



UMA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CAMINHÃO E
TRICICLO NA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE BEBIDAS NA CIDADE DO RIO DE
JANEIRO.

Amanda Fernandes Ferreira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro
Março de 2015

UMA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CAMINHÃO E
TRICICLO NA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE BEBIDAS NA CIDADE DO RIO DE
JANEIRO.

Amanda Fernandes Ferreira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

Prof. Lino Guimarães Marujo, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2015

Ferreira, Amanda Fernandes

Uma avaliação ambiental da utilização de caminhão e triciclo na distribuição física de bebidas na cidade do Rio de Janeiro/Amanda Fernandes Ferreira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XVI, 108 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 98-101.

1. Transporte de Carga em Centros Urbanos. 2. Distribuição Física de Produtos. 3. Análise ambiental. I. D'agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

“E não sabendo que era impossível, foi lá e fez.”

Jean Cocteau

AGRADECIMENTOS

Fazer um mestrado não é uma tarefa fácil. Envolve sacrifício, dedicação, noites em claro, finais de semana (e feriados) em casa trabalhando... Mas não só isso. Cursar um mestrado envolve muita abnegação, principalmente para quem, assim como eu, resolve “largar tudo” e ir correr atrás desse objetivo em outro Estado. Não é uma tarefa fácil ficar longe da família, dos amigos, dos colegas, deixar seu trabalho, sua casa, seu “mundo”... E nesse processo, um momento de atenção que alguém dedica a você, um gesto de ajuda, a paciência para lhe explicar algo que você não sabe, a compreensão por todos os momentos ausentes, o amor e apoio dado mesmo quando não se tem o mesmo em troca, fazem toda a diferença. Esses pequenos grandes gestos são o que tornam possível que se continue caminhando. E é por isso que tenho muito a agradecer.

Sendo assim agradeço:

A minha família por entenderem minhas ausências e pelos finais de semana em que ia visitá-los e ficava o tempo todo em frente ao computador.

A minha mãe por todo o apoio. Por sempre estar disposta a ouvir e me confortar quando eu me sentia cansada e sozinha (e não foram poucas vezes).

Ao meu orientador, professor Márcio D’Agosto, por todo conhecimento compartilhado, toda a paciência, compreensão, incentivo, apoio, inspiração e, principalmente, por ter me dado a oportunidade de ser sua orientanda e fazer parte do seu laboratório.

À Lísia, por, juntamente com o professor Márcio, me estender a mão quando eu mais precisei. Por estar sempre presente e disposta a ajudar.

Aos professores Lino Guimarães e Glaydston Ribeiro por terem, gentilmente, aceitado fazer parte da minha banca.

Aos colegas e amigos do Departamento de Engenharia de Transportes do CEFET-MG, por terem me apoiado e incentivado desde o início. Especialmente aos professores Chan e Tuler que estavam a frente do departamento antes que eu iniciasse o mestrado e aos colegas de departamento Fátima e Délio que torceram para que eu conseguisse. Impossível também não agradecer ao professor Renato pelo incentivo e disponibilidade em ajudar no que fosse preciso e ao professor Prata pela flexibilização dos meus horários de trabalho e apoio para que eu conseguisse terminar esse trabalho.

Ao meu irmão Rafael por sempre estar presente e ser meu maior e melhor conselheiro.

Ao meu amigo Lucas, por compreender minhas ausências. Por estar sempre ao meu lado mesmo depois de dois anos sendo uma melhor amiga muito relapsa.

As minhas amigas do “clube da Lulu”, Celeste, Carol, Beth, Flavi e Maria, que fizeram sempre o possível para que, apesar de outros compromissos, pudéssemos nos encontrar sempre que eu ia a BH (e por compreenderem todos os “bolos” que eu dei nesse período).

Ao meu orientador de especialização e amigo, Fred, por ter sido o primeiro a me fazer considerar o mestrado em Engenharia de Transportes e por ter sido o principal incentivador para que eu acreditasse em mim e corresse atrás do que eu almejava.

À minha amiga Aline, que durante esses dois anos de mestrado foi muito mais que uma amiga, foi minha família no Rio de Janeiro. Minha eterna e imensa gratidão e mais sincera amizade.

Ao Rajesh, que acompanhou a maior parte do processo. Que foi meu companheiro e esteve comigo até nos meus dias mais estressantes.

Ao Willian que foi quem plantou em mim a idéia de que eu poderia ser o que quisesse. Que me fez ver que sonhos podem se tornar realidade se realmente lutarmos por eles.

Ao YenChen por ter acompanhado a etapa final do trabalho. Pelo tempo de estudo juntos e por me ajudar a manter o foco na finalização do trabalho.

Ao professor Lino por toda ajuda, paciência e dedicação durante a elaboração dessa dissertação. Por compreender minhas limitações e me ajudar a vencê-las sempre com bom humor e muita paciência. Meus mais sinceros agradecimentos.

Agradeço a todos os funcionários do PET, em especial a Jane, as duas Fátimas, Adilson e Lúcia pela prontidão no atendimento sempre quando necessitei.

Aos colegas Cíntia, Capitão, Pítias e Maurício por terem tentando me ajudar em todas as vezes que tive dúvidas na execução desse projeto.

A Luíza, Aline e Marcos pela ajuda na coleta de dados.

Aos amigos que fiz durante esse tempo de mestrado, Mahan, Lores, Ju DeCastro, Juli Muniz, Vicente e especialmente ao Duban que sempre se mostrou pronto a ajudar quando precisei de sua “consultoria” sobre utilização de softwares e sempre esteve disposto a me ajudar em tudo.

Ao decano Walter Suemitsu pelo apoio financeiro que possibilitou a ida aos EUA para realização de um curso de especialização no MIT.

A toda equipe do LTC por me fazer sentir em casa e por toda troca de experiências e conhecimento durante todo esse período.

Ao CEFET-MG por ter concedido licença para capacitação para que eu pudesse cursar o mestrado em outro estado.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo, fundamental para viabilizar a dedicação integral ao desenvolvimento desse trabalho.

À Coca-Cola, pelo fornecimento de dados, autorização para realização da pesquisa e atendimento a todas as demandas feitas de forma a tornar possível o desenvolvimento desse estudo.

À Della Volpe pela prontidão no fornecimento dos dados e pela disponibilidade e flexibilidade para a realização de coleta de dados de campo.

Meus mais sinceros agradecimentos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CAMINHÃO E
TRICICLO NA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE BEBIDAS NA CIDADE DO RIO DE
JANEIRO

Amanda Fernandes Ferreira

Março/2015

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

Esse estudo tem por objetivo fazer uma análise do desempenho ambiental de dois diferentes cenários utilizados por uma empresa de bebidas na distribuição de seus produtos na cidade do Rio de Janeiro. Esses cenários são: entrega direta para o consumidor utilizando caminhões e o uso de “caminhão + triciclo”. Esse estudo apresenta comparação de características de operação dos dois cenários, mas tem como foco principal a análise da emissão de poluentes e gás de efeito estufa, para as duas configurações de distribuição. Para tanto, foram acompanhadas rotas que passaram utilizar “caminhão + triciclo”. Dados de campo foram obtidos utilizando-se equipamentos de *Global Positioning System* (GPS). A emissão de poluentes foi simulada utilizando-se o método de Monte-Carlo. Os resultados desse estudo sugerem que para condições operacionais semelhantes, a combinação de “caminhão + triciclo” é mais eficiente em termos de emissões de CO₂, CO, NO_x, NMHC e Material Particulado quando consideramos a emissão por quilômetro e mais eficiente em termos de emissão de CO₂ e NO_x quando comparamos as duas configurações em emissão por ciclo. No entanto, em relação ao custo de capital e de consumo de combustível, essa configuração se mostrou mais onerosa.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF TRUCK WITH TRICYCLE OPERATION
IN PHYSICAL DISTRIBUTION OF BEVERAGE IN RIO DE JANEIRO CITY.

Amanda Fernandes Ferreira

March/2015

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

This project aims to assess the environmental performance of two different configurations used by a beverage company for the distribution of their products in the city of Rio de Janeiro. The first scenario is a direct delivery system using trucks and the other one is the combination of truck and tricycle for distribution. This study compares the operations involved in the two scenarios, further analyzing the emission of pollutants in both. In order to facilitate this study, two different routes that deployed direct delivery system before switching to truck and tricycle system were tracked. The field data was obtained using GPS and was collected for a researcher. The data for emission of pollutants was obtained using Monte-Carlo simulation. The observations made during the study reveal that the combination of truck and tricycle in similar operating conditions is more efficient in terms of CO₂, CO, NO_x, NMHC and Particulate Matter emissions per kilometer and more efficient in terms of CO₂ emissions and NO_x when comparing both in terms of emission per cycle. However, in terms of cost, the combination of truck and tricycle was found to be more expensive.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Problemática e objeto de estudo	2
1.2 – Objetivo Geral	5
1.2.1 – Objetivos Específicos	5
1.3 – Justificativa	6
1.4 - Estrutura da dissertação	6
2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 – Transporte de carga em área urbana e distribuição física	8
2.2 – O uso de triciclos na distribuição física de produtos	11
2.3 – Aspectos ambientais	15
3 – MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 – Revisão bibliográfica	22
3.2 – Identificação do objeto de estudo e delimitação do objetivo	22
3.3 – Coleta de dados	22
3.4 – Análise dos dados	23
3.4.1 – Análise qualitativa	23
3.4.2 – Análise quantitativa	24
3.4.2.1 – Dados dos aparelhos de GPS	24
3.4.2.2 – Análise dos aspectos ambientais	29
3.4.2.3 – Análise dos aspectos de custos	36
3.5 – Considerações finais e recomendações	39
4– APLICAÇÃO – ESTUDO DE CASO	40
4.1– Revisão bibliográfica	40
4.2– Identificação do objeto de estudo e delimitação do objetivo	40
4.2.1– O Centro de Distribuição de São Cristovão	41
4.2.2– A operação com “Caminhão” e com “Caminhão + Triciclo”	42
4.3 – A coleta de dados das rotas	47
4.4 – Considerações finais	55
5– APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	56
5.1 – Análise qualitativa	56
5.2 – Análise quantitativa	60
5.2.1 – Análise comparativa da emissão de CO ₂	62
5.2.2– Análise comparativa da emissão de CO	66
5.2.3 – Análise comparativa da emissão de NO _x	71
5.2.4 – Análise comparativa da emissão de NMHC	76
5.2.5 – Análise comparativa da emissão de Material Particulado	81
5.3 – Análise comparativa de cenários	86
5.4 – Análise de custos	88
6– CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	102

ANEXO A – QUADRO RESUMO DOS DADOS DA PESQUISA	102
ANEXO B – QUADRO RESUMO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO – ROTA COPACABANA	106
ANEXO C – QUADRO RESUMO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO – ROTA JARDIM BOTÂNICO	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zona de restrição de tráfego de caminhões na cidade do Rio de Janeiro.	4
Figura 2 - Metodologia utilizada na elaboração desse estudo.....	21
Figura 3 – Detalhe do aparelho de GPS utilizado para coleta de dados de campo.....	25
Figura 4 - Detalhe do aparelho de GPS utilizado para coleta de dados de campo.	26
Figura 5 - Exemplo de dados gerados pelo BaseCamp. Dados de Velocidade x Distância	28
Figura 6 - Triciclos utilizados na distribuição de produtos da Coca-Cola.....	41
Figura 7 - Regiões atendidas pelo CD de São Cristo.....	42
Figura 8 – Esquema operacional rota “Caminhão”.	43
Figura 9 – Detalhe do processo de descarga em rota que utiliza apenas caminhão.	44
Figura 10 – Detalhe da distribuição de produtos realizada com carrinho de mão.....	44
Figura 11 - Esquema operacional rota “caminhão + triciclo”	45
Figura 12 – Detalhe da organização da mercadoria na calçada.....	46
Figura 13- Detalhe do triciclo durante o carregamento.	46
Figura 14 - Zona Sul do Rio de Janeiro.	47
Figura 15 – Etapas da coleta de dados de campo.	48
Figura 16 - Mapa das rotas de entregas utilizando “caminhão” e “caminhão + triciclo”.	50
Figura 17 - Mapa das rotas através do Google Earth.....	51
Figura 18 - Procedimento de coleta de dados em campo - “caminhão + triciclo”	52
Figura 19 - Procedimento de coleta de dados em campo – “caminhão”.....	53
Figura 20 – Distribuição de frequência de emissão de CO ₂	62
Figura 21 - Distribuição de frequência mensal de emissão de CO ₂	63
Figura 22 – Distância total versus Emissão de CO ₂	64
Figura 23 - Emissão de CO ₂ acumulada [kg] versus Distância total acumulada [km]	64
Figura 24 – Tempo de ciclo versus emissão de CO ₂	65
Figura 25 – Distribuição de frequência de emissão de CO	67
Figura 26 - Distribuição de frequência mensal de emissão de CO.....	68
Figura 27 – Distância total versus Emissão de CO.....	68
Figura 28 - Emissão de CO acumulada [kg] versus distância total acumulada [km]	69
Figura 29 – Tempo de ciclo versus emissão de CO.....	70
Figura 30 – Distribuição de frequência de emissão de NO _x	72
Figura 31 - Distribuição de frequência mensal de emissão de NO _x	73

Figura 32 – Distância total versus Emissão de NO _x .	73
Figura 33 - Emissão de NO _x acumulada [kg] versus distância total acumulada [km].	74
Figura 34 – Tempo de ciclo versus emissão de NO _x .	75
Figura 35 – Distribuição de frequência de emissão de NMHC.	77
Figura 36 - Distribuição de frequência mensal de emissão de NMHC.	78
Figura 37 – Distância total versus Emissão de NMHC.	78
Figura 38 - Emissão de NMHC acumulada [kg] versus Distância total acumulada [km]	79
Figura 39 – Tempo de ciclo versus emissão de NMHC.	80
Figura 40 – Distribuição de frequência de emissão de MP.	82
Figura 41 - Distribuição de frequência mensal de emissão de MP.	83
Figura 42 – Distância total versus Emissão de MP	83
Figura 43 - Emissão de MP acumulada [kg] versus distância total acumulada [km].	84
Figura 44 – Tempo de ciclo versus emissão de MP	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Impactos causados pelo transporte de cargas em área urbana.	10
Tabela 2 - Estudos existentes x Estudo realizado nessa dissertação.....	14
Tabela 3 – Quadro resumo das emissões atmosféricas oriundas da operação de transporte.....	17
Tabela 4 - Fatores de emissão motocicleta e caminhão.....	18
Tabela 5 – Comparativo das funções e impressões dos aparelhos de GPS utilizados para a coleta de dados.....	27
Tabela 6 - Distribuições estatísticas mais usuais quando não se dispõe de dados reais sobre o comportamento do sistema.....	32
Tabela 7 – Características operacionais das rotas: “caminhão” versus “caminhão + triciclo”.....	54
Tabela 8 – Quadro resumo dos problemas observados, seus impactos e sugestões de mitigação.....	57
Tabela 9 – Dados de entrada (<i>input</i>) para Método Monte Carlo.....	61
Tabela 10 - Perfil de emissão das diferentes configurações.....	86
Tabela 11 – Características dos veículos utilizados na operação.....	88
Tabela 12 - Dados de consumo de combustível.....	90
Tabela 13 – Comparação de custos fixo e de consumo dos dois cenários.....	91

LISTA DE SIGLAS

- Ccomb – Consumo de combustível em reais por km.
- Cc- Consumo de combustível por km por litros.
- CD – Centro de Distribuição.
- CC – Custo de capital.
- CH₄ – Metano.
- Co – Consumo de combustível em litros por km.
- CO₂ – Dióxido de Carbono.
- CO – Monóxido de Carbono.
- Do – Distância até o primeiro cliente ou até a parada do caminhão quando se utiliza triciclo.
- Dt/Dtc - Distância total percorrida.
- Dz - Distância média entre clientes (caminhão). Distância percorrida da saída do ponto de estacionamento até o retorno ao mesmo ponto (caminhão + triciclo).
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética.
- EC_(x) - Emissão na configuração “caminhão + triciclo” do poluente ou GEE x.
- EC_(kgx/km) – Emissão na configuração “caminhão + triciclo” por kg do poluente ou GEE x por km.
- ET_(x) – Emissão na configuração tradicional do poluente ou GEE x.
- ET_(kgx/km) - Emissão na configuração tradicional por kg do poluente ou GEE x por km.
- Fc – Fator de correção referente às entregas realizadas com carrinhos de mão antes da chegada e depois da saída do triciclo.
- FE – Fator de emissão.
- FRC – Fator de Remuneração do Capital.
- GEE – Gases de Efeito Estufa.
- GPS – Global Positioning System.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- j – Taxa de oportunidade.
- MP – Material Particulado.
- NMHC – Hidrocarboneto não metano.
- NO_x – Óxidos de Nitrogênio.

NTC - Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística.

N – Número de paradas.

N_x – Número de replicações necessárias.

r – Precisão desejada da variável.

S – Desvio padrão da variável.

O₃ – Ozônio.

ONU – Organização das Nações Unidas.

Pc – Preço do combustível.

RCHO – Aldeídos.

SELIC - Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SIG – Sistema de Informações Geográficas.

Tc/Tcc - Tempo total (da saída até o retorno ao CD).

To - Tempo gasto até o primeiro cliente ou até a parada do caminhão para operação com triciclo.

Tp - Tempo médio de carga e descarga. Parada no cliente (caminhão) Transferindo os produtos do caminhão para o triciclo (caminhão + triciclo).

Tz -Tempo médio entre clientes (caminhão). Tempo total gasto da saída do ponto de estacionamento até o retorno ao mesmo ponto (caminhão + triciclo).

Vo – Velocidade no deslocamento principal.

Vr – Valor residual do veículo.

Vp – Valor de aquisição do veículo.

Vv – Vida útil do veículo.

Z – Valor da variável.

1 – INTRODUÇÃO

Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas até 2050 mais de 70% da população mundial estará vivendo em centros urbanos (ONU, 2013). Esse crescimento também pode ser visto no Brasil. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 56% dos brasileiros residiam em áreas urbanas em 1970 (IPEA, 2006) e segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em 2010, 84,36% da população brasileira vivia em área urbana e acredita-se que esse número chegará a 90% até 2050.

O crescimento e adensamento das cidades geram inúmeros desafios no que tange a movimentação de pessoas e bens. Há um crescimento da demanda por transporte e por infraestrutura que possibilite a distribuição de cargas. Somado a isso, tem-se uma crescente preocupação relacionada aos impactos ambientais advindos desse movimento de transporte. Esses impactos ambientais afetam negativamente a qualidade de vida da população tornando as cidades menos atrativas para se viver (Dutra, 2004).

A mobilidade urbana tem sido amplamente discutida em âmbito nacional. Medidas de incentivo a meios mais sustentáveis de deslocamento têm sido sistematicamente estudados com o intuito de incentivar o uso do transporte coletivo em detrimento do transporte individual com vistas a melhorar a qualidade de vida nas cidades, democratizando o espaço urbano (FERREIRA *et al.*, 2011). Entretanto, como salienta Crainic *et al.* (2004), poucas políticas relacionadas ao transporte de carga em área urbana são promovidas pelos governos, pois o transporte de carga ainda é visto como uma atividade majoritariamente ligada à iniciativa privada.

Todavia, como explicitado por Dutra *et al.* (2003), o transporte de mercadorias é essencial ao desenvolvimento das cidades, visto que, a economia das cidades está intrinsecamente ligada a sua capacidade de movimentar mercadorias (Carvalho *et al.*, 2000).

Apesar de sua importância para as cidades, o transporte de carga traz vários transtornos à mesma, tais como, redução da capacidade e da segurança viária, formação

ou agravamento de engarrafamentos de veículos devido às operações de carga e descarga ao longo da via e danos aos núcleos urbanos, tais como consumo de energia não renovável, custos de operação, emissão de poluentes atmosféricos e de poluição sonora, dentre outras (GATTI, 2011).

Nesse contexto, medidas têm sido tomadas na esfera legal, no sentido de restringir a circulação de veículos de carga em determinadas áreas da cidade com intuito de reduzir os impactos causados pelos mesmos. Segundo Figueiredo (2002), as medidas que usualmente são empregadas para restringir a circulação de veículos de carga são as chamadas “janelas de tempo” que determinam um horário (normalmente onde o volume de tráfego dos veículos de passageiros é reduzido) para que um determinado padrão de veículo de carga possa circular. Ou ainda, a restrição completa de determinado tipo de veículo de carga em determinadas áreas. Adicionalmente, restrições correlatas à operação de coleta ou distribuição, tais como, horários de atendimento, capacidade do veículo, duração máxima da viagem (tempo e distância), volume da entrega, dentre outros, contribuem para tornar o cenário relacionado ao transporte de carga em área urbana ainda mais complexo.

1.1 – Problemática e objeto de estudo

De acordo com dados do IBGE de 2010 o Rio de Janeiro era o estado brasileiro que possuía a maior concentração de população vivendo em área urbana (96,71%), ficando a frente do Distrito Federal (96,58%) e de São Paulo (95,94%).

Com o intuito de reduzir o impacto causado pelo tráfego de veículos de carga em área urbana, a prefeitura do Rio de Janeiro, por meio do Decreto nº 29.231 de 24 de abril de 2008, estabeleceu restrições quanto à circulação de veículos e as operações de carga e descarga. Esse decreto foi revogado pelo Decreto nº 37.784 de 10 de outubro de 2013, posteriormente revogado pelo Decreto nº 38.055 de 18 de novembro de 2013, que se encontra em vigor. Este dispõe sobre a proibição da entrada e circulação de veículos de carga e a operação de carga e descarga nos períodos compreendidos entre 06h às 10h e 17h às 21h, de segunda-feira a sexta-feira, em dias úteis, no interior do polígono delimitado pela orla marítima e pelas seguintes vias:

- I – Av. Francisco Bicalho;
- II – Rua Francisco Eugênio;
- III – Av. Bartolomeu de Gusmão;
- IV – Rua Visconde de Niterói;
- V – Praça Guilhermina Guinle;
- VI – Rua Senador Bernardo Monteiro;
- VII – Rua Largo de Benfica;
- VIII – Av. Dom Hélder Câmara;
- IX – Viaduto de Cascadura;
- X – Praça José de Souza Marques;
- XI – Rua Ângelo Dantas;
- XII – Rua João Vicente;
- XIII – Estrada Henrique de Melo;
- XIV – Estrada Intendente Magalhães;
- XV – Largo do Campinho;
- XVI – Rua Cândido Benício;
- XVII – Largo do Tanque;
- XVIII – Av. Geremário Dantas;
- XIX – Praça Professora Camisão;
- XX – Estrada de Jacarepaguá;
- XXI – Av. Engenheiro Souza Filho;
- XXII – Estrada do Itanhangá;
- XXIII – Estrada da Barra da Tijuca;
- XXIV – Ponte Nova;
- XXV – Praça Euvaldo Lodi;
- XXVI – Av. Ministro Ivan Lins.

O Decreto ainda estabelece a proibição da entrada de veículos de carga no período compreendido entre 06h às 21h, de segunda-feira a sexta-feira, em dias úteis, no interior do polígono denominado Centro Expandido, delimitado pela orla marítima e pelas seguintes vias:

- I - Av. Francisco Bicalho;
- II - Av. Paulo de Frontin;

que as restrições à circulação de veículos de carga vão ser estendidas a outras áreas da cidade, a necessidade de se buscarem medidas que viabilizem a entrega de produtos, considerando horário de recebimento da mercadoria pelos clientes e disponibilidade de funcionários para receber a mercadoria se tornou latente.

Nesse sentido, uma das soluções para os problemas supracitados, que é o objeto de estudo dessa dissertação, é a operação utilizando a combinação de “caminhão + triciclo”. Em uma das formas da operação de distribuição um veículo de maior porte acessa, antes da janela de tempo, uma área onde fica estacionado e passa a carga para veículos de menor porte fazerem a entrega.

Esta operação, dependendo da sua configuração, pode trazer benefícios econômicos e ambientais. Dessa forma essa dissertação tem como objeto de estudo a avaliação do uso do “caminhão + triciclo” na distribuição de bebidas e sua comparação com a prática usual que é a distribuição sendo feita utilizando somente caminhão.

1.2 – Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo geral avaliar o potencial de utilização de operação utilizando “caminhão + triciclo” como prática para aprimoramento do desempenho ambiental da distribuição física em áreas urbanas.

1.2.1 – Objetivos Específicos

Como objetivos específicos podem-se citar:

- Coletar informações do tempo médio de entrega para a prática usual, que é o uso do caminhão e da alternativa considerada utilizando “caminhão + triciclo”.
- Coletar informações da distância percorrida pelas configurações usual e utilizando o “caminhão + triciclo”.
- Verificar qual o gasto de combustível médio nas rotas onde é praticada a operação utilizando “caminhão + triciclo” e nas que não se pratica;
- Verificar qual o local onde o caminhão estaciona para operação com triciclo.

Como esse local é definido e como é regulamentado.

1.3 – Justificativa

O crescimento e adensamento das áreas urbanas fazem com que a distribuição física de produtos se torne um desafio para as empresas, governos e a sociedade. Por um lado a movimentação de carga em área urbana é fator primordial para a manutenção da cidade e movimentação de sua economia. Por outro lado, contribui para agravar os problemas socioambientais decorrentes desse adensamento (Gatti, 2011).

Nesse sentido se justificam estudos que busquem soluções ou alternativas viáveis sob o ponto de vista econômico e ambiental para a questão da distribuição física de cargas em áreas urbanas. Mais do que isso, fazem-se necessários estudos que sejam capazes de apresentar as vantagens e desvantagens para cada uma destas alternativas.

Dito isto, acredita-se que este trabalho poderá, a partir da análise e comparação entre duas configurações que têm sido empregadas na distribuição física de uma companhia de bebidas, fornecer subsídios para tomada de decisões em outros contextos.

Além disso, este estudo trará uma caracterização da operação de distribuição de bebidas utilizando “caminhão + triciclo” que, de acordo com referencial teórico pesquisado, é inédita. Desta forma, esse trabalho fará uma primeira contribuição ao entendimento das vantagens e desvantagens da utilização desse tipo de configuração de operação para a distribuição física.

1.4 - Estrutura da dissertação

Esta dissertação se divide em 6 capítulos e as referências bibliográficas. A divisão dos capítulos, bem como suas subdivisões, é apresentada a seguir:

1) Introdução:

Nela é apresentado um panorama da questão do transporte de carga em centros urbanos. Este capítulo possui 4 subcapítulos, a citar, 1.1. Problemática e objeto de estudo, 1.2. Objetivo Geral, 1.3. Justificativa e 1.4. Estrutura da dissertação.

2) Fundamentação Teórica:

Este capítulo se divide em três subcapítulos. O primeiro (2.1. Transporte de carga em área urbana e distribuição física) conceitua o transporte de carga em área urbana e a distribuição física de produtos, apresentando os desafios e experiências presentes na bibliografia consultada. No segundo subcapítulo (2.2 O uso de triciclos na distribuição física de produtos) discute-se o uso do triciclo enquanto uma das alternativas para possibilitar a distribuição de carga em área urbana. O terceiro subcapítulo (2.3. Aspectos ambientais) trás uma coletânea dos aspectos ambientais ligados ao transporte de carga em área urbana.

3) Materiais e Métodos:

Nele é apresentado, de forma sistematizada e genérica, o passo a passo para a realização desta pesquisa. O capítulo se divide em 5 subcapítulos que explicam os materiais e métodos, a citar, 3.1. Revisão bibliográfica, 3.2. Identificação do objeto de estudo e delimitação do objetivo, 3.3. Coleta de dados, 3.4. Análise de dados e 3.5. Considerações finais e recomendações.

4) Aplicação – Estudo de caso

Explica-se como esse trabalho foi realizado, suas etapas e o método utilizado para a comparação dos dados. Esse capítulo segue os subcapítulos do capítulo anterior, Materiais e Métodos, exceto o subcapítulo de análise de dados.

5) Análise dos resultados

Esse capítulo se divide em 3 subcapítulos. No subcapítulo 5.1 – Análise qualitativa apresentam-se os dados coletados a partir de análise empírica e as análises que foram feitas a partir da observação. No subcapítulo 5.2. Análise quantitativa apresentam-se os dados coletados em campo, os dados gerados através da simulação e os resultados obtidos a partir daí. No subcapítulo 5.3. Análise comparativa dos cenários são apresentados os valores de emissão para os dois cenários e é realizada a comparação e, finalmente, no subcapítulo 5.4. Análise de custos são apresentados os cálculos de custo de operação nos dois cenários.

6) Considerações Finais e recomendações

Finalmente, têm-se as Considerações Finais e Recomendações, e por fim, as Referências Bibliográficas.

2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica desta dissertação. Para tanto, uma revisão bibliográfica foi realizada focando-se nos principais conceitos e temas necessários ao entendimento deste estudo. A dinâmica do transporte de carga em área urbana e a distribuição física foram abordadas com o intuito de lançar as bases para a compreensão e contextualização do tema em um âmbito geral. Em seguida, falou-se sobre o uso do triciclo na distribuição física de produtos. Foram citados estudos e experiências sobre a utilização de triciclos e similares, tais como bicicletas e triciclos, em diferentes contextos e países. Na sequência, apresentou-se os aspectos ambientais relacionados à operação de transporte em área urbana. Foram mencionados os principais gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos provenientes do setor de transporte.

2.1 – Transporte de carga em área urbana e distribuição física

De acordo com Morlok (1978), o transporte é parte integrante do funcionamento de qualquer cidade e possui uma interligação com o estilo de vida da população, do alcance e do local onde acontecem as atividades produtivas e dos serviços e bens que estarão disponíveis para consumo. Ou seja, o transporte tem papel estruturador no funcionamento de uma sociedade. Ainda de acordo com o referido autor, uma das características mais marcantes do transporte é que ele é intrinsecamente ligado ao sistema socioeconômico que serve. O transporte é parte integrante de várias atividades econômicas e sociais e sua qualidade e eficiência afetam diretamente o funcionamento desses sistemas, tendo, portanto, impacto direto na qualidade de vida da sociedade a qual pertence.

Segundo Ogden (1992), a existência de uma determinada área urbana está intrinsecamente ligada a existência de um robusto, sustentável e confiável fluxo de bens, tanto de forma interna quanto externa a esse espaço urbano.

Wadhwa (2000) afirma que a qualidade de vida em centros urbanos está intimamente ligada ao transporte rodoviário. Isso fica evidente em grandes cidades onde a baixa qualidade do ar e a poluição sonora têm se tornado cada vez mais preocupante em função da movimentação de transporte.

De acordo com Novaes (2001), a distribuição física de produtos (também chamada apenas distribuição física) se refere aos processos operacionais e de controle envolvidos no deslocamento da mercadoria do local onde foram fabricados até o consumidor final.

Ainda segundo Novaes (2001, p.145), o objetivo geral da distribuição física é: “levar os produtos certos, para os lugares certos, no momento certo e com nível de serviço desejado, pelo menor custo possível”.

Como mencionado no capítulo introdutório, dados do IBGE (2010) demonstram que a população que vive em área urbana tem crescido no Brasil.

De acordo com Mckinnon *et al.* (2012), o aumento da população e o contínuo crescimento da economia mundial fizeram com que houvesse um significativo e crescente aumento da demanda por transporte de carga.

Entretanto, Mckinnon *et al.* (2012) menciona que, apesar de sua importância, pouca atenção tem sido dada para a sustentabilidade no transporte de cargas. Estudos e discussões nesse sentido são recentes quando comparadas com aquelas para o transporte de passageiros. De acordo com o autor, uma das premissas básicas da sustentabilidade nos transportes é o planejamento integrado do sistema. Todavia, comumente, o transporte de cargas não é contemplado nesse planejamento.

Segundo Gatti (2011) o transporte de carga em área urbana causa uma série de impactos ambientais, sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Impactos causados pelo transporte de cargas em área urbana.

Tipo de impacto	Impacto	Razões
Impacto sobre o tráfego	Redução da capacidade das vias	O processo de carga e descarga pode reduzir a capacidade da via formando um gargalo operacional. Veículos de carga usualmente possuem velocidades de operação baixa.
	Formação ou agravamento de engarrafamentos	
	Comprometimento da segurança viária	Devido a suas características de peso, tamanho e operação, a ocorrência de acidentes envolvendo caminhões é significativa e comumente grave, podendo causar danos a estrutura urbana e envolver vítimas.
Impactos sobre a infraestrutura	Redução da vida útil do pavimento	Os caminhões representam a principal solicitação sofrida pelos pavimentos, sendo a principal causa de danos devido à fadiga. Quando a operação é realizada com excesso de peso, ainda há a redução significativa da vida útil do pavimento ¹ .
Impactos financeiros	Custos de operação	Custos com salários dos operadores dos equipamentos e veículos, apólices de seguros, capital empregado, combustível, óleos lubrificantes, reparo e manutenção, pneus etc.
Impactos no consumo de energia	Consumo de energia	Alto consumo de combustíveis.
Impactos ambientais	Emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos	Emissão de gases de efeito estufa, tais como: dióxido de carbono e metano e outros gases nocivos ao ser humano como monóxido de carbono, hidrocarbonetos não metanos, aldeídos, óxidos de nitrogênio e material particulado.
	Emissão de poluição sonora	Ruídos e vibrações advindas da operação dos caminhões interferem na qualidade de vida da população prejudicando sono, causando dificuldade de concentração e redução da capacidade de raciocínio.
	Vibrações	

Fonte: Elaborada pela autora a partir de Gatti (2011) e Figueiredo (2002).

Desta forma, na esfera legal, várias medidas têm sido tomadas, com o intuito de restringir a circulação de veículos de carga em determinadas áreas da cidade, reduzindo assim, os impactos causados pela circulação desses veículos. Figueiredo (2002) explica que as chamadas “janelas de tempo”, que determinam um horário (normalmente onde o volume de tráfego é reduzido) para que um determinado padrão de veículo possa

¹ Essa é uma consideração do transporte de carga de uma forma geral. Sabe-se, entretanto, que no Brasil, em área urbana, a circulação de ônibus traz muito mais impacto sobre o pavimento do que a circulação de veículos de carga.

circular, ou ainda, a restrição completa de determinado tipo de veículo em determinadas áreas, são medidas que comumente são empregadas para restringir a circulação de veículos de carga. Além dessas medidas, restrições correlatas à operação de distribuição física, tais como, horários de atendimento, capacidade do veículo, duração máxima da viagem (tempo e distância), volume da entrega, dentre outros, também são empregadas.

Nesse contexto surgem alternativas para tentar contornar tais restrições operacionais e tornar possível a manutenção da distribuição física de produtos em área urbana. Entre estas medidas estão a adaptação das rotas para áreas onde não há restrições, circulação em horários alternativos (como entregas noturnas), e a incorporação na frota de veículos que não se enquadram nas restrições (SINAY *et al.*, 2004), usualmente associados a regimes operacionais diferenciados, o que será o objeto desta dissertação, por meio do uso de triciclos no apoio a distribuição de cargas em área urbana.

2.2 – O uso de triciclos na distribuição física de produtos

Para realização da revisão bibliográfica acerca do uso de triciclos no processo de distribuição física de produtos em áreas urbana optou-se por fazer a pesquisa utilizando-se prioritariamente a base de dados disponível no site da *Science Direct*. Esta escolha se deu por ser essa fonte cientificamente confiável e por considerar revistas e publicações acadêmicas relevantes na área.

Os termos pesquisados na revisão bibliográfica foram: “transporte de carga em área urbana x motocicleta” e “distribuição de produtos x motocicleta”. A pesquisa também foi realizada utilizando os termos em inglês: “*freight transportation x motorcycle*”, “*last mile x motorcycle*”, “*physical distribution x motorcycle*”, “*freight transportation x tricycle*”, “*last mile x tricycle*” e “*physical distribution x tricycle*”.

Através da pesquisa realizada no portal *Science Direct*, foi possível perceber que os artigos relacionados a motocicletas estão majoritariamente ligados a análise de segurança viária e acidentalidade. Não foi encontrada nenhuma referência que tratasse de motocicletas e transporte de carga e área urbana ou distribuição física de produtos (pesquisa com termos em inglês e em português). Entretanto, ao se pesquisar a

combinação dos mesmos termos substituindo-se a palavra *motorcycles* por *tricycles*, foi possível encontrar material bibliográfico que vai ao encontro do que está sendo estudado nesta dissertação.

Melo, *et al.* (2014) analisaram o uso de veículos elétricos de pequeno porte, como triciclos e outros veículos como bicicletas de transporte de carga e similares (*cargo cycles*), na distribuição física de produtos sob diferentes perspectivas. Sob a perspectiva da cidade foram analisados: a abrangência geográfica que a implantação desse tipo de veículo poderia alcançar e o impacto e aceitação pelo mercado considerando os benefícios que esse tipo de medida poderia ocasionar, a citar, melhoria no tráfego, menor consumo de energia e significativa vantagem em termos ambientais (graças a emissão zero de poluentes atmosféricos no uso final da energia). Quatro diferentes cenários foram estimados, considerando a substituição da frota de veículos movidos a diesel em 10, 30, 50 e 100%. Sob a perspectiva da indústria, os autores avaliaram os custos gerados com a adoção dos veículos elétricos. A conclusão do estudo apontou uma redução de 16% na distância total percorrida e 7% na velocidade, penetração no mercado de 10% e redução nos atrasos de 10%.

Diziain, *et al.* (2014) fizeram uma comparação de como a intermodalidade no transporte de carga é aplicada em zonas urbanas na França e no Japão. O foco neste trabalho não está no uso dos triciclos na distribuição física, mas sim nos diferentes arranjos intermodais que podem ocorrer. Os autores citam a utilização de triciclos para a distribuição física em duas situações. Na entrega de encomendas utilizando bicicletas elétricas fazendo operação com a ferrovia no Japão e a realização de distribuição física de produtos utilizando triciclos, que ocorre na França. Nesse caso os navios transportam os produtos e a transferência da carga é realizado durante o percurso, sendo os triciclos enviados para a distribuição durante as 10 paradas que ocorrem no percurso.

Browne, *et al.* (2011) apresentaram um estudo de caso da implantação de triciclos e vans elétricas realizando a distribuição física de papelaria e material de escritório na área central de Londres. O estudo compara o cenário anterior, onde caminhões a diesel faziam a distribuição partindo de um depósito no subúrbio, com o cenário atual que utiliza um minicentro de consolidação da mercadoria nas proximidades da área a ser atendida e realiza a distribuição utilizando triciclos e vans

elétricos. Os resultados mostram que a distância total percorrida foi reduzida em 20%, enquanto que a emissão de CO₂ foi reduzida em 54%. Entretanto, o estudo mostrou que a distância percorrida por entrega aumentou significativamente devido a baixa capacidade dos veículos elétricos, o que faz com que sejam necessárias várias viagens para realizar a entrega equivalente a de um caminhão.

Sadhu, *et al.* (2014) discutem o uso de bicicletas não motorizadas para entregas realizadas dentro da cidade de Delhi. Nesta pesquisa foram considerados dois mil motoristas desse tipo de veículo. Foram analisados os impactos provenientes da possível substituição desses veículos por veículos motorizados como motocicletas e triciclos. O estudo indica que caso a mudança ocorresse, haveria um aumento de cerca de 3% na emissão de CO₂ e mais de 8% na emissão de hidrocarbonetos. Além disso, neste caso específico, a utilização das bicicletas adaptadas tem significativa importância do ponto de vista social e econômico. Sua substituição traria impactos como a perda de emprego, que afetaria principalmente a camada menos abastada da população.

Como se pode ver, poucos são os casos oriundos de estudos publicados nesta base de dados sobre a utilização de motocicletas ou mesmo de triciclos na distribuição física de produtos em área urbana. Os estudos existentes são recentes e apontam para uma crescente preocupação em relação a necessidade de implantação e avaliação de formas mais sustentáveis e alternativas para as restrições de circulação de veículos de maior porte, principalmente no contexto dos centros urbanos. Ao comparar os estudos encontrados na base de dados pesquisada com a pesquisa que está sendo apresentada nessa dissertação foi possível verificar que esta dissertação trás uma análise diferente dos demais, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Estudos existentes x Estudo realizado nessa dissertação

Estudos existentes sobre operação de carga utilizando triciclos			Aspectos abordados nessa dissertação e não contemplados no estudo existente
Autores	Objeto de estudo	Foco do estudo	
Melo, Baptista e Costa (2014)	- Triciclos e outros veículos elétricos no transporte de carga geral.	- Abrangência geográfica da implantação; - Aceitação pelo mercado.	- Triciclo movido a gasolina operando com caminhão movido a óleo diesel. - Análise ambiental e não geográfica e mercadológica.
Diziain, Taniguchi e Dablanc (2014)	- Intermodalidade na França e Japão.	- Bicicletas elétricas operando com a ferrovia no Japão; - Distribuição física de produtos utilizando triciclos, que ocorre na França.	- Avaliação ambiental considerando triciclos movidos a gasolina e não comparação de dois cenários de intermodalidade com veículos elétricos. - Comparação de dois cenários em rotas similares na mesma região
Browne, Allan e Leonardi (2011)	- Triciclos e vans elétricos na distribuição de produtos de escritório.	- Comparação entre cenário onde é usado só caminhão e o cenário onde é usado o veículo elétrico em relação à distância e emissão de CO ₂ .	- Análise da emissão não apenas de CO ₂ , mas de poluentes atmosféricos. Considera triciclo a gasolina e não elétricos.
Sadhu, Tiwari e Jain (2014)	- Triciclos e motocicletas motorizadas para entregas.	- Impactos da substituição de bicicletas não motorizadas por triciclos e motocicletas na entrega de produtos.	- Análise ambiental, de operação e de custos. O enfoque não é social.

Como pode ser visto na Tabela 2, apesar de existirem estudos que correlacionam a utilização de triciclo com o transporte de carga em área urbana, nenhum deles dá o mesmo enfoque do proposto nessa dissertação. Isso evidencia a necessidade de estudos como este, que se propõe a avaliar a utilização de um sistema de distribuição física semelhante aos considerados na revisão bibliográfica, mas apresentando um enfoque diferente. Esta dissertação faz uma análise acerca da utilização de “caminhão + triciclo” na distribuição de produtos em áreas urbanas. Diferentemente das referências

bibliográficas apresentadas, o enfoque desse estudo é ambiental e a análise não se dá sobre a possível implantação de triciclos ou outros veículos elétricos, mas sobre a operação que já ocorre utilizando triciclos movidos a gasolina. A seguir será tratada a questão na sustentabilidade ambiental relacionada ao transporte de cargas em área urbana.

2.3 – Aspectos ambientais

Sustentabilidade é um termo que surgiu em 1992 e pode ser definido como: "Desenvolvimento que vai ao encontro das necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações de satisfazer suas próprias necessidades" (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 2002).

Segundo Goodland (1995), a sustentabilidade ambiental tem por objetivo sustentar sistemas de suporte globais da vida de forma indefinida (sendo o foco na vida humana). O autor explica que o ecossistema global nos fornece matérias-primas como alimentos, água, ar, energia e meios de descarte de resíduos. Entretanto, essa fonte de recursos é finita. Dessa forma, sustentabilidade se relaciona com a capacidade de manter essas fontes de recursos essenciais a vida, antes que elas se acabem.

De acordo com Chopra *et al.* (2013), a questão da sustentabilidade ambiental se tornou prioridade no planejamento e operação das cadeias de suprimento no século 21. Segundo os autores, a sustentabilidade tem se tornado centro das atenções principalmente em países de grande porte e que apresentam significativo crescimento econômico, como é o caso do Brasil, China e Índia. Com crescimento econômico e das cidades há uma demanda maior por recursos, tais como, consumo de energia e de água, além de emissões de poluentes e produção de resíduos. Isso faz com que a sustentabilidade passe a ser fator fundamental para garantir o processo de crescimento.

Segundo Wadhwa (2000), o transporte é a chave para a uma cidade ambientalmente sustentável. O autor afirma que os atuais padrões de transporte urbano não são sustentáveis do ponto de vista ambiental. Sendo assim, aumentar a sustentabilidade na maneira como se realiza o transporte significa caminhar para uma cidade mais sustentável.

Entretanto, Chopra *et al.* (2013) afirmam que a sustentabilidade ambiental ainda é um desafio porque, de acordo com eles, os clientes ainda não estão dispostos a pagar mais por produtos que tenham um aumento do valor devido à implementação pela empresa de uma logística mais sustentável do ponto de vista ambiental. Dessa forma, por exemplo, se uma empresa investe em uma frota de veículos que produzam menos poluentes, os clientes não estarão dispostos a pagar mais pelo produto. A sustentabilidade ainda não é um atrativo e um fator decisivo para o cliente. Somando-se a isso estão os resultados de uma pesquisa que constatou que os líderes de empresas identificaram pouco retorno financeiro advindo da implantação de práticas alinhadas com os princípios de sustentabilidade (Gibbs e Soell Survey, 2011). Sendo assim, a implantação de medidas alinhadas com os princípios da sustentabilidade ainda é um desafio, visto que os benefícios advindos da adoção dessas práticas são divididos por todos, entretanto, o mesmo não acontece com os custos. Esses são arcados exclusivamente pelas empresas. É por isso que, de acordo com Hardin (1968), a sociedade deve estabelecer medidas coercitivas que garantam que todos os atores da sociedade assumam posturas sustentáveis de forma a garantir o bem comum.

De acordo com Donato (2008), uma significativa parcela da poluição atmosférica existente atualmente em centros urbanos é proveniente da queima de combustíveis fósseis em veículos automotores. O setor de transportes é responsável por cerca de 47% das emissões nacionais de CO₂, sendo que, considerando os modos de transporte que compõe o setor de transporte, o transporte rodoviário é o principal responsável pelas emissões do principal gás de efeito estufa, a citar, o CO₂ (EPE, 2014). Na Tabela 3 é possível ver um quadro resumo dos principais poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa emitidos pelo setor de transportes.

Tabela 3 – Quadro resumo das emissões atmosféricas oriundas da operação de transporte.

Gases de efeito estufa	
Metano (CH ₄)	O processo de combustão pode levar à geração de CH ₄ , o mais simples dos hidrocarbonetos. É considerado um expressivo gás de efeito estufa pelo tempo que demora para ser processado na atmosfera depois de emitido.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Produto da oxidação completa do carbono (C) presente no combustível durante sua queima. É considerado o principal gás de efeito estufa em função da quantidade emitida a partir da queima de combustíveis fósseis.
Poluentes atmosféricos	
Monóxido de carbono (CO)	As emissões de CO resultam da combustão incompleta do carbono (C) contido no combustível.
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	A queima incompleta do combustível no motor gera emissões de NMHC. A classificação desses compostos abrange toda a gama de substâncias orgânicas presentes <i>in natura</i> nos combustíveis, bem como subprodutos orgânicos derivados da combustão, exceto o metano. São substâncias precursoras da formação de ozônio (O ₃) no nível troposférico.
Aldeídos (RCHO)	O processo de combustão pode levar à geração de compostos com o radical carbonila, os mais comuns são o acetaldeído e o formaldeído. Também participam na formação de ozônio (O ₃) no nível troposférico.
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	Grupo de gases altamente reativos, compostos por nitrogênio (N) e oxigênio (O) em quantidades variadas. São formados pela reação de oxigênio (O ₂) e nitrogênio (N ₂) presentes no ar sob condições de alta temperatura e elevada pressão. Juntamente com os hidrocarbonetos não metano (NMHC) e os aldeídos (RCHO), são precursores da formação de ozônio (O ₃) no nível troposférico.
Material particulado (MP)	São partículas de material sólido ou líquido que podem conter uma variedade de componentes químicos. São classificados de acordo com seu tamanho, sendo que grande parte do MP de origem veicular tem diâmetro menor do que 2,5 µm, podendo ser referido como MP _{2,5} .

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Souza *et al* (2013).

Os fatores de emissão considerados nessa dissertação foram os apresentados por Souza *et al.* (2013), e que podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores de emissão motocicleta e caminhão.

Categoria de veículo	CO ₂ (kg/km)	Poluentes atmosféricos (g/km)				Rendimento km/l
	CO ₂	CO	NO _x	NMHC	MP	
Caminhões médios (P7)	0,85	1,11	2,40	0,21	0,02	3,20 km/l
Motocicletas (2010 em diante)	0,11	0,73	0,07	0,14	0,0035	19 km/l

Fonte: Adaptado a partir de Souza *et al.*, 2013.

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional de 2014, existe uma dependência do consumo de combustíveis fósseis pelo modo rodoviário (EPE, 2014). O modo rodoviário é o principal modo de transporte de cargas e passageiros no Brasil e corresponde a cerca de 92% do total de combustível fóssil consumido no setor de transportes, sendo responsável por 46,9% das emissões nacionais de CO₂ (EPE, 2014).

No estado do Rio de Janeiro, de acordo com Souza *et al.* (2013), 55% das emissões de CO em 2010 foi emitido por automóveis. As projeções sugerem uma leve diminuição nesse valor, que chegará a 49% em 2030. O combustível que mais contribui para a emissão de CO é a gasolina, sendo responsável, em 2010, por 74% das emissões deste poluente atmosférico.

Souza *et al.* (2013), também mostraram que 69% do total de emissões de NO_x em 2010 no Rio de Janeiro foi proveniente de caminhões pesados e ônibus. Os autores estimam que esse valor será de 76% em 2030. A principal responsável pela emissão desse poluente é a queima de óleo diesel, que em 2010, foi responsável por 81% do total das emissões deste poluente atmosférico.

Em relação à emissão de material particulado (MP), destaca-se que a maior parcela de emissão desse poluente em 2010 no Rio de Janeiro foi proveniente de ônibus e caminhões pesados (76%). Observa-se uma tendência para a redução para 71% até 2030. A queima do óleo diesel representa 91% das emissões de MP.

Diferentemente do MP e do NO_x, os aldeídos (RCHO) são emitidos majoritariamente por veículos equipados com motores do ciclo Otto que utilizam etanol

como combustível (90%). O etanol contribui com 39% do total de emissões de RCHO no Rio de Janeiro e estima-se que esse valor chegará aos 68% até 2030.

Segundo Souza *et al.* (2013), no Rio de Janeiro 55% da emissão de NMHC é proveniente dos automóveis, sendo que destes, 73% das emissões advém do uso da gasolina, de acordo com dados de 2010.

Ainda de acordo com Souza *et al.* (2013), com o crescimento do uso de bicomcombustíveis existe uma tendência a diminuição da emissão líquida CO₂. Estima-se que a contribuição de 14% na emissão de CO₂ advinda do uso de bicomcombustíveis chegará a 20% até 2030 no Rio de Janeiro. De acordo com Souza *et al.* (2013), 47% da emissão desse gás advém do uso de óleo diesel em ônibus urbanos e caminhões pesados de acordo com dados de 2010. Souza *et al.* (2013), ainda concluem que este é o único poluente que tende a ter crescimento em sua emissão. Isso será reflexo do crescimento da economia e, conseqüente, crescimento e maior consumo de combustível por parte do setor de transporte no Rio de Janeiro.

Souza *et al.* (2013) salientam que, quando se comparam os gases entre si, o CH₄ sozinho representa 19% da emissão estadual. Isso ocorre porque o Gás Natural Veicular é o principal responsável pela sua emissão (63%), sendo que 74% da emissão de CH₄ em 2010 no Rio de Janeiro foi proveniente de automóveis.

Esses dados são importantes para nortear políticas públicas e subsidiar estudos que procurem avaliar alternativas mais sustentáveis no âmbito da emissão de poluentes e gases. A partir dessas informações também é possível perceber como estudos que visem avaliar a eficiência ambiental de diferentes configurações para a distribuição física de produtos em área urbana são relevantes. Nesse sentido, esse estudo procura comparar duas configurações existentes sob o ponto de vista da emissão de poluentes atmosféricos e CO₂, a saber, configuração de distribuição tradicional utilizando “caminhão” versus operação utilizando “caminhão + triciclo”.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os métodos, técnicas, informações e dados utilizados para a realização dessa pesquisa. A abordagem dessa pesquisa é essencialmente quantitativa, apesar de ter um viés qualitativo por se tratar de um estudo de caso e requerer entendimento do processo de distribuição através de levantamento empírico de informações.

De acordo com Moresi (2003), a pesquisa quantitativa é aquela que considera o que pode ser quantificável. Dessa forma, nesse tipo de abordagem, os resultados obtidos serão traduzidos em números para que sejam classificados e analisados. Para tanto, o método quantitativo pode se valer de técnicas estatísticas. Segundo Abeyasekera (2005), os métodos de análise quantitativa podem ser de grande valia quando a intenção é encontrar valores significativos a partir de uma certa quantidade de dados. De acordo com o autor, um dos principais benefícios dos métodos quantitativos é que eles oferecem meios de se separar e classificar informações tornando mais simples e confiáveis os dados obtidos através de pesquisas qualitativas.

Desta forma, por meio da análise quantitativa, é possível classificar, medir, padronizar e modelar os dados de forma a se obterem resultados numéricos que possibilitem uma análise mais precisa da realidade estudada.

Já a análise qualitativa é caracterizada por seu caráter descritivo, seu enfoque é indutivo, a coleta de dados se dá através de observação do ambiente natural, sendo, portanto, a atuação do pesquisador fundamental e o significado atribuído por ele aos fatos observados a principal fonte de informações (GODOY, 1995). Sendo assim, o estudo desenvolvido nessa dissertação é qualitativo porque a base para a estruturação deste se deu através do entendimento das duas diferentes práticas de distribuição em área urbana, sua lógica de operação e a forma como essa operação se dá na prática. O acompanhamento das rotas pelo pesquisador foi um experimento empírico de coleta de dados de uma amostra.

De acordo com Duffy (1987), a combinação de técnicas quantitativas e qualitativas torna a pesquisa mais consistente e reduz os problemas que se tem devido

às limitações do emprego de cada um dos métodos de forma separada. Segundo o autor, a análise puramente quantitativa em estudos de caso onde é possível e útil aplicar também a análise qualitativa empobrece a pesquisa e muitas vezes dificulta a correta interpretação dos fenômenos.

Para a realização dessa pesquisa a metodologia utilizada foi a que está representada na Figura 2. A seguir são descritos os principais itens apresentados na figura.

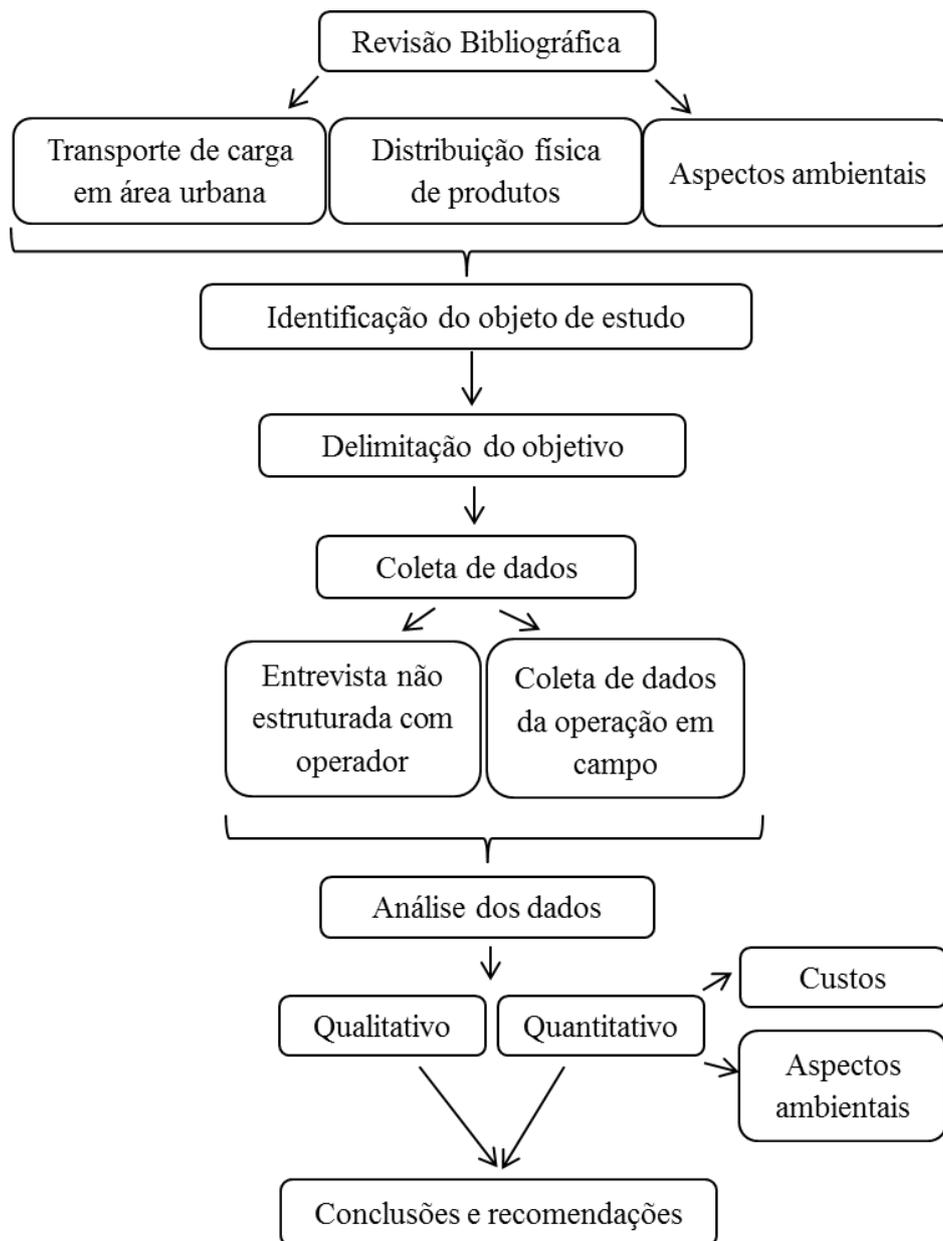


Figura 2 - Metodologia utilizada na elaboração desse estudo

3.1 – Revisão bibliográfica

Em primeiro lugar, uma revisão bibliográfica foi realizada com o intuito de estabelecer uma base teórica para o desenvolvimento da pesquisa. Transporte de carga em área urbana, distribuição física de produtos e aspectos ambientais foram os principais temas pesquisados, conforme já detalhado no Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.

3.2 – Identificação do objeto de estudo e delimitação do objetivo

Após estabelecerem-se as bases teóricas do projeto, delimitou-se o objeto de estudo. O objeto de estudo foi escolhido por ser uma das alternativas para transporte de carga em área urbana presente na literatura consultada e por ser efetivamente praticada por uma empresa na cidade do Rio de Janeiro. Uma vez que o objeto de estudo em questão é a operação utilizando “caminhão + triciclo” na distribuição de carga em área urbana, identificou-se, assim, a prática tradicional de distribuição física para que fosse comparada com a prática alternativa. Delimitou-se então, o objetivo do trabalho, que é a análise comparativa dessas duas configurações considerando-se para tanto, aspectos da operação e o impacto ambiental proveniente de ambas. Na sequência partiu-se para a coleta de dados junto a empresa operadora.

3.3 – Coleta de dados

Inicialmente foram realizadas reuniões com o gerente de logística da empresa alvo da pesquisa com o intuito de compreender a lógica operacional do sistema de distribuição utilizado por ela. Durante a reunião foi realizada uma entrevista não estruturada com o gerente de logística da empresa em questão. Dados gerais, a citar, quantidade de veículos e rotas que operam com a configuração tradicional e com a configuração que utiliza “caminhão + triciclo”, número de funcionários alocados, rotas e regiões atendidas em cada uma das configurações, foram fornecidos.

Na sequência fez-se o levantamento de dados da operação em campo. Para tanto, realizou-se o acompanhamento das rotas. Pesquisadores acompanharam as rotas das duas configurações de operação que seriam comparadas embarcados nos caminhões. O levantamento de dados foi realizado pelos pesquisadores, por meio de anotações em

uma prancheta e dados foram coletados com dois aparelhos de GPS, conforme será detalhado no item a seguir que trata da análise dos dados.

3.4 – Análise dos dados

Conforme já mencionado anteriormente, a análise dos dados de pesquisa pode ser qualitativa, quando o enfoque é descritivo, ou quantitativo, quando o enfoque é numérico.

3.4.1 – Análise qualitativa

A análise qualitativa foi feita a partir das observações realizadas pelos pesquisadores em campo. Cada pesquisador observou como a rota é realizada nas duas configurações, como é o trajeto até o primeiro cliente ou até o local onde é realizada a transferência da mercadoria do caminhão para o triciclo, como é o tráfego, como é o local de estacionamento, qual o tipo de veículo utilizado nas duas configurações (marca, modelo, ano de fabricação e tipo de carroceria), quais os impactos da circulação do caminhão ou da transferência de mercadoria do caminhão para o triciclo para os pedestres e para os demais veículos que circulam na via, como é a dinâmica de organização da mercadoria no caminhão e como é realizada a separação da mercadoria para entrega ou para abastecimento do triciclo, como é realizado o atendimento dos clientes, qual a lógica utilizada para definir ordem de atendimento, como é o regime de trabalho dos funcionários em cada uma das configurações, qual o desgaste e necessidade de força física pelo ajudante para entregar a mercadoria e como são organizadas as paradas para almoço, lanche e demais pausas.

Para a análise qualitativa considerou-se as informações não numéricas observadas pelos pesquisadores em campo. Todas essas informações que não são quantificáveis, mas que são fundamentais ao entendimento e avaliação das duas configurações foram observadas pelos pesquisadores e após o término do acompanhamento das rotas estas questões foram discutidas e relatadas pelos pesquisadores envolvidos e redigidas de forma sistematizada.

3.4.2 – Análise quantitativa

Além das informações sobre a operação nas duas configurações, os pesquisadores que acompanharam as rotas também coletaram manualmente, utilizando para tanto um formulário (ver Anexo A), dados de:

- Tempo: tempo gasto até o primeiro cliente ou até o ponto de estacionamento para a realização da transferência da mercadoria do caminhão para o triciclo, tempo de descarga da mercadoria e de organização da mesma para entrega ou tempo de carregamento do outro veículo utilizado, tempo gasto para entrega dos produtos para os clientes, tempo gasto no deslocamento entre clientes e tempo de retorno.
- Número de paradas: quantas vezes o veículo estaciona para atender clientes na rota que faz a distribuição de forma convencional e quantas vezes o veículo que faz a operação utilizando o triciclo é carregado e faz o ciclo de entrega para os clientes.
- Taxa de ocupação dos veículos: estimado visualmente.

Além dos pesquisadores, o acompanhamento das rotas foi feito utilizando-se aparelho de GPS. O uso dos aparelhos de GPS tornou possível a obtenção de dados de:

- Distância: distância percorrida até o primeiro cliente ou até o ponto de estacionamento para a realização do carregamento do triciclo, distância percorrida na entrega dos produtos para os clientes, distância percorrida no deslocamento entre clientes e distância de retorno.
- Rotas: os aparelhos de GPS também forneceram dados georreferenciados do trajeto dos veículos tornando possível a elaboração de mapas ilustrativos.

3.4.2.1 – Dados dos aparelhos de GPS

A coleta de dados foi feita utilizando-se dois aparelhos de GPS. No caso da configuração onde é feita a distribuição tradicional, os dois aparelhos de GPS seguiram embarcados no caminhão durante todo o percurso. O pesquisador utilizou o aparelho de GPS *Etrex Vista Hcx* para marcar pontos em cada parada do veículo para atendimento

de cliente. Na configuração que faz a operação com “caminhão + triciclo” o aparelho de GPS *Etrex Vista Hcx* permaneceu o tempo todo com o pesquisador enquanto o outro aparelho de GPS (*Nuvi*) foi transferido para o triciclo que, após o carregamento faz as entregas.

De acordo com o fabricante, o aparelho de GPS modelo *Etrex Vista Hcx* (Figura 3) é idealizado para funcionar em ambientes extremos como florestas densas, *canyons*, ou mesmo em ambientes cercados por prédios, onde normalmente a recepção de sinal é limitada e instável. Possui altímetro barométrico, bússola eletrônica, *slot* para cartão de memória e roteirização automática. Foi idealizado para aventuras, não sendo o uso para coleta de dados de rotas sua principal função. Sua alimentação é realizada por meio de duas pilhas AA. Essa característica pode apresentar-se como uma desvantagem em coletas de campo como a realizada nesse estudo, principalmente em casos onde a coleta é longa e ininterrupta. Nesses casos a necessidade de troca de pilhas pode prejudicar a qualidade final dos dados. Este modelo de GPS é a prova d’água, o que pode colocá-lo em vantagem quando comparado a outros sem a mesma característica, principalmente dependendo das condições em que a coleta de dados será realizada. Ele possui capacidade para armazenar até 50 rotas e 1.000 pontos de interesse, além de possuir roteamento automático.

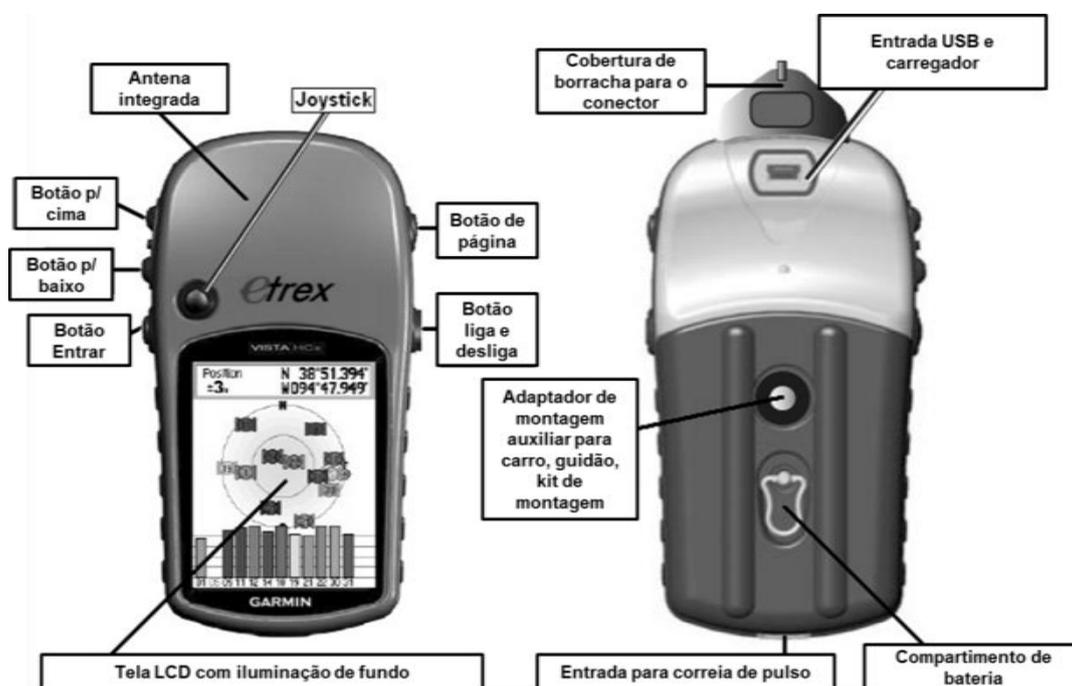


Figura 3 – Detalhe do aparelho de GPS utilizado para coleta de dados de campo. Fonte: Adaptado pela autora a partir de TRAMSOFTE (2014).

O aparelho de GPS *Nuvi 2405* (Figura 4), ao contrário do aparelho de GPS *Etrex Vista Hcx* é um aparelho projetado para uso veicular. Sua principal função é prover orientações em tempo real de melhores caminhos a serem seguidos durante uma viagem considerando as preferências dos usuários. Ele dá orientações de sentidos de circulação de trânsito nas vias. Possui mapas pré-instalados e o seu manuseio é intuitivo, o que é apontado pelo fabricante como um de seus pontos de destaque. A sua bateria é de *lithium-ion* recarregável, mas a duração média é de apenas 2 horas e meia. A necessidade de mantê-lo conectado a fonte de energia do veículo e a dificuldade de troca de bateria tornam a coleta de dados ao ar livre mais complicada, principalmente quando se pretende fazer levantamentos de dados que demandam tempo. Diferentemente do aparelho de GPS *Etrex Vista Hcx*, o *Nuvi 2405* não oferece a opção de marcação de pontos.



Figura 4 - Detalhe do aparelho de GPS utilizado para coleta de dados de campo. Fonte: Adaptado pela autora a partir de TRAMSOFT (2014).

O resumo das principais características operacionais de cada um dos aparelhos de GPS de acordo com o fabricante pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Comparativo das funções e impressões dos aparelhos de GPS utilizados para a coleta de dados.

GPS/indicador	Etrex Vista Hcx®	Nuvi® 2405
Dimensões	5.6 x 10.7 x 3.0 cm	12.1 x 7.6 x 1.5 cm
Dimensões do display	3.3 x 4.3 cm	9.7 x 5.7 cm
Resolução do display	176 x 220 pixels	480 x 272 pixels
Peso	142 g	156 g
Tipo de bateria	2 pilhas AA	lithium-ion
Duração da bateria	Variável	Aprox. 2,50h
Prova d'água	Sim	Não
Receptores de sinal de alta sensibilidade	Sim	Sim
Interface USB	Sim	Sim
Tipo de mapa	Pré - carregados	Mapa base
Memória	Cartão de memória	Cartão memória + memória interna
Marcação de pontos de interesse	1.000	1.000
Registro de trajetos	10.000 pontos e 20 rotas salvas	Não

Fonte: Elaborada pela autora.

Após coleta em campo iniciou-se o processamento dos dados contidos no aparelho de GPS. O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinadas a extrair informação ambiental a partir de uma base de dados georreferenciada. (ROCHA, 2002).

Como principal produto do processamento desses dados foi possível a criação de mapas contendo as rotas georreferenciadas. Além disso, esperava-se obter principalmente os dados de distância e localização, que não foram coletados manualmente pelos pesquisadores durante a ida a campo.

Para a análise dos dados e criação do mapa das rotas foram utilizados os *softwares* ArcGis, BaseCamp, Google Earth e TrackMaker. Primeiramente utilizou-se o BaseCamp para a visualização de dados de aparelho de GPS disponibilizado no próprio mapa base do fabricante, a Garmin®. Entretanto, as rotas não puderam ser editadas com essa versão do *software*. Além da visualização, o BaseCamp possibilita a geração de gráficos de velocidade x distância e de distância x elevação. Na Figura 5 pode-se ver um exemplo de um dos gráficos gerados pelo *software* a partir dos dados coletados em campo.

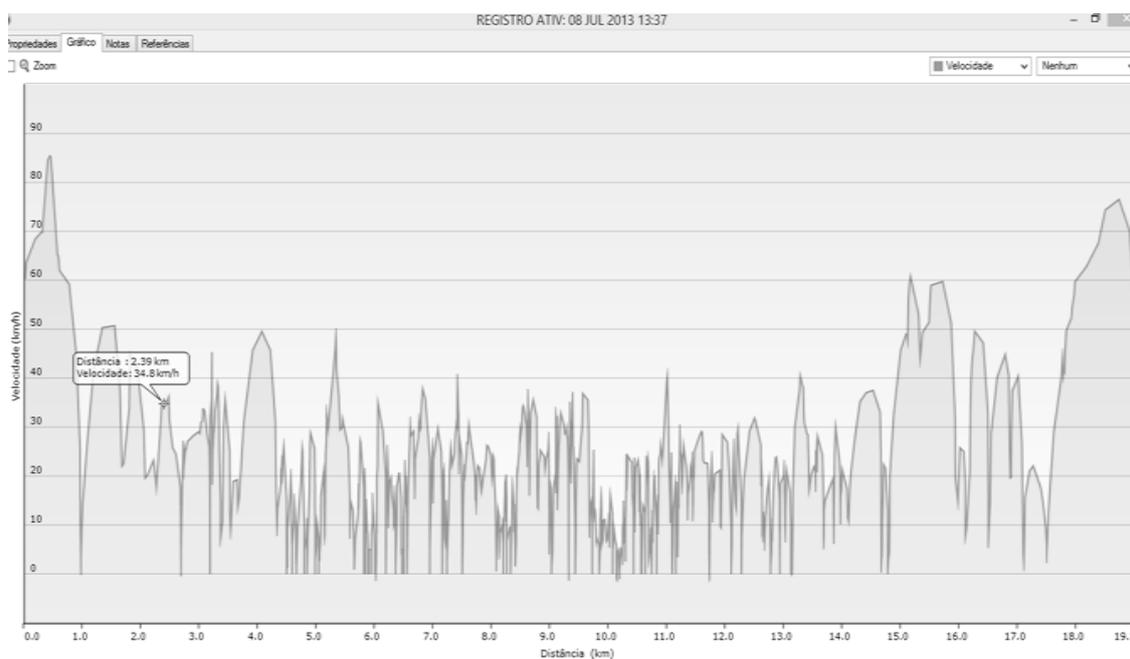


Figura 5 – Exemplo de dados gerados pelo BaseCamp. Dados de Velocidade x Distância.

Para conversão dos dados foi utilizado o *software* TrackMaker. De acordo com a fabricante, o *software* GPS TrackMaker foi idealizado para uso profissional. Suas principais funções são: a capacidade de fazer cálculos de área, transferência de dados para Excel, exportação para AutoCad e ArcView. Este *software* foi desenvolvido de forma a atender a profissionais que necessitam de um levantamento de dados mais preciso e utilizam para tanto equipamentos como teodolito, estação total ou outros equipamentos topográficos de precisão. Devido a sua capacidade de exportação de dados em diferentes formatos, utilizou-se esse *software* para exportar os dados dos aparelhos de GPS em formato *shp* para o programa onde se fez a edição dos dados, a citar, ArcGis.

Utilizou-se o ArcGis 10.1, que ao contrário dos outros, é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que quer dizer que ele possibilita, não somente a visualização dos dados, mas também a sua edição. Nele é possível fazer ajustes nos dados e corrigir erros provenientes da falta de sinal. Como desvantagens provenientes da utilização desse SIG pode-se citar o fato de o mesmo não possuir uma plataforma intuitiva como a do Google Earth, por exemplo, o que torna seu uso pouco atrativo para usuários leigos. Também existe a necessidade de se inserir os mapas atualizados para que sejam utilizados como base e para a visualização dos dados. Outra desvantagem que

pode ser citada quanto ao uso do ArcGis diz respeito ao fato de o mesmo não ser um *software* de uso livre, sendo necessária a aquisição de uma licença para a sua utilização. Apesar dessas desvantagens, o ArcGis é um *software* voltado para a edição de informações geográficas e, portanto, oferece inúmeras funcionalidades voltadas para esse objetivo.

Outra ferramenta utilizada foi o Google Earth que se mostrou uma ferramenta muito útil para visualização dos dados contidos no aparelho de GPS. Além de oferecer, assim como o ArcGis, a opção de edição (troca de cores das linhas, marcação de pontos, utilização de legendas, medição de distâncias, dentre outras) ele possibilita a visualização de mais de um arquivo ao mesmo tempo, além de oferecer mapas sempre atualizados e com possibilidade de visualização em 3D. Isso fez com que fosse possível verificar em quais regiões os aparelhos de GPS perderam sinal e o motivo (que na maioria das vezes ocorreu pela passagem em túneis).

Desta forma, o TrackMaker foi utilizado para converter os arquivos para o formato *shp*, para que os dados pudessem ser trabalhados no ArcGis. O ArcGis foi utilizado para criar um mapa georreferenciado e conferir as rotas, o BaseCamp foi utilizado para visualização dos horários de saída e chegada e dos horários dos pontos de parada e o Google Earth foi utilizado para visualizar as rotas considerando-se o relevo e a estrutura da cidade a partir de mapas 3D, disponíveis online. Sendo assim, o uso dos GPS e das informações georreferenciadas, no caso dessa dissertação, serviu para conferir e confirmar os dados coletados manualmente em campo, além de possibilitar a criação de mapas ilustrativos das rotas.

3.4.2.2 – Análise dos aspectos ambientais

Após análise dos dados dos GPS e elaboração dos mapas, optou-se por se realizar a simulação dos cenários utilizando-se o Método Monte Carlo. A simulação com esse método foi escolhida com o intuito de se tentar replicar a observação feita em campo, que se limitou a 4 rotas, para tirar alguma conclusão mais abrangente.

De acordo com Olson e Evans (1998), a simulação probabilística pode ser definida como um processo de criação de um modelo lógico e matemático que seja

capaz de representar uma situação onde haja uma ou mais variáveis incertas. Pedroso (2007) define modelo como uma representação da realidade. De acordo com ele, quanto mais próximo da realidade o modelo estiver, maior será a precisão dos resultados numéricos obtidos e melhores serão as conclusões e previsões que poderão ser feitas a partir daí.

De acordo com Olson e Evans (1998), os modelos matemáticos podem ser classificados de duas formas. A primeira delas é o modelo determinístico se vale de dados conhecidos, que não variam em função de alguma condição de modelagem. Já o segundo, o modelo estocástico ou probabilístico, se aplica quando existem variáveis incertas, ou seja, sujeitas a variações. Essa pesquisa, como já mencionado anteriormente, utiliza dados fornecidos e coletados em campo, entretanto, os dados em questão são variáveis, sendo, portanto, dados de natureza estocástica.

Dentre os modelos existentes para simulação de problemas matemáticos de natureza estocástica está o Método Monte Carlo.

De acordo com Vose (2000), a Simulação utilizando o Método Monte Carlo oferece uma série de vantagens quando comparada a outros métodos. Dentre elas, pode-se citar:

- É possível realizar modificações no modelo de forma rápida e comparar os resultados com os obtidos com o modelo antes da alteração;
- É possível utilizar modelos matemáticos complexos;
- O comportamento do modelo pode ser avaliado de forma simples;
- As correlações e interdependências já estão inseridas no modelo;
- Não é necessário conhecimento de matemática avançada para realização da simulação. O método Monte Carlo utiliza matemática básica.

Apesar de ser um método notoriamente aceito no meio acadêmico, Annan (2001) ressalta que o método possui limitações. De acordo com o autor modelos são inevitavelmente concebidos como representações simplificadas da realidade e, portanto, mesmo quando se possui um acurado modelo matemático, é possível que ocorram algumas distorções.

O Método Monte Carlo, em suma, é uma simulação que utiliza geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos. Dessa forma, a partir da inserção de algumas variáveis no modelo, obtêm-se diferentes resultados que estão dentro do intervalo de confiança. Isso quer dizer que os valores mais frequentes serão os que aparecem próximos à média e os valores mais destoantes da média estarão mais distantes da mesma e fora no intervalo de confiança. O intervalo de confiança é uma faixa de valores usada para estimar o verdadeiro valor de um parâmetro. Ele é associado a um nível de confiança. Por exemplo, se um processo for repetido inúmeras vezes, 95% dos resultados estará dentro daquela faixa.

Assim, a simulação de Monte Carlo produz uma série de valores possíveis tendo como base a média, o desvio padrão e a função densidade de probabilidade (ou a função distribuição de probabilidade) de ocorrência de cada variável.

O método Monte Carlo pode ser utilizado quando se observa um problema onde ocorrem variáveis aleatórias. Uma variável aleatória pode ser definida como um resultado numérico de uma experiência que não pode ser determinada previamente, não é determinística. Uma vez que se conheça o comportamento destas variáveis o método estabelece cálculos de maneira repetida de forma a gerar um conjunto de valores aleatórios em função da probabilidade de ocorrência. As distribuições estatísticas mais usuais quando não se dispõe de dados reais sobre o comportamento do sistema podem ser vistas na Tabela 6.

Tabela 6 - Distribuições estatísticas mais usuais quando não se dispõe de dados reais sobre o comportamento do sistema

Distribuição	Parâmetros	Características	Aplicabilidade
Exponencial	Média	*Variância alta; * Cauda para a direita.	* Grande variabilidade dos valores; * Independência entre um valor e outro; * Utilizada para representar o tempo entre chegadas sucessivas e o tempo entre falhas sucessivas.
Triangular	Menor valor, moda e maior valor	*Simétrica ou não	* Quando se conhece ou se tem uma boa estimativa sobre a moda (valor que mais ocorre), o menor e o maior valor que podem ocorrer.
Normal	Média e desvio padrão	*Simétrica; *Forma de sino; *Variabilidade controlada pelo desvio padrão.	* Quando a probabilidade de ocorrência de valores acima da média é a mesma que valores abaixo da média. *Quando o tempo de um processo pode ser considerado como a soma de diversos tempos de sub-processos.
Uniforme	Maior valor e menor valor	*Todos os valores no intervalo são igualmente possíveis.	*Quando não se tem qualquer informação sobre o processo ou apenas os valores limites.
Discreta	Valores e probabilidade de ocorrência desses valores	*Apenas assume os valores fornecidos pelo analista com probabilidades informadas.	*Utilizada para a escolha de parâmetros das entidades; *Quando se conhecem apenas “valores intermediários” da distribuição ou a porcentagem de ocorrência de alguns valores discretos.

Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2006).

Para essa dissertação utilizou-se a distribuição triangular e a distribuição normal em função dos parâmetros que puderam ser coletados em campo, conforme será explicado posteriormente quando os parâmetros forem citados. Conforme mencionado anteriormente a amostra considerada para simulação nessa dissertação foi de duas rotas sendo uma que realiza operação tradicional utilizando caminhão e a outra que utiliza “caminhão + triciclo”. O tamanho da amostra foi uma limitação encontrada. Essa limitação não descredibiliza os dados obtidos na simulação, embora uma amostragem maior pudesse gerar dados mais precisos.

Para a realização da simulação através do Método Monte Carlo são gerados valores aleatórios de entrada (*inputs*) com base em uma distribuição de probabilidade. O conjunto de amostras gerado é chamado de iteração. Os dados obtidos são as variáveis de análise ou de saída (*output*). A simulação pode gerar uma quantidade muito significativa de dados. Assim é possível criar cenários a partir desses valores aleatórios para horas, dias, meses e até anos e o resultado obtido é uma distribuição probabilística

de resultados possíveis. Sendo assim, a simulação de Monte Carlo não gera apenas cenários, ela gera cenários de acordo com a probabilidade de ocorrência dos mesmos.

A velocidade de deslocamento principal (V_o) foi obtida através da equação:

$$V_o = \frac{D_o}{T_o} \quad (1)$$

Sendo:

D_o – Distância média até o primeiro cliente ou até o local de estacionamento para carregamento do triciclo;

T_o – Tempo médio até o primeiro cliente ou até o local de estacionamento para carregamento do triciclo.

O tempo de percurso até o primeiro cliente (T_o) foi modelado por meio de uma distribuição normal, assim como a distância ao primeiro cliente (D_o). Essa distribuição foi escolhida porque o valor médio para essas variáveis era conhecido e a probabilidade de ocorrência tanto de valores abaixo da média como valores acima da média era a mesma. Consideraram-se, assim, os valores obtidos em campo como parâmetros para estabelecerem-se os valores médios para criar os valores da curva normal para o T_o e D_o .

O tempo de parada (T_p), que para a configuração tradicional representa o tempo que o veículo permanece parado para entrega de mercadoria e para a configuração que utiliza “caminhão + triciclo” diz respeito ao tempo gasto no carregamento do veículo que fará as entregas, foi obtido através de uma distribuição triangular. A distribuição triangular foi escolhida nesse caso porque os valores máximo, mínimo e a moda eram conhecidos. A triangulação também foi a distribuição escolhida para as variáveis T_z e D_z , que serão detalhadas na sequência, pela mesma razão. A equação utilizada para cálculo do T_p é a que segue:

$$T_p = \text{Triang} (X; Y; Z) \quad (2)$$

Sendo:

X - O tempo mínimo encontrado;

Y – Moda do tempo encontrado;
Z – O tempo máximo encontrado.

Da mesma forma o tempo entre clientes (T_z), que para a configuração tradicional representa o tempo gasto no deslocamento de um ponto de parada ao outro e na configuração que usa “caminhão + triciclo” significa o tempo gasto pelo veículo que faz as entregas do local de parada até o retorno ao mesmo local, também foi obtido a partir de uma distribuição triangular.

$$T_z = \text{Triang} (X; Y; Z) \quad (3)$$

Sendo:

X - O tempo mínimo encontrado;
Y – Moda do tempo encontrado;
Z – O tempo máximo encontrado.

Para obtenção da distância entre clientes (D_z), que para a configuração tradicional representa a distância percorrida no deslocamento de um ponto de parada ao outro e na configuração que usa “caminhão + triciclo” significa a distância percorrida pelo veículo que faz as entregas do local de parada até o retorno ao mesmo local, também foi utilizada uma distribuição triangular de dados.

$$D_z = \text{Triang} (X; Y; Z) \quad (4)$$

Sendo:

X – A distância mínima encontrada;
Y – A moda da distância encontrada;
Z – A distância máxima encontrada.

Distância Total (D_t) é calculada de forma diferente para as duas configurações. Para a configuração tradicional tem-se:

$$D_t = 2D_o + (N - 1)D_z \quad (5)$$

Já para a configuração que usa “caminhão + triciclo” tem-se:

$$Dtc = (4Do) + (DzN) \quad (6)$$

Sendo:

N – Número de paradas para atendimento de clientes na configuração tradicional ou número de ciclos de entrega que são feitos na configuração que utiliza o “caminhão + triciclo”.

O número de paradas (N) foi dado por uma distribuição normal, porque a probabilidade de ocorrência de valores acima e abaixo da média é a mesma, considerando os valores coletados em campo.

Também foi calculado o tempo de ciclo (Tc) para cada configuração:

Configuração tradicional:

$$Tc = 2To + ((N(Tp + Tz)) - Tz) \quad (7)$$

Configuração com “caminhão + triciclo”:

$$Tcc = (2To + N(Tz + Tp))Fc \quad (8)$$

Sendo:

Fc – Fator de correção referente as entregas realizadas com carrinho de mão antes da chegada e após a partida do veículo que utiliza o “caminhão + triciclo”.

Emissão de poluentes atmosféricos ou gás de efeito estufa (E) na configuração tradicional:

$$ET_{(x)} = FE_{(x,y)}Dt \quad (9)$$

Emissão de poluentes atmosféricos ou gás de efeito estufa (E) para configuração que usa “caminhão + triciclo”:

$$EC_{(x)} = (FE_{(x,y)}(2Do)) + (((DzN) + (2Do))FE_{(x,z)}) \quad (10)$$

Sendo:

ET(x) - Emissão do poluente ou gás X na configuração tradicional (T).

EC(x) - Emissão do poluente ou gás X na configuração “caminhão + triciclo” (C).

FE (x, y) - Fator de Emissão do poluente ou gás X pelo veículo Y

FE (x, z) - Fator de Emissão do poluente ou gás X pelo veículo Z

A emissão dos dois cenários por kg/km, a citar, configuração tradicional (T) e configuração com “caminhão + triciclo” (C) é dada por:

$$E(T \text{ ou } C)_{kgx/km} = E(T \text{ ou } C)_x / Dt \quad (11)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em quilogramas por quilometro é dada por:

$$Redução_{(kg/km)} = (EC_{kgx/km} - ET_{kgx/km}) / ET_{kgx/km} \quad (12)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em quilograma por ciclo é dada por:

$$Redução_{(ciclo)} = (EC_{x,y} - ET_{x,y}) / ET_{x,y} \quad (13)$$

3.4.2.3 – Análise dos aspectos de custos

Na estrutura de custos do transporte rodoviário de carga têm-se os custos fixos e custos variáveis. De acordo com Novaes (2001), custos variáveis são aqueles que variam em função de variáveis operacionais bem definidas, usualmente quilometragem rodada ou tempo de operação. São custos variáveis na operação do transporte de carga:

- Custo de combustível;

- Custo com lubrificantes (motor, caixa de câmbio e diferencial);
- Custo com pneus (câmara e protetores);
- Custo com peças e acessórios;
- Custo com lavagem e lubrificação de chassi e;
- Custo com serviços especializados de terceiros.

Todos os custos citados são custos operacionais que variam por quilometragem rodada. Além dos custos variáveis, o transporte de cargas ainda apresenta custos fixos que podem ser de capital ou operacionais. Ainda segundo Novaes (2001), custos fixos são aqueles que não variam de acordo com a produção, sendo fixos em uma unidade de medida, usualmente o tempo.

Os custos fixos de capital são:

- Custo de depreciação (veículo + implemento) e;
- Custo de remuneração de capital (veículo + implemento).

Os custos fixos operacionais são:

- Custo com salário, encargos e benefícios com motorista;
- Custo com salário, encargos e benefícios com ajudante (se houver);
- Custo com salário, encargos e benefícios com pessoal de oficina própria;
- Custo com licenciamento (IPVA + Vistoria);
- Custo com seguro do casco do veículo e;
- Custo com seguro de responsabilidade civil e facultativo.

De acordo com informações apresentadas por Pereira (2014), no Anuário 2013-2014 da NTC e logística, houve um aumento dos dois principais custos variáveis no transporte de carga fracionada. O custo com salário de funcionários, que representa 37,68% do custo total, teve um reajuste de 10% e o custo com consumo de combustível (que representa 7,10% do total dos custos de transporte nesse segmento) em 2013 sofreu um aumento de 10,25%. Ainda de acordo com Pereira (2014), dentre os custos fixos o custo de remuneração de capital se destaca. Ao investir capital em um veículo, deixa-se de distribuir lucros, além de se assumir sempre um risco ligado ao investimento e de se

deixar de investir em outro projeto. Sendo assim, devido à indisponibilidade de dados que possibilitassem uma análise de dados completa, realizou-se uma análise de custos considerando-se apenas o principal custo fixo, que é o custo de capital, e o segundo principal custo variável, que é o custo de combustível.

O custo de capital (CC) é dado pela fórmula:

$$CC = (Vp - Vr)FRC + Vrj \quad (14)$$

Onde:

CC - Custo de capital;

Vp - Valor de aquisição do veículo;

Vr - Valor de venda do veículo;

Vv - Vida útil do veículo;

FRC - Fator de Remuneração do Capital e;

j - Taxa de oportunidade.

Sendo o FRC é dado por:

$$FRC = \frac{j(1+j)^{Vv}}{(1+j)^{Vv} - 1} \quad (15)$$

Para o cálculo de consumo de combustível (Ccomb) utilizou-se a fórmula:

$$Ccomb = PcCo \quad (16)$$

Sendo:

Pc - Preço do combustível e;

Co - Consumo de combustível.

3.5 – Considerações finais e recomendações

Após a realização da análise dos dados, elaborou-se o capítulo de conclusões e recomendações. Neste capítulo sistematizou-se os resultados qualitativos e quantitativos, além de indicar as limitações dessa dissertação e sugerir ideias para elaboração de trabalhos futuros com a mesma temática.

Este capítulo apresentou de forma genérica os materiais e métodos empregados na elaboração dessa dissertação. Foram apresentados os equipamentos e a forma como a coleta foi realizada, foi citado um método que pode ser utilizado para simulação dos dados coletados em campo, bem como os parâmetros e cálculos utilizados para a simulação. A seguir será demonstrada a aplicação desses materiais e métodos no estudo de caso sobre o qual essa dissertação discute.

4- APLICAÇÃO – ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a aplicação dos materiais e métodos apresentados no capítulo anterior em um estudo de caso. Consideraram-se dois cenários de distribuição física de bebidas em área urbana: a distribuição utilizando a configuração tradicional, denominado de “caminhão”, onde este veículo realiza a distribuição em cada cliente, e o denominado alternativo, onde se utiliza o “caminhão + triciclo”.

4.1– Revisão bibliográfica

Conforme foi mencionado anteriormente a revisão bibliográfica realizada e que gerou o capítulo de Fundamentação Teórica considerou a dinâmica do transporte de carga em área urbana e a distribuição física em área urbana como norteadores da revisão. Apresentou-se, também, o uso do triciclo na distribuição física de produtos. Foram citados estudos e experiências sobre a utilização de triciclos e similares, tais como bicicletas e triciclos, em diferentes contextos e países. Na sequência, apresentou-se os aspectos ambientais relacionados à operação de transporte em área urbana.

4.2– Identificação do objeto de estudo e delimitação do objetivo

Como já mencionado anteriormente, devido à restrição de tráfego de caminhões implementada pela prefeitura do Rio de Janeiro em determinadas áreas da cidade e da dificuldade de acesso a clientes que moram em regiões como favelas, ou ruas com topografia muito acidentada, as empresas operadoras tiveram que buscar alternativas para manter a operação e realizar a distribuição de produtos sem perda do nível de serviço, determinado pela entrega de produtos dentro do prazo combinado com o cliente. Uma das empresas que buscou adaptar sua operação visando “driblar” as restrições e desafios para a distribuição em área urbana foi à empresa de bebidas, Coca-Cola.

A Coca-Cola optou por implementar o uso de motocicletas adaptadas no seu processo de distribuição de bebidas. As motocicletas utilizadas são adaptadas como triciclos e possuem uma carroceria do tipo baú com capacidade de transportar 250 kg. O

esquema da adaptação feita pela Coca-Cola, bem como as informações técnicas do veículo, podem ser vistos na Figura 6.

EQUIPAMENTO

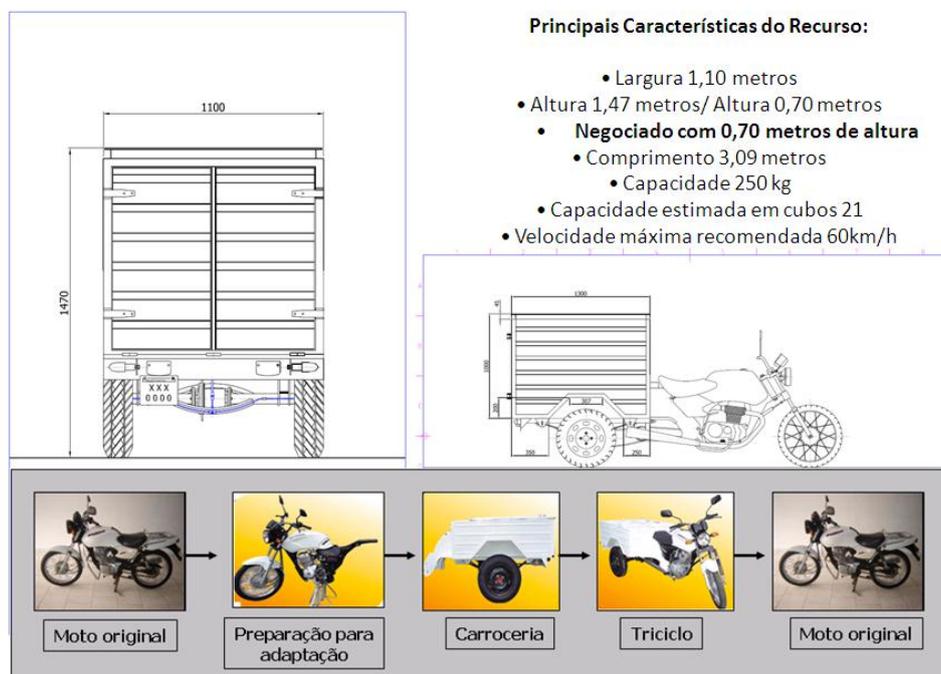


Figura 6 - Triciclos utilizados na distribuição de produtos da Coca-Cola (Fonte: Coca-Cola, 2014) ²

Conforme mencionado, a implementação de triciclos no processo de distribuição não contemplou todas as rotas. As rotas que passaram a operar com triciclos pertencem a uma parte do conjunto de rotas que são atendidas pelo Centro de Distribuição localizado no Bairro São Cristóvão no Rio de Janeiro.

4.2.1– O Centro de Distribuição de São Cristóvão

O Centro de Distribuição (CD) de São Cristóvão fica localizado no bairro de São Cristóvão, Zona Central da cidade do Rio de Janeiro. Sua localização é privilegiada, pois oferece fácil acesso a outras importantes regiões da cidade, tais como, Zona Sul, Zona Norte e Centro.

O CD de São Cristóvão realiza o total de 50 rotas e atende as regiões: Centro, Zona Sul e parte da Zona Norte (bairros: Tijuca, Maracanã e Vila Isabel). Dessas 50 rotas, 30 atendem a Zona Sul (bairros: Humaitá, Laranjeiras, Flamengo, Jardim Botânico,

² Informação fornecida por correio eletrônico por representante da empresa.

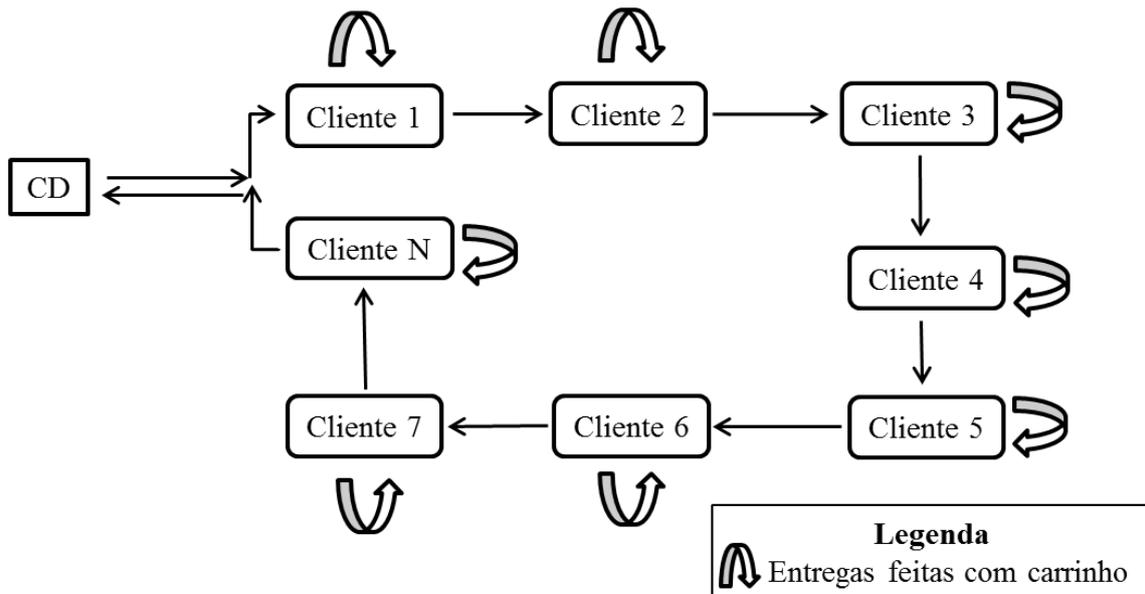


Figura 8 – Esquema operacional rota “Caminhão”.

O caminhão sai do CD e dirige-se para o primeiro cliente. A rota percorrida até o primeiro cliente é escolhida considerando que há restrições de circulação em algumas regiões e ruas da cidade. O caminhão então procura um local para estacionar próximo ao cliente. Os ajudantes iniciam a retirada dos produtos do caminhão para organizá-los no carrinho de mão (conforme mostra a Figura 9). Mais de um cliente pode ser atendido a cada parada caso eles estejam próximos. Um exemplo de entrega pode ser visto na Figura 10.



Figura 9 – Detalhe do processo de descarga em rota que utiliza apenas caminhão.



Figura 10 – Detalhe da distribuição de produtos realizada com carrinho de mão.

Conforme pode ser visto na Figura 11 o sistema de operação das rotas que utilizam “caminhão + triciclo” possui uma organização diferenciada da operação utilizando somente caminhão.

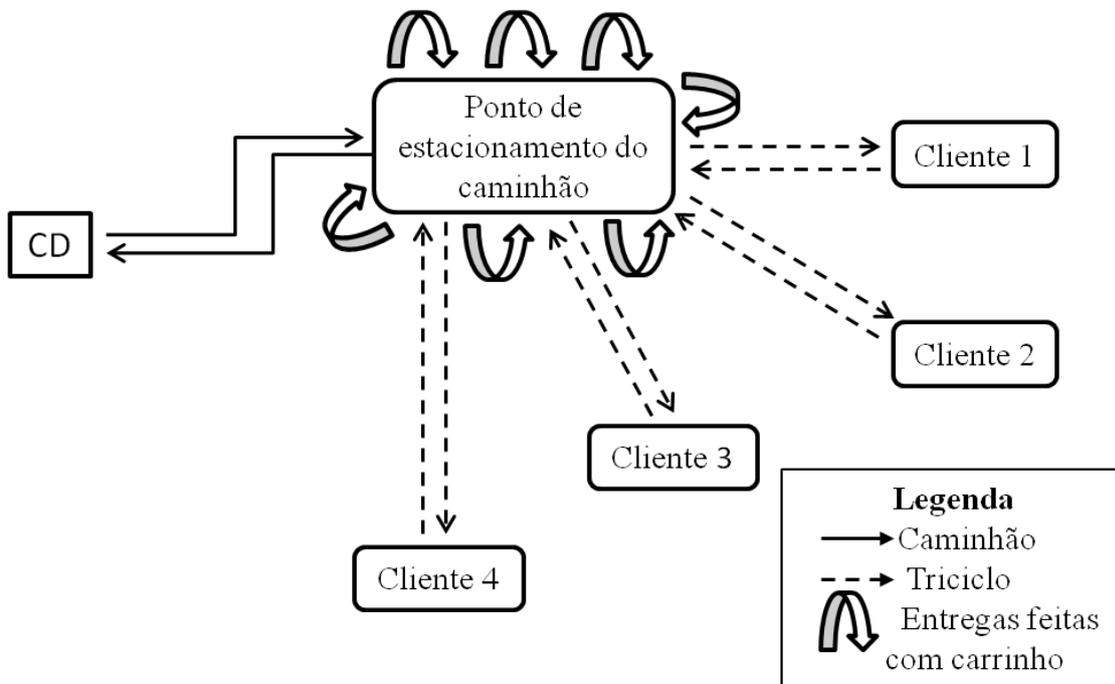


Figura 11 - Esquema operacional rota “caminhão + triciclo”

Conforme ilustrado no esquema, o caminhão sai do CD e vai para a região onde será realizada a distribuição. Não existe local de estacionamento pré-determinado, embora os motoristas já conheçam alguns pontos de carga e descarga regulamentados na região. Dessa forma, o caminhão realiza o percurso até o local que será atendido utilizando uma rota que é previamente estabelecida. Essa rota não é necessariamente o caminho mais curto até o ponto onde a transferência da mercadoria do caminhão para o triciclo ocorrerá. O critério para a escolha das vias de acesso é feito considerando as proibições de circulação de veículos de carga regulamentadas pelo governo. Após o estacionamento, tanto o motorista quanto os ajudantes iniciam o processo de organização e distribuição das mercadorias enquanto aguardam a chegada do triciclo para a utilização do “caminhão + triciclo” (conforme pode ser visto nas Figuras 12 e 13).



Figura 12 – Detalhe da organização da mercadoria na calçada.

A organização da mercadoria na calçada e a entrega para os clientes são realizadas tanto pelos ajudantes quanto pelo motorista do caminhão. Após a chegada do triciclo inicia-se o carregamento que é feito tanto pelo motociclista quanto pelo motorista do caminhão e seus ajudantes. O detalhe do triciclo já parcialmente carregado pode ser visto na Figura 13.



Figura 13- Detalhe do triciclo durante o carregamento.

Enquanto o triciclo é carregado, os demais funcionários continuam a entregar a mercadoria utilizando os carrinhos de mão. A ordem em que os clientes são atendidos não é pré-estabelecida. A escolha é feita considerando-se a ordem que melhor convier aos funcionários que realizam as entregas.

4.3 – A coleta de dados das rotas

Conforme mencionado anteriormente, os triciclos são utilizados prioritariamente nas rotas que operam na Zona Sul. A Zona Sul do Rio de Janeiro é caracterizada por ser constituída por bairros de classe média e alta e por abrigar grande quantidade de estabelecimentos comerciais. Por situar as mais importantes praias e pontos turísticos da cidade, essa região da cidade também apresenta grande circulação de turistas. Esses fatores contribuíram para que medidas de restrição de tráfego de veículos de carga fossem aplicadas em determinadas localidades dessa região. Na Figura 14 é possível ver o detalhe dos bairros que constituem a Zona Sul do Rio de Janeiro.

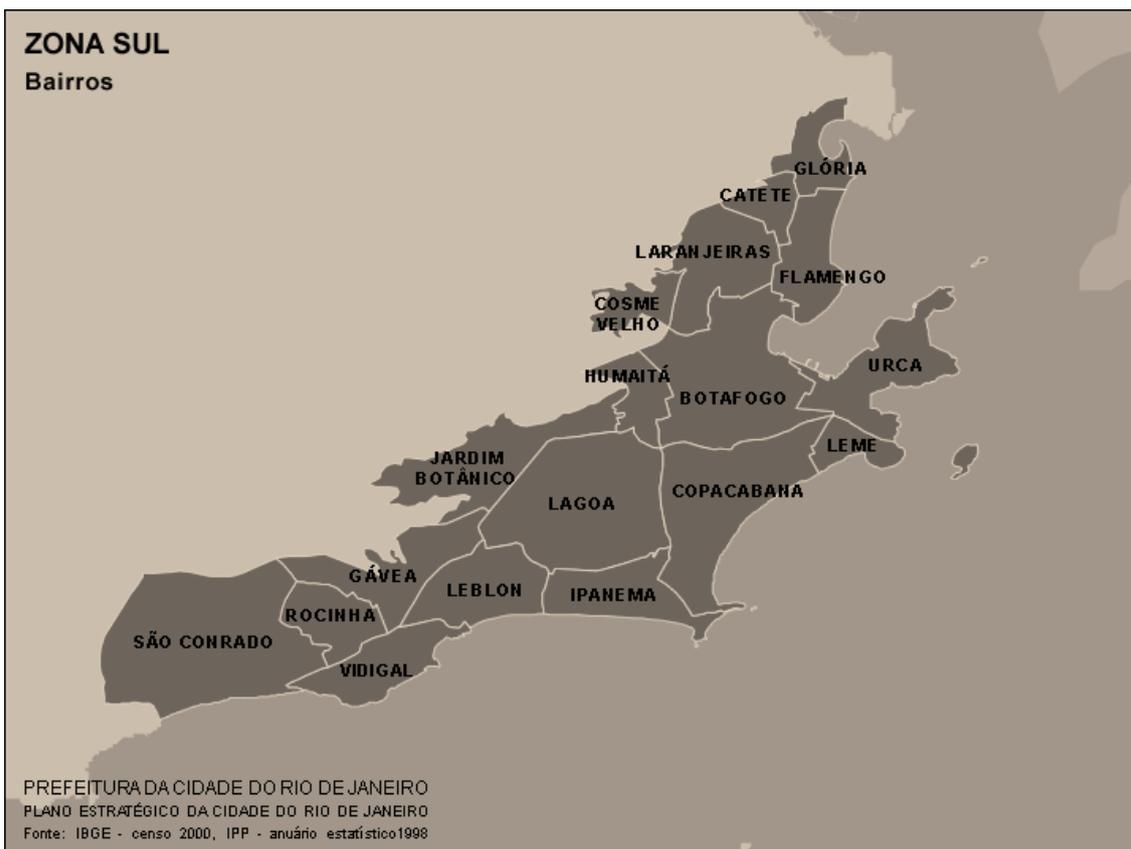


Figura 14 - Zona Sul do Rio de Janeiro. Fonte: IBGE (2000).

As rotas que foram disponibilizadas para a realização dessa análise foram aquelas que atendem ao bairro Copacabana e ao bairro Jardim Botânico. A indicação

dessas rotas foi feita pela empresa transportadora. A coleta de dados se deu seguindo as etapas que estão exemplificadas na Figura 15.

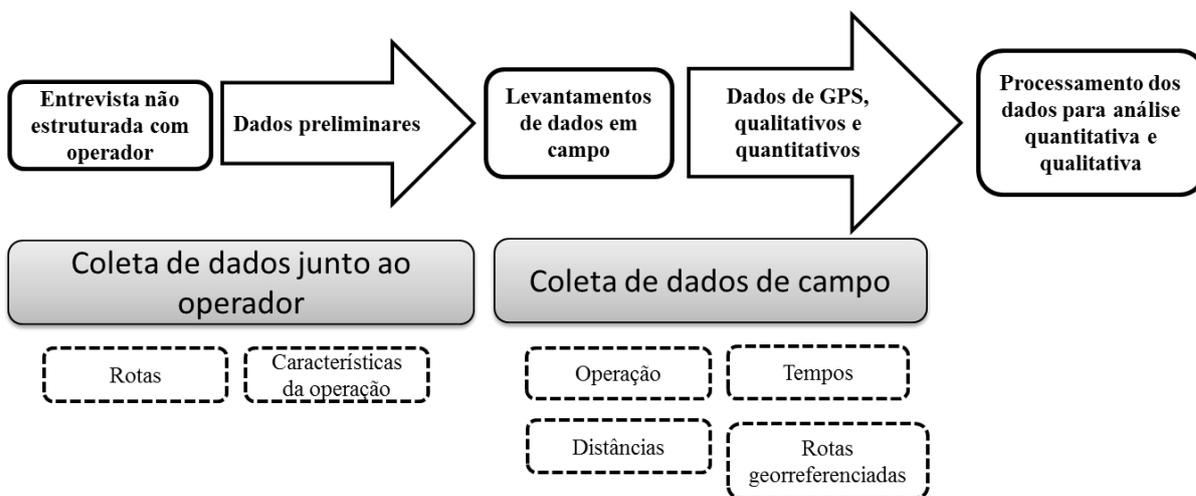


Figura 15 – Etapas da coleta de dados de campo.

Inicialmente foi realizada uma entrevista não estruturada com o gerente de logística da Coca-Cola. Foram fornecidos dados das rotas, a citar, quais rotas operam com caminhão e quais operam com “caminhão +triciclo”. O gerente de logística da Coca-Cola informou que o triciclo foi incorporado a operação em função das restrições de circulação impostas pela prefeitura, conforme detalhado no capítulo introdutório dessa dissertação. Assim, o gerente de logística da Coca-Cola forneceu contato com os gerentes de operação da empresa transportadora.

Foi realizado um contato via email com os gerentes de logística da empresa transportadora. Considerando as informações fornecidas, optou-se pela realização de coleta de dados de campo com o uso de aparelho de GPS. No dia agendado foram alocados quatro pesquisadores. A chegada ao CD se deu por volta das 6 da manhã. O gerente operacional informou sobre a possibilidade de serem realizadas coletas com pesquisador embarcado em duas rotas que utilizam apenas o caminhão, a citar, rota Centro e rota Jardim Botânico e duas rotas que utilizam caminhão e triciclo, ambas em Copacabana.

Essa escolha se deu em função da disponibilidade oferecida pela Coca-Cola para acompanhamento das rotas pelo pesquisador embarcado e também pelo quantitativo de pesquisadores disponíveis e pela complexidade da coleta (acompanhar a rota embarcado, durante um dia inteiro). A coleta de dados de campo foi feita utilizando-se

aparelhos de GPS. Optou-se por fazer a coleta com dois aparelhos de GPS com o intuito de não somente tornar possível a comparação dos dados e do desempenho de ambos, mas também de se verificarem as características de cada um deles, tornando possível uma escolha mais embasada em pesquisas futuras. Como já mencionado anteriormente, os GPS utilizados foram o *Etrex Vista Hcx* e o GPS *Nuvi 2405*, ambos da fabricante *Garmin®*. Cada pesquisador saiu do CD por volta das 7 horas da manhã munido de prancheta com quadro resumo para coleta de dados (ver Anexo A – Quadro resumo da coleta de dados), e de dois aparelhos de GPS, sendo, um veicular e um portátil, a citar, GPS *Nuvi 2405* e GPS *Etrex Vista Hcx*.

O quadro resumo (ver Anexo A - Quadro resumo da coleta de dados) para a coleta de campo, buscava coletar informações, tais como: horário de saída do CD, tempo gasto do CD até o ponto de parada, horário de chegada do triciclo, tempo de carregamento do triciclo, tempo gasto para entrega de produtos (saída do triciclo até o retorno do mesmo), distância percorrida para entrega de produtos (conferida no hodômetro a cada saída e chegada da triciclo), número de clientes atendidos e taxa de ocupação do triciclo. Para rotas que operam somente com caminhão, as informações que constavam no quadro eram: horário de saída do CD, tempo gasto até o primeiro cliente, tempo de carga e descarga no cliente 1, tempo gasto do cliente 1 para o cliente 2 e assim por diante. Em ambos os casos as distâncias percorridas pelo caminhão foram coletadas a partir dos dados dos GPS.

Os pesquisadores que acompanharam a rota que utiliza somente o caminhão coletaram dados de tempo até o primeiro cliente, tempo da parada em cada ponto, tempo de deslocamento entre um cliente e outro, além de marcarem alguns pontos utilizando o aparelho de GPS *Etrex Vista Hcx* para posterior conferência de posição e tempos. Já os pesquisadores que acompanharam a rota do “caminhão + triciclo” seguiram embarcados até o ponto de estacionamento do caminhão. Desembarcados, permaneceram ao lado do caminhão coletando informações de tempo de descarga, montagem dos pedidos, horário de chegada do triciclo, tempo gasto no carregamento do triciclo, além de anotarem sempre na saída e chegada do triciclo o número do hodômetro para posterior cálculo de distância percorrida. O pesquisador também marcou pontos no GPS *Etrex Vista Hcx* a cada chegada ou saída do triciclo para posteriormente conferir os tempos. O GPS *Etrex Vista Hcx* permaneceu durante todo o

tempo com o pesquisador enquanto que o GPS *Nuvi* foi colocado dentro do triciclo para coletar dados da rota percorrida pelo triciclo durante a entrega.

Dessas quatro rotas, duas foram selecionadas por terem características operacionais similares (distância total percorrida, tempo total da rota, tamanho do caminhão utilizado, atendimento a mesma região, a citar, Zona Sul) e por possuírem dados mais consistentes e completos (para essas duas rotas os pesquisadores conseguiram coletar todos os dados de tempos de operação e os dados coletados pelos GPS também se mostraram sem falhas como trechos com falta de sinal).

A partir dos dados coletados pelos aparelhos de GPS foi possível elaborar o mapa da Figura 16.

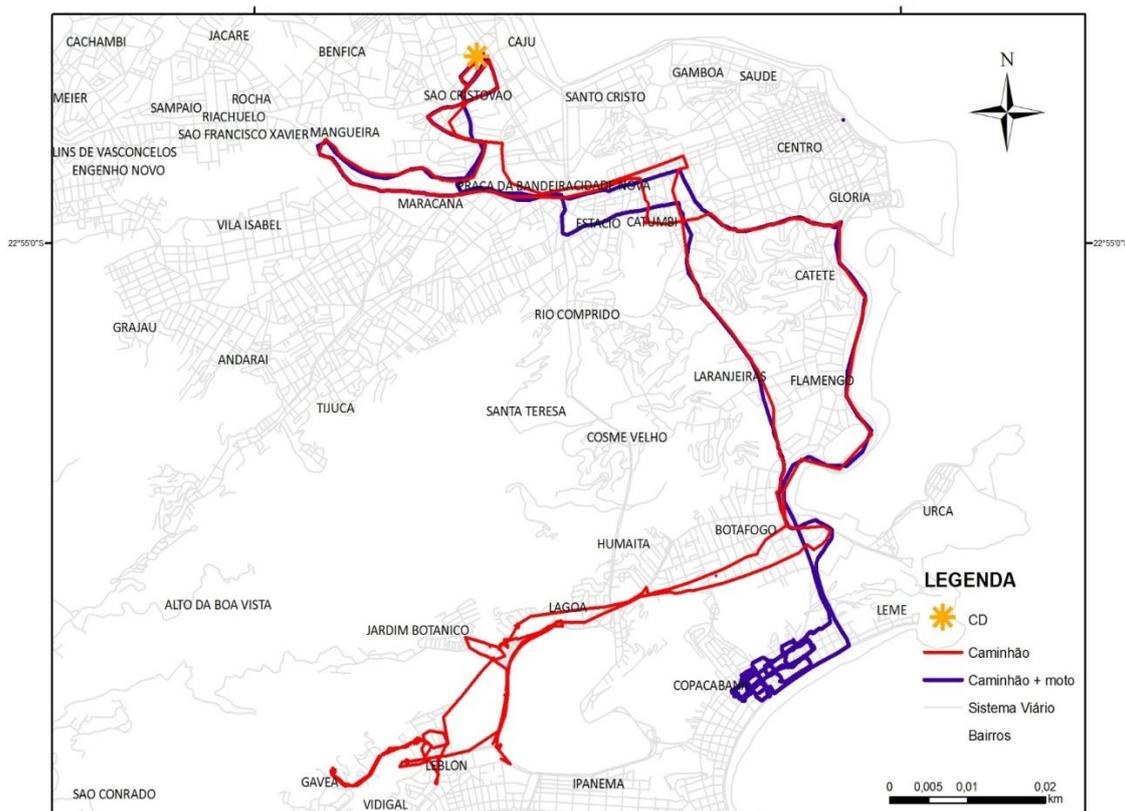


Figura 16 - Mapa das rotas de entregas utilizando “caminhão” e “caminhão + triciclo”. Fonte: Base Cartográfica Digital do IPP, 2013³. Organização: Aline Leite, 2013.

Além do mapa mostrado na Figura 17, também se optou por utilizar o Google Earth para gerar um mapa das rotas. O mapa obtido a partir da utilização do Google Earth pode ser visto na Figura 17.

³ Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/>. Acesso em 18 de junho de 2013.

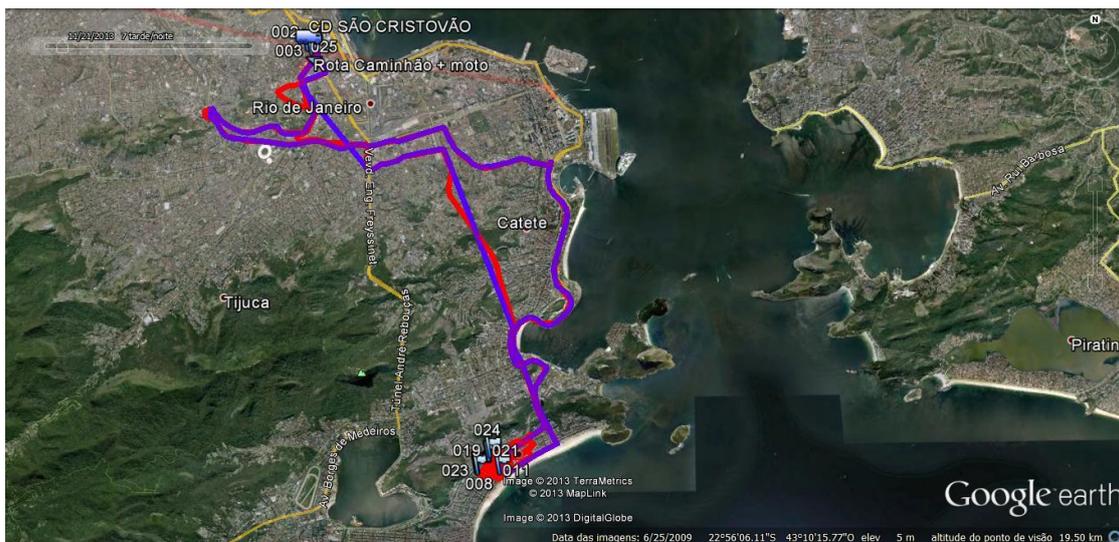


Figura 17 - Mapa das rotas através do Google Earth. Fonte: Google Earth. Organização: Amanda Fernandes, 2013.

Como pode-se verificar, cada um dos *softwares* utilizados possui algumas vantagens e desvantagens, sendo a necessidade de quem analisa os dados o fator mais relevante para a escolha entre um ou outro. Para esta dissertação os *softwares* citados foram utilizados apenas para demonstração das rotas e criação de mapas para facilitar a visualização. Os dados dos aparelhos de GPS serviram para comparação e confirmação dos dados coletados em campo. Sendo assim, o TrackMaker foi utilizado para converter os arquivos para o formato *shp*, para que os dados pudessem ser trabalhados no ArcGis. O ArcGis foi utilizado para criar um mapa georreferenciado e conferir as rotas, o BaseCamp foi utilizado para visualização dos horários de saída e chegada e dos horários dos pontos de parada, o Google Earth foi utilizado para visualizar as rotas considerando-se o relevo e a estrutura da cidade a partir de mapas 3D, disponíveis *online*. Sendo assim, o uso dos aparelhos de GPS e das informações georreferenciadas, no caso dessa dissertação, serviu para conferir e confirmar os dados coletados manualmente em campo, além de possibilitar a criação de mapas ilustrativos das rotas.

Utilizando os dados coletados em campo como parâmetro, foram criados cenários a partir da simulação utilizando o Método Monte Carlo. A simulação foi feita seguindo as etapas apresentadas a seguir.

Para as rotas que operam com “caminhão + triciclo”, o pesquisador seguiu embarcado até o ponto de estacionamento do caminhão para a transferência da

mercadoria para o triciclo. Nesse trecho o pesquisador, além de anotar os dados contidos no quadro-resumo, permanecia com os aparelhos de GPS ligados para que os mesmos coletassem os dados da rota. Após o estacionamento do veículo, o pesquisador iniciava a coleta de dados desembarcado ao lado do caminhão e acompanhava a operação, conforme pode ser visto na Figura 18.

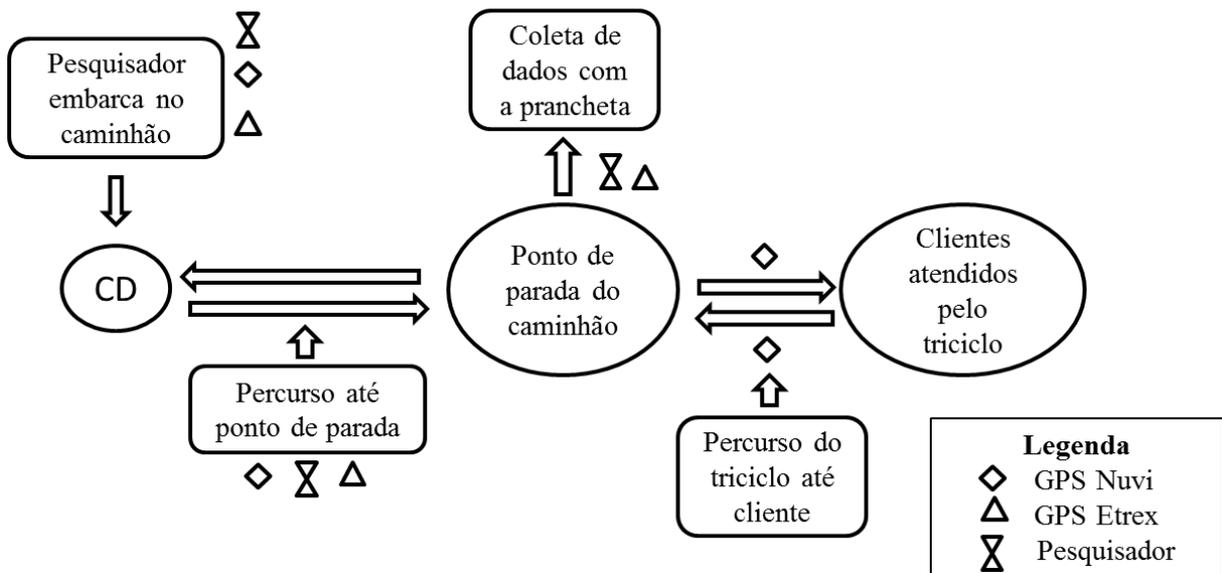


Figura 18 - Procedimento de coleta de dados em campo - “caminhão + triciclo”

Nas rotas que operam com “caminhão + triciclo” o procedimento foi o seguinte: os aparelhos de GPS foram embarcados juntamente com o pesquisador no caminhão no percurso do CD até o local de parada. Após o estacionamento, o pesquisador permaneceu próximo ao caminhão coletando as informações da operação. O aparelho de GPS *Etrex Vista Hcx* foi utilizado para marcar pontos, tais como, chegada do triciclo, saída do triciclo, dentre outros. Nesse sentido, o objetivo era apenas o de conferir os tempos coletados pelo GPS e os tempos anotados pelo pesquisador. A cada vez que o triciclo estacionava para fazer o carregamento era solicitado ao piloto que colocasse o aparelho de GPS *Nuvi* dentro do baú do triciclo para que o mesmo capturasse os dados do percurso realizado pelo triciclo na entrega.

Para as rotas que utilizam somente caminhão, os dois aparelhos de GPS foram embarcados e permaneceram com o pesquisador durante todo o trajeto. O aparelho de GPS *Nuvi* apenas permaneceu ligado, com intuito de captar o trajeto realizado, enquanto

que o aparelho de GPS da linha *Etrex Vista Hcx* não apenas coletava dados da rota como era utilizado para demarcação de pontos pelo pesquisador. Desta forma, por exemplo, quando o caminhão estacionava para realizar uma entrega, o pesquisador marcava um ponto no aparelho de GPS e anotava o horário, motivo da parada e quanto tempo o caminhão permaneceu parado para a realização daquela entrega, conforme pode ser visto na Figura 19.

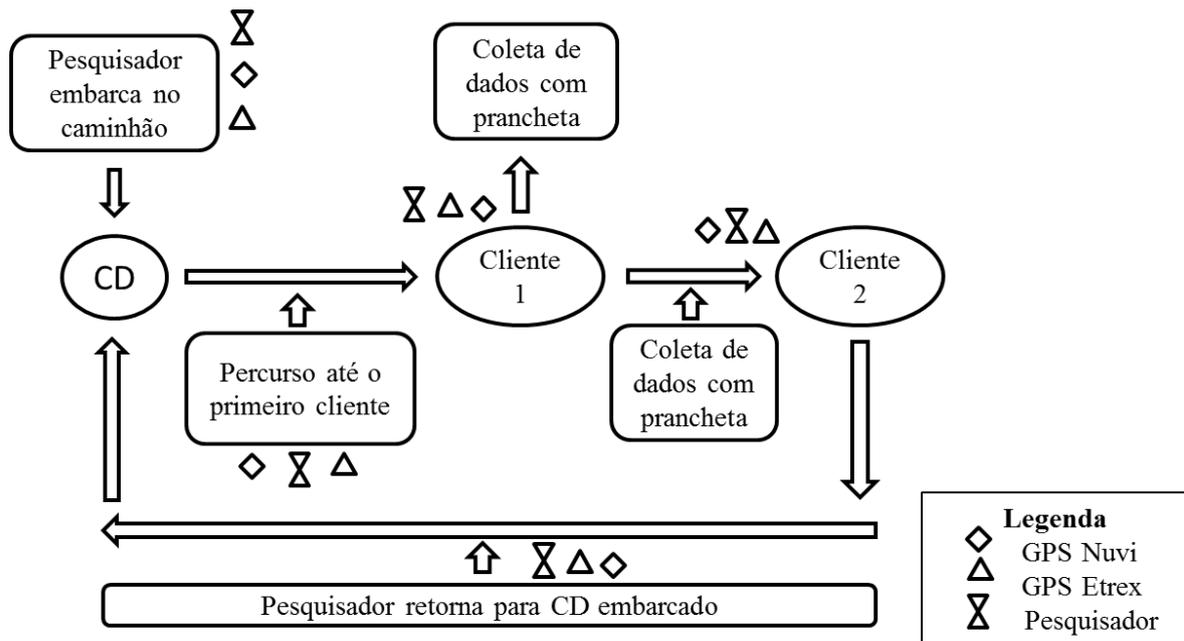


Figura 19 - Procedimento de coleta de dados em campo – “caminhão”.

A Tabela 7 apresenta de forma sistematizada o quadro resumo dos dados coletados e gerados a partir da simulação, conforme coleta em campo e dados gerados por meio das equações apresentadas no item 3.4.2.2 – Análises dos aspectos ambientais.

Tabela 7– Características operacionais das rotas: “caminhão” versus “caminhão+ triciclo”.

Cenário	Notação	Caminhão		Caminhão + triciclo	
		Dados coletados	Resultado da simulação	Dados Coletados	Resultado da simulação
Tempo gasto até o primeiro cliente ou até a parada do caminhão para transferência da mercadoria para o triciclo.	To	1h 06 min.	1h 03min	1h 00 min.	0h 58 min.
Distância até o primeiro cliente ou até a parada do caminhão para transferência da mercadoria para o triciclo.	Do	23 km	22 km	27 km	26 km
Tempo médio de carga e descarga. Parada no cliente (caminhão). Transferindo os produtos do caminhão para o triciclo (caminhão + triciclo).	Tp	50 min.	55 min.	13 min.	14 min.
Tempo médio entre clientes (caminhão). Tempo total gasto da saída do ponto de estacionamento até o retorno ao mesmo ponto (caminhão + triciclo).	Tz	11 min.	14 min.	49 min.	54 min.
Distância média entre clientes (caminhão). Distância percorrida da saída do ponto de estacionamento até o retorno ao mesmo ponto (caminhão + triciclo).	Dz	2,21 km	2,20 km	3,80 km	4,91 km
Número de paradas.	N	9	9	5	5
Tempo total (da saída até o retorno ao CD).	Tc/Tcc	11h e 36 min.	11h58 min.	11h e 8 min.	10h 14 min.
Distância média total percorrida.	Dt/Dtc	59,7 km	65 km	127 km	129 km
Consumo médio de combustível por rota.	Co	3,2 km/l	-	Caminhão: 3,2 km/l Triciclo: 19 km/l	-
Tipo de caminhão utilizado.	Tca	Caminhão simples, 2 eixos, PBT, equipado com carroceria para entrega de bebidas para 8 estrados.			
Média de colaboradores alocados na entrega.	C	Motorista + 2 ajudantes		Motorista + 2 ajudantes + triciclo	
Taxa de avarias mais freqüente no transporte.	Ta	0,5% a 1%	-	0,5% a 1%	-
Periodicidade com que as rotas são feitas.	P	Diariamente			
Ocupação média.	M	90%		Caminhão 90% Triciclo: 100%	

A simulação foi realizada considerando um horizonte de 100 meses. Esse horizonte de simulação foi obtido através do cálculo de confiabilidade dos resultados da variável de controle, conforme Law e Kelton (2000). Para tanto foi utilizada a expressão:

$$N = \left(\frac{100 Z S}{r \bar{x}} \right)^2 \quad (17)$$

Onde:

N: Número de replicações necessárias;

Z: Valor da variável normal padronizada para o nível de confiança desejado;

S: Desvio padrão da variável;

r: Precisão desejada da variável e;

x: Valor médio da variável.

Escolheu-se a distância média até o primeiro cliente (23 km) como variável de controle. O desvio padrão para essa variável é de 2,831 (ver Tabela 9 no Capítulo 6). A precisão em relação à variável foi de 0,5 km, que é a distância máxima que uma pessoa pode fazer uma entrega a pé, e a confiabilidade de 97,5%. Logo:

$$N_{2,5\%} = \left(\frac{100 * 2,24 * 2,831}{2,831 * 23} \right)^2 = 94,96 \cong 100 \text{ replicações} \quad (18)$$

Optou-se por tanto realizar 100 replicações, garantindo-se assim uma confiabilidade de 97,5%.

4.4 – Considerações finais

Este capítulo apresentou a aplicação dos materiais e métodos no estudo de caso. Foi explicado como a coleta de dados foi realizada, qual a área de estudo, a contextualização do caso e todos os detalhes referentes ao mesmo. Foi apresentado um panorama da coleta em campo e um resumo dos dados obtidos. A análise dos dados quantitativos e qualitativos será apresentada no capítulo seguinte.

5– APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir da aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 3 aos cenários apresentados no Capítulo 4, este capítulo apresenta tanto a análise qualitativa quanto quantitativa dos resultados obtidos na aplicação apresentada anteriormente.

5.1 – Análise qualitativa

Durante o acompanhamento das rotas realizado pelos pesquisadores, foi possível obter uma série de informações empíricas que auxiliaram na compreensão das características da operação, bem como dos desafios enfrentados. Apesar de seu caráter fundamental ao entendimento da complexidade da operacionalização das rotas, esses dados não são quantificáveis, o que torna necessária a sua descrição conforme relato do pesquisador. Por considerar as informações não quantificáveis e provenientes das experiências e observações do pesquisador em campo, optou-se por se apresentar esses dados em forma de um item. A seguir os dados obtidos por meio desses relatos serão apresentados.

Durante o período de acompanhamento das rotas foi possível verificar os problemas associados à prática da distribuição física e alguns aspectos que poderiam ser modificados de forma a melhorar a operação, levando-se em conta as restrições e desafios existentes. A Tabela 8 apresenta um resumo dos problemas observados, seus impactos na operação e ainda apresenta sugestões de possíveis medidas para mitigar esses problemas, com potencial de melhorar a operação.

Tabela 8 – Quadro resumo dos problemas observados, seus impactos e sugestões de mitigação.

Problema observado	Impactos	Sugestão de mitigação
Falta de planejamento na disposição da mercadoria dentro do baú do caminhão.	Perda de tempo para montar os pedidos por entrega.	Organizar a mercadoria no momento de carregamento do caminhão de forma a tornar a montagem do pedido para entrega mais rápida.
Falta de planejamento da ordem de atendimento dos clientes.	Falta de agilidade durante a divisão e entrega dos pedidos.	Planejar a ordem de atendimento dos clientes.
Falta de planejamento das rotas como uma rede considerando todas as rotas do CD.	Sobreposição de rotas.	Planejar as rotas considerando o conjunto de clientes de forma a evitar sobreposições desnecessárias.
Diferença entre o regime de trabalho do motorista e de seus ajudantes e o regime de trabalho do motociclista.	Horários de início e término das jornadas de trabalho diferentes. Rivalidade entre os trabalhadores.	Sincronização dos horários de chegada e saída de todos os funcionários. Planejamento que facilite e estimule o trabalho em equipe.
Limitação de tempo total de jornada diária de trabalho e demanda total de entregas diárias fixa.	Inexistência de horário de almoço e paradas para lanche e descanso.	O planejamento das rotas, a arrumação da mercadoria no caminhão e a ordem de atendimento dos clientes poderiam acarretar em redução do tempo total gasto nas entregas.
Restrições quanto ao tráfego em determinadas vias.	Aumento significativo do tempo até o primeiro cliente.	Negociar com a Prefeitura a passagem por determinadas vias em determinados horários poderia reduzir o tempo de viagem e, logo, a jornada de trabalho.
Inexistência de planejamento de local de estacionamento.	Dificuldade de estacionar e perda de tempo procurando ponto de parada.	Negociar com a prefeitura a maior fiscalização das áreas de estacionamento de carga e descarga.
Falta de espaço adequado para manuseio de carga.	Preparação e separação da carga feitas na calçada, atrapalhando a circulação de pedestres.	Organizar as cargas no caminhão de acordo com a ordem de atendimento do cliente, tornando menor a utilização da calçada.
Utilização de carrinhos para transporte manual.	Alto desgaste dos funcionários. Risco de lesões e de danos a carga.	Investimento em tecnologia que facilite a retirada da mercadoria do caminhão e seu transporte.

Fonte: Elaborado pela autora.

Como pode ser visto na Tabela 8, a falta de planejamento na disposição da mercadoria dentro da carroceria do caminhão foi um dos problemas observados durante o acompanhamento da operação. Isso acontece porque não há planejamento no momento de carregamento do caminhão. A mercadoria não é posicionada no interior da carroceria do caminhão de forma a tornar mais ágil a montagem dos pedidos durante a distribuição. Desta forma, tanto na rota que utiliza “caminhão + triciclo” quanto na rota que utiliza apenas o caminhão, foi observado significativo esforço e gasto de tempo para montar alguns pedidos. Isso acontecia porque ao montar o pedido, os trabalhadores não sabiam onde determinado produto se encontrava e acabavam por descarregar grande parte da carga do caminhão com intuito de encontrar esse produto. Isso acarretava um significativo gasto de tempo desnecessário para montagem dos pedidos e, no caso da rota que opera apenas com caminhão, significativo desperdício de tempo para descarregar o caminhão a procura da mercadoria e recarregá-lo para prosseguir a viagem para o próximo cliente. Acredita-se que se houvesse um planejamento para carregamento do caminhão de forma a facilitar o acesso às mercadorias de acordo com a sequência de distribuição poder-se-ia ter um ganho significativo de tempo e redução do esforço empenhado.

Outra característica da operação que poderia ser otimizada diz respeito ao planejamento da ordem de atendimento dos clientes, no caso da operação que envolve “caminhão + triciclo”. Foi possível observar que os pedidos são montados sem que haja uma ordem de atendimento específica. Acredita-se que caso houvesse um planejamento mais minucioso da ordem de atendimento dos clientes algumas viagens poderiam ser poupadas e os gastos de tempo e energia dos trabalhadores poderiam ser reduzidos.

Um dos principais problemas que se observou foi a falta de planejamento das rotas como uma rede considerando toda a atividade de entrega do CD de São Cristóvão. Isso ocorreu tanto na operação com “caminhão + triciclo”, quanto na operação utilizando apenas “caminhão”. Na rota utilizando “caminhão + triciclo”, a sobreposição acontecia por falta de uma delimitação das áreas de atuação de cada rota. Dessa forma, foi possível observar, por exemplo, um triciclo que acompanhava um caminhão fazendo entregas em um estabelecimento situado em frente ao local de parada de outro caminhão (outra rota). Ou seja, um triciclo foi deslocado para atendimento a um cliente que poderia ter sido atendido apenas com uso de carrinho de mão por outro caminhão. Já

com as rotas que utilizam “caminhão”, a sobreposição acontece de maneira semelhante. Algumas vezes observou-se que havia mais de um caminhão fazendo entregas na mesma rua, por exemplo. Sendo, assim o planejamento das rotas considerando o conjunto de clientes poderia ser utilizado de forma a evitar sobreposições desnecessárias.

Um grande complicador observado na operação com “caminhão + triciclo” está na diferenciação na forma de contratação do motorista do caminhão e seus ajudantes, e do motociclista que pilota o triciclo. Enquanto o motorista do caminhão e os ajudantes são funcionários regulares, os motociclistas são terceirizados. Devido a isso, os motociclistas têm horários de trabalho diferenciados, uma vez que não recebem hora extra. Isso gera alguma “rivalidade” entre eles, pois o motorista do caminhão e os ajudantes chegam ao local de estacionamento por volta das 07h30min e o motociclista só chega ao local para iniciar o trabalho entre uma e duas horas depois. Além disso, a forma como ocorre o pagamento é diferenciada, o que gera um conflito de interesses. Enquanto o motociclista recebe por mercadoria entregue, os demais recebem salário fixo por mês, mas têm que terminar a entrega do dia. Isso faz com que os ajudantes e o motorista do caminhão tenham que fazer as entregas caso o motociclista não as faça. Isso faz com que eles, eventualmente, tenham que fazer longos percursos com carrinho de mão para algumas entregas, ou mesmo mudar o local de estacionamento do caminhão para possibilitar o atendimento a alguns clientes mais distantes.

Devido à limitação de tempo total de jornada diária de trabalho e demanda total de entregas diárias fixa, é corriqueiro que os funcionários não façam pausa para almoço ou lanche por receio de que o tempo não seja suficiente para o atendimento de todos os clientes. Acredita-se que, com a otimização da operação por meio do planejamento das rotas, do planejamento da mercadoria dentro dos caminhões, do planejamento da ordem de atendimento aos clientes e da sincronização do trabalho do triciclo em atendimento ao caminhão, seja possível reduzir o tempo empenhado na distribuição, reduzindo-se assim a carga horária diária e possibilitando a realização das pausas para alimentação e descanso.

As restrições quanto ao tráfego em determinadas vias fazem com que haja um aumento significativo do tempo de deslocamento do CD até o ponto de estacionamento

ou primeiro cliente. Se o caminhão fosse autorizado a circular em algumas vias em horário anterior ao horário de pico, haveria uma redução significativa do tempo total da jornada de trabalho.

Outro problema encontrado é a inexistência de planejamento quanto ao ponto de estacionamento. O motorista do caminhão perde um tempo significativo (que na coleta de campo foi de cerca de 30 min.) procurando local para estacionar. Uma possível solução para esse problema seria o mapeamento dos pontos de estacionamento e planejamento prévio, inclusive com possibilidade de escalonar os horários com outras empresas que também façam entregas nessa área.

A falta de espaço adequado para manuseio da carga acarreta um grande transtorno para a população. Para a montagem dos pedidos nos carrinhos, ou mesmo para o abastecimento do triciclo, a mercadoria é toda colocada na calçada, impedindo a passagem de pedestres. Se houvesse um planejamento da ordem de atendimento dos clientes e consequente organização da mercadoria considerando essa questão, a necessidade de se organizar a carga na calçada seria minimizada e, por conseguinte, o impacto na circulação.

Finalmente, a utilização de carrinhos para transporte manual é um ponto que pode ser melhorado trazendo impactos significativos em vários aspectos da operação. O manuseio da carga e a montagem da mesma nos carrinhos para entrega implicam em grande esforço e desgaste físico dos funcionários. Foi comum verificar que, após a montagem da mercadoria no carrinho, são necessários de dois a três funcionários para colocá-lo na posição de transporte (inclinado). Isso faz com que haja risco de lesões, além de danos à carga. Nesse sentido, o investimento em tecnologia que facilite a retirada da carga de dentro do caminhão e sua montagem para entrega, além de investimento em um carrinho motorizado, por exemplo, reduziriam o esforço e desgaste dos funcionários, além de reduzir o tempo total da operação.

5.2 – Análise quantitativa

Para este estudo a análise quantitativa se deu por meio da simulação probabilística a partir da aplicação do Método de Monte Carlo para a criação de cenários.

A distribuição de probabilidade pode ser obtida através da consulta de dados históricos ou estimativas. No caso desse estudo, essa distribuição se deu através de dados fornecidos pela companhia, bem como pelos dados coletados em campo. A partir desses dados foi possível estabelecer os parâmetros para a geração dos dados de entrada. Na Tabela 9 apresentam-se os dados de entrada.

Tabela 9 – Dados de entrada (*input*) para Método Monte Carlo

Variáveis	Notação	Distribuição probabilística	
		Caminhão	Caminhão + triciclo
Tempo percurso do CD até o primeiro cliente/ até o ponto de estacionamento para transferência da mercadoria para o triciclo (min.).	To	Normal N~(1,05;0,071)	Normal N~(0,97;0,471)
Distância do CD até o primeiro cliente/até o ponto de estacionamento para transferência da mercadoria para o triciclo (km).	Do	Normal N~(23,00;2,831)	Normal N~(27,00;2,832)
Tempo de parada para atendimento do cliente/ carregamento do triciclo (min.).	Tp	Triangular Tria~(0,217;0,833;1,900)	Triangular Tria~(0,0833;0,217;0,400)
Tempo médio entre clientes/Tempo gasto pelo triciclo para realizar um ciclo de entrega (min.).	Tz	Triangular Tria~(0,050;0,183;0,517)	Triangular Tria~(0,633;0,817;1,233)
Distância média entre clientes/Distância média percorrida pelo triciclo para realizar um ciclo de entrega (km).	Dz	Triangular Tria~(0,070;2,213;4,000)	Triangular Tria~(1,000;3,800;11,000)
Número de paradas.	N	Normal N~(9,00;1,00)	Normal N~(5,00;1,00)

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dessas informações foram gerados os dados de saída ou *outputs* para cada tipo de poluente atmosférico e gás de efeito estufa analisado. Os poluentes analisados, conforme citado no Capítulo 2, que trata da revisão bibliográfica, foram: Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrogênio (NO_x), Hidrocarboneto não Metano (NMHC) e Material Particulado (MP) e o gás Dióxido de Carbono (CO₂). Devido à falta de informações sobre a emissão de Metano (CH₄) para veículos do ciclo diesel, optou-se por não considerá-lo nesse estudo.

5.2.1 Análise comparativa da emissão de CO₂

A primeira emissão analisada foi a de Dióxido de Carbono. A simulação mostrou que a média de emissão de CO₂ em quilogramas por dia (kg CO₂/dia) para a rota que utiliza “caminhão” foi de 53,3 kg por dia de operação. Já para a rota que utiliza “caminhão + triciclo” essa média foi de 53,4 kg por dia. A frequência de emissão para cada um dos cenários pode ser vista na Figura 20.

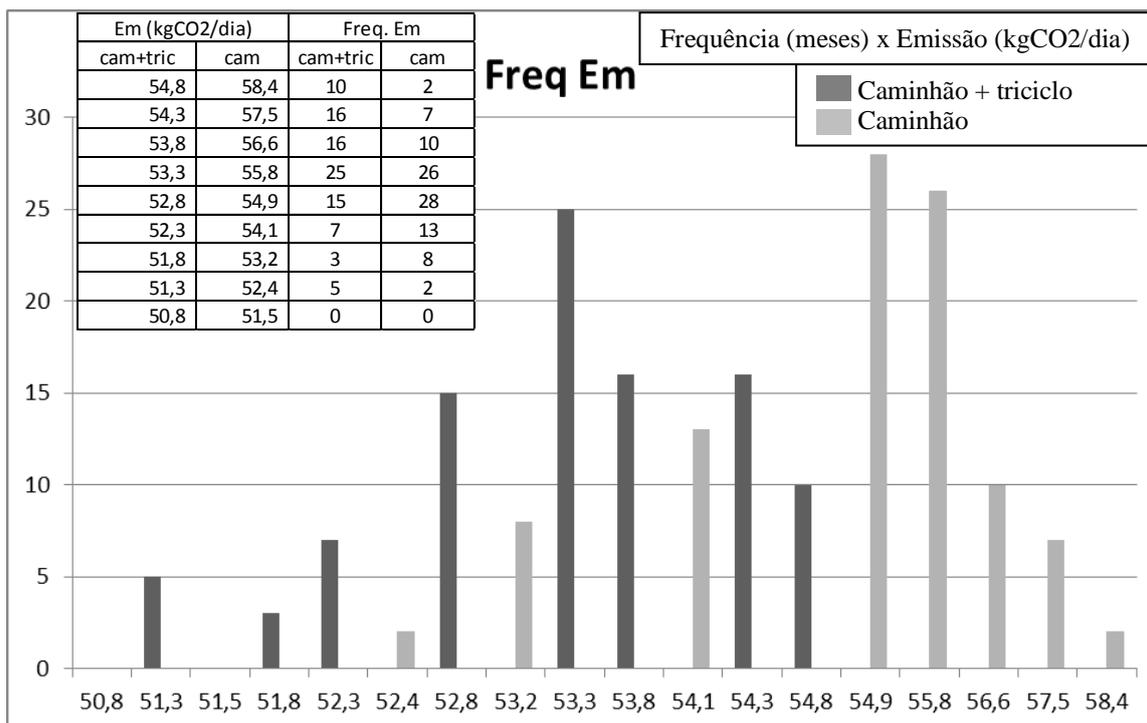


Figura 20 – Distribuição de frequência de emissão de CO₂.

Como pode ser visto na Figura 20, os valores mais frequentes de emissão para “caminhão + triciclo” se concentraram em cerca de 52,8 e 54,8 quilogramas de CO₂ por dia de operação. Já para a rota que opera apenas com “caminhão” os valores de emissão concentram-se entre 54,9 e 55,6 quilogramas de CO₂ por dia de operação.

Vê-se que apesar de existirem valores de emissão do “caminhão” que são inferiores ou similares aos valores de emissão de “caminhão + triciclo”, é possível notar que a frequência de valores acima de 54,9 para emissão do “caminhão” é significativa e que não há ocorrências desses valores de emissão para a configuração que utiliza “caminhão + triciclo”. Ou seja, a configuração que utiliza “caminhão” emite uma quantidade maior de CO₂ com significativa frequência. A distribuição dos valores de emissões ao longo dos meses pode ser vista na Figura 21. Pode-se observar na Figura 21

que apesar de terem valores similares de emissão ao longo dos meses, existem pontos onde há uma maior emissão de CO₂ pela configuração que utiliza “caminhão” que não chegam a ser atingidos pela configuração “caminhão + triciclo”.

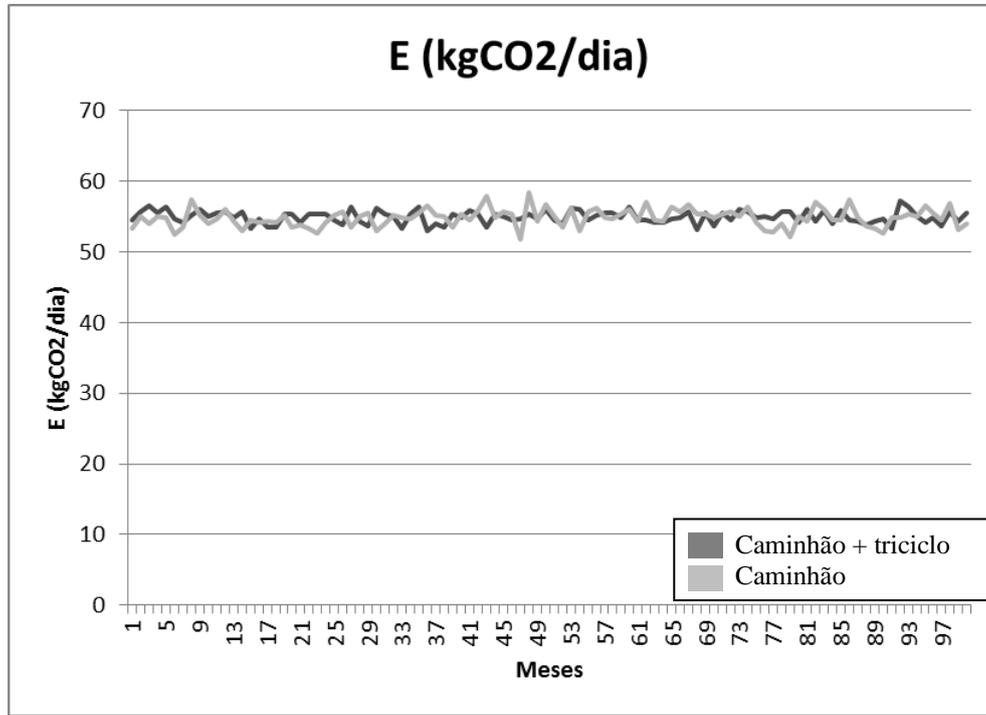


Figura 21 - Distribuição de frequência mensal de emissão de CO₂.

Nota-se que ao longo dos meses a operação com caminhão produz maiores quantidades de CO₂. A Figura 22 mostra a distribuição dos valores de emissão versus distância total percorrida obtidos na simulação.

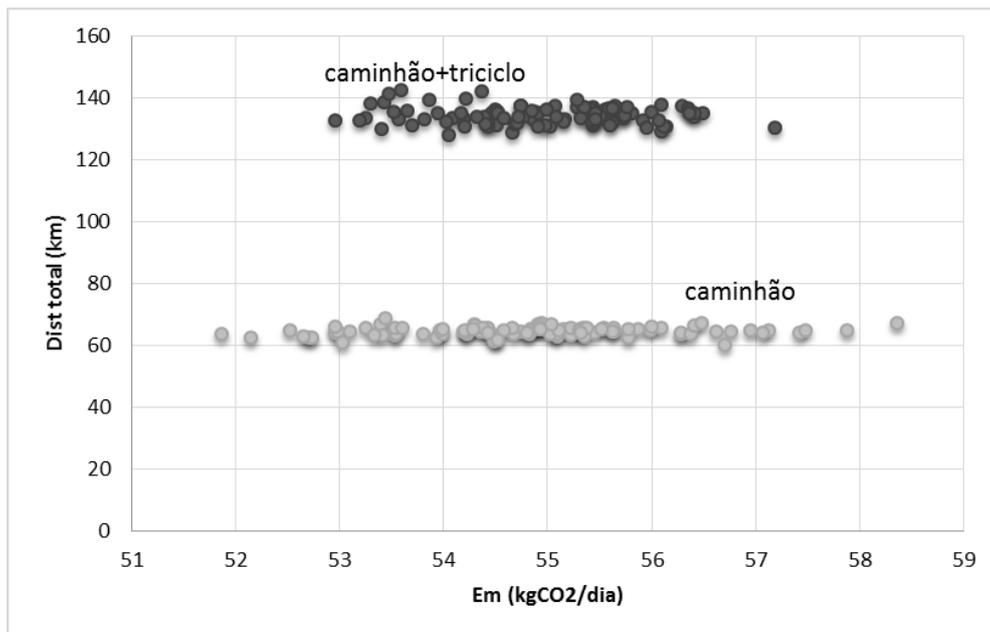


Figura 22 – Distância total versus Emissão de CO₂.

Como é possível notar na Figura 22, a emissão de CO₂ nos dois cenários difere de acordo com a distância total percorrida. O caminhão, apesar de percorrer uma distância menor, produz uma quantidade similar de CO₂ quando comparado ao “caminhão + triciclo”. Na Figura 23 podem-se ver esses valores acumulados. Nota-se que quando se compara a emissão acumulada dos dois cenários, a diferença entre elas fica evidenciada. O “caminhão” percorre uma distância menor emitindo quantidade maior de CO₂.

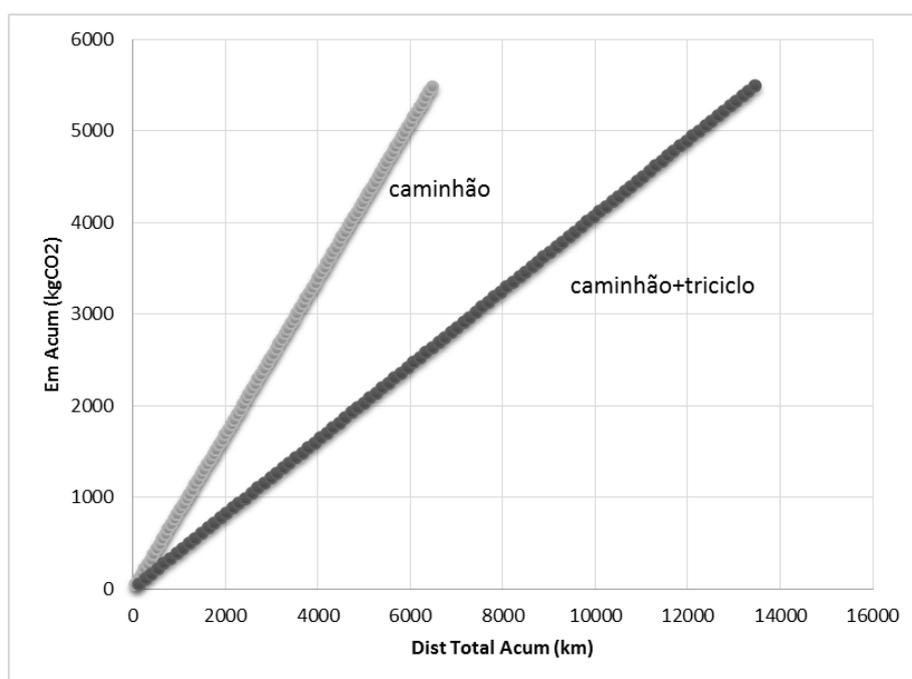


Figura 23 - Emissão de CO₂ acumulada [kg] versus Distância total acumulada [km].

Em relação ao tempo de ciclo, o desempenho da configuração “caminhão + triciclo” também se mostrou mais eficiente no que tange a emissão de CO₂. O “caminhão + triciclo” tem tempos de ciclo similares aos do “caminhão”, mas, apesar disso, emite menor quantidade de CO₂, como pode ser visto na Figura 24.

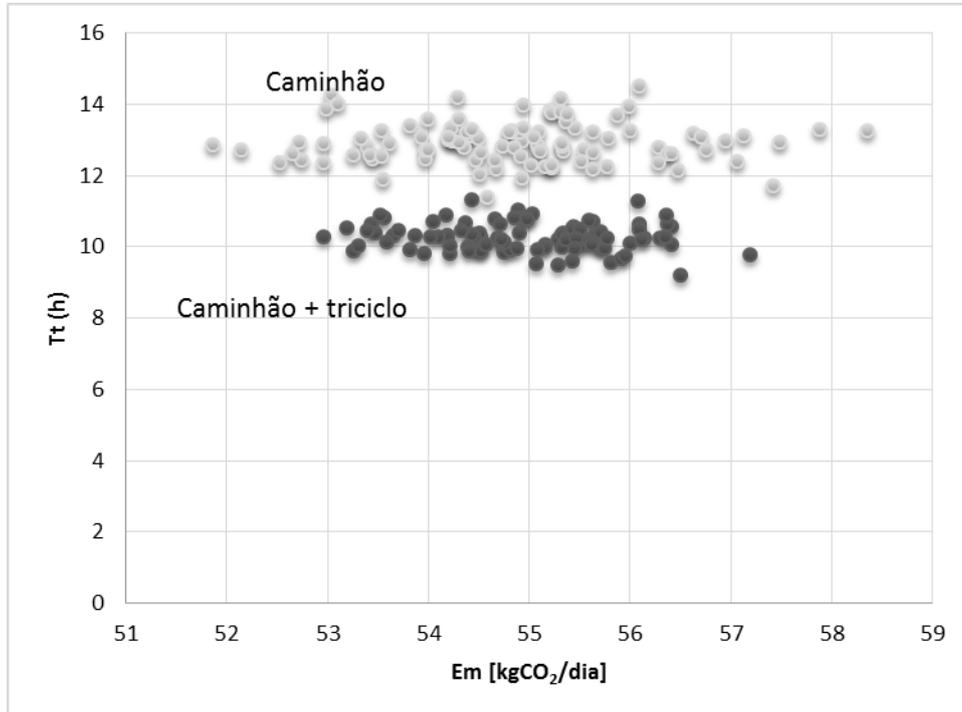


Figura 24 – Tempo de ciclo versus emissão de CO₂.

A emissão (kg) dos dois cenários por dia é dada por:

Para o “caminhão”:

$$ET_{CO_2,Cam} = 0,85 * 65 = 55,25 \text{ kgCO}_2/\text{ciclo} \quad (19)$$

Para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{CO_2,Cam+tric} = (0,85 * 52,00) + (0,11 * 76,55) = 52,62 \text{ kgCO}_2/\text{ciclo} \quad (20)$$

A emissão (kg/km) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para “caminhão”:

$$ET_{kg/km} = \frac{55,25}{65,00} = 0,85 \frac{kgCO_2}{km} \quad (21)$$

E para “caminhão + triciclo”:

$$ET_{kg/km} = \frac{52,62}{128,55} = 0,41 \frac{kgCO_2}{km} \quad (22)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/km é dada por:

$$Redução = \frac{(0,41 - 0,85)}{0,85} = - 52\% \quad (23)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/ciclo é dada por:

$$Redução = \frac{(52,62 - 55,25)}{55,25} = - 5\% \quad (24)$$

Considerando-se as médias de emissão para cada uma das configurações foi possível obter um valor de diferença de 52% e 5% entre a emissão resultante da operação com “caminhão” e da operação com “caminhão + triciclo”. Isso significa que a operação utilizando “caminhão + triciclo” emite 52% menos quilogramas de CO₂ por quilometro e menos 5% quilogramas de CO₂ por ciclo do que a operação que utiliza somente o “caminhão”.

5.2.2– Análise comparativa da emissão de CO

Do ponto de vista da emissão de Monóxido de Carbono (CO), foi possível observar que a média de emissão em quilos por dia (kgCO/dia) para a rota que utiliza apenas “caminhão” foi de 0,072 kg/ por dia. Já para a rota que utiliza “caminhão + triciclo” essa média foi de 0,118 kg/por dia. A frequência de emissão para cada um dos cenários pode ser vista nas Figuras 25.

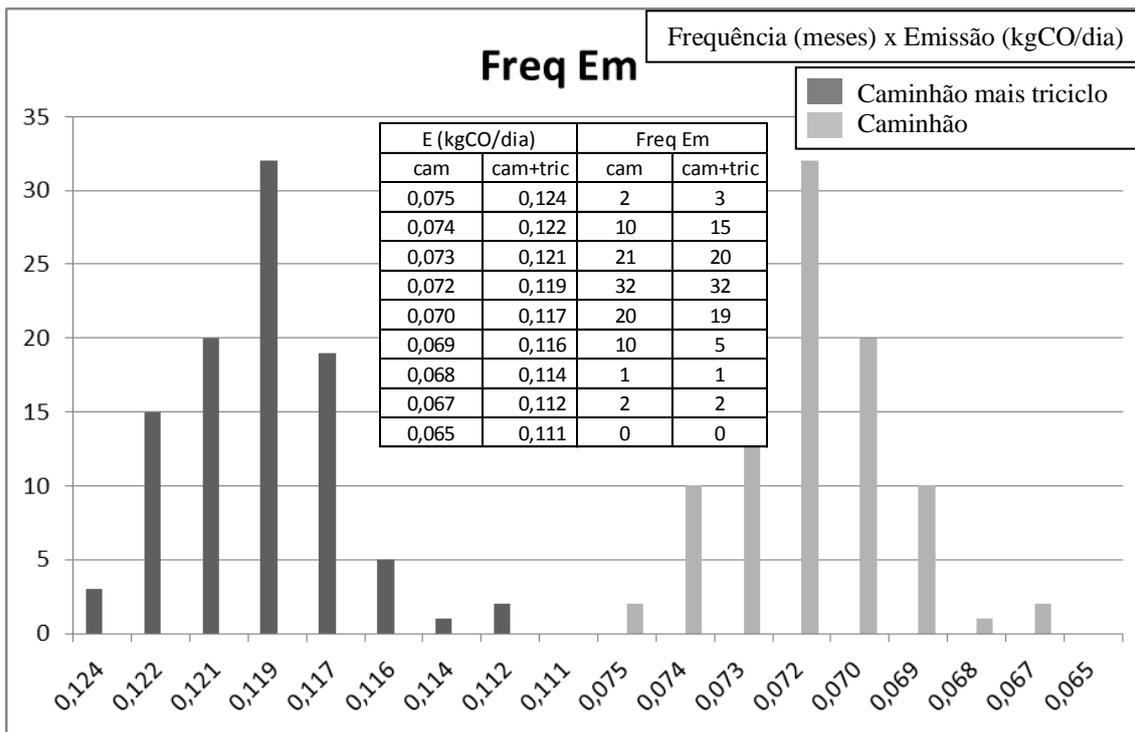


Figura 25 – Distribuição de frequência de emissão de CO.

Como pode ser visto na Figura 25, os valores mais frequentes de emissão se concentraram entre 0,069 e 0,074 quilogramas de CO por dia para a configuração que utiliza “caminhão” e entre 0,116 e 0,122 quilogramas de CO por dia, para a operação com “caminhão + triciclo”.

Pode-se perceber que existe uma diferença entre a emissão de “caminhão” e de “caminhão + triciclo”. Percebe-se que nem a emissão mais alta de “caminhão” chega a ser igual ou maior que a menor emissão da configuração que usa “caminhão + triciclo”.

A distribuição dos valores de emissões ao longo dos meses pode ser vista na Figura 26. Percebe-se que ao longo dos meses em nenhum momento os valores de emissão das duas configurações são similares ou aproximados como acontece com o CO₂. Como mencionado anteriormente, o combustível que mais contribui para a emissão de CO é a gasolina, logo, esse resultado se justifica pelo uso do triciclo na configuração que utiliza “caminhão + triciclo”.

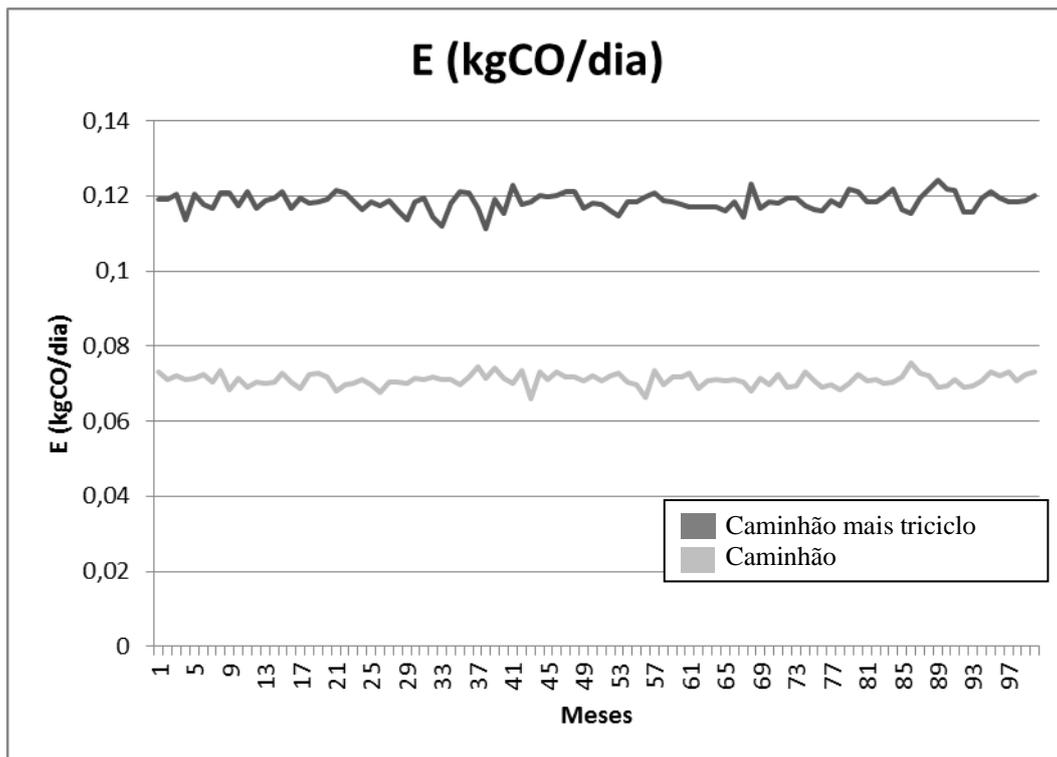


Figura 26 - Distribuição de frequência mensal de emissão de CO.

A Figura 27 mostra a distribuição dos valores de emissão versus distância total percorrida obtidos na simulação.

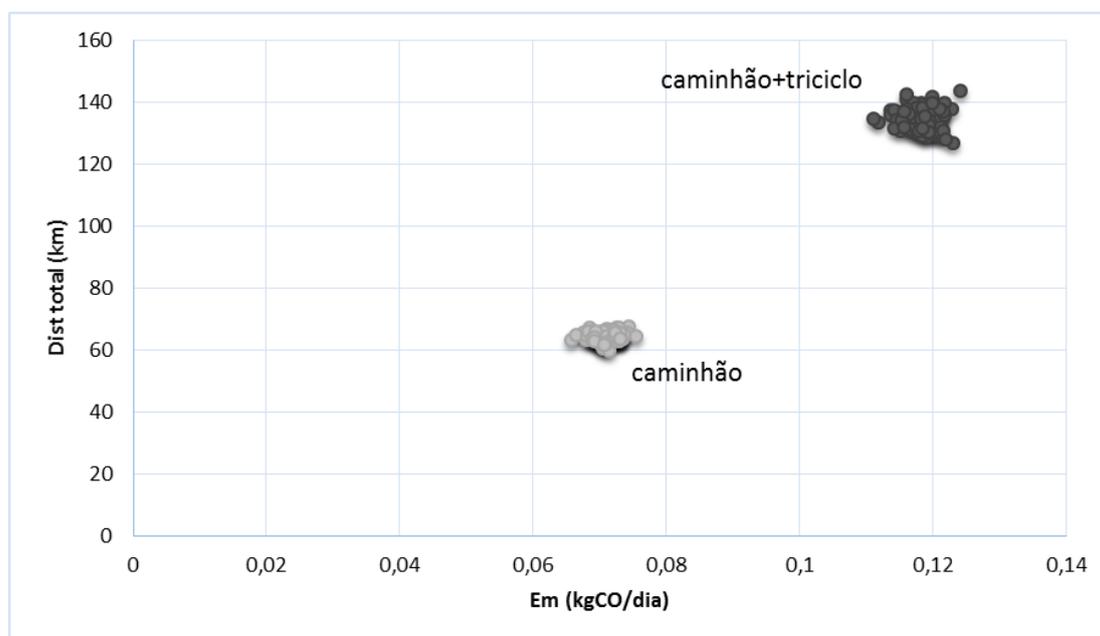


Figura 27 – Distância total versus Emissão de CO.

Como é possível notar na Figura 27, a emissão de CO nos dois cenários difere significativamente de acordo com a distância total percorrida. Na configuração que utiliza “caminhão + triciclo” a distância total percorrida é maior, e conseqüentemente, a emissão de CO, entretanto, quando observamos a figura que apresenta os valores de emissão acumulados, é possível notar que o desempenho da configuração que utiliza “caminhão + triciclo” apresenta melhor desempenho. Nesse caso, apesar de parecer que emite mais, o que estamos avaliando é o gradiente de aumento da emissão que correlaciona-se com a distância, que no “caminhão” é maior, ou seja, emite mais percorrendo uma distância menor. Na Figura 28 pode-se ver esses valores acumulados.

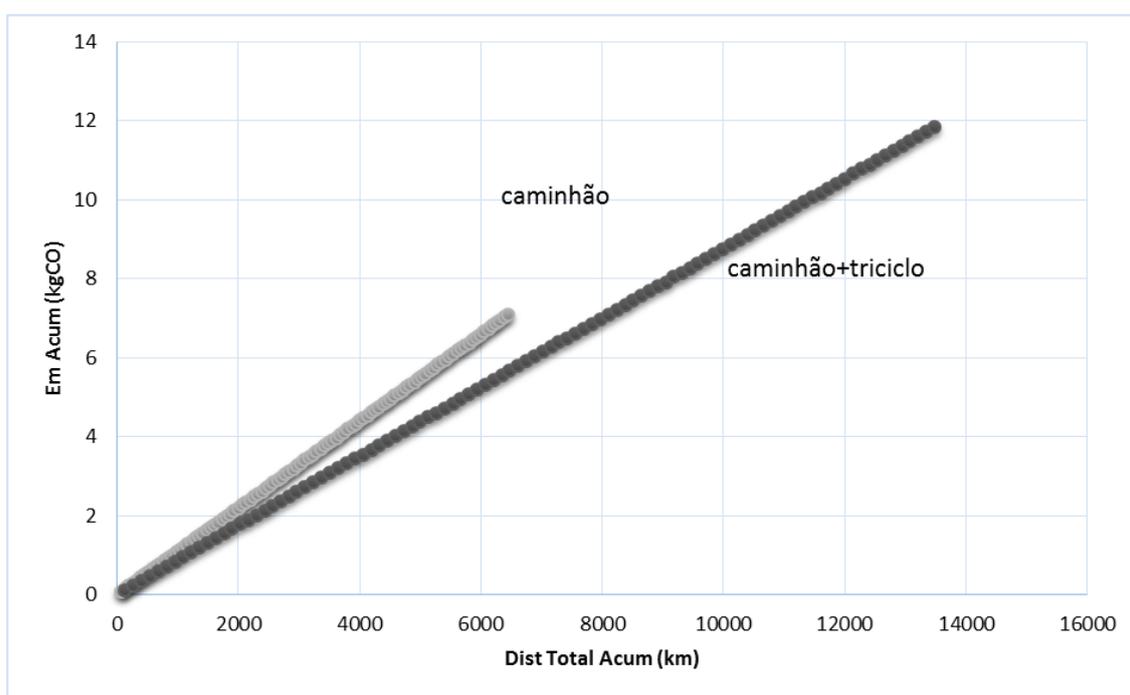


Figura 28 - Emissão de CO acumulada [kg] versus distância total acumulada [km].

Em relação ao tempo de ciclo, o desempenho da configuração “caminhão” também se mostrou mais eficiente no que tange a emissão de CO, como pode ser visto na Figura 29. Apesar de terem tempos de ciclo similares a configuração que utiliza “caminhão + triciclo” emite maior quantidade de CO.

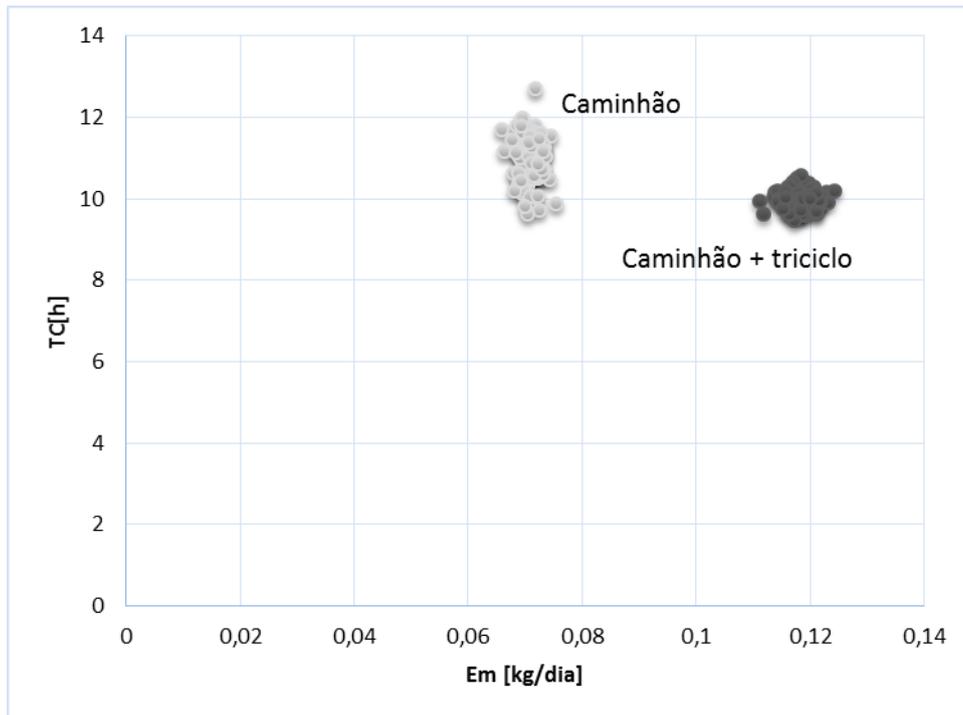


Figura 29 – Tempo de ciclo versus emissão de CO.

A emissão (kg) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para o caminhão:

$$ET_{CO,Cam} = 0,00111 * 65 = 0,0715 \text{ kgCO/ciclo} \quad (25)$$

Para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{CO,Cam+tric} = (0,00111 * 52,00) + (0,00073 * 76,55) = 0,113 \text{ kgCO/ciclo} \quad (26)$$

A emissão (kg/km) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para “caminhão”:

$$ET_{kg/km} = \frac{0,0715}{65,00} = 0,0011 \frac{\text{kgCO}}{\text{km}} \quad (27)$$

E para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{kg/km} = \frac{0,113}{128,55} = 0,0009 \frac{kgCO}{km} \quad (28)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro é dada por:

$$Redução = \frac{(0,0009 - 0,00111)}{0,00111} = -19\% \quad (29)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/ciclo é dada por:

$$Redução = \frac{(0,113 - 0,0715)}{0,0715} = +58\% \quad (30)$$

Considerando-se as médias de emissão para cada uma das configurações foi possível obter um valor de diferença de -19% e +58% entre a emissão resultante da operação com “caminhão” e operação com “caminhão + triciclo”. Isso significa que a operação utilizando “caminhão + triciclo” emite 19% menos quilogramas de CO por quilometro do que a operação que utiliza somente o “caminhão”. Entretanto, quando se compara a emissão por ciclo, percebe-se que a operação que utiliza “caminhão + triciclo” é menos eficiente emitindo 58% mais CO do que quando somente o “caminhão” é utilizado.

5.2.3 – Análise comparativa da emissão de NO_x

Em relação às emissões de Óxido de Nitrogênio (NO_x), foi possível observar que a média de emissão em quilos por dia (kgNO_x/dia) para a rota que utiliza apenas caminhão foi de 0,167 kg por dia de operação. Já para a rota que utiliza “caminhão + triciclo” essa média foi de 0,133kg por dia. A frequência de emissão para cada um dos cenários pode ser vista na Figuras 30.

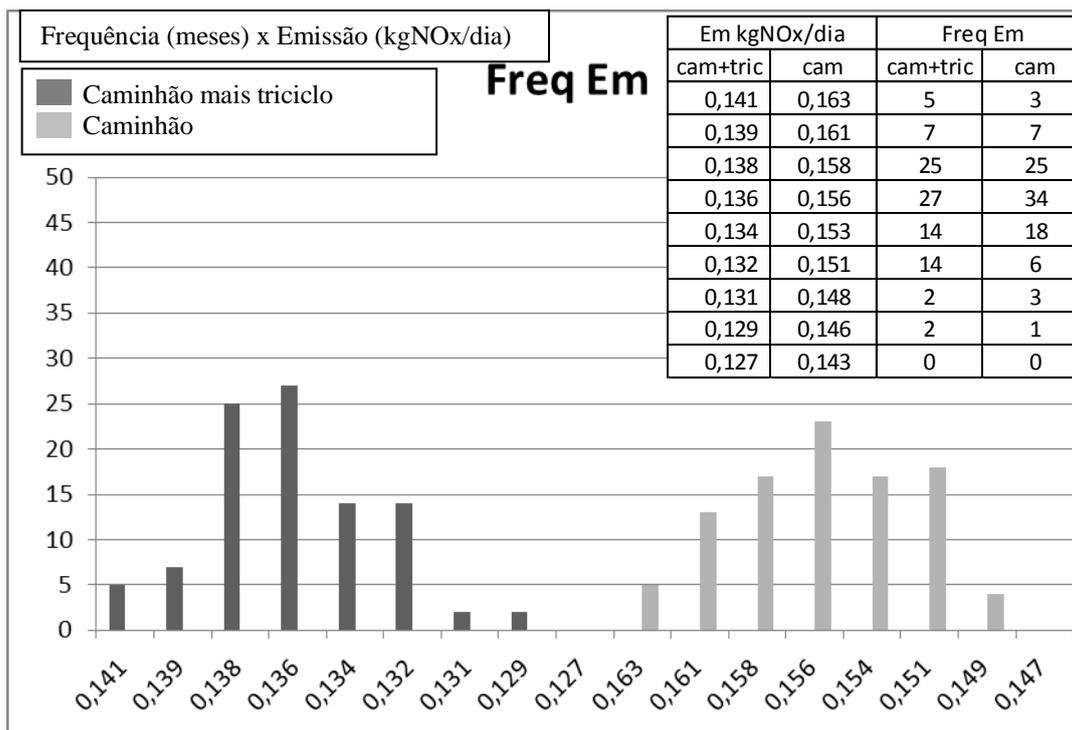


Figura 30 – Distribuição de frequência de emissão de NO_x.

Como pode ser visto na Figura 30, os valores mais frequentes de emissão do “caminhão + triciclo” concentraram entre 0,132 e 0,138 quilogramas de NO_x por dia. Já para a configuração “caminhão” os valores mais frequentes de emissão foram 0,151 e 0,158 quilogramas de NO_x por dia.

No caso do NO_x, acontece o mesmo que acontece com o CO, entretanto, com vantagem para a configuração “caminhão + triciclo”. Como se pode ver, a maior emissão da configuração que utiliza “caminhão + triciclo” é menor do que a menor emissão da configuração que utiliza apenas “caminhão”. Isso pode ser explicado pelo fato do principal combustível responsável pela emissão desse poluente ser o óleo diesel.

A distribuição dos valores de emissões ao longo dos meses pode ser vista na Figura 31. Ao analisar a emissão de No_x por dia é possível se notar que a emissão da configuração “caminhão + triciclo” se mostra mais vantajosa do ponto de vista ambiental mesmo ao longo dos meses. Apesar de em alguns pontos a emissão das duas configurações ser aproximada (por volta do mês 73, por exemplo), em nenhum ponto a emissão para os dois cenários chega a ser igual ou inverte-se a vantagem do “caminhão + triciclo” em relação ao “caminhão”.

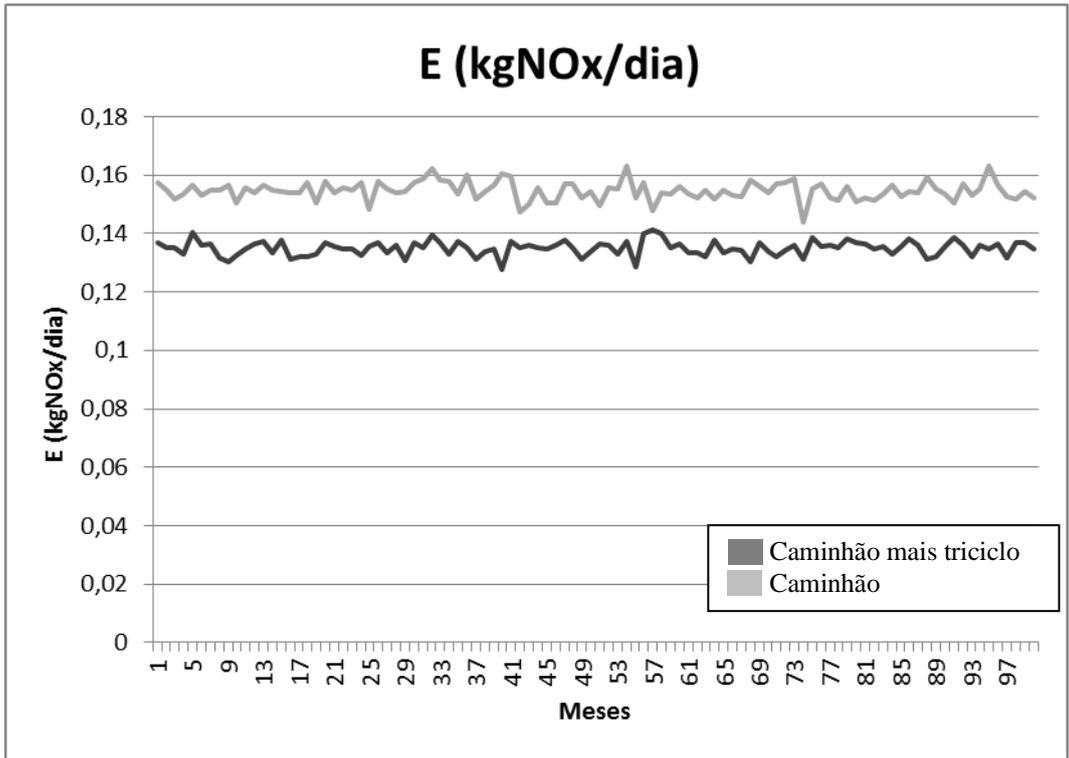


Figura 31 - Distribuição de frequência mensal de emissão de NO_x.

A Figura 32 mostra a distribuição dos valores de emissão versus distância total percorrida obtidos na simulação.

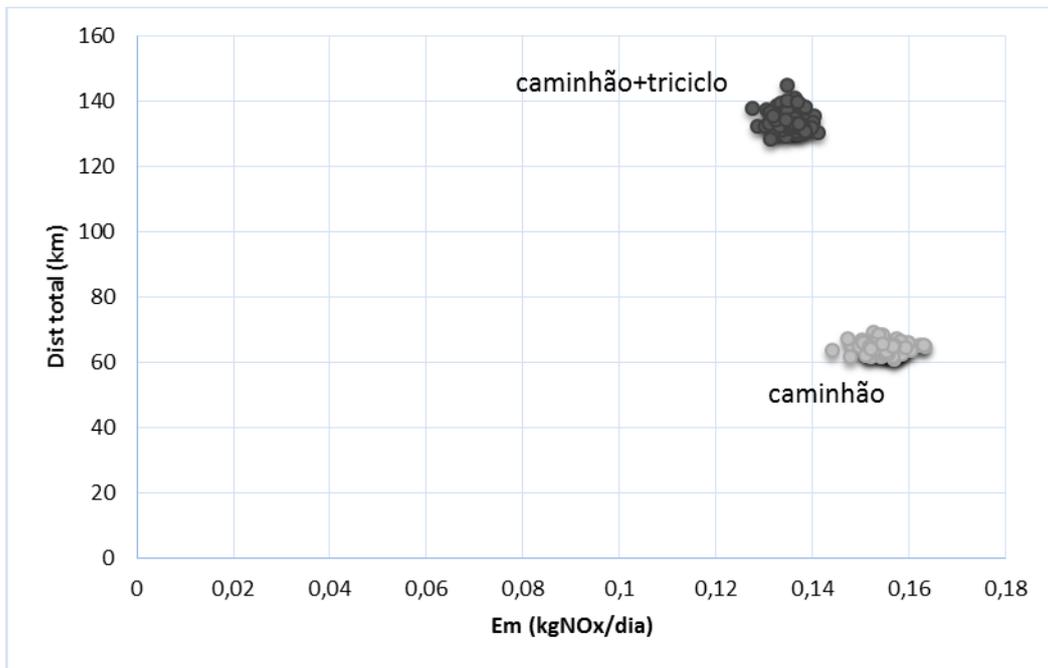


Figura 32 – Distância total versus Emissão de NO_x.

Como é possível notar na Figura 32, a emissão de NO_x nos dois cenários difere de acordo com a distância total percorrida. O caminhão percorre uma distância menor e apesar disso emite maior quantidade de NO_x . Isso se deve ao fato de a distância percorrida pelo “caminhão” ser maior do que a distância percorrida pelo caminhão quando acompanhado pelo triciclo. Na Figura 33 podem-se ver esses valores acumulados e a diferença entre a emissão nas duas configurações.

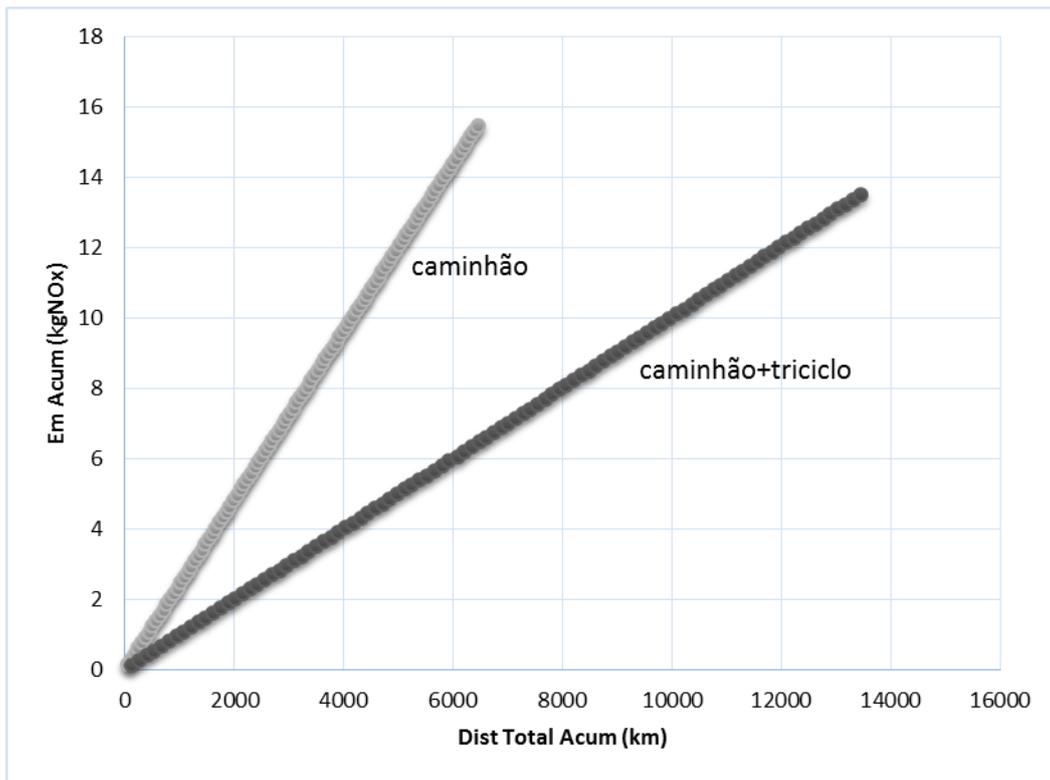


Figura 33 - Emissão de NO_x acumulada [kg] versus distância total acumulada [km].

Em relação ao tempo de ciclo, o desempenho da configuração “caminhão + triciclo” também se mostrou mais eficiente no que tange a emissão de NO_x , como pode ser visto na Figura 34. Apesar de apresentarem tempos de ciclo similares a configuração que usa somente caminhão emite mais NO_x .

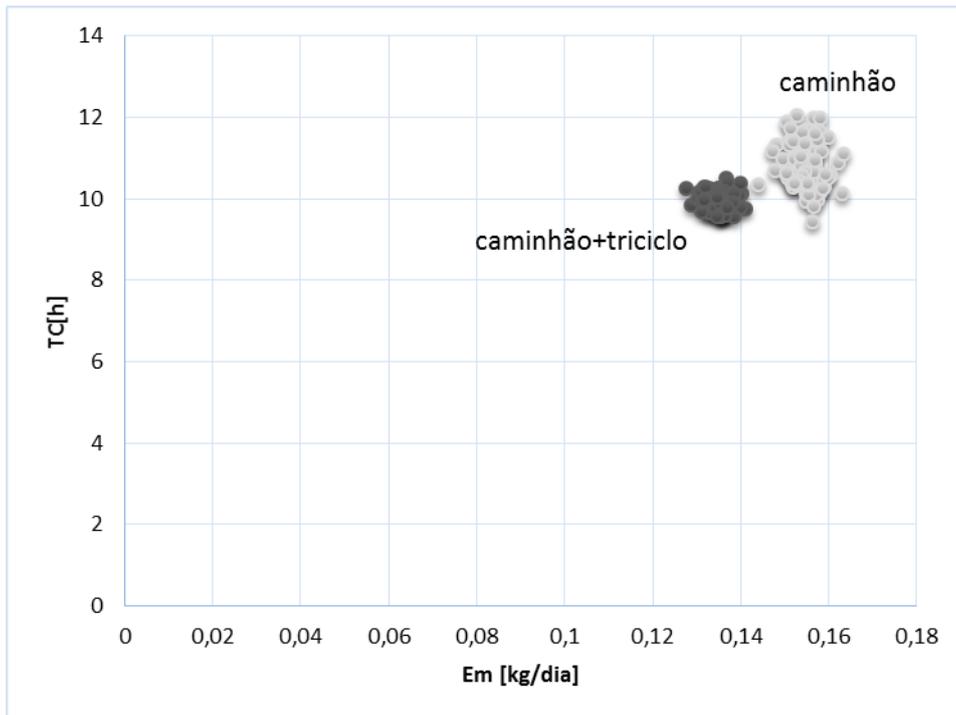


Figura 34 – Tempo de ciclo versus emissão de NO_x.

A emissão (kg) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para o caminhão:

$$ET_{NO_x, Cam} = 0,0024 * 65 = 0,156 \text{ kgNO}_x/\text{ciclo} \quad (31)$$

Para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{NO_x, Cam+tric} = (0,0024 * 52,00) + (0,00007 * 76,55) = 0,130 \text{ kgNO}_x/\text{ciclo} \quad (32)$$

A emissão (kg/km) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para “caminhão”:

$$ET_{kg/km} = \frac{0,156}{65,00} = 0,0024 \frac{\text{kgNO}_x}{\text{km}} \quad (33)$$

E para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{\frac{kg}{km}} = \frac{0,130}{128,55} = 0,001 \frac{kgNO_x}{km} \quad (34)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/km é dada por:

$$Redução = \frac{(0,001 - 0,0024)}{0,0024} = -58\% \quad (35)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/ciclo é dada por:

$$Redução = \frac{(0,130 - 0,156)}{0,156} = -17\% \quad (36)$$

Considerando-se as médias de emissão para cada uma das configurações foi possível obter um valor de diferença de -58% e -17% entre a emissão resultante da operação com “caminhão” e operação com “caminhão + triciclo”. Isso significa que a operação utilizando “caminhão + triciclo”: emite 58% menos quilogramas de NO_x por quilometro e 17% menos quilogramas de NO_x por ciclo, do que a operação que utiliza somente o caminhão.

5.2.4 – Análise comparativa da emissão de NMHC

Quando se analisou a emissão de hidrocarboneto não metano (NMHC), foi possível observar que a média de emissão em quilogramas por quilometro (kgNMHC/dia) para a rota que utiliza apenas “caminhão” foi de 0,014 kg por dia. Já para a rota que utiliza “caminhão + triciclo” essa média foi de 0,023 kg por dia. A frequência de emissão para cada um dos cenários pode ser vista na Figura 35.

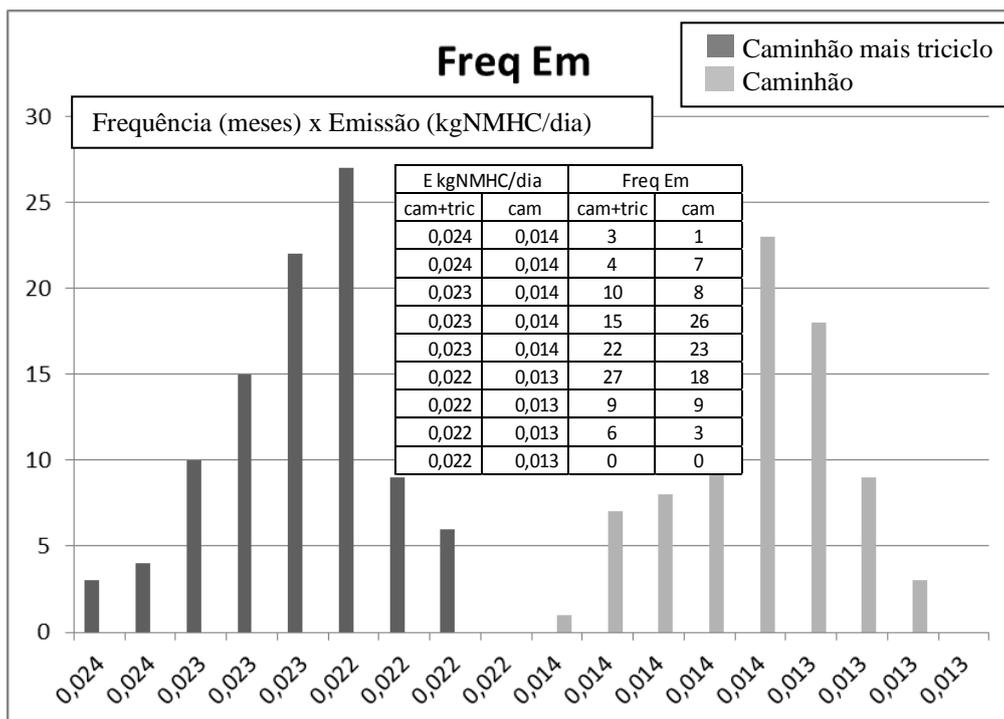


Figura 35 – Distribuição de frequência de emissão de NMHC.

Os valores mais freqüentes de emissão de NMHC na configuração que usa “caminhão” estão entre 0,0132 e 0,0142 quilogramas de NMHC por dia. Já para a configuração que utiliza “caminhão + triciclo” a frequência de emissões está entre 0,0219 e 0,0234 quilogramas de NMHC por dia. Ou seja, a maior emissão de NMHC no cenário que utiliza “caminhão” é quase metade da menor emissão no cenário que utiliza “caminhão + triciclo”.

Conforme mostrado no Capítulo de Fundamentação Teórica, os automóveis (gasolina) são os principais responsáveis pela emissão de NMHC (Souza *et al.*, 2013). Neste caso, a distância total percorrida pelo “caminhão + triciclo”, que é maior que a distância percorrida somente pelo “caminhão”, fez com que essa configuração emitisse uma quantidade maior de NMHC. A variação da emissão ao longo dos meses para configuração de “caminhão + triciclo” e para configuração que utiliza somente “caminhão” pode ser observada na Figura 36. Como se pode ver, a diferença na emissão ao longo dos meses para os dois cenários é significativa. Em nenhum ponto há valores de emissão aproximados para as duas configurações. Ao longo dos meses, a emissão do “caminhão” permanece menor do que 0,015 quilogramas por dia, enquanto a emissão pelo “caminhão + triciclo” não chega a ser menor do que 0,020 quilogramas por dia em nenhum ponto da distribuição.

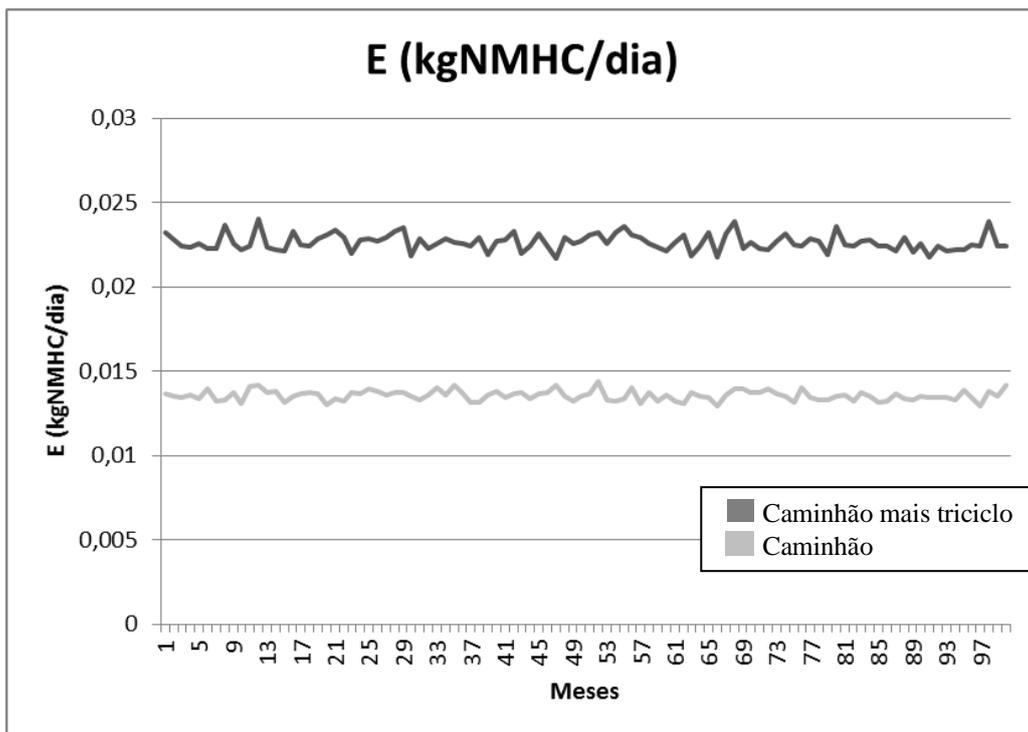


Figura 36 - Distribuição de frequência de emissão de NMHC.

A Figura 37 mostra a distribuição dos valores de emissão versus distância total percorrida, obtidos na simulação.

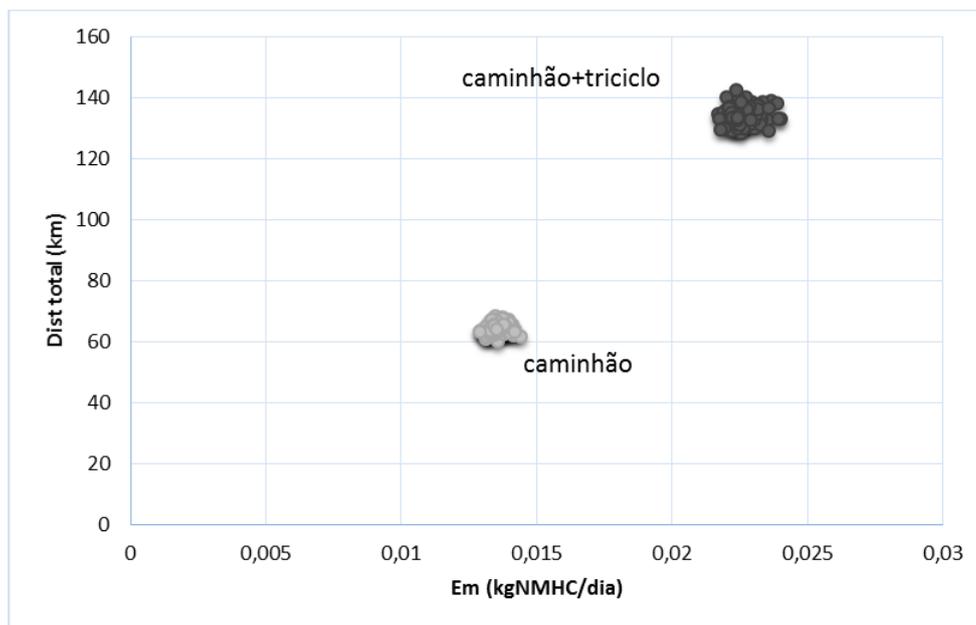


Figura 37 – Distância total versus Emissão de NMHC.

Como é possível notar na Figura 37, a emissão de NMHC nos dois cenários difere de acordo com a distância total percorrida. Como o fator de emissão de NMHC do caminhão e do triciclo é próximo, a distância percorrida tem uma interferência maior do que nos outros poluentes e CO₂. Na Figura 38 pode-se ver esses valores acumulados.

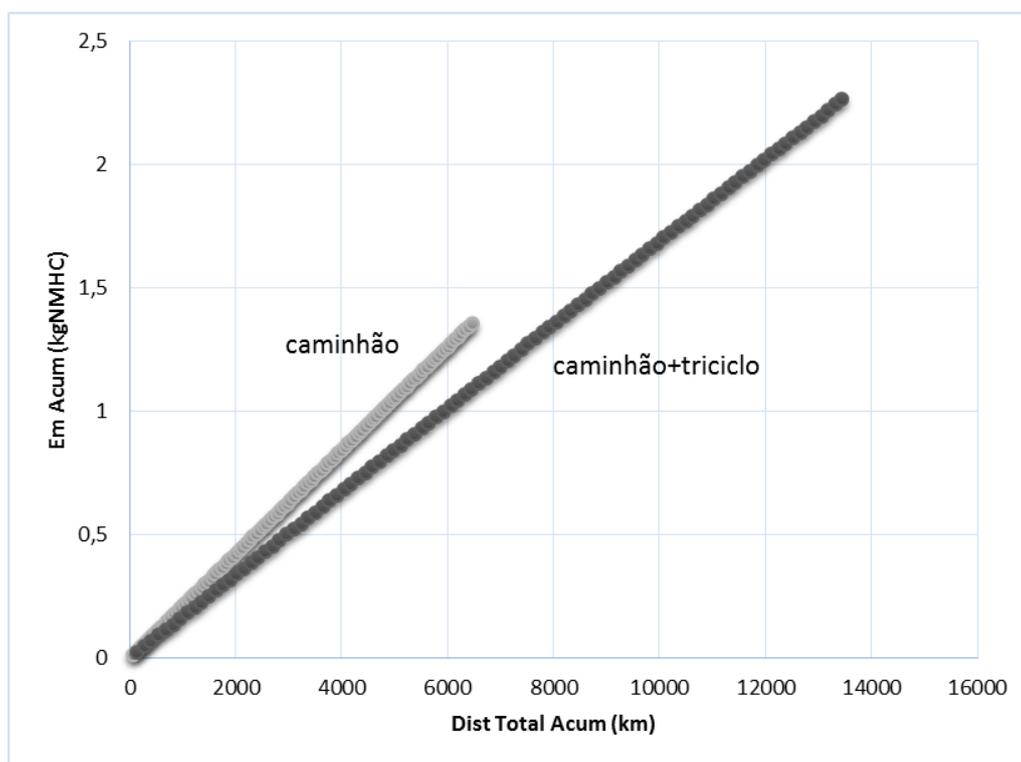


Figura 38 - Emissão de NMHC acumulada [kg] versus Distância total acumulada [km]

Em relação ao tempo de ciclo, o desempenho da configuração “caminhão + triciclo” também se mostrou menos eficiente no que tange a emissão de NMHC, quando comparado ao desempenho da configuração que utiliza apenas “caminhão”. Isso ocorre porque, apesar de apresentarem tempo de ciclo similar, a configuração que utiliza “caminhão + triciclo” utiliza o triciclo movido a gasolina, emitindo, assim, maior quantidade do poluente em questão, como pode ser visto na Figura 39.

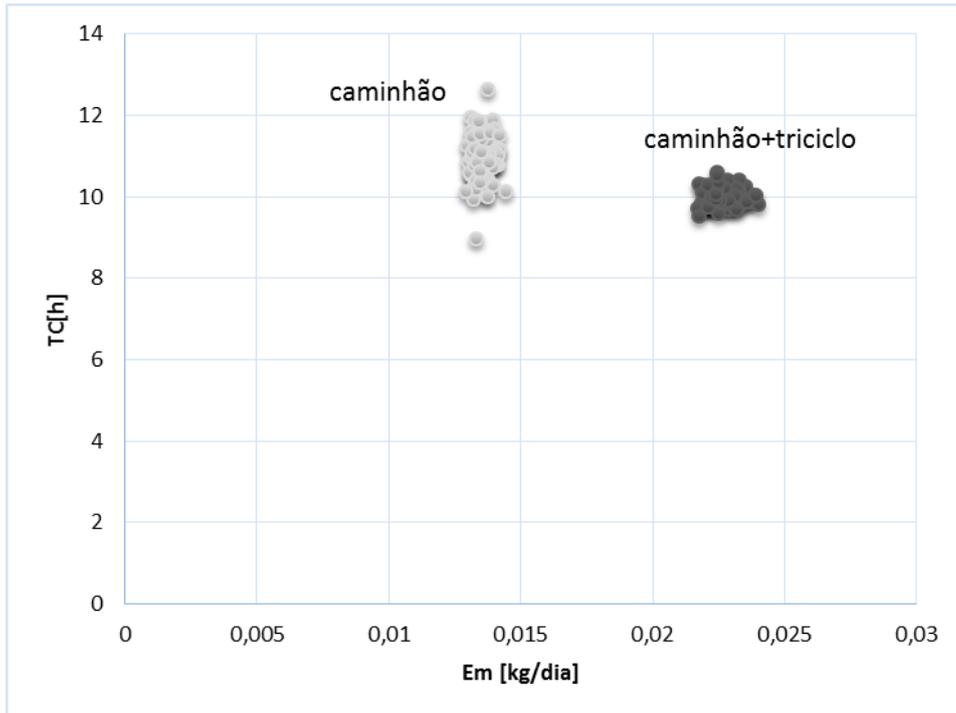


Figura 39 – Tempo de ciclo versus emissão de NMHC.

A emissão (kg) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para o caminhão:

$$ET_{NMHC,Cam} = 0,00021 * 65 = 0,01365 \text{ kgNMHC/ciclo} \quad (37)$$

Para “caminhão + triciclo”:

$$\begin{aligned} EC_{NMHC,Cam+tric} &= (0,00021 * 52,00) + (0,00014 * 76,55) \\ &= 0,02164 \text{ kgNMHC/ciclo} \end{aligned} \quad (38)$$

A emissão (kg/km) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para caminhão:

$$ET_{kg/km} = \frac{0,01365}{65,00} = 0,00021 \frac{\text{kgNMHC}}{\text{km}} \quad (39)$$

E para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{\frac{kg}{km}} = \frac{0,02164}{128,55} = 0,000168 \frac{kgNMHC}{km} \quad (40)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/km é dada por:

$$Redução = \frac{(0,000168 - 0,00021)}{0,00021} = - 20\% \quad (41)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro em kg/ciclo é dada por:

$$Redução = \frac{(0,02164 - 0,01365)}{0,01365} = + 58\% \quad (42)$$

Considerando-se as médias de emissão para cada uma das configurações foi possível obter um valor de diferença de -20% e +58% entre a emissão resultante da operação com caminhão e operação com “caminhão + triciclo”. Isso significa que a operação utilizando “caminhão + triciclo” emite 20% menos quilogramas de NMHC por quilometro e mais 58% quilogramas de NMHC por ciclo do que a operação que utiliza somente o caminhão.

5.2.5 – Análise comparativa da emissão de Material Particulado

A emissão de material particulado (MP) também foi comparada nos dois cenários. Em função da ordem de grandeza dos dados, alguns dados da análise da emissão de MP serão apresentados em gramas de MP por dia. Os dados gerados a partir de simulação mostram que a média de emissão em gramas (gMP) para a rota que utiliza apenas caminhão foi de 1,299 por dia de operação. Já para a rota que utiliza “caminhão + triciclo” essa média foi de 1,369g por dia. A frequência de emissão para cada um dos cenários pode ser vista nas Figuras 40.

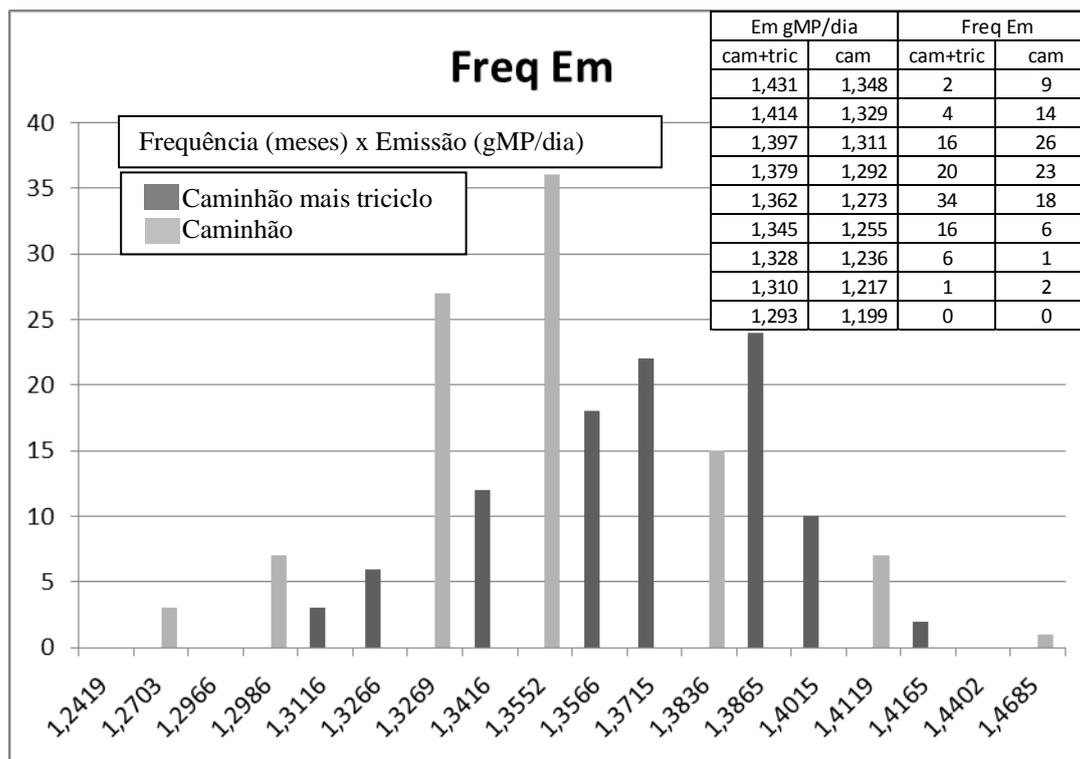


Figura 40 – Distribuição de frequência de emissão de MP.

Como pode ser visto na Figura 40, os valores mais frequentes de emissão se concentraram entre 1,34 e 1,40 gramas de MP por dia para a operação com “caminhão + triciclo” e entre 1,25 e 1,31 gramas de MP por dia para “caminhão”. Ao contrário do que acontece quando comparamos as duas configurações em termos de emissão de CO, NO_x e NMHC, para Material Particulado é possível se dizer que os dois cenários emitiram quantidades muito similares do poluente com frequência de emissão também similares.

A distribuição dos valores de emissões ao longo dos meses pode ser vista na Figura 41. Quando se compara a emissão de Material Particulado por dia ao longo dos meses para os dois cenários, pode-se perceber que, apesar do cenário que utiliza “caminhão + triciclo” emitir ligeiramente mais, ambos apresentam valores muito aproximados.

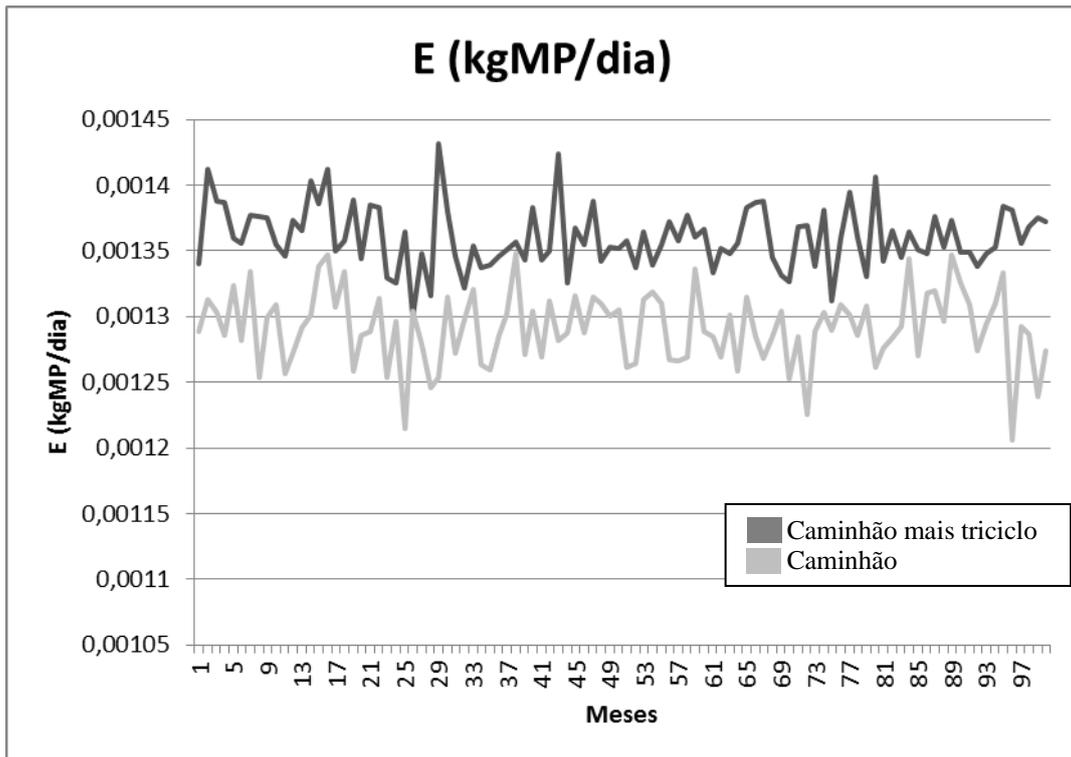


Figura 41 - Distribuição de frequência mensal de emissão de MP.

A Figura 42 mostra a distribuição dos valores de emissão versus distância total percorrida obtidos na simulação.

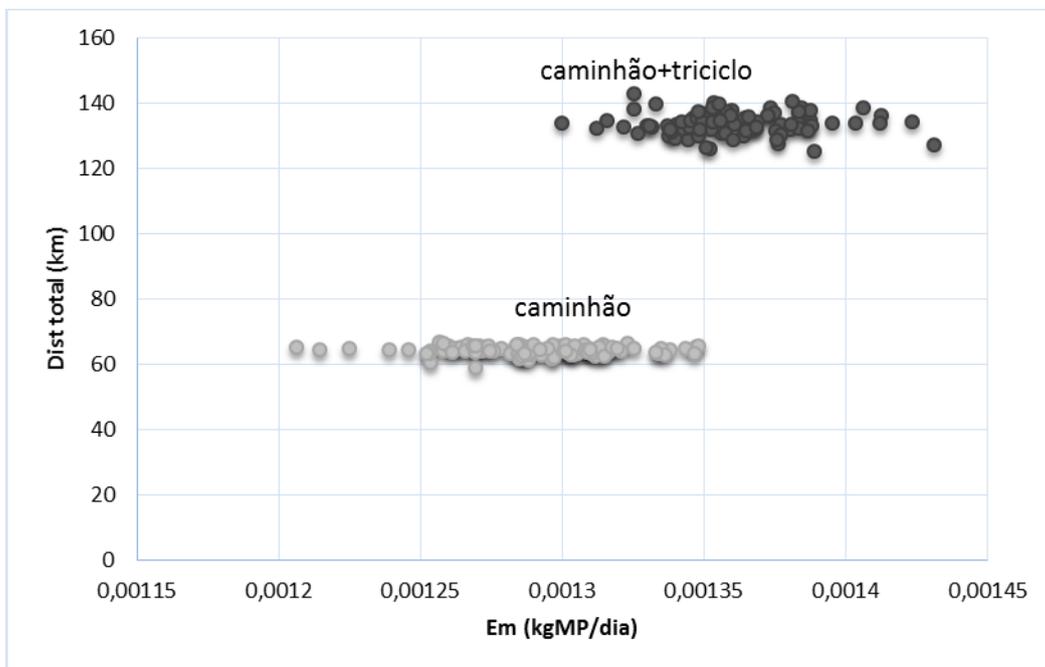


Figura 42 – Distância total versus Emissão de MP.

Como é possível notar na Figura 42, a emissão de MP apresenta diferenças em relação à distância total percorrida. O caminhão percorre uma distância menor, emitindo quantidade similar de MP quando comparado à configuração que utiliza “caminhão + triciclo”. Na Figura 43 podem-se ver esses valores acumulados. Percebe-se que, apesar da configuração “caminhão + triciclo” emitir maior quantidade de MP, ela possui um valor de distância total percorrida também maior. Isso faz com que, quando comparamos as duas configurações considerando-se a distância, haja vantagem para o “caminhão” conforme se pode ver na Figura 43.

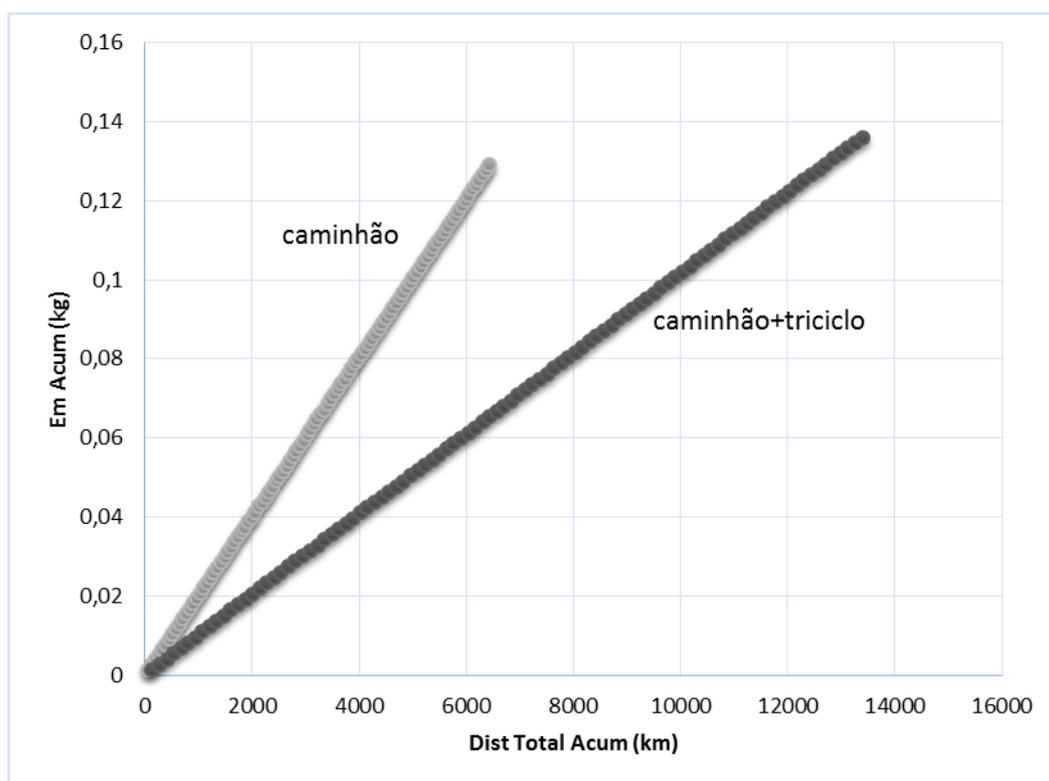


Figura 43 - Emissão de MP acumulada [kg] versus distância total acumulada [km].

Em relação ao tempo de ciclo, o desempenho da configuração “caminhão + triciclo” se mostrou bem similar configuração que usa somente “caminhão”, no que tange a emissão de MP, como pode ser visto na Figura 43. Nos dois cenários o tempo de ciclo é similar e a emissão de MP também. Entretanto, nota-se uma ligeira vantagem da configuração que utiliza “caminhão” quanto a emissão desse poluente, apesar de que, nos pontos onde o tempo de ciclo é similar, a emissão nos dois cenários é bastante aproximada.

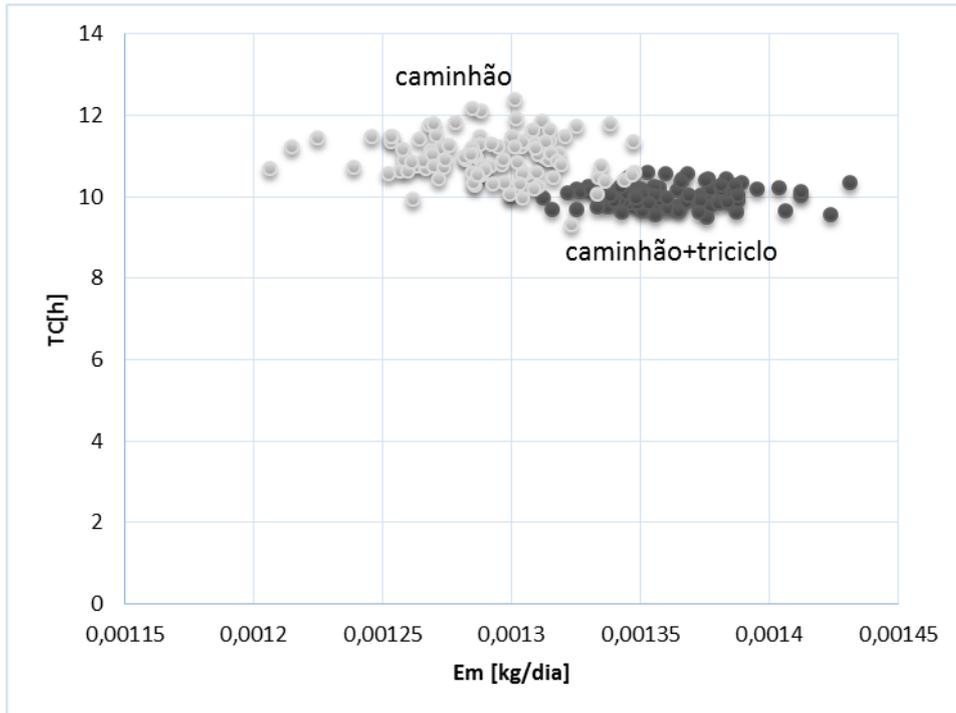


Figura 44 – Tempo de ciclo versus emissão de MP.

A emissão (g) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para o “caminhão”:

$$ET_{MP,Cam} = 0,02 * 65 = 1,300 \text{ gMP/ciclo} \quad (43)$$

Para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{MP,Cam+tric} = (0,02 * 52,00) + (0,0035 * 76,55) = 1,308 \text{ gMP/ciclo} \quad (44)$$

A emissão (g/km) dos dois cenários por tempo de ciclo (Tc) é dada por:

Para “caminhão”:

$$ET_{kg/km} = \frac{1,300}{65,00} = 0,020 \frac{\text{gMP}}{\text{km}} \quad (45)$$

E para “caminhão + triciclo”:

$$EC_{\frac{kg}{km}} = \frac{1,308}{128,55} = 0,0102 \frac{\text{gMP}}{\text{km}} \quad (46)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro é dada por:

$$Redução = \frac{(0,0102 - 0,020)}{0,020} = - 49\% \quad (47)$$

A diferença das emissões de um cenário para o outro é dada por:

$$Redução = \frac{(1,308 - 1,300)}{1,300} = + 1\% \quad (48)$$

Considerando-se as médias de emissão para cada uma das configurações foi possível obter um valor de diferença de -49% e +1% entre a emissão resultante da operação com “caminhão” e operação com “caminhão + triciclo”. Isso significa que a operação utilizando “caminhão + triciclo” emite 49% menos gramas de MP por quilometro e 1% mais gramas de MP por ciclo do que a operação que utiliza somente o caminhão.

5.3 – Análises comparativa de cenários

O resumo dos dados e as porcentagens de diferença na emissão para as duas configurações podem ser vistas na Tabela 10.

Tabela 10 - Perfil de emissão das diferentes configurações

kg/km g/km	Fatores de emissão [kg/km para CO ₂ e g/km para poluentes]				
	CO ₂	CO	NO _x	NMHC	MP
Caminhão	0,85	1,11	2,40	0,21	0,02
Triciclo	0,11	0,73	0,07	0,14	0,004
kg/dia g/dia	Emissão por Ciclo [CO ₂ - kg demais em g]				
	CO ₂	CO	NO _x	NMHC	MP
Caminhão	55,2500	71,5000	156,0000	13,6500	1,3000
Caminhão + triciclo	52,6200	113,0815	130,1585	21,6337	1,3079
kg/km g/km	Emissão por km [CO ₂ - kg demais em g]				
	CO ₂	CO	NO _x	NMHC	MP
Caminhão	0,8500	1,1000	2,4000	0,2100	0,0200
Caminhão + triciclo	0,4093	0,8797	1,0125	0,1683	0,01017
% kg/km	Redução alcançada com utilização de “caminhão + triciclo”				
	- 52%	- 19%	- 58%	- 20%	- 49%
% kg/dia	Redução alcançada com utilização do “caminhão + triciclo”				
	- 5%	+ 58%	- 17%	+ 58%	+1%

Fonte: Elaborada pela autora.

Como pode ser visto, a configuração que realiza distribuição utilizando “caminhão + triciclo” apresentou vantagens para todos os gases em relação à configuração que opera apenas com o “caminhão” quando se considera apenas a emissão em quilogramas ou gramas por quilometro. Para emissão de CO₂, NO_x e MP a vantagem foi mais significativa, pois a operação com “caminhão + triciclo” emite 52% menos CO₂, 58% menos NO_x e 49% menos MP por quilometro. A configuração utilizando somente caminhão também se mostrou menos eficiente quando comparada a configuração utilizando “caminhão + triciclo” em termos de emissão de CO e NMHC. Os resultados mostraram que a combinação “caminhão + triciclo” emite 19% a menos CO e 20% menos NMHC em relação ao uso do “caminhão”.

Entretanto, quando se comparam as duas configurações levando em conta a emissão em quilogramas ou gramas por dia, observa-se um panorama diferente. A configuração que utiliza “caminhão + triciclo” se mostrou mais eficiente em relação a emissão de CO₂ (redução de 5%) e NO_x (redução de 17%). Todavia, essa configuração se mostrou menos eficiente quando comparada a que utiliza somente caminhão em relação às emissões de CO (aumento de 58%) e NMHC (aumento de 58%) e MP (aumento de 1%).

Apesar disso, é necessário se ponderar esse resultado. Sabe-se que essa dissertação fez uma análise pontual de cenários existentes e não considerou outros perfis de operação ou a emissão por quilograma transportado, por exemplo. Acredita-se que esses valores favoráveis na configuração “caminhão + triciclo” poderiam ser diferentes caso houvesse variações quanto as distâncias percorridas e ao tamanho da frota empregada. Outro importante fator que poderia inverter os resultados, tornando os resultados mais favoráveis para a configuração “caminhão”, seria a consideração da capacidade dos veículos. Como foi explicitado, o triciclo não realiza a entrega de toda a carga. A maior parte da carga é entregue manualmente pelo motorista do caminhão e seus ajudantes. Em um cenário onde toda a carga fosse entregue pelo triciclo, o aumento da distância total percorrida por ele acarretaria em um aumento significativo da emissão para todos os poluentes e o GEE analisados. Em função disso, é possível afirmar que na configuração atual, considerando-se apenas os cenários tais como acontecem na prática, a operação “caminhão + triciclo” é mais vantajosa em termos de emissões, entretanto, não é possível dizer que esses resultados manter-se-iam vantajosos nessa configuração,

caso o perfil de operação fosse diferente em termos de tamanho da frota e distância percorrida.

5.4 – Análise de custos

Para a realização da análise de custos foi considerada apenas a operação de distribuição, analisando-se apenas o principal custo fixo, que é o custo de capital, e o principal custo variável, que é o custo de combustível, conforme explicado anteriormente. Considerou-se para análise o caminhão e o triciclo utilizados nas rotas que foram acompanhadas. Os detalhes do caminhão e do triciclo utilizados para essa análise, bem como o valor para compra dos mesmos podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 – Características dos veículos utilizados na operação.

Características	Veículo	
	Caminhão	Triciclo
Marca	FORD	HONDA
Modelo	CARGO 1717 E Turbo 2p (Euro 4) com carroceria para transporte de bebidas de 8 estrados.	CG 150 FAN ESI/ 150 + adaptação para triciclo (forgão).
Combustível	Diesel S50	Gasolina
Valor do veículo novo	R\$ 165.000,00	R\$ 15.372,00
Valor de venda do veículo	R\$ 77.000,00	R\$ 0,00
Vida útil do veículo	10 anos	3 anos
Utilização em dias do ano	305 dias/ano	305 dias/ano

Fonte: Tabela FIPE. Consulta em 20 de maio de (2014) e Coca-Cola (2014)⁴.

O custo de capital foi calculado utilizando-se a taxa de oportunidade (j) do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC⁵). Considerou-se o valor mais recente da taxa que foi de 0,95% a.m em julho de 2014.

Assim, tem-se para operação com caminhão:

$$FRC = \frac{0,95 * (1 + 0,95)^{120}}{(1 + 0,95)^{120} - 1} = 0,95\% \quad (49)$$

Tem-se então:

⁴ Informações fornecidas através de correio eletrônico pela empresa.

⁵ Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/?SELICDIARIOS>. Acesso em 10 de janeiro de 2014.

$$Cdc = (165000 - 77000) * 0,95\% + 77000 * 0,95\% = 1567,50 \text{ reais} \quad (50)$$

Logo, o custo de capital mensal para “caminhão” é de R\$1.567,50.

E para operação com “caminhão + triciclo” tem-se:

Para “caminhão”:

$$Cdc = (165000 - 77000) * 0,95\% + 77000 * 0,95\% = 1567,50 \text{ reais} \quad (51)$$

Para o triciclo (já considerando o valor da adaptação para triciclo) tem-se:

$$FRC = \frac{0,95 * (1 + 0,95)^{36}}{(1 + 0,95)^{36} - 1} = 0,95\% \quad (52)$$

Logo:

$$Cdm = (15372,00 - 0) * 0,95\% + 0 * 0,95 = 146,03 \text{ reais} \quad (53)$$

Então:

$$Cdc_m = 1567,50 + 146,03 = 1713,53 \text{ reais} \quad (54)$$

Ou seja, o custo de capital dos equipamentos para operação da rota que usa “caminhão + triciclo” é de R\$1.713,53 ao mês. Dessa forma, pode-se ver que o desempenho da configuração que utiliza apenas caminhão é melhor, visto que não há o custo do triciclo, mas mantêm-se o mesmo custo com o caminhão pois o caminhão utilizado é o mesmo.

Para o cálculo de consumo de combustível, consideraram-se os dados na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados de consumo de combustível

Dados	Notação	Configuração de operação	
		Caminhão	Caminhão + Triciclo
Consumo de combustível	Cc	3,2 km/litro	Caminhão: 3,2 km/litro Triciclo: 19 km/litro
Consumo de combustível	Co	0,31 litros/km	Caminhão: 0,31 litro/km Triciclo: 0,05 litro/km
Tipo de combustível	Tc	Diesel	Caminhão: Diesel triciclo: Gasolina
Preço do combustível	Pc	R\$ 2,69 reais	Diesel: R\$ 2,69 Gasolina: R\$ 3,10

Fonte: Elaborada pela autora.

Logo para caminhão tem-se:

$$C_{combc} = \left(\frac{2,69R\$}{l} \right) \left(\frac{0,31l}{km} \right) = 0,83R\$/km \quad (55)$$

Sabe-se que na configuração que utiliza só caminhão, este percorre por rota, em média, 65 km. Logo, o custo de combustível diário (Ccd) é dado por:

$$C_{cdc} = 0,83R\$/km * 65 km = R\$53,95/dia \quad (56)$$

Já na configuração que utiliza “caminhão + triciclo”, o custo do km do caminhão é o mesmo da configuração que utiliza só caminhão, logo, calcula-se o valor para o triciclo:

$$C_{combm} = \left(\frac{3,10R\$}{l} \right) * \left(\frac{0,05l}{km} \right) = 0,16R\$/km \quad (57)$$

Sabendo-se que na configuração que utiliza “caminhão + triciclo” a distância total média percorrida pelo caminhão é 52 km/dia, logo, tem-se:

$$C_{cdc} = 0,83R\$/km * 52 km = R\$43,16/dia \quad (58)$$

Da mesma forma, é sabido que a quilometragem média diária do triciclo é 24 km, então, tem-se:

(59)

$$C_{cdm} = 0,16R\$/km \cdot 76,55 km = R\$12,25/dia$$

Logo, na operação com “caminhão + triciclo”, tem-se:

(60)

$$C_{comb} = 43,16 + 12,25 = 55,41 \text{ reais/dia}$$

Quando se avalia o custo de consumo de combustível nas duas configurações percebe-se que são similares. Isso se deve ao fato de que, na configuração que utiliza somente o caminhão, este percorre uma distância maior e, portanto, consome mais combustível. Na configuração que utiliza “caminhão + triciclo”, o triciclo consome um valor não muito significativo de combustível e o caminhão percorre uma distância menor, o que faz com que haja uma compensação entre os dois cenários. Considerando-se o custo total das duas operações, vê-se que o custo total da operação somente com o caminhão é menor, conforme demonstra o resumo dos custos que pode ser visto na Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação de custos fixo e de consumo dos dois cenários

Dados	Notação	Configuração de operação	
		Caminhão	Caminhão + Triciclo
Custo fixo de capital	CC	R\$ 1.567,50 a.m.	Caminhão: R\$ 1.567,50 e Triciclo: R\$ 146,03 Total: R\$ 1.713,53 a.m.
Custo de consumo de combustível por dia	Cb	R\$ 53,95/dia – R\$1.618,50 a.m.	Caminhão: R\$ 44,99/dia Triciclo: R\$ 3,84/dia Total: R\$ 55,41/dia - R\$1.662,30 a.m.

Conforme mostra a Tabela 13 o custo de capital investido na configuração que usa só o caminhão é de R\$1.567,50 ao mês, enquanto o custo para o cenário que utiliza “caminhão + triciclo” é de R\$1.713,53. Conforme mencionado anteriormente, o custo de consumo de combustível na operação que utiliza “caminhão + triciclo” (R\$1.618,50/mês) é muito aproximado ao custo de consumo de combustível na operação que utiliza apenas o caminhão (R\$1.662,30 /mês). Entretanto, como esse resultado depende das distâncias percorridas nas duas configurações, acredita-se que esse valor pode ser favorável a um ou outro cenário dependendo, principalmente, das distâncias percorridas pelo caminhão.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir do que foi apresentado, pode-se dizer que esta dissertação atingiu o objetivo geral de avaliar o potencial de utilização do “caminhão + triciclo” como prática para aprimoramento do desempenho ambiental da distribuição física em áreas urbanas, uma vez que conseguiu avaliar as emissões de dióxido de carbono e poluentes atmosféricos locais oriundos das operações de caminhão e de “caminhão + triciclo” em operação de entrega urbana na Cidade do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa fez uma análise comparativa entre dois cenários: distribuição de produtos utilizando caminhão e distribuição com condições operacionais semelhantes usando caminhão e triciclo. Dados foram fornecidos pela empresa e também foi realizada coleta de campo. A partir dos dados coletados, cenários foram criados através de simulação utilizando o Método Monte Carlo.

A partir dos dados obtidos por meio de entrevista não estruturada com o gerente logístico da Coca-Cola, foi possível atingir um dos objetivos específicos que era compreender as razões que levaram a modificação na forma de distribuição de carga em área urbana. A implantação do sistema de operação utilizando do “caminhão + triciclo” se deu em função das restrições impostas pela prefeitura que impediam a circulação de caminhões em determinadas áreas da cidade. Isso fez com que as empresas se adaptassem para conseguir continuar operando.

Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas. A análise qualitativa apresentou dados obtidos através da observação e percepção dos pesquisadores e diz respeito à parte de entendimento da operação na prática e impressões não quantificáveis. A análise quantitativa considerou as emissões de CO₂, CO, NO_x, NMHC e MP para os dois cenários. Também foi feita uma análise de custo fixo e de combustível para as duas configurações.

Em campo foi possível atingir o objetivo específico de coletar informações de qual o tempo médio de entrega e a distância percorrida tanto para a prática usual, que é o uso do caminhão, quanto para a alternativa considerada que utiliza “caminhão +

triciclo”. Com posse dos dados de distância percorrida e rendimento do caminhão e do triciclo foi possível se atingir o objetivo específico de verificar o gasto com combustível nas duas configurações.

A análise das informações coletadas de forma empírica mostrou que existem aspectos que merecem atenção e que podem ser modificados de forma a aperfeiçoar a operação de distribuição de produtos. Por meio da observação, foi possível verificar qual o local onde a transferência da mercadoria do caminhão para o triciclo é realizada. Como esse local é definido e como é regulamentado. Esse era um dos objetivos específicos e foi um dos pontos onde foi possível se perceber potencial para melhoria. Verificou-se que não há nenhum planejamento prévio de local para estacionamento para a realização de transferência de mercadoria do caminhão para o triciclo. O caminhão vai para a região antes do horário em que é proibida a sua circulação e procura uma vaga regulamentada de carga e descarga. Se esses pontos de carga e descarga fossem previamente mapeados e houvesse planejamento, acredita-se que haveria uma economia de tempo significativa.

Observou-se que a falta de planejamento, tanto da disposição da mercadoria no baú do caminhão, quanto da ordem de atendimento dos clientes e na distribuição das rotas faz com que se tenha um significativo desperdício de tempo. Acredita-se que o planejamento pode mitigar esses problemas otimizando o tempo total despendido na distribuição. Essa otimização tornaria possível a mitigação de outro problema que é a ausência de tempo suficiente para os funcionários fazerem pausas para descanso e alimentação. Outro problema também notado foi a diferenciação que ocorre entre os funcionários que trabalham no caminhão (motorista e ajudantes) e o motociclista. Esse impasse poderia ser resolvido com o planejamento do trabalho do triciclo no atendimento do caminhão e no incentivo e coordenação do trabalho em equipe. Além disso, notou-se que problemas externos ao planejamento como engarrafamentos e dificuldade de estacionar também interferem na operação. Percebeu-se que um investimento em equipamentos mais modernos poderia melhorar não somente as condições de trabalho dos funcionários, mas também, os tempos de carga e descarga e entrega e reduzir as avarias.

A análise quantitativa foi realizada utilizando-se simulação. Os dados obtidos demonstram que em termos de dióxido de carbono (CO₂), a combinação de “caminhão + triciclo” se mostrou mais eficiente. A emissão de CO₂ na configuração que usa apenas caminhão é 52% maior do que na configuração que utiliza “caminhão + triciclo” quando consideramos a emissão em kg/km e 5% maior quando comparamos as emissões nas duas configurações por dia. Isso pode ser explicado pelo fato de os caminhões emitirem maior quantidade de CO₂. Dessa forma, quando se tem a emissão por quilometro percebe-se a grande vantagem da configuração que utiliza “caminhão + triciclo”. Entretanto, quando analisamos a emissão por dia, percebemos que a vantagem diminui porque, apesar de emitir menos CO₂ do que o caminhão, o triciclo percorre uma distância diária significativa.

Em termos de emissão de CO, a operação utilizando “caminhão + triciclo” se mostrou mais eficiente em relação a operação utilizando apenas caminhão quando considerou-se a emissão em quilogramas por quilometro. No cenário com “caminhão + triciclo” é emitido 19% menos de CO do que no cenário que apresenta apenas uso do caminhão. Entretanto, quando a comparação é feita considerando a emissão por dia de operação esse cenário se inverte. A configuração que utiliza “caminhão + triciclo” emite 58% mais CO do que a configuração “caminhão”. Isso é explicado pelo fato de ser a gasolina o combustível que mais contribui para a emissão de CO. Dessa forma, como a quilometragem percorrida por dia pelo triciclo é alta, a emissão fica desfavorável para a configuração “caminhão + triciclo”.

As emissões de NO_x foram significativamente menores quando se utiliza “caminhão + triciclo” quando comparadas a utilização de “caminhão”. Foi possível ver uma redução de 58% quando se utiliza o “caminhão + triciclo” quando se considerou a emissão em quilogramas por quilometro e de 17% quando se comparou a emissão nas duas configurações por dia. Mais uma vez esse resultado se mostra consistente, tendo em vista que a queima de óleo diesel é a principal responsável pela emissão de NO_x. O fator de emissão de NO_x para diesel é mais do que três vezes maior do que essa emissão para gasolina. Logo, mesmo que a quilometragem diária do triciclo seja alta ela não chega a ultrapassar a emissão gerada pelo caminhão na configuração que não utiliza o triciclo.

Quanto à emissão de NMHC, a simulação mostrou que a utilização de triciclo combinado ao caminhão na operação emite 20% menos desse poluente quando se considerou a emissão em quilogramas por quilometro. Todavia, quando se analisou a emissão por dia isso se inverte. Por dia a emissão de NMHC pela configuração “caminhão + triciclo” é 58% maior do que em um dia de operação do caminhão. Isso se deve as longas distâncias percorridas pelo triciclo. A distância total nessa configuração também é maior o que faz com essa configuração emita quantidade maior NMHC por dia de operação, apesar de emitir menos por quilometro.

Finalmente, quando considera-se a emissão de material particulado, também constata-se um melhor desempenho da configuração “caminhão + triciclo” quando se considerou a emissão em quilogramas por quilometro. A operação somente com caminhão apresentou uma emissão 50% maior do que a emissão da configuração que utiliza triciclo e caminhão combinados. Isso se deve ao fator de emissão do triciclo ser cinco vezes menor do que o fator de emissão para o caminhão. Isso faz com que o desempenho por quilometro seja melhor. Entretanto, em relação à emissão de MP por dia, a configuração “caminhão” apresentou ligeira vantagem emitindo 1% menos MP do que a configuração “caminhão + triciclo”. Isso acontece devido à compensação. O triciclo emite menos, mas percorre uma quilometragem significativa que se soma a emissão do caminhão no caso dessa configuração.

Em relação aos custos, concluiu-se que o custo de capital investido na configuração que usa só o caminhão é menor do que o custo advindo da configuração que utiliza “caminhão + triciclo”, como era de se esperar. Isso significa um investimento maior no caso da configuração que utiliza o triciclo. Já o custo de consumo de combustível nas duas configurações se mostrou similar. Isso aconteceu porque, apesar da distância total percorrida pela configuração “caminhão + triciclo” ser maior, a maior parte dessa distância é percorrida pelo triciclo. Esse por sua vez tem o rendimento muito maior, consumindo, assim pouco combustível.

Saliente-se a necessidade de, em estudos futuros, se analisarem os demais custos de transporte para os dois cenários. Inevitavelmente, a operação que utiliza o “caminhão + triciclo” será mais onerosa por incorporar mais um veículo na operação e, por conseguinte, mais mão de obra.

Conclui-se, portanto, que a configuração que utiliza “caminhão + triciclo” em sua operação apresenta, no geral, desempenho melhor do que a operação que utiliza apenas caminhão no que tange a questão ambiental para um determinado valor de distância percorrida por dia de operação. Percebeu-se que apesar de ser vantajosa do ponto de vista de emissão por quilometro, essa vantagem se perde se a distância total percorrida pelo “caminhão + triciclo” for muito maior do que a distância total percorrida pelo caminhão.

Entretanto, em relação ao custo, pode-se observar que o custo de operação da configuração “caminhão + triciclo” é, naturalmente, mais elevado devido à incorporação de um veículo extra. Posto isto, pode-se dizer que a utilização de “caminhão + triciclo” pode ser vantajosa do ponto de vista ambiental, apesar de ser mais onerosa e pode ser uma solução ambientalmente sustentável para a operação em área urbana, dependendo do perfil de operação que seja usado, conforme detalhado a seguir, principalmente quando a aplicação de restrições impede o uso do caminhão.

É necessário, ressaltar que houve limitações na elaboração dessa dissertação. Optou-se por realizar a pesquisa bibliográfica prioritariamente no portal *Science Direct* por se tratar de uma fonte cientificamente confiável. Todavia, é possível que fossem encontrados trabalhos, como relatórios, em fontes não científicas. A revisão bibliográfica não foi exaustiva, ou seja, não foram consultadas todas as fontes acadêmicas e não acadêmicas que poderiam ter informações sobre a operação utilizando triciclos em outros contextos.

Em relação à simulação e aos resultados encontrados, é essencial salientar, que houve limitações, visto que, não foi realizada uma compatibilização da frota. Os resultados não foram relativizados considerando-se variações como número de triciclos atendendo cada caminhão ou número de caminhões atendidos por cada triciclo. Ou seja, o efeito do desbalanceamento das entregas pela capacidade heterogênea dos veículos não foi considerado. Esta dissertação mostrou que a maior parte da carga é entregue utilizando-se carrinhos de mão. Não foi considerado o cenário em que toda a mercadoria fosse entregue pelos triciclos. Caso isso acontecesse, provavelmente os resultados para emissão e o resultado de custos seriam desfavoráveis para a operação

que utiliza “caminhão + triciclo” devido à capacidade efetiva dos veículos. Também é pertinente destacar que devido às dificuldades encontradas na coleta de dados somente foi possível o acompanhamento de um número reduzido de rotas. Desta forma, o tamanho da amostra é uma limitação. Essa dissertação fez uma análise pontual dos cenários conforme eles têm acontecido na prática. Variações decorrentes de diferentes configurações ou de diferentes perfis de operação não foram consideradas nesse estudo.

Em relação aos custos, além das limitações referentes a falta de uma análise completa para as duas configurações, salienta-se a ausência de uma análise detalhada que considera-se o custo das duas configurações por cliente atendido ou por unidade de mercadoria entregue.

Para trabalhos futuros sugere-se que outros cenários sejam criados variando-se o tipo de veículo e tipo de combustível utilizado. Sugere-se também que se faça uma análise detalhada dos custos, variando-se as distâncias percorridas pelo caminhão e pelo triciclo de forma a se avaliar a possibilidade de encontrar as distâncias ótimas, onde a operação tenda a ser mais vantajosa ambientalmente para todos os poluentes e GEE analisados. Os dados da distribuição realizada com carrinho de mão também não foram considerados nesse estudo, mas poderiam ser consideradas em estudos futuros. Sugere-se a análise considerando-se o balanceamento da frota e a compatibilização da mesma considerando-se a capacidade efetiva para se chegar a resultados de como as variações nos perfis de operação como tamanho da frota e distâncias percorridas podem afetar os resultados tanto de emissão quanto de custos. Além disso, sugere-se para trabalhos futuros que uma amostragem maior seja considerada para avaliação, de forma a obterem-se dados mais precisos. Também se recomenda a análise da emissão em relação a quilogramas transportados por quilômetro e a análise de custos por clientes atendidos e por unidade de mercadoria entregue. Acredita-se que este estudo lançou uma primeira luz acerca do tema, que ainda é incipiente, e pode ser utilizado como um parâmetro para outras empresas ou em outros contextos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEYASEKERA, S., 2005, *Quantitative analysis approaches to qualitative data: why, when and how?* In: *Methods in Development Research Combining. Qualitative and Quantitative Approaches*. ITDG Publishing, Warwickshire, pp. 97-106.

ANNAN, J. D., 2001, “Modelling under uncertainty: Monte Carlo methods for temporally varying parameters”. *Ecological Modelling*, v. 136, n. 2, p. 297-302.

BROWNE, M, ALLEN, J, LEONARDI, J., 2011, “Evaluating the use of an urban consolidation center and electric vehicles in central London”. *IATSS research*, pp. 1-6.

BROWNE, M., LEONARDI, J., ALLEN, J., 2012, “Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London”. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 146-157.

CARVALHO, J. A., SALES FILHO, L. de H., GONÇALVES, A. F. M., “Uma contribuição ao planejamento de transporte de cargas em áreas urbanas”. *Congresso Panamericano de Engenharia de Transportes*. Gramado, Rio Grande de Sul, Brasil, 2000.

CHOPRA, S., MEINDL, P., 2013, *Supply chain management. Strategy, planning & operation*. 5 ed. Gabler. Prentice Hall. New Jersey, EUA.

CHWIF, L., MEDINA, A C., 2006, *Modelagem e simulação de eventos discretos*. Editora Campus-Elsevier. São Paulo, Brasil.

CRAINIC, T. G., RICCIARDI, N., STORCHI, G., 2004, “Advanced freight transportation systems for congested urban areas”. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 12, n. 2, pp. 119-137.

DIZIAIN, D; TANIGUCHI, E; DABLANC, L. 2014, “Urban logistics by rail and waterways in France and Japan”. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 159-170.

DONATO, V., 2008, *Logística Verde. Uma abordagem Socio-ambiental*. Rio de Janeiro. Ciência Moderna.

DUFFY, M. E., 1987, “Methodological triangulation: a vehicle for merging quantitative and qualitative research methods”. *Journal of Nursing Scholarship*, pp. 130-133.

DUTRA; N. G. S., 2004, *Enfoque de “City Logistics” na Distribuição Urbana de Encomendas*. Tese D.Sc., UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

DUTRA, N. G., BADIN, N. T., NOVAES, A. G. N., LUNA, M. M. M., “Uma Análise sobre os Problemas Enfrentados e as Práticas Adotadas no Transporte Urbano de Cargas”. *XVII Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014, *Balço Energético Nacional: Séries completas*. Ministério das Minas e Energia. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>. Acesso em: 4 março de 2015.

FERREIRA, A. F., RIBEIRO, R. G., BARBOSA, H. M., Aceitabilidade da carona programada como forma de gerenciamento da demanda por estacionamento em uma instituição de ensino. *XXV Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2011.

FIGUEIREDO, K., 2002, “A logística do pós-venda”. *Revista HSM Management*, n. 32.

GATTI J. W., 2011, “A ZMRC e o transporte urbano de cargas na cidade de São Paulo”. *Revista Eletrônica Gestão e Serviços*, v. 2, n. 1, p. 205-227.

GIBBS e SOELL., 2011, *Sense e Sustainability Study. Perspectives on Corporate Sustainability Among Consumers and Fortune*. Disponível em: <http://www.gibbs-soell.com/home/pulse-check/2011-gibbs-soell-sense-sustainability-study/>. Acesso em 22 de fevereiro de 2014.

GODOY, A. S., 1995, “Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades”. *Revista de Administração de Empresas*, v.35, n.2. pp. 57-63.

GOODLAND, R., 1995, *The concept of environmental sustainability*. In: Annual review of ecology and systematic, pp. 1-24.

HARDIN, G., 1968, “The tragedy of the commons”. *Journal of Science*, v. 162, n. 3859, pp.1243-1248.

IBGE, 2000, *Censo Demográfico 2000*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>. Acesso em 11 de novembro de 2013.

IBGE, 2010, *Censo demográfico 2010*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brasil_tab_1_15.pdf. Acesso 19 de Outubro de 2013.

IPEA, 2006, *Urbanização – Metrôpoles em movimento*. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=994:reportagens-materias&Itemid=39. Acesso em 19 de Outubro de 2013.

LAW, A. M., e KELTON, W. D., 2000, *Simulation Modeling and Analysis*, 3 ed. Singapore, McGraw-Hill.

MCKINNON, A., BROWNE, M., WHITEING, A., 2012, *Green Logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*. Kogan Page Publishers.

MELO, S, BAPTISTA, P, COSTA, A., 2014, “Comparing the Use of Small Sized Electric Vehicles with Diesel Vans on City Logistics”. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 350-359.

MORESI, E., 2003, *Metodologia da pesquisa*. Brasília. Universidade Católica de Brasília.

MORLOK, E. K., 1978, *Introduction to transportation engineering and planning*. New York, McGraw-Hill.

NOVAES, A., 2001, *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição*. Editora Campus. Elsevier Brasil.

OGDEN, K. W., 1992, *Urban goods movement: a guide to policy and planning*. Inglaterra, Editora Ashgate.

O GLOBO RIO. (2014). *Veja onde há restrição da circulação de caminhões no Rio*. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/infograficos/restricao-circulacao-caminhoes/>. Acesso em 20 de janeiro de 2014.

OLSON, D. L., EVANS, J. R., 1998, *Introduction to simulation and risk analysis*. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall.

ONU. (2013). *ONU: mais de 70 da população mundial viverá em cidades até 2050*. Disponível em: <http://www.onu.org.br/onu-mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050/>. Acesso em 20 de Dezembro de 2013.

PEDROSO, L. H. T. R., 2007, *Uma Sistemática para a Identificação, Análise Qualitativa e Análise Quantitativa dos Riscos do Projeto*. Dissertação de M.Sc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

PEREIRA, J. L., 2014, *Análise da conjuntura dos principais índices de custos do transporte rodoviário de Cargas*. In: Anuário 2013-2014 NTC&logística.

RIO DE JANEIRO. Decreto nº 29.231, de 24 de Abril de 2008. Dispõe sobre horário de circulação de veículos de carga e operação de carga e descarga na forma que menciona. Disponível em: <http://www.sindrio.com.br/upload/sindrio/arquivo/Decreto%20Municipal%20Tr%C3%A1fego%20de%20Cargas.pdf>. Acesso em 15 de abril de 2014.

RIO DE JANEIRO. Decreto nº 37784, de 10 de Outubro de 2013. *Dispõe sobre horário de circulação de veículos de carga e operação de carga e descarga na forma que menciona, e dá outras providências*. Disponível em: http://smaonline.rio.rj.gov.br/legis_consulta/45194Dec%2037784_2013.pdf. Acesso em 15 de abril de 2014.

RIO DE JANEIRO. Decreto nº 38.055 de 18 de Novembro de 2013. Dispõe sobre horário de circulação de veículos de carga e operação de carga e descarga na forma que menciona. Disponível em : <http://www.sindromed-rj.com.br/news/5775/>. Acesso em 15 de abril de 2014.

ROCHA, C. H. B., 2002, *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Juiz de Fora. MG. Editora do autor.

SADHU, S. L. N., TIWARI, G., JAIN, H., 2014, “Impact of cycle rickshaw trolley (CRT) as non-motorised freight transport in Delhi”. *Transport Policy*, pp. 64-70.

SINAY, M. C. F., CAMPOS, V. B. G., DEXHEIMER, L., & NOVAES, A. G., Distribuição de carga urbana: componentes, restrições e tendências. *II Rio de Transportes*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

SOUZA, C. D. R., SILVA, M. A. V., D’AGOSTO, M. A., 2013, “Inventory of conventional air pollutants emissions from road transportation for the state of Rio de Janeiro”. *Energy Policy*, pp. 125-135.

TRAMSOFT, 2014, *GPS Garmin Etrex Vista Hcx*. Disponível em: <http://www.tramsoft.ch/gps/garmin-etrex-vista-hcx-en.html>. Acesso em 13 de dezembro de 2013.

TRAMSOFT, 2014, *GPS Garmin Nuvi 2405*. Disponível em: <http://www.tramsoft.ch>. Acesso em 13 de dezembro de 2013.

VOSE, D., 2000, *Risk Analysis: a quantitative guide*. 2 ed. Chichester, UK, John Wiley e Sons.

WADHWA, L.C., 2000, *Sustainable transportation: the key to sustainable cities*. In: *The Sustainable City IV: Urban Regeneration and Sustainability*. Wit Press, pp. 281-290.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 2002, *Brundtland Report*. Oxford University Press, New York.

ANEXOS

Anexo A – Quadro resumo dos dados da pesquisa

Quadro-resumo dos dados da pesquisa: “Aprimorando o desempenho ambiental da distribuição física em centros urbanos. Uma aplicação para a distribuição de bebidas no Rio de Janeiro”

Pesquisador(a): _____

Cenário	Caminhão
Horário de saída do CD	
Tempo gasto do CD até o primeiro cliente	
Distância do CD até o primeiro cliente	
Tempo de carga e descarga (cliente 1)	
Tempo do cliente 1 até o cliente 2	
Distância do cliente 1 até o cliente 2	
Tempo de carga e descarga (cliente 2)	
Tempo do cliente 2 até o cliente 3	
Distância do cliente 2 até o cliente 3	
Tempo de carga e descarga (cliente 3)	
Tempo do cliente 3 até o cliente 4	
Distância do cliente 3 até o cliente 4	
Tempo de carga e descarga (cliente 4)	
Tempo do cliente 4 até o cliente 5	
Distância do cliente 4 até o cliente 5	
Tempo de carga e descarga (cliente 5)	
Tempo do cliente 5 até o cliente 6	
Distância do cliente 5 até o cliente 6	
Tempo de carga e descarga (cliente 6)	
Tempo do cliente 6 até o cliente 7	
Distância do cliente 6 até o cliente 7	
Tempo de carga e descarga (cliente 7)	
Tempo do cliente 7 até o cliente 8	

Distância do cliente 7 até o cliente 8	
Tempo de carga e descarga (cliente 8)	
Tempo do cliente 8 até o cliente 9	
Distância do cliente 8 até o cliente 9	
Tempo de carga e descarga (cliente 9)	
Tempo do cliente 9 até o cliente 10	
Distância do cliente 9 até o cliente 10	
Tempo de carga e descarga (cliente 10)	
Tempo do cliente 10 até o cliente 11	
Distância do cliente 10 até o cliente 11	
Tempo de carga e descarga (cliente 11)	
Tempo do cliente 11 até o cliente 12	
Distância do cliente 11 até o cliente 12	
Tempo de carga e descarga (cliente 12)	
Tempo do cliente 12 até o cliente 13	
Distância do cliente 12 até o cliente 13	
Tempo de carga e descarga (cliente 13)	
Tempo do cliente 13 até o cliente 14	
Distância do cliente 13 até o cliente 14	
Tempo de carga e descarga (cliente 14)	
Tempo do cliente 14 até o cliente 15	
Distância do cliente 14 até o cliente 15	
Tempo de carga e descarga (cliente 15)	
Tempo do cliente 15 até o cliente 16	
Ocupação do caminhão	
Número de clientes	
Bairros que a rota atende	
Tempo total da rota	
Distância total percorrida	
Horária de chegada no CD	

Quadro-resumo dos dados da pesquisa: “Aprimorando o desempenho ambiental da distribuição física em centros urbanos. Uma aplicação para a distribuição de bebidas no rio de janeiro”.

Pesquisador(a): _____

Cenário	Caminhão + triciclo
Horário de saída do CD	
Tempo gasto do CD até o ponto de parada	
Distância do CD até o ponto de parada	
Tempo de carregamento do triciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação do triciclo	
Tempo de carregamento do triciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação do triciclo	
Tempo de carregamento do triciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação do triciclo	
Tempo de carregamento do triciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação do triciclo	
Tempo de carregamento da triciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	

Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação dotriciclo	
Tempo de carregamento dotriciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação dotriciclo	
Tempo de carregamento dotriciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação dotriciclo	
Tempo de carregamento do triciclo	
Tempo gasto na distribuição de produtos	
Distância percorrida na distribuição produtos	
Número de clientes atendidos	
Taxa de ocupação dotriciclo	
Bairros que a rota atende	
Número total de clientes atendidos na rota	
Tempo de retorno até o CD	
Tempo total da rota	
Distância total percorrida pelo caminhão	
Distância total percorrida pelotriciclo	
Horário de chegada no CD	

Anexo B – Quadro resumo dos dados coletados em campo – Rota Copacabana

Pesquisador	Aline		
Caminhão	G69	8 baias	
GPS	131758		
Rota	Zona Sul - Copacabana		
Número de clientes	23		
Equipe	1 motorista + 2 ajudantes		
Cenário	Caminhão		
	Início	Fim	(km ou min)
Horário de saída do CD	06:58		
Tempo gasto do CD até o 1º cliente	06:58	08:04	01:06
Distância do CD até o 1º cliente	23,00		
Tempo parado ponto 1	00:54		
Tempo do ponto de parada 1 para o ponto de parada 2	00:06		
Distância do ponto de parada 1 para o ponto de parada 2	0,70		
Tempo parado ponto 2	00:05		
Tempo do ponto de parada 2 para o ponto de parada 3	00:11		
Distância do ponto de parada 2 para o ponto de parada 3	3,00		
Tempo parado ponto 3	00:26		
Tempo do ponto de parada 3 para o ponto de parada 4	00:07		
Distância do ponto de parada 3 para o ponto de parada 4	3,00		
Tempo parado ponto 4	01:00		
Tempo do ponto de parada 4 para o ponto de parada 5	00:12		
Distância do ponto de parada 4 para o ponto de parada 5	3,00		
Tempo parado ponto 5	00:27		
Tempo do ponto de parada 5 para o ponto de parada 6	00:13		
Distância do ponto de parada 5 para o ponto de parada 6	1,00		
Pausa para almoço	00:27		
Tempo parado ponto 6	00:04		
Tempo do ponto de parada 6 para o ponto de parada 7	00:09		
Distância do ponto de parada 6 para o ponto de parada 7	4,00		
Tempo parado ponto 7	00:30		
Tempo do ponto de parada 7 para o ponto de parada 8	00:05		
Distância do ponto de parada 7 para o ponto de parada 8	1,00		
Tempo parado ponto 8	00:27		
Tempo do ponto de parada 8 para o ponto de parada 9	00:04		
Distância do ponto de parada 8 para o ponto de parada 9	2,00		
Tempo parado ponto 8	00:55		
Distância até o CD	19,00		
Tempo até o CD	01:00		
Horário de chegada no CD	18:34		
Distância total percorrida	59,70	km	
Tempo total da rota	11:36		

Anexo C – Quadro resumo dos dados coletados em campo – Rota Jardim Botânico

Pesquisadora	Amanda		
Caminhão	8 baias		
GPS	50825		
Rota	Copacabana		
Número de clientes	47		
Equipe	1 motorista + 2 ajudantes		
Modelo moto	Honda CG 150 Esi Fan - Consumo 40 km/l		
Cenário	Caminhão		
	Início	Fim	(km ou min)
Horário de saída do CD	06:50	17:58	11:08
Tempo gasto do CD até o ponto de parada	06:50	07:50	01:00
Distância do CD até o ponto de parada			27
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	08:34	08:58	00:24
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	09:25	09:35	00:10
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	09:25	09:40	00:15
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	09:30	09:45	00:15
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	09:47	10:00	00:13
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	09:55	10:18	00:23
Tempo de carregamento da moto	10:20	10:37	00:17
Tempo gasto para distribuição dos produtos	10:40	11:54	01:14
Distância para distribuição de produtos	32.760	32.763	3
Número de clientes atendidos		2	
Taxa de ocupação da moto		95%	
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	10:13	10:35	00:22
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	10:14	10:50	00:36
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	10:38	10:45	00:07
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	11:05	11:20	00:15
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	11:15	11:37	00:22
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	11:26	11:45	00:19
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	11:30	11:55	00:25
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	11:53	12:14	00:21
Tempo de carregamento da moto	11:56	12:10	00:14
Tempo gasto para distribuição dos produtos	12:11	12:49	00:38
Distância para distribuição de produtos	32.763	32.764	1
Número de clientes atendidos		1	
Taxa de ocupação da moto		90%	
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	11:15	12:40	01:25
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	12:36	13:05	00:29

Tempo de carregamento da moto	12:55	13:00	00:05
Tempo gasto para distribuição dos produtos	13:01	13:49	00:48
Distância para distribuição de produtos	32.764	32.765	1
Número de clientes atendidos		1	
Taxa de ocupação da moto		50%	
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	13:16	13:25	00:09
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	13:37	13:51	00:14
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	13:54	14:05	00:11
Tempo de carregamento da moto	14:02	14:10	00:08
Tempo gasto para distribuição dos produtos	14:14	14:58	00:44
Distância para distribuição de produtos	327.656	327.667	11
Número de clientes atendidos		1	
Taxa de ocupação da moto		80%	
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	14:30	14:45	00:15
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	15:00	15:20	00:20
Tempo de carregamento da moto	15:00	15:24	00:24
Tempo gasto para distribuição dos produtos	15:26	16:08	00:42
Distância para distribuição de produtos	327.667	327.670	3
Número de clientes atendidos		4	
Taxa de ocupação da moto		75%	
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	15:50	16:00	00:10
Tempo gasto para distribuição dos produtos*	16:17	16:30	00:13
Tempo gasto do ponto de parada até o CD	17:02	17:58	00:56
Distância do ponto de parada até o CD	?	?	?
Ocupação média do caminhão		90%	
Tempo total da rota (h)	11:08		
Distância total da rota (km)			
Número total de clientes atendidos		47 notas	

*refere-se ao tempo da saída do funcionário com o carrinho até seu retorno ao caminhão