraído das planilhas da VA através do programa desenvolvido e apresentado no Anexo 2), obtém-se o consumo de combustível *Idling*. Subtraindo o volume encontrado do volume total obtido através das distâncias percorridas, obtém-se o combustível consumido pelo deslocamento do veículo.

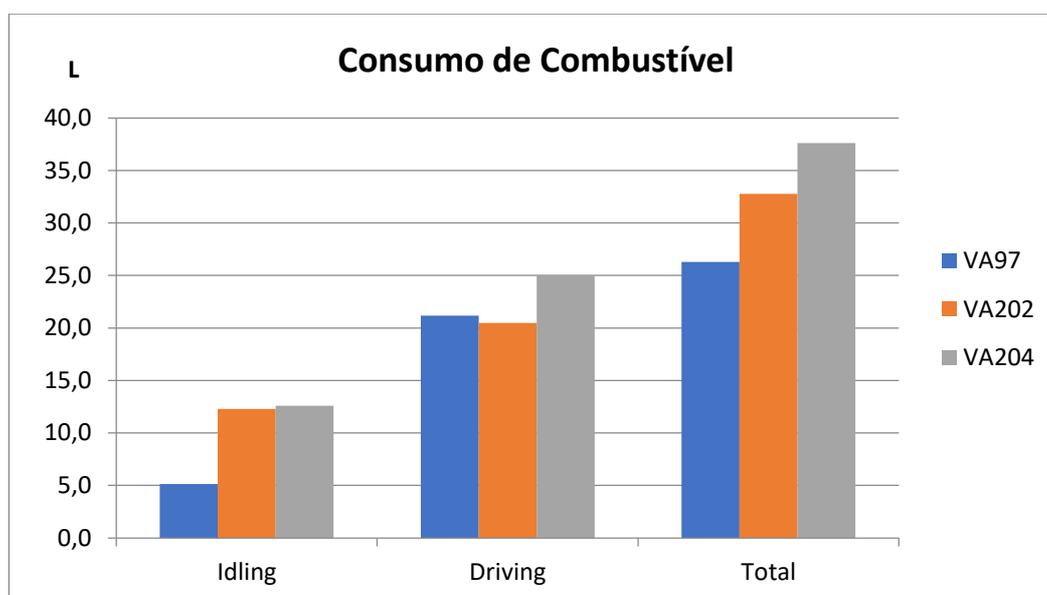
Foi feita uma média simples com os consumos de combustível de cada veículo, sendo considerado o dia de coleta, ou seja, nos dias em que o caminhão precisou realizar duas viagens para completar sua rota, foi considerada a soma do consumo de combustível das duas viagens, de modo que o valor englobe as variações nas taxas de geração de resíduos semanal e mensal, bem como alterações no peso transportado por questões sazonais, fornecendo uma média diária de consumo de combustível. Os resultados são apresentados abaixo:

Tabela 15 – Consumo médio de combustível por caminhão.

| CAMINHÃO | Consumo de Combustível <i>Idling</i> (L) | Consumo de Combustível <i>Driving</i> (L) | Consumo de combustível (L) - TOTAL |
|----------|--|---|------------------------------------|
| VA97 | 5,1 (19%) | 21,2 (81%) | 26,3 |
| VA202 | 12,3 (38%) | 20,5 (62%) | 32,8 |
| VA204 | 12,6 (33%) | 25,0 (67%) | 37,6 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 37 – Consumo médio de combustível por caminhão.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Foram multiplicados os volumes de combustível consumido pelos fatores de emissão apresentados na Tabela 13, obtendo-se as taxas de emissão média com base na média diária de consumo de combustível apresentadas abaixo:

Tabela 16 – Taxa de emissão média com base na média diária de consumo de combustível.

| Caminhões | Ano de Fabricação do Veículo | Volume de Diesel Consumido | CO (g) | NOx (g) | CH4 (g) | CO2 (Kg) | N2O (g) |
|-----------|------------------------------|----------------------------|--------|---------|---------|----------|---------|
| VA97 | 2010 | 26,3 | 83,344 | 472,947 | 5,441 | 68,459 | 2,721 |
| VA202 | 2012 | 32,8 | 31,103 | 186,055 | 6,786 | 85,378 | 3,393 |
| VA204 | 2012 | 37,6 | 35,655 | 213,283 | 7,779 | 97,873 | 3,890 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

5.6 DISCUSSÃO

Ao analisar a emissão média de poluentes atmosféricos, com base na Tabela 13 e Tabela 16, a rota que apresenta a maior emissão de GEE (CH₄, CO₂ e N₂O) é a com maior consumo de combustível (VA204), pois o fator de emissão utilizado é o mesmo para veículos fabricados entre 2010 e 2012, segundo o Inventário nacional de emissões. No entanto, para poluentes locais (NO_x e CO), a rota percorrida pelo caminhão VA97 apresentou os maiores valores, em função de seu ano de fabricação, pois para poluentes locais o Inventário nacional

de emissões possuía taxas de emissão diferenciadas de acordo com o ano de fabricação do veículo.

O consumo de combustível utilizado para obter as emissões atmosféricas foi obtido a partir do consumo médio diário, calculado com base na soma dos volumes de combustível gastos para que a coleta de cada rota fosse completa. No caso de duas viagens necessárias para que a rota fosse totalmente atendida, foram somados o volume de combustível consumido para cada uma. Apesar de a média ter sido utilizada, em nenhum momento a frequência em que a coleta é realizada foi empregada. Portanto, para dar continuidade a análise, as taxas de emissão apresentadas na Tabela 16 foram multiplicadas pela frequência de coleta de cada caminhão ao longo de um ano, obtendo-se assim, as taxas de emissão atmosférica para um ano de coleta, conforme apresenta a tabela abaixo:

Tabela 17 – Emissão média anual de poluentes atmosféricos.

| Caminhões | Ano de Fabricação do Veículo | Frequência da coleta | CO (kg) | NOx (kg) | CH4 (kg) | CO2 (Ton) | N2O (kg) |
|-----------|------------------------------|----------------------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| VA97 | 2010 | Diária | 30,420 | 172,625 | 1,986 | 24,987 | 0,993 |
| VA202 | 2012 | Seg./Qua./Sex. | 4,865 | 29,104 | 1,062 | 13,356 | 0,531 |
| VA204 | 2012 | Seg./Qua./Sex. | 5,577 | 33,364 | 1,217 | 15,310 | 0,608 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Ao considerar a frequência da coleta para um ano, as emissões de GEE do VA97 que ocupavam a última posição, passam a ocupar a primeira, pois apesar do consumo por rota ser menor, a frequência é diária, enquanto nos caminhões VA202 e VA204 a coleta é feita apenas três vezes na semana.

O Painel Intergovenamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apresenta em seus estudos o potencial de aquecimento global (baseado em CO2) para os demais GEE`s, conhecido como CO2 equivalente (CO2e). A equivalência leva em conta o potencial de aquecimento global dos gases envolvidos e calcula quanto de CO2 seria emitido se todos os GEE`s fossem emitidos como esse gás, conforme apresenta a tabela abaixo:

Tabela 18 - Dióxido de Carbono Equivalente (CO2e) para os GEE.

| Gases de Efeito Estufa (GEE) | Dióxido de Carbono Equivalente (CO2e) |
|------------------------------|---------------------------------------|
| CO2 | 1 |

| | |
|------------|-----|
| CH4 | 25 |
| N2O | 298 |

Fonte: Adaptações dos dados do IPCC.

Ao avaliar apenas os GEE, com base na equivalência de Carbono do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), as rotas apresentam as emissões atmosféricas abaixo:

Tabela 19 – Emissão média anual de GEE e CO2e.

| Caminhões | CH4 (kg) por Ano | CO2 (Ton) por Ano | N2O (kg) por Ano | CO2e (Ton/ano) |
|------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
| VA97 | 1,986 | 24,987 | 0,993 | 28,005 |
| VA202 | 1,062 | 13,356 | 0,531 | 14,969 |
| VA204 | 1,217 | 15,310 | 0,608 | 17,159 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

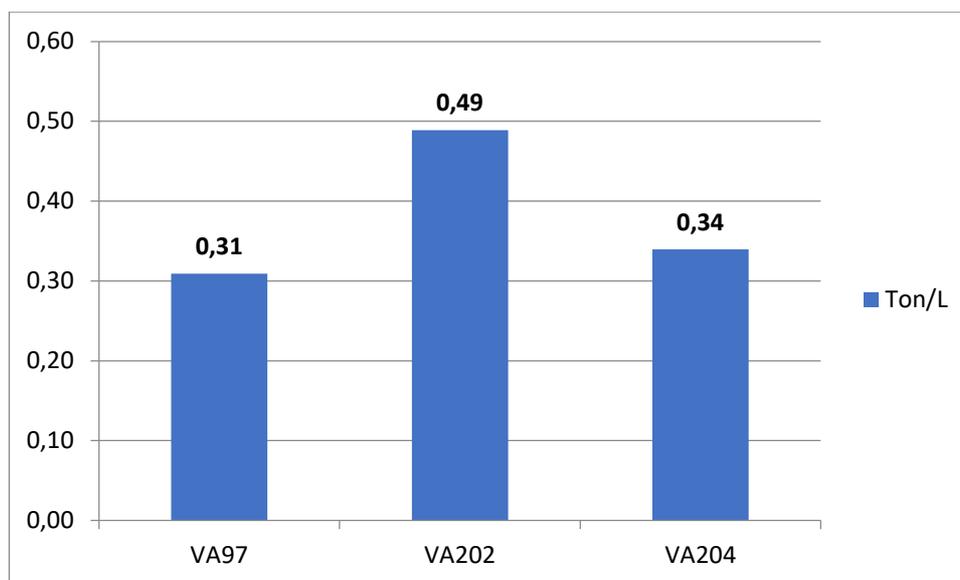
Considerando agora o CO2e médio anual, a ordem de emissão se manteve, onde o VA97 apresentou a maior taxa de emissão de CO2e. No entanto, a análise não pode ficar restrita aos valores brutos de emissão, sendo importante avaliar o quanto é emitido para cada tonelada de RSU coletada, bem como pelas distâncias percorridas e população atendida. A tabela e os gráficos abaixo apresentam a média de consumo de combustível para cada caminhão em função dos pesos de RSU transportados e das distâncias percorridas:

Tabela 20 – Média do consumo de combustível, peso dos RSU coletados e quilometragem percorrida.

| Caminhão | Consumo Combustível Idling (L) | Consumo Combustível Driving (L) | Consumo Combustível TOTAL (L) | Peso (Ton) | km | Ton/L | km/L |
|-----------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|-------------|
| VA97 | 5,12 | 21,18 | 26,30 | 8,13 | 28,61 | 0,31 | 1,09 |
| VA202 | 12,30 | 20,47 | 32,77 | 16,02 | 32,21 | 0,49 | 0,98 |
| VA204 | 12,60 | 25,01 | 37,62 | 12,78 | 47,27 | 0,34 | 1,26 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 38 – Peso médio dos RSU transportados por litro de combustível consumido por caminhão (Ton./L)



Fonte: Elaboração própria do autor.

Apesar do resultado em toneladas coletadas em função do volume de combustível utilizado (Ton/L) para o VA97 ter sido o mais baixo dos três, é importante ressaltar na análise que as toneladas apresentadas não representam necessariamente todo o Resíduo coletado pelo caminhão, mas sim todo o RSU transportado até a UTMB – P.Sul, pois o caminhão VA97 além de descarregar os resíduos em sua carroceria compactadora, também os descarrega (em algumas situações) em caminhões tipo caçamba. Quanto aos demais veículos, o VA202 apresentou melhor resultado possivelmente por percorrer uma distância mais curta até seu primeiro ponto de coleta, além de coletar mais resíduos que os demais (16 Ton. em média).

.Quanto à eficiência do motor (km/L), o VA97 apresentou resultados melhores do que o apresentado pelo VA202, e inferiores aos do VA204, possivelmente função do ano de fabricação do motor, seu desempenho e potência, condições de operação e peso transportado. Dado que os motores do VA202 e 204 são diferentes do motor do VA97, é compreensível a diferença apresentada, no entanto, as diferenças existentes entre sua eficiência do VA202 e VA204 provavelmente se deve a as varrições nas distâncias percorridas e RSU coletados, pois ambos possuem o mesmo motor e realizam a coleta porta a porta, apresentando distribuição de consumo (*Idling e Driving*) parecida.

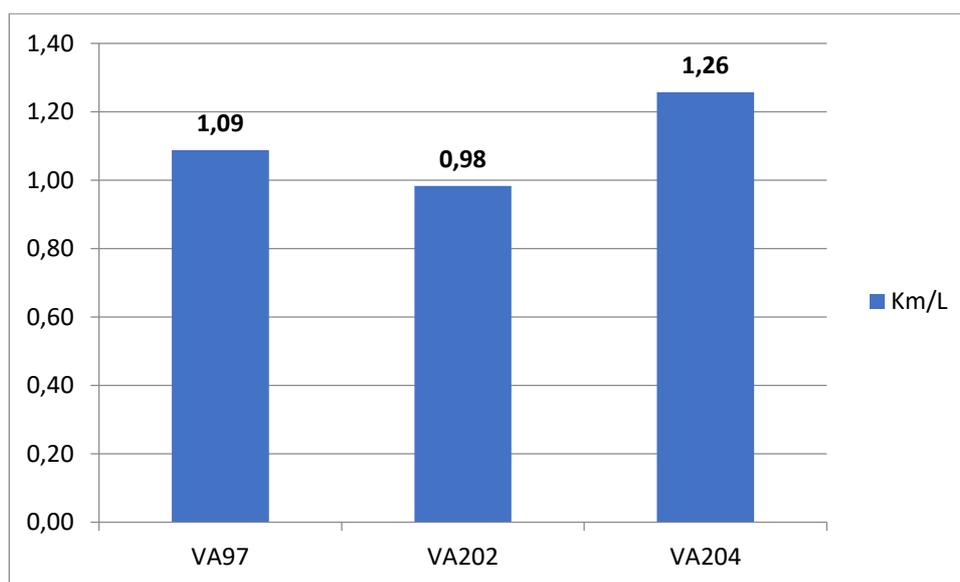
O VA 204 apresentou maior Km percorrida por Litro de combustível (1,26 km/L) ao mesmo tempo em que apresentou as maiores distâncias percorridas, e principalmente maiores

distâncias percorridas até o primeiro ponto de coleta, período em que o caminhão consegue operar impondo menor esforço ao motor, uma vez que trabalha a marchas mais elevadas e com menor quantidade de giros, como pode ser visto na Figura 13 e Figura 14 que apresentam as rotas do VA202 e VA204.

Durante a distância percorrida até o primeiro ponto de coleta, o caminhão possui poucas paradas (função dos semáforos ou pedestres) quando comparado com o início da operação, onde o veículo para em média a cada final de rua para compactar os resíduos (além de transitar a marchas mais baixas para que os coletores possam coletar e descarregar os RSU na carroceria do caminhão, impondo maior esforço ao motor).

Ainda com relação a maior Km percorrida por Litro de combustível apresentada pelo VA 204, ao avaliar outro ponto que influencia o consumo de combustível, os RSU coletados, o veículo apresentou valores médios menores do que os apresentados pelo VA202, o que provavelmente justifica as maiores distâncias percorridas por litro de combustível apresentado pelo caminhão VA 204, uma vez que quanto maiores os pesos transportados, maior o esforço imposto ao motor.

Figura 39 – Distância média percorrida por litro de combustível consumido por caminhão (Ton./L)



Fonte: Elaboração própria do autor.

Ao misturar as emissões atmosféricas anuais com as toneladas e distâncias percorridas por litro, obtém-se a tabela abaixo:

Tabela 21 – CO2e em função do peso transportado e das distâncias percorridas.

| Caminhão | Peso coletado por ano (Ton./ano) | Distância percorrida por ano (km/ano) | CO2e por Peso coletado por ano (Ton. CO2e/Ton RSU/Ano) | CO2e por Peso coletado por ano (kg CO2e/Ton RSU/Ano) | CO2e por Distância percorrida por ano (Ton. CO2e/Km /Ano) | CO2e por Distância percorrida por ano (kg CO2e/Km/Ano) |
|--------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|--|
| VA97 | 8,13 | 28,61 | 0,00943 | 9,437 | 0,00268 | 2,682 |
| VA202 | 16,02 | 32,21 | 0,00597 | 5,973 | 0,00297 | 2,971 |
| VA204 | 12,78 | 47,27 | 0,00858 | 8,583 | 0,00232 | 2,321 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Ao avaliar os dados da tabela percebe-se que a tonelada coletada com maior emissão de poluentes é a do VA97, no entanto, como dito anteriormente, a coleta dos Papa-Lixo no Setor habitacional Sol Nascente possui algumas peculiaridades que dificultam a análise, uma vez que o Munk do caminhão é utilizado não apenas para descarregar os resíduos em sua carroceria, mas na carroceria de caminhões tipo caçamba que eventualmente acompanham a coleta, não sendo esse, portanto, o critério de análise que melhor representa a realidade.

Ao avaliar os dados em função das distâncias percorridas, percebe-se a relação direta com as distâncias médias percorridas por litro de combustível consumido, que conforme apresentado anteriormente, possui relação com o ano de fabricação do motor, seu desempenho e potência, condições de operação, peso transportado, distâncias percorridas e principalmente distâncias percorridas até o primeiro ponto de coleta.

Para melhor análise dos dados é importante avaliar as emissões associadas ao número de habitantes, o que possui relação com a taxa de geração de resíduos, mas lembrando de que as regiões possuem condições socioeconômicas parecidas e, portanto, taxas de geração de RSU próximas, a análise por ser realizada.

Para obter as populações atendidas por rota foram utilizados os dados dos setores censitários do IBGE para o censo de 2010, sendo considerados apenas os setores diretamente atendidos pela coleta, conforme apresentam as imagens e tabela abaixo:

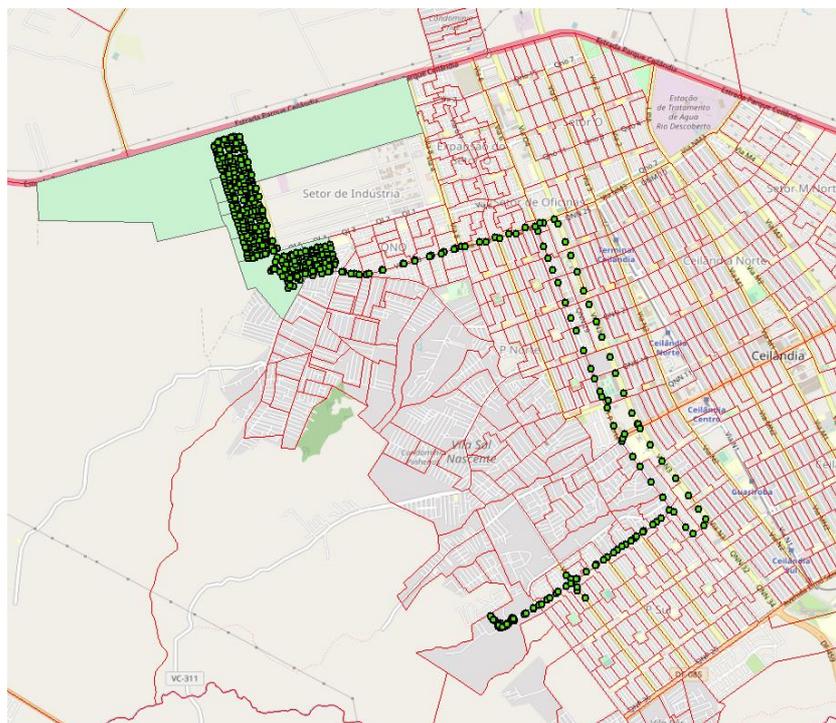
Tabela 22 – CO2e por população atendida.

| Caminhão | Pop. Atendida (Hab.) | CO2e por população atendida (Ton/hab./ano) | CO2e por população atendida (Kg/hab./ano) |
|----------|----------------------|--|---|
| VA97 | 47.461 | 0,00059 | 0,590 |

| | | | |
|-------|--------|---------|-------|
| VA202 | 14.505 | 0,00103 | 1,032 |
| VA204 | 11.599 | 0,00147 | 1,479 |

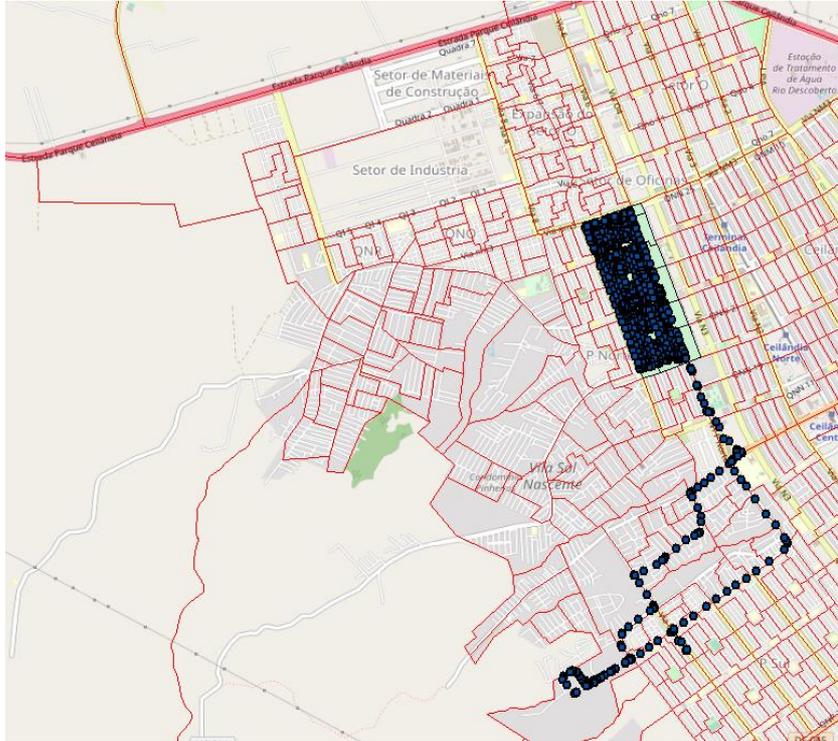
Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 40 – Setores censitários atendidos pela coleta do VA 204.



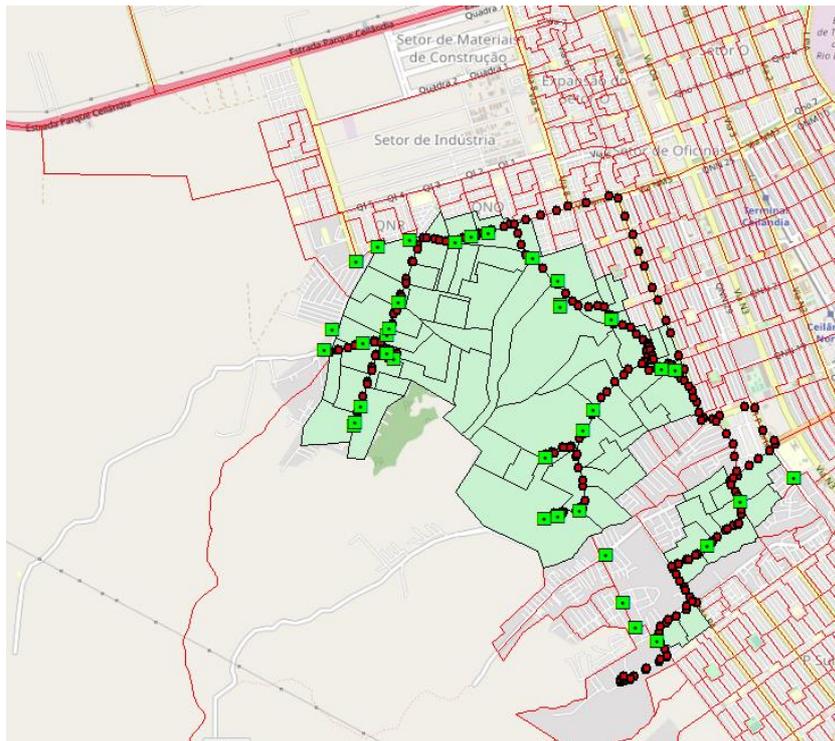
Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 41 – Setores censitários atendidos pela coleta do VA 202.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Figura 42 – Setores atendidos pela coleta do VA 97.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Os setores censitários referentes às rotas VA 202 e VA 204 representam bem a realidade, pois a coleta é porta a porta, todas as casas são atendidas e os setores censitários correspondem exatamente (com exceção de um dos setores do VA 204) aos locais percorridos pelos caminhões. Os possíveis erros nos dados estariam associados ao crescimento populacional em relação ao ano em que o censo foi realizado - 2010.

Quando se trata dos setores censitários do VA 97, em que a população precisa se deslocar até o contêiner semienterrado, e que possui outro contexto de coleta de resíduos, uma vez que antes dos Papa-Lixo serem instalados (e ainda hoje) parte dos resíduos eram queimados pela população ou jogados ao longo das ruas para que pás carregadeiras e caminhões tipo caçamba realizassem a coleta, a determinação da população atendida torna-se complexa. O que é intensificado pelo alto crescimento populacional apresentado na região, uma vez que o local é fruto de uma série de invasões e grilagens de terra. Para resolver esse impasse, foram traçados cenários de população atendida, onde até 57% da população dos setores censitários pode ser atendida emitindo-se menores taxas de CO₂e para a coleta de seus resíduos, conforme apresenta a tabela abaixo:

Tabela 23 – Emissão de CO₂e para diferentes populações atendidas.

| VA97 | Pop. Total (hab.) | 30% (hab.) | 50% (hab.) | 57% (hab.) | 70% (hab.) |
|---------------------------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| População Atendida | 47.461 | 14.238 | 23.731 | 27.138 | 33.223 |
| CO₂e (Ton/hab./ano) | 0,00059 | 0,00196 | 0,00118 | 0,00103 | 0,00084 |
| CO₂e (Kg/hab./ano) | 0,590 | 1,967 | 1,180 | 1,032 | 0,843 |

Fonte: Elaboração própria do autor.

Para populações atendidas maiores do que 57% da população total dos setores censitários a emissão de CO₂e por habitante torna-se ainda mais baixa, colocando a rota de coleta dos Papa-Lixo a frente das demais. Enquanto populações atendidas menores do que 57% da população aumentam as taxas de emissão por habitante, colocando a rota percorrida pelo VA202 à frente.

Portanto, considerando que até 57% da população dos setores censitários selecionados para o censo de 2010 é atendida diretamente pela coleta dos Papa-Lixo realizada pelo caminhão VA97, a coleta ponto a ponto avaliada é a responsável por emitir as menores taxas

de CO₂e por habitante atendido pela coleta. Ademias, quando se leva em conta que o VA97 é o caminhão avaliado mais antigo, possuindo por esse motivo, fatores de emissão por litro de combustível mais elevados, a coleta ponto a ponto avaliada torna-se ainda mais vantajosa nesse quesito.

É importante lembrar que as análises até então foram feitas apenas considerando toda a rota, e que talvez pudesse ser utilizado para a análise apenas o consumo desde o primeiro ponto de coleta ao último ponto de coleta, de modo que apenas a atividade de coleta fosse considerada, sendo desconsideradas as diferentes distâncias percorridas da garagem ao início da coleta e do final da coleta a descarga, que como visto ao longo do trabalho, podem influenciar o consumo e a emissão de poluentes.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos gerais e específicos do trabalho foram alcançados, sendo analisadas as emissões de poluentes atmosféricos para as rotas porta-a-porta e ponto-a-ponto selecionadas.

Os valores foram obtidos multiplicando-se os consumos de combustível obtidos em campo através dos computadores de bordo de cada veículo pelos fatores de emissão atmosférica extraídos do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2014).

Para a rota de coleta ponto a ponto foi escolhido a rota responsável pela coleta do Papa-Lixo (VA97) do Setor Habitacional Sol Nascente, por ser a única rota de coleta dos Papa-Lixo realizada exclusivamente numa mesma região. Ademais, por ter sido o local cujos primeiros contêineres semienterrados foram instalados e por compartilhar infraestrutura e serviços urbanos com as localidades em seu entorno, que também pertencem a RA de Ceilândia e que foram utilizadas para a análise das rotas de coleta porta a porta.

Dentre os fatores que influenciam o consumo de combustíveis e emissão de poluentes atmosféricos, foram selecionados aqueles que sofrem menor influência do condutor do veículo, como o peso transportado, características do veículo e as condições das vias, de modo que pudesse ser trabalhados ao longo do projeto.

Foram selecionadas rotas que compartilhavam características socioeconômicas, influenciando a taxa de geração de resíduos (peso transportado), ano de fabricação e

condições de vias. Mantendo assim os fatores que exercem influência no consumo de combustíveis (e logo, na emissão de poluentes atmosféricos) o mais próximo possível.

Para que a influência semanal e mensal na taxa de geração de RSU, bem como as influências sazonais devido às variações nos pesos dos resíduos em função da água acumulada nas sacolas de lixo fossem consideradas e assim a análise fosse mais representativa, foram escolhidos os dados de dois meses, o mais seco (junho), e o mais úmido (janeiro).

Foram obtidos dados dos computadores de bordo dos veículos, que geravam novos dados a cada 20 s. Dentre os dados, havia informações das atividades desempenhadas pelo veículo, suas velocidades, suas latitudes e longitudes e os horários em que cada dado fora levantado.

Foi feita uma filtragem dos dados obtidos, através da espacialização dos dados de Latitude e Longitude das planilhas, de modo que fossem selecionados apenas os referentes às rotas de interesse (dado que os caminhões desempenham diferentes rotas de coleta ao longo de uma semana). A partir dessa pré-seleção, foram consideradas apenas as rotas que não apresentassem grandes discrepâncias em relação às rotas teóricas de coleta.

Ao final das seleções, foram extraídos os tempos em que o motor do veículo se encontrava ligado e o veículo parado, e os tempos que o motor se encontrava ligado e o veículo se deslocava. Divididos em *Idling* e *Driving*, respectivamente.

Foram extraídas as distâncias percorridas em cada rota em ambiente de SIG a partir da espacialização das Latitudes e Longitudes dos dados obtidos. Com as distâncias, foram determinados os consumos de combustível total através de uma média de consumo de combustível por distância percorrida (Km/L) obtida a partir das informações a respeito do abastecimento do veículo e da quilometragem viajada entre os abastecimentos.

A partir de dado secundário referente à operação dos caminhões a baixas rotações (*Idling*) e do tempo gasto com essa atividade (período em que os caminhões estão parados para a deposição e compactação dos resíduos), foram obtidos os consumos de combustível *Idling*. Este volume foi subtraído do volume total de combustível consumido, obtendo-se assim o consumo de combustível para cada estado de operação da coleta.

Com os valores de combustível consumido, foram determinadas as emissões de poluentes atmosféricos para as rotas porta a porta e ponto a ponto selecionadas a partir dos fatores de

emissão atmosférica extraídos do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.

Ao analisar a emissão média diária de poluentes atmosféricos, a rota que apresentou a maior emissão de GEE foi a com maior consumo de combustível - VA204 - pois o fator de emissão utilizado era o mesmo para a faixa de idade dos veículos analisados. Para poluentes locais, a rota percorrida pelo caminhão VA97 apresentou os maiores valores, em função de seu ano de fabricação, pois para poluentes locais o Inventário nacional de emissões possuía taxas de emissão diferenciadas para a faixa de idade dos veículos analisados.

Apesar do resultado, as rotas de coleta apresentavam frequências de coleta diferentes, portanto, as médias diárias de emissões foram estendidas para as emissões médias anuais, multiplicando-se as taxas obtidas pelo número de dias em que a coleta é realizada. Devido a frequência diária de coleta dos Papa-Lixo, as emissões anuais brutas do VA97 foram superiores as dos VA202 e VA204. No entanto, a análise feita apenas por valores brutos de não possibilita sua comparação com as demais rotas, sendo as emissões dispostas em função das distâncias percorridas, toneladas de RSU coletada e população atendida.

Para o resultado em função do RSU, a coleta ponto a ponto (VA97) apresentou as maiores taxas de CO₂e por Ton. coletada, no entanto, este dado pode não ser tão representativo pois o veículo descarrega parte dos resíduos dos Papa-Lixo em caminhões tipo caçamba que eventualmente o acompanham, enquanto os demais caminhões analisados coletam e descarregam todo o resíduo de sua rota.

Quanto as distâncias percorridas, a coleta porta a porta do caminhão VA202 apresentou as maiores taxas de CO₂e por Km percorrido, devido a relação direta com as distâncias médias percorridas por litro de combustível consumido, dado que este veículo foi o que apresentou os piores valores em Km/L. Tal resultado se deve ao ano de fabricação do motor, condições de operação, peso transportado, distâncias percorridas e principalmente distâncias percorridas até o primeiro ponto de coleta, dado que este veículo percorre as menores distâncias da garagem ao início da coleta.

Para melhor análise dos dados, as emissões foram associadas ao número de habitantes atendidos pela coleta. Para isso, as populações foram obtidas através dos setores censitários do IBGE para o censo de 2010. Para a coleta porta a porta (VA202 e VA204) todas as casas

são atendidas e os setores censitários correspondem exatamente aos locais percorridos pelos caminhões.

Para a coleta dos Papa-Lixo (VA97) em que a população precisa se deslocar até o contêiner semienterrado, e que possui outro contexto de coleta de resíduos, sendo parte queimada ou recolhida por pás carregadeiras, a determinação da população atendida torna-se complexa. Para resolver esse impasse, foram traçados diferentes cenários de população atendida, onde valores entre 100% e 57% da população dos setores censitários pode ser atendida emitindo-se taxas de CO₂e (1,032 Kg/Hab./ano) para a coleta de seus resíduos, menores do que as apresentadas pelos VA202 e VA204.

Considerando que até 57% da população dos setores censitários selecionados para o censo de 2010 é atendida diretamente pela coleta dos Papa-Lixo realizada pelo caminhão VA97, a coleta ponto a ponto avaliada é a responsável por emitir as menores taxas de CO₂e por habitante atendido pela coleta. Ademias, quando se leva em conta que o VA97 é o caminhão avaliado mais antigo, possuindo por esse motivo, fatores de emissão por litro de combustível mais elevados, a coleta ponto a ponto avaliada torna-se ainda mais vantajosa nesse quesito.

Por fim, os dados levantados ao longo do projeto foram utilizados para a geração de modelos capazes de estimar o consumo de combustível para a coleta porta a porta e ponto a ponto.

Devido a relação linear entre os parâmetros e o consumo de combustível, pois uma vez que os parâmetros aumentam, o consumo aumenta, foram testadas todas as possíveis regressões lineares entre os seis parâmetros utilizados. Foram obtidos assim um total de 64 modelos para cada tipo de coleta, dos quais apenas uma parcela possui significado estatístico.

Para a coleta ponto a ponto foram obtidos cinco modelos com significado estatístico, cujo maior coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi igual a 0,999, onde apenas a partir da distância obtém-se o consumo de combustível e assim, a emissão de poluentes atmosféricos.

Para a coleta porta a porta foram obtidos treze modelos com significado estatístico, cujo maior coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi igual a 0,939. No entanto, para sua obtenção, são necessários quatro parâmetros, dificultando sua utilização, enquanto outros modelos com R^2 relativamente próximos (0,930 e 0,918) com a necessidade de apenas dois

ou três parâmetros, mostrando o potencial de sua utilização. Nem sempre o modelo com maior coeficiente de determinação é o melhor modelo, devido às dificuldades de obtenção de dados.

Considerações finais

Como pôde ser visto nas saídas de campo, existem três tipos de papa-lixo, diferenciados pelo material utilizado na fabricação (impondo maior ou menor resistência ao contêiner semienterrado), nos custos e principalmente na dificuldade de se realizar a coleta. Esta dificuldade é responsável por aumentar o tempo gasto com o caminhão parado e a utilização do Munck ou da compactação, impactando o consumo de combustível e a emissão de poluentes atmosféricos.

É importante avaliar em trabalhos futuros, qual o modelo de Papa-Lixo mais adequado para a coleta ponto a ponto, e qual o impacto do modelo adotado no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes atmosféricos. O Anexo 5 apresenta os três modelos implantados no Setor Habitacional Sol Nascente.

Quando se trata da emissão de poluentes atmosféricos, como visto neste trabalho o ano de fabricação do veículo influencia diretamente as taxas de emissão, portanto, investir e manter frotas de caminhões de coleta de resíduos pode ser uma opção. No entanto, análises ACV e de custo benefício deve ser feitas antes de a decisão ser tomada.

Mais simples que a substituição da frota de veículos, pode ser a roteirização das rotas de coleta de RSU, de modo que restrinjam a autonomia do motorista, que ao invés de seguir suas próprias rotas (desde que percorram os pontos de parada), passem a adotar as rotas indicadas pelas ferramentas de geoprocessamento/*Waze/Google Maps*, seguindo caminhos mais eficientes e resolvendo o problema motriz deste trabalho, reduzir o consumo de combustíveis e assim, a emissão de poluentes atmosféricos.

Para resolver este problema ferramentas de geoprocessamento que trabalham com a roteirização de rotas, buscando a rota que imponha o menor custo (ou o maior benefício), podem ser utilizadas. Os softwares ArcGIS e QGIS possuem ferramentas que desempenham este papel, e que inclusive poderiam utilizar a estimativa de consumo de combustível obtida no modelo gerado neste trabalho como um dos critérios de peso para se encontrar a melhor

rota, que como visto neste PF, não necessariamente será a mais curta, mas a que possua o menor “custo”.

Estas ferramentas podem ser vinculadas aos aparelhos de GPS e computadores de bordo dos veículos, indicando, por exemplo, que o caminhão está percorrendo um caminho diferente do acordado. Os SIG's trabalham com cercas virtuais, onde se pode estabelecer um limite pelo qual o veículo pode percorrer, e quando o veículo sair desse caminho, o sistema é acionado, gerando um alerta ao caminhão e a empresa responsável.

É importante focar neste ponto, pois ao avaliar como as rotas foram percorridas, percebe-se que há certa variância nos caminhos percorridos ao longo dos dias, o que foi confirmado ao longo das saídas de campo.

Nos veículos em que a coleta foi acompanhada, não havia qualquer sistema que indicasse ao motorista qual caminho percorrer. De acordo com os motoristas entrevistados, as rotas eram definidas inicialmente e passadas a eles, que as utilizavam como orientação básica, como um *check-list* de quais locais deve haver a coleta, mas que na prática, os caminhos percorridos eram entre um ponto de coleta e outro eram definidos pelo motorista ao longo de cada coleta.

Quanto à roteirização de rotas de coleta de RSU, Shah *et al.* (2018) propõe que as rotas de coleta cheguem a ser atualizadas em tempo real com base em sensores instalados nos contêineres capazes de detectar o volume utilizado e o volume disponível. Com os sensores e ferramentas de geoprocessamento, seria possível atualizar as rotas de coleta de acordo com a demanda, obtendo-se rotas cada vez mais eficientes, reduzindo assim o consumo de combustível e as emissões de poluentes atmosféricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAR, B. J. et al. Measuring the performance of solid waste collection vehicles using global positioning systems. **9th environmental engineering specialty conference**. June 2-4, 2005.

AGAR, B. J. et al. Fuel consumption, emissions estimation, and emissions cost estimates using global positioning data. **Journal of the air & waste management association**. v. 57, p.348-354, 2007.

ANP. Óleo diesel. Disponível em:<<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em 12 maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2008**. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2009**. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2011**. São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012**. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2013**. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ABNT 15634: Veículos rodoviários automotores – análise e determinação d gás de exaustão segundo os ciclos ETC, ESC e ELR**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2014.

BENDER, F.A. et al. An investigation on the fuel savings potential of hybrid hydraulic refuse collection vehicles. **Waste Management**, v. 34, n. (9), p. 1577-1583, 2014.

BUENO, B. (2011). Waste collection services in the US. IBISWorld. Disponível em: <<http://www.ibisworld.com/industry/default.aspx?indid=1506>>. Acesso em: 18 maio 2018.

CAMPOS, H.K.T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. (2), p. 171-180, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo – 2017**. São Paulo, 2017

FONTARAS, Georgios et al. Assessment of on-road emissions of four Euro V diesel and CNG waste collection trucks for supporting air-quality improvement initiatives in the city of Milan. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 426, p.65-72, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.038>

GILARDINO, Alessandro et al. Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Peru). **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 156, p.589-603, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.005>

GORDON, D. et al. (2003). Greening Garbage trucks: New technologies for cleaner air. Disponível em: <<http://www.informinc.org/pages/research/sustainable-transportation/factsheets/119.html>>. Acesso em: 18 maio 2018.

HAUSER, L.D. (2015). Evaluating the air emissions from solid waste refuse trucks. University of Nebraska, civil engineering.

IBAMA. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve/Promot. 3. ed. Brasília: Ibama, 2011. 584 p. (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes – Gestão Ambiental, n.º 3).

IBAMA. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)**. Disponível em: <<http://ibama.gov.br/component/content/article?id=720>>. Acesso em: 20 maio 2018.

JUNIOR, A.P.; FILHO, P. C. O. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. Revista acadêmica ciências agrárias ambientais, v. 8, n. 2,

p.131-144, 2010.

MAIMOUN, Mousa A. et al. Emissions from US waste collection vehicles. **Waste Management**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.1079-1089, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.021>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTES (MMA). **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013: ano base 2012**. Brasília, 2014.

MMA. **Reciclagem e reaproveitamento**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>>. Acesso em: 18 junho 2018.

RADETIĆ, Luka et al. The assessment of air emissions increase due to the collection of municipal solid waste with old collection vehicles: A case study of Ludbreg (Croatia). **Waste Management & Research**, [s.l.], v. 34, n. 10, p.1047-1053, 28 jul. 2016. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x16657609>.

SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA DO DISTRITO FEDERAL (SLU). **Relatório de atividades do SLU 2016**. Brasília, 2016.

SOZIN, J.P.F.; MELO, P.C. (2017). Avaliação do Ciclo de Vida de Emissão de CO₂ equivalente de vedação de *Light Wood Frame* em Brasília. Monografia de Projeto Final, Publicação G. PF-02/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 59 p.

TILLMANN, C.A.C. (2013). *Motores de combustão interna e seus sistemas*. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia Sul-Rio-Grandense, Pelotas, Brasil, 165p.

WILSON, B. G. et al. Modeling municipal solid waste collection systems using derived probability distributions I: Model development. **Journal of Environmental Engineering**. ASCE. v. 127, p. 1031-1038, 2001.

APÊNDICES

A1 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

| Título | Ano Publicação | Possui relação direta com o tema do PF? |
|---|----------------|---|
| A stochastic optimization framework for planning of waste collection and value recovery operations in smart and sustainable cities | 2018 | Sim |
| Towards sustainable WEEE collection and transportation methods in circular economy - Comparative study for rural and urban settlements | 2018 | Sim |
| Recycling portable alkaline/ZnC batteries for a circular economy: An assessment of natural resource consumption from a life cycle and criticality perspective | 2018 | Não |
| Uncontrolled burning of solid waste by households in Mexico is a significant contributor to climate change in the country | 2018 | Não |
| A Hybrid genetic algorithm for multi-trip green capacitated Arc routing problem in the scope of urban services | 2018 | Sim |
| The potential benefits of introducing informal recyclers and organic waste recovery to a current waste management system: The case study of Santiago de Chile | 2018 | Sim |
| An intelligent optimization approach for waste collection with dynamic disposal trips | 2018 | Sim |
| Greenhouse gas contribution of municipal solid waste collection: A case study in the city of Istanbul, Turkey | 2018 | Sim |
| Assessment of biowaste losses through unsound waste management practices in rural areas and the role of home composting | 2018 | Não |
| Optimizing vehicle routing with path and carbon dioxide emission for municipal solid waste collection in Ha Giang, Vietnam | 2018 | Sim |
| Comparative life cycle assessment of sulfoaluminate clinker production derived from industrial solid wastes and conventional raw materials | 2018 | Não |
| Analysis of recycling structures for e-waste in Vietnam | 2018 | Não |
| Waste to wealth-a novel approach for food waste management | 2017 | Não |
| Municipal waste management systems for domestic use | 2017 | Não |
| Carbon footprint of municipal solid waste collection in the treviso area (Italy) | 2017 | Sim |
| Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Peru) | 2017 | Sim |
| Evaluation of Key Indicators of Waste Collection Using GIS Techniques as a Planning and Control Tool for Route Optimization | 2017 | Sim |
| A Vehicle Routing Technique for Hazardous Waste Collection | 2017 | Sim |
| Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios | 2017 | Não |
| Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint | 2017 | Não |
| A methodology for estimating the carbon footprint of waste collection vehicles under different scenarios: Application to Madrid | 2017 | Sim |
| Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization | 2017 | Sim |
| Sim-heuristics low-carbon technologies' selection framework for reducing costs and carbon emissions of heavy goods vehicles | 2017 | Sim |
| Smart city application: Internet of Things (IoT) technologies based smart waste collection using data mining approach and ant colony optimization | 2017 | Sim |
| On the optimization of collaborative kerbside waste collection | 2017 | Sim |
| Stochastic modeling and optimization of medical waste collection in Northern Jordan | 2017 | Sim |

| | | |
|--|------|-----|
| Biological hazards in composting | 2017 | Não |
| Environmental investments as financial instrument for the implementation of environmental policy in Latvia | 2017 | Não |
| Greenhouse gas emissions from the integrated waste management system and the relevance at territorial scale: The case of the province of Grosseto | 2017 | Sim |
| Locating incineration facilities to minimize environmental effects and visual pollution in Tehran mega city | 2017 | Não |
| Environmental performance evaluation of different municipal solid waste management scenarios in China | 2017 | Não |
| Characterization of municipal solid waste collection operations | 2016 | Sim |
| The assessment of air emissions increase due to the collection of municipal solid waste with old collection vehicles: A case study of Ludbreg (Croatia) | 2016 | Sim |
| Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows | 2016 | Sim |
| Multi-level multi-criteria analysis of alternative fuels for waste collection vehicles in the United States | 2016 | Não |
| Theoretical model and implementation of a real time intelligent bin status monitoring system using rule based decision algorithms | 2016 | Sim |
| Characteristics of respirable elemental carbon (EC) exposures of household waste collectors | 2016 | Não |
| How to improve WEEE management? Novel approach in mobile collection with application of artificial intelligence | 2016 | Sim |
| Environmental analysis of different packaging waste collection systems for Istanbul - Turkey case study | 2016 | Sim |
| Integration of WTE technologies into the electrical system for low-carbon growth in Venezuela | 2016 | Sim |
| Using GIS-Based Tools for the Optimization of Solid Waste Collection and Transport: Case Study of Sfax City, Tunisia | 2016 | Sim |
| Selective waste collection optimization in Romania and its impact to urban climate | 2016 | Sim |
| Environmental assessment of three different utilization paths of waste cooking oil from households | 2016 | Não |
| GIS-based approach for optimised collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria) | 2016 | Sim |
| Estimation of landfill gas generation from Dhapa landfill in Kolkata | 2016 | Não |
| Preliminary ambient odor monitoring: A case study of two wastewater treatment plants | 2016 | Não |
| Modeling the carbon cycle of the municipal solid waste management system for urban metabolism | 2015 | Sim |
| Biodiesel from Waste Cooking Oils in Portugal: Alternative Collection Systems | 2015 | Sim |
| Athens-Biowaste Model: Cost and Carbon Footprint Calculation of the Collection at Source and Treatment of Biowaste | 2015 | Não |
| Optimization of waste collection and disposal in Kampala city | 2015 | Sim |
| Waste collection and transport: a comprehensive environmental assessment for Austria [Abfallsammlung und -transporte: eine gesamtheitliche Umweltbetrachtung für Österreich] | 2015 | Sim |
| Waste to energy: Exploitation of biogas from organic waste in a 500 W<inf>el</inf>solid oxide fuel cell (SOFC) stack | 2015 | Não |
| The importance of broadband communications for fighting sudden climate changes [Značaj širokopojsnih komunikacija u borbi protiv naglih klimatskih promena] | 2015 | Não |
| Low carbon solid waste collection and transportation route in university: A case study | 2015 | Sim |

| | | |
|---|------|-----|
| A municipal solid waste collection model for estimating costs and emissions | 2015 | Sim |
| Ecological evaluation of an optimised waste collection system – case study in a German community | 2015 | Não |
| A carbon footprint calculator for the municipal waste collection system of Bari | 2015 | Não |
| The impact of environmental protection expenses upon the economic development of Romania | 2015 | Não |
| Inventory of methane emissions from municipal solid waste management in Pernambuco state, Brazil | 2015 | Não |
| Route planning of municipal solid waste management: A methodology and literature review | 2015 | Sim |
| Integrated solid waste management: A life cycle assessment | 2015 | Sim |
| System analysis of municipal solid waste management in Chandigarh and minimization practices for cleaner emissions | 2015 | Não |
| Life cycle assessment of hydrogenated biodiesel production from waste cooking oil using the catalytic cracking and hydrogenation method | 2015 | Não |
| Feasibility studies of municipal solid waste recycling at Bantayan, Philippines | 2015 | Não |
| Modeling for waste management associated with environmental-impact abatement under uncertainty | 2015 | Sim |
| A Cyber - Based DSS for a Low Carbon Integrated Waste Management System in a Smart City | 2015 | Não |
| Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district | 2015 | Não |
| Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies | 2015 | Não |
| Greenhouse gas emission reduction due to improvement of biodegradable waste management system | 2014 | Não |
| A comprehensive waste collection cost model applied to post-consumer plastic packaging waste | 2014 | Não |
| Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems | 2014 | Sim |
| Modeling energy consumption in automated vacuum waste collection systems | 2014 | Não |
| Dynamic cargo routing on-the-go: The case of urban solid waste collection | 2014 | Não |
| Optimisation of solid waste collection routes using Premium Solver Platform | 2014 | Sim |
| Development of waste collection and water treatment system of cage culture in open waters | 2014 | Não |
| Costs and benefits of pneumatic collection in three specific New York City cases | 2014 | Sim |
| Municipal solid waste management in rural areas and small counties: An economic analysis using contingent valuation to estimate willingness to pay for Yunnan, China | 2014 | Não |
| Modelling of air pollution by emissions of heavy metals produced from uncontrolled waste combustion in small house boilers | 2014 | Não |
| Real time solid waste bin monitoring system framework using wireless sensor network | 2014 | Não |
| The operation of cost-effective on-site process for the bio-treatment of mixed municipal solid waste in rural areas | 2014 | Não |
| Waste as a source for district heat production and greenhouse gas reduction: A case study | 2014 | Não |

A2 – CÓDIGO PROGRAMA EXTRAÇÃO DOS TEMPOS

```
from pprint import pprint
from datetime import datetime

EVENTO_INICIA_GRUPO = 'Ignicao Ligada'
EVENTO_FINALIZA_GRUPO = 'Inicio da Coleta'

TAG_GRUPOS = {'Saida da Descarga': 'Ignicao Desligada',
              'Inicio da Coleta': 'Fim da Coleta',
              'Fim da Coleta': 'Entrada na Descarga',
              'Entrada na Descarga': 'Saida da Descarga',
              'Ignicao Ligada': 'Inicio da Coleta' }

TAG_INICIO = [key for key in TAG_GRUPOS]

def getEvento(data):
    return data[0].split(';')[1]

def getHora(data):
    return data[1].split(';')[0]

def getVelocidade(data):
    return data[2].split(';')[1]

def getDia(data):
    return data[0].split(';')[3] + '7'

def divideGrupos(info):
    grupos = []
    num_grupos_criados = 0
    index_start = -1
    for i, registro in enumerate(info):
        evento = registro['Evento']
        if evento == EVENTO_INICIA_GRUPO:
            index_start = i
        if evento == EVENTO_FINALIZA_GRUPO and index_start != -1:
            grupos.append(info[index_start:i+1])
            index_start = -1
            num_grupos_criados += 1
    print('Total de grupos criados: ', num_grupos_criados)
    return grupos

def divideGruposCerto(info):
    grupos = []
    num_grupos_criados = 0
    index_start = -1
    evento_tracking = ''
    i = 0
    while i < len(info):
        evento = info[i]['Evento']
        if evento == TAG_GRUPOS.get(evento_tracking, '') and index_start !=
-1:
            if evento == 'Fim da Coleta':
                j = i + 1
                while j < len(info):
                    new_evento = info[j]['Evento']
                    if new_evento == 'Entrada na Descarga':
```

```

        break
        if new_evento == 'Fim da Coleta':
            i = j
            j += 1
        grupos.append(info[index_start:i+1])
        index_start = -1
        num_grupos_criados += 1
        evento_tracking = ''
    if evento_tracking == '':
        if evento in TAG_INICIO:
            index_start = i
            evento_tracking = evento
    i += 1
print('(cert)Total de grupos criados: ', num_grupos_criados)
return grupos

def getTempoMovimento(grupo):
    movendo = False
    dateformat = '%d/%m/%Y %H:%M:%S'
    tempo_comecou = None
    tempo_movendo = 0
    tempo_parado = 0
    paradas = 0
    ig_ligada = True
    for i, registro in enumerate(grupo):
        dt = registro['Dia'] + ' ' + registro['Hora']
        velocidade = int(registro['Velocidade'])
        tempo_atual = datetime.strptime(dt, dateformat)

        if registro['Evento'] == 'Parada':
            paradas += 1
        elif registro['Evento'] == 'Ignicao Desligada':
            ig_ligada = False
            print('Desligou a ignicao ' + registro['Hora'])
            if movendo:
                tempo_movendo += (tempo_atual - tempo_comecou).seconds
            else:
                tempo_parado += (tempo_atual - tempo_comecou).seconds
        elif registro['Evento'] == 'Ignicao Ligada':
            ig_ligada = True
            print('Ligou a ignicao ' + registro['Hora'])
            tempo_comecou = datetime.strptime(dt, dateformat)
            movendo = velocidade != 0

    if ig_ligada:
        if i == 0:
            tempo_comecou = datetime.strptime(dt, dateformat)
            movendo = velocidade != 0
            # print 'Iniciou', movendo
        if velocidade != 0:
            if not movendo:
                # print '      Parou e andou', (tempo_atual -
tempo_comecou).seconds
                tempo_movendo += (tempo_atual - tempo_comecou).seconds
                tempo_comecou = tempo_atual
            else:
                if movendo:
                    # print '      Andou e parou', (tempo_atual -
tempo_comecou).seconds
                    tempo_parado += (tempo_atual - tempo_comecou).seconds
                    tempo_comecou = tempo_atual

```

```

        movendo = velocidade != 0
if movendo:
    tempo_movendo += (tempo_atual - tempo_comecou).seconds
else:
    tempo_parado += (tempo_atual - tempo_comecou).seconds
return (tempo_movendo, tempo_parado, paradas)

if __name__ == '__main__':
    with open('VA97_JUN_03.csv', 'r') as f:
        # Quando mudar o ano, mudar o split de 8 para 7 ou o contrario
        content = [x.split('8 ') for x in f.readlines()]

        info = [{'Evento': getEvento(line),
                  'Hora': getHora(line),
                  'Velocidade': getVelocidade(line),
                  'Dia': getDia(line)
                 } for line in content]
        grupos = divideGruposCerto(info)
        for grupo in grupos:
            tempo_mov, tempo_par, paradas = getTempoMovimento(grupo)
            inicio = grupo[0]
            fim = grupo[-1]
            print("{} ({} {}) - {} ({} {});Numero de paradas = {};Tempo em
movimento = {};Tempo parado = {}".
                format(inicio['Evento'], inicio['Dia'], inicio['Hora'],
fim['Evento'], fim['Dia'] , fim['Hora'], paradas, tempo_mov, tempo_par))

```

A3 – TERMO DE RESPONSABILIDADE - SLU



OFÍCIO Nº 010 /2018-DIRAD

Brasília, 20 de setembro de 2018.

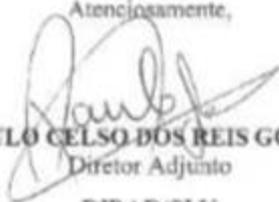
Senhor Diretor,

Venho por meio deste documento, solicitar autorização para o Aluno **Murilo de Carvalho Marques**, Brasileiro, solteiro, estudante, inscrito(a) no CPF sob o nº ~~XXXXXXXXXX~~ e no RG nº ~~XXXXXXXX~~, residente e domiciliado(a) à ~~XXXXXXXXXX~~ ~~XXXXXXXXXXXXXXXXXX~~ na cidade de Brasília – DF para realizar levantamento e coleta de dados para elaboração da tese final do curso de engenharia da UNB referente ao cadastramento de informações nos caminhões da referida empresa na coleta convencional e nos papa-lixos.

Encaminho anexa a planilha com os veículos e rotas específicas para coleta e análise dos referidos dados.

Desde já agradecemos a atenção, e colocamo-nos à disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,


PAULO CELSO DOS REIS GOMES
Diretor Adjunto
DIRAD/SLU

Ao Senhor
DIETER TOMOO KOPP IKEDA
Diretor da Empresa
VALOR AMBIENTAL S/A
NESTA

Diretoria Adjunta
SCS, Quadra 08, Bloco B50, 6º Andar
CEP 70.333-900 - Brasília/DF
Fone: (61) 3213-0130 / 3213-0176

| Veículo | Coleta | Rota |
|---------|-----------|-------------------|
| VA97 | Papa-lixo | Vila Sol Nascente |



| Veículo | Coleta | Código Circuito | Nome Circuito | Nome Vias | Horário In. | Horário Te. |
|---------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------|-------------|-------------|
| VA202 | Coleta Convencional | 108 | Celândia_03 | QNP_09_13_17 | 07:00 | 15:20 |
| VA204 | Coleta Convencional | 112 | Celândia_07 | QNR_01_02_03_04_05 | 07:00 | 15:20 |

A4 – TERMO DE RESPONSABILIDADE – VALOR AMBIENTAL

Termo de Responsabilidade

O SLU declara ser de nossa total e exclusiva responsabilidade todo e qualquer acidente de trabalho, incluindo o de trajeto ou doença profissional, que vier a ocorrer com o Sr. Murilo de Carvalho Marques, que realizará levantamento e coleta de dados para elaboração de tese final do curso de Engenharia, nos termos do Ofício nº 10/2018 – DIRAD.

Declaramos, inclusive, ser de nossa total e exclusiva reponsabilidade o cumprimento das normas e procedimentos relacionados à Segurança e Medicina do Trabalho

Outrossim, comprometemo-nos a responder em juízo tanto civil quanto criminal, tomando todas as providências e cumprindo todas as exigências decorrentes das leis aplicáveis vigentes.

Brasília, 17 de outubro de 2018.

Serviço de Limpeza Urbana

Murilo de Carvalho Marques

A5 – MODELOS DE PAPA-LIXO ENCONTRADOS EM CAMPO



