UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

VINÍCIUS PATROCOLLO DOMINGOS CHIUFFA

ANÁLISE DA EMISSÃO E DEPOSIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS QUE AFETAM OS AMBIENTES AQUÁTICOS PELA OPERAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Ilha Solteira
2018

VINÍCIUS PATROCOLLO DOMINGOS CHIUFFA

ANÁLISE DA EMISSÃO E DEPOSIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS QUE AFETAM OS AMBIENTES AQUÁTICOS PELA OPERAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Especialidade: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Profª. Drª. Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
Orientadora

Profª. Drª. Luzenira Alves Brasileiro
Co-orientadora

Ilha Solteira
2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C543a

Chiuffa, Vinícius Patrocollo Domingos.
Análise da emissão e deposição de poluentes atmosféricos que afetam os ambientes aquáticos pela operação de um centro de distribuição / Vinícius Patrocollo Domingos Chiuffa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
83 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2018

Orientador: Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
Co-orientador: Luzenira Alves Brasileiro
Inclui bibliografia

1. Emissão de poluentes. 2. Deposição de poluentes. 3. Centro de distribuição.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DA EMISSÃO E DEPOSIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS QUE AFETAM OS AMBIENTES AQUÁTICOS PELA OPERAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

AUTOR: VINICIUS PATROCOLLO DOMINGOS CHIUFFA
ORIENTADORA: MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE
COORIENTADORA: LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO DE CASTRO TAKEDA
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Ilha Solteira, 02 de março de 2018

DEDICO

Ao meu pai Nelson Chiuffa, minha mãe Marilene Fernandes Mendonça e ao meu irmão Alexandre Luiz Chiuffa, por estarem sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus,

Pela força espiritual para a realização desse trabalho.

Aos meus pais Nelson Chiuffa e Marilene Fernandes Mendonça,

Pela compreensão, ajuda e apoio durante este percurso.

Ao meu irmão Alexandre Luiz Chiuffa,

Por sempre acreditar no meu potencial.

A Profª. Drª. Luzenira Alves Brasileiro,

Pelos longos anos de amizade e por toda a ajuda e orientação durante estes anos do mestrado.

Aos meus companheiros de república Bruno Yabuki, Mateus Magnani, Caio Helene, Alan Cunha, Murilo Peccinelli, Jorge Martinelli, Érico Destro, Caio Tritapepe, Iago Vitale, Renan Godinho, Lucas Selva,

Por terem sido minha segunda família.

Aos meus amigos Ronne César, Hernandes Queiroz, Alexandre Aquino, Luís Henrique Oliveira, Rafael Serafim, Felipe Godoy, Marco Antônio Pompei, Vitor Pompei, Michele Massagli, Aline Massagli, Ana Luiza Apolônio, Laura Nicoletti, Luiz Moura, José Vitor Haraki, Danilo Arruda,

Pelo carinho e vários anos de amizade.

A Isabele Mattila e Omar-Al-Sharif,

Pela ajuda na realização desse trabalho.

“Não devemos nos questionar porque algumas coisas nos acontecem e sim o que podemos fazer com o tempo que nos é dado.” J. R. R. Tolkien

RESUMO

As mudanças nas dinâmicas dos mercados devido aos avanços tecnológicos, a globalização e aumento significativo na gama de produtos ofertados, têm feito com que as empresas revejam seus sistemas logísticos. A fim de atender com maior eficiência seus clientes, a maioria das corporações tem optado pela centralização dos estoques na forma de centros de distribuição (CD). Porém este tipo de operação muitas vezes composta por um grande número de veículos que percorrem grandes distâncias, colaboram para o aumento nos níveis de emissões e deposições de vários poluentes atmosféricos. O objetivo desta pesquisa foi fazer um estudo de caso de um centro de distribuição de uma rede supermercadista, avaliando as emissões atmosféricas e as deposições totais nos corpos d'água da região, para alguns dos poluentes mais comuns liberados na combustão incompleta que ocorre nos motores dos veículos, sendo estes o Dióxido de Carbono (CO_2), Hidrocarboneto, Óxidos de Nitrogênio (NOx) e Material Particulado (MP). Também foi proposta uma roteirização, utilizando o algoritmo do vizinho mais próximo, visando diminuir as quilometragens percorridas pela frota, com o objetivo de diminuir os impactos gerados. Os cálculos das emissões para o funcionamento atual do CD, como para a nova rota proposta foram feitas utilizando-se os métodos *Top-Down* e *Bottom-Up*, e os cálculos das deposições totais feitas conforme o proposto na literatura. As emissões anuais encontradas atualmente foram de aproximadamente 4.700 toneladas, 193 kg, 10.615 kg e 103 kg para o CO_2, HC, NOx e MP, respectivamente. Já as deposições totais nos corpos d'água de 4,74 kg de HC, 1.777 de NOx, 9,0 kg de MP_{10} e 4,0 kg de $MP_{2.5}$. As emissões anuais encontradas após a roteirização foram de aproximadamente 1.310 toneladas, 53 kg, 2.957 kg e 29 kg para o CO_2, HC, NOx e MP, respectivamente, e as deposições totais nos corpos d'água de 1,32 kg de HC, 328 kg de NOx, 2,50 kg de MP_{10} e 1,10 kg de $MP_{2.5}$. Portanto, com a roteirização simulada foi possível uma redução nas emissões e nas deposições por volta de 72%, podendo-se concluir que maiores devem ser as atenções dadas a esse tipo de operação para minimizar os impactos negativos tanto à saúde da população quanto ao meio ambiente.

Palavras-chave: Emissão de poluentes. Deposição de poluentes. Centro de distribuição.

ABSTRACT

The changes in market dynamics due to technological advances, globalization and a significant increase in the range of products offered, have caused companies to review their logistics systems. In order to serve its customers more efficiently, most corporations have opted to centralize inventories in the form of distribution centers (DCs). However, this type of operation, which is often composed of a large number of vehicles that travel long distances, contribute to the increase in emissions and deposition levels of various atmospheric pollutants. The objective of this research was to make a case study of a distribution center of a supermarket chain, evaluating atmospheric emissions and total depositions in the region's water bodies, for some of the most common pollutants released in the incomplete combustion that occurs in the engines like Carbon Dioxide (CO_2), Hydrocarbons (HC), Nitrogen Oxides (NOx) and Particulate Matter (PM). A routing was also proposed, using the algorithm of the nearest neighbor, aiming at reducing the kilometers traveled by the fleet, in order to reduce the impacts generated. The calculations of the emissions for the current operation of the DC, as for the new proposed route were made using the Top-Down and Bottom-Up methods, and the calculations of the total depositions made as proposed in the literature. The annual emissions currently found were approximately 4.700 tons, 193 kg, 10.615 kg and 103 kg for CO_2, HC, NOx and PM, respectively. The total deposition in the bodies of water of 4,74 kg of HC, 1.777 kg of NOx, 9,0 kg of PM_{10} and 4,0 kg of $PM_{2.5}$. The annual emissions found after routing were approximately 1.310 tons, 53 kg, 2.957 kg and 29 kg for CO_2, HC, NOx and PM, respectively, and the total depositions in water bodies of 1,32 kg of HC, 328 kg of NOx, 2,50 kg of PM_{10} and 1,10 kg of $PM_{2.5}$. Therefore, with simulated routing, it was possible to reduce emissions and depositions by 72%, and it can be concluded that greater attention should be given to this type of operation to minimize negative impacts on both the population's health and the environment.

Keywords: Emission of pollutants. Deposition of pollutants. Distribution center.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Centro de Distribuição	22
Figura 2 -	Funções Básicas de um Centro de Distribuição	24
Figura 3 -	Destino e efeitos ambientais dos poluentes emitidos para a atmosfera	35
Figura 4 -	Processo de deposição seca de poluentes gasosos análogo à Lei de Ohm	36
Figura 5 -	Evolução típica diária da Camada Limite da Atmosfera (CLA)	40
Figura 6 -	Processo de transferência de poluentes gasosos na interface atmosfera/biosfera	42
Figura 7 -	Municípios considerados nos estudos de emissões e deposição seca	53
Figura 8 -	Exemplo da área referente aos recursos hídricos do município de Taquaritinga – SP	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Quantidades de cestas básicas e caminhões enviados para cada município	57
Tabela 2 -	Roteirização da frota do Centro de Distribuição estudado	62
Tabela 3 -	Emissões de CO_2 para o funcionamento atual do CD	63
Tabela 4 -	Emissões de CO_2 da frota do CD após a roteirização	64
Tabela 5 -	Emissões de HC, NOx e MP para o funcionamento atual do CD	66
Tabela 6 -	Emissões de HC, NOx e MP após a roteirização	
Tabela 7 -	Comparativo das emissões de HC, NOx e MP antes e após roteirização	68
Tabela 8 -	Fluxo de Deposição Seca atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	69
Tabela 9 -	Deposição seca atual e pós-roteirização na área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	70
Tabela 10 -	Deposição seca atual e pós-roteirização nos recursos hídricos da área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	70
Tabela 11 -	Fluxo de deposição úmida atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	71
Tabela 12 -	Deposição úmida atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	72
Tabela 13 -	Deposição úmida atual e pós-roteirização nos recursos hídricos da área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	72
Tabela 14 -	Deposição total atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	73
Tabela 15 -	Deposição Total atual e pós-roteirização nos recursos hídricos da área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Velocidades de deposição seca para os hidrocarbonetos 47

Quadro 2 - Velocidades de deposição seca para os materiais particulados 47

Quadro 3 - Velocidades de deposição seca para os óxidos de nitrogênio 48

Quadro 4 - Constantes A e B para cálculo do coeficiente de *scavenging* pra o NOx $MP_{2.5}$, MP_{10} e HC 50

Quadro 5 - Área dos municípios considerados no estudo 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAS - Associação Brasileira de Supermercados

BEM - Balanço Energético Nacional

CD - Centro de Distribuição

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CLA - Camada Limite da Atmosfera

CLE - Camada Limite Estável

CMC - Camada Limite de Mistura Convectiva

CO - Monóxido de Carbono

CO_2 - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

H_2SO_4 - Ácido Sulfúrico

HC - Hidrocarboneto

HNO_3 - Ácido Nítrico

HPA - Hidrocarboneto Policíclico Aromático

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MME - ministério de Minas e Energia

MP - Material Particulado

NO - Monóxido de Nitrogênio

NO_2 - Dióxido de Nitrogênio

NOx - Óxidos de Nitrogênio

PCI - Poder Calorífico Inferior

PCS - Poder Calorífico Superior

PI - Partículas Inaláveis

PTS - Partículas Totais em Suspensão

SOx - Óxidos de Enxofre

Tep - Tonelada Equivalente de Petróleo

TIC - Tecnologia de Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 16

3 OBJETIVO 18

4 JUSTIFICATIVA 19

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20

5.1 CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO 20

5.1.1 Considerações Gerais 20

5.1.2 Estrutura do Centro de Distribuição 22

5.1.3 Funções básicas de um Centro de Distribuição 24

5.1.3.1 Recebimento 24

5.1.3.2 Movimentação 24

5.1.3.3 Armazenagem 25

5.1.3.4 Separação dos pedidos 26

5.1.3.5 Expedição 26

5.2 POLUIÇÃO POR VEÍCULOS AUTOMOTORES 27

5.2.1 Considerações Gerais 27

5.2.1.1 Fontes Fixas 28

5.2.1.2 Fontes Móveis 28

5.2.1.3 Poluentes Primários 28

5.2.1.4 Poluentes Secundários 28

5.2.2 Tipos de emissão veicular 29

5.2.3 Principais poluentes emitidos por veículos automotores 29

5.2.3.1 Monóxido de Carbono (CO) 31

5.2.3.2 Hidrocarbonetos (HC) 32

5.2.3.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_X) 32

5.2.3.4 Óxidos de Enxofre (SO_X) 32

5.2.3.5 Aldeídos (CHO) 33

5.2.3.6 Material Particulado (MP) 33
5.3 DEPOSIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS 34
5.3.1 Considerações Gerais 34
5.3.2 Deposição Seca 35
5.3.3 Deposição Úmida 38
5.3.4 Estrutura e dinâmica da Camada Limite da Atmosfera 39
5.3.5 Interação dos poluentes gasosos com a superfície 41
6 MATERIAIS E MÉTODOS 43
6.1 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE POLUENTES 43
6.2 METODOLOGIA *TOP-DOWN* 43
6.3 METODOLOGIA *BOTTOM-UP* 45
6.4 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO SECA 46
6.5 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA 48
6.6 ROTEIRIZAÇÃO 50
7 ESTUDO DE CASO 52
7.1 ÁREA DE ESTUDO 52
8 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 56
8.1 ROTEIRIZAÇÃO 56
8.2 CÁLCULOS DA EMISSÃO PELO MÉTODO *TOP-DOWN* 62
8.3 CÁLCULO DAS EMISSÕES PELO MÉTODO *BOTTOM-UP* 65
8.4 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO SECA DOS POLUENTES ESTUDADOS 68
8.5 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA DOS POLUENTES ESTUDADOS 70
8.6 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO TOTAL DOS POLUENTES ESTUDADOS 72
9 CONCLUSÕES 75
REFERÊNCIAS 77

1 INTRODUÇÃO

As emissões de origem veicular são resultado da queima do combustível ou de sua evaporação. Os poluentes emitidos pelos veículos automotores são classificados em primário e secundário (SANTOS, 2015). Os poluentes primários emitidos pelos veículos automotores incluem o Dióxido de Carbono (CO_2), o Monóxido de Carbono (CO), os Hidrocarbonetos (HC), os Óxidos de Enxofre (SO_X), os Óxidos de Nitrogênio (NO_X) e os Materiais Particulados (MP). Os poluentes secundários, associados às emissões dos veículos automotores, incluem o Dióxido de Nitrogênio (NO_2), os oxidantes fotoquímicos (por exemplo, o Ozônio), o Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), o ácido nítrico (HNO_3) e seus sais (como os aerossóis de sulfatos e nitratos). Segundo CETESB (2004), os veículos automotores são os maiores responsáveis pelas emissões de CO; HC; NO_X; MP e SO_X, concluindo que estes produzem mais poluição atmosférica do que qualquer outra atividade humana e, com isto, se tornam grandes agentes agressores do meio ambiente e da saúde pública.

O NO_2 reage com a água presente no ar formando o ácido nítrico (HNO_3); assim como o SO_2 reage com o oxigênio atmosférico formando o SO_3 e este juntamente com a umidade atmosférica, acaba transformando-se em ácido sulfúrico (VESILIND; MORGAN, 2011). O ácido nítrico e o ácido sulfúrico são os dois principais componentes da chuva ácida que provoca a acidificação dos ambientes aquáticos. Os danos provenientes da poluição atmosférica por veículos automotores não se restringem somente às áreas onde ocorreu a emissão, pois através da dispersão por meio das correntes de ar, as partículas e os gases ultrapassam fronteiras regionais e nacionais.

De acordo com Resende (2012), os Hidrocarbonetos, quando entram em contato com a água, são capazes de se dissolver em milhões de partes, afetando os ecossistemas e os seres humanos. Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) são compostos orgânicos constituintes do petróleo e formam-se, ainda, na combustão incompleta de seus derivados. Estes compostos apresentam grande toxicidade, tornando-os a maior classe conhecida de compostos carcinogênicos. Além disto, os HPAs apresentam uma ampla distribuição no meio ambiente e persistência no ambiente aquático, sendo compostos lipofílicos altamente persistentes e possuem elevada tendência à bioacumulação.

O crescimento demográfico e a expansão industrial vêm provocando grandes conflitos entre o ambiente natural e o desenvolvimento econômico (DRUMM et al., 2014). Com o intenso processo de industrialização e com os avanços tecnológicos, houve também um grande aumento na demanda da população pelo serviço *delivery* de mercadorias, que têm consequências graves no nível da degradação do solo e dos ambientes aquáticos, devido à emissão de poluentes pelos veículos automotores.

O propósito desta pesquisa é analisar a redução dos impactos que são gerados nos ambientes aquáticos provenientes das emissões e deposições de poluentes por veículos automotores nas operações de entrega. Os Centros de Distribuições (CDs) são os principais responsáveis pelas frotas de veículos nas operações de entrega de carga, mas as rotas dos veículos nem sempre são eficientes, provocando maiores emissões de poluentes. Portanto, a otimização das rotas percorridas pelos veículos no serviço de entrega diminui a quilometragem percorrida, reduzindo a emissão de poluentes e minimizando a degradação dos ambientes aquáticos.

As emissões são fortemente dependentes da quantidade de quilômetros percorridos e da velocidade de deslocamento. Assim, qualquer mudança na relação veículos-quilômetros e veículos-horas resulta em alterações na quantidade de emissão (CASTRO; KUSE, 2005).

2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O crescimento populacional pode ser apontado como a maior causa da degradação ambiental, criando um ciclo vicioso, onde a população crescente polui o ambiente e o ambiente assim degradado vai perdendo a sua capacidade de suporte. Segundo Azuaga (2000), os principais danos causados diretamente à população pelas emissões de poluentes são: a acidificação dos rios e florestas e a perda de bem estar da mesma; e os principais danos causados ao meio ambiente, que refletem na população, são o efeito estufa e o aquecimento global.

A poluição pode ocorrer na água, no ar e no solo. A poluição do ar, também denominada atmosférica, é a mais danosa porque colabora com o aumento da poluição do solo e da água.

Os danos provenientes da poluição atmosférica não se restringem somente às áreas onde ocorreu a emissão; pois através da dispersão por meio das correntes de ar, as partículas e os gases ultrapassam fronteiras regionais e nacionais.

As principais fontes poluidoras do ar são os processos de combustão e os processos industriais. Os processos de combustão, que originam poluentes pela combustão de veículos automotores, são mais impactantes na intensidade da geração da poluição atmosférica do que os processos industriais; pois, apesar de os veículos automotores serem fontes menores do que as indústrias, eles são mais numerosos e presentes em maiores áreas, já que são fontes móveis de poluição.

A poluição atmosférica é considerada um dos problemas ambientais mais significativos tanto em países em desenvolvimento como nos desenvolvidos. Os meios de transportes (principalmente automóveis, ônibus e caminhões) são responsáveis por grande parte da degradação da qualidade do ar. A expansão da frota circulante, associada às características tecnológicas dos veículos mais antigos e aos combustíveis utilizados, acarreta um aumento preocupante dos níveis de emissões de poluentes no ar (MENDES, 2004).

Nos meios de transporte, os derivados do petróleo como a gasolina e o óleo diesel continuam sendo os combustíveis predominantes. A queima de combustíveis fósseis gera impactos ambientais de alcance global, tal como o aumento da concentração de gases do efeito estufa, e gera também impactos regionais, tais como as chuvas ácidas, que vem prejudicando de maneira muito séria a saúde da população (WILLS, 2008).

Até meados de 1980, a poluição atmosférica era atribuída basicamente às emissões industriais, classificadas como fontes estacionárias; no entanto, o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis, ou veículos, se tornassem um problema de grande magnitude. Atualmente, verifica-se uma situação em que um dos maiores geradores de poluição atmosférica é a fonte móvel em circulação nas rodovias, muitas vezes sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e dos mecanismos de filtragem dos gases emitidos (NÓBREGA, 2013).

Segundo Santos Junior (2015), mais de 3.000 poluentes de origem antrópica foram identificados na atmosfera. Os processos de combustão, que ocorrem em motores veiculares, podem ser responsáveis sozinhos pela emissão de aproximadamente 500 compostos diferentes para a atmosfera.

3 OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a redução dos poluentes que são depositados nos ambientes aquáticos provenientes das emissões por veículos automotores nas operações de entrega de um Centro de Distribuição (CD).

4 JUSTIFICATIVA

A mobilidade é intrínseca à história da urbanização, que provocou a necessidade de deslocamento de pessoas e bens nos aglomerados repletos de pessoas e edificações, que muitas vezes se desenvolveram sem planejamento. Pode-se entender o espaço urbano como um fenômeno de agrupamento social, no qual as pessoas se encontram diante das ofertas de alimentos, matéria-prima, trabalho e lazer, o que resulta na necessidade constante do tráfego de pessoas e cargas (BRASIL, 2006).

O crescimento econômico do Brasil, com a expansão da classe média e, consequentemente, com o aumento do poder de compras, fez com que aumentassem as demandas pelo transporte de bens de consumos adquiridos. Aliado a este aumento no consumo, houve um maior acesso da população a computadores e internet, que culminou em um aumento do comércio via web denominado de *e-commerce*. A massificação desse tipo de compras fez com que crescesse os serviços de entregas, que, juntamente com as estratégias da redução de estoques de mercadorias pelas empresas, pressionam o setor de transporte de mercadorias, causando o crescimento do volume de veículos de carga nas redes de tráfego (TANIGUCHI; THOMPSON, 2006).

Essa agressão ao meio ambiente precisa ser pesquisada, pois, não fica limitada às localidades e aos corredores por onde se deslocam as frotas veiculares. Ao contrário, se estende às regiões vizinhas, em função das circunstâncias e condicionamentos meteorológicos, que provocam danos regionais e globais (PINTO, 2005).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

5.1.1 Considerações Gerais

A logística tem recebido grande destaque no planejamento estratégico das empresas, por impactar diretamente nos seus resultados, sejam estes financeiros, de vendas ou marketing.

Atualmente é possível observar uma grande mudança nas dinâmicas dos mercados, principalmente devido a um aumento significativo na gama de produtos ofertados, as maiores frequências nas entregas e aos altos custos relacionados à manutenção dos estoques. Todos estes fatores têm tornado imprescindível que as corporações busquem o aperfeiçoamento de seus sistemas logísticos, de modo a corresponder às exigências de seus clientes, porém sem incorrer em custos elevados (SILVA, 2006).

Todas essas mudanças fizeram com que muitas empresas evidenciassem uma ineficiência de seus processos, pelo reflexo destes nos elevados custos de produção que apresentavam, como também nos grandes desperdícios envolvidos na distribuição de seus produtos. A competição mais agressiva pela globalização dos mercados, a grande diversidade dos produtos ofertados e novo perfil do consumidor que está mais exigente fez com que as empresas, nos últimos anos, passassem a administrar as atividades de suas cadeias de suprimento de maneira mais integrada, ou seja, analisando os produtos e serviços como um fluxo ininterrupto, desde as fontes de matérias primas, até os consumidores finais (BALLOU, 2001).

A distribuição física de produtos, dentro de uma cadeia logística, sempre representou um permanente desafio logístico, devido ao fato desta etapa estar diretamente relacionada com o planejamento ao atendimento dos clientes, que na maioria das vezes, estão dispersos geograficamente. Isto faz com que a escolha do posicionamento e das funções das instalações de armazenagem sejam um ponto chave no conjunto integrado de decisões, que envolvem políticas de serviço ao cliente, políticas de estoque, de transporte e de produção, com o intuito de prover com máxima eficiência o fluxo de matérias-primas e produtos acabados ao longo de toda a cadeia de suprimentos (LACERDA, 2000; RODRIGUES; PIZZOLATO, 2003).

Atualmente, as definições de armazenagem passaram por grandes transformações, abrangendo serviços que vão muito além das tradicionais estocagens de curto e médio prazo. As empresas trabalhando cada vez mais no sistema *just-in-time*, visam agilizar o fluxo de materiais, diminuindo o tempo entre o recebimento e a entrega dos pedidos, para reduzir não só investimentos em estoque, como o tempo que as mercadorias permanecem nos mesmos. Assim a armazenagem vem assumindo o papel de prover uma capacidade de resposta rápida, e muitos dos serviços executados visam justamente reduzir as necessidades de estoque (RODRIGUES; PIZZOLATO, 2003).

A fim de suprir adequadamente os variados pontos de vendas, e melhorar o gerenciamento de todo o processo de recebimento de produtos provenientes de diversos fornecedores, as organizações envolvidas com o varejo passaram a desenvolver procedimentos centralizados, tendo como resultado uma distribuição mais eficiente, flexível, dinâmica e economicamente viável (RODRIGUES, 2013).

A centralização dos estoques na forma de Centros de Distribuição (CD) tem permitido as empresas uma oportunidade de melhorar o seu gerenciamento. Um CD permite a consolidação dos estoques existentes nos diversos pontos de venda de uma rede varejista, os quais ocupam espaços que poderiam ser melhor utilizados. Esta transferência promove um significativo ganho operacional, com forte impacto na redução dos custos e ganhos de eficiência (RODRIGUES, 2013).

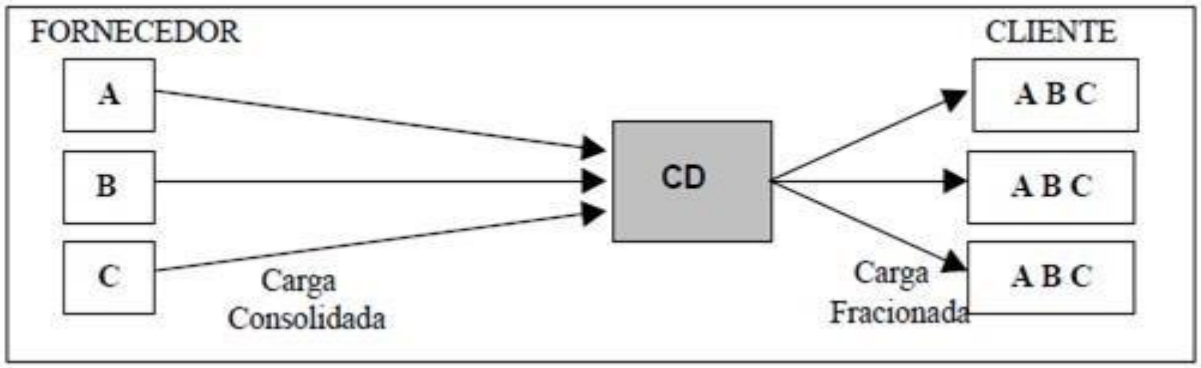
Muitos são os fatores que colaboram para concretização da centralização de estoques através de Centros de Distribuição. Dentre eles destaca-se a evolução da Tecnologia da Informação e Comunicação – TIC – que possibilitou o desenvolvimento de sistemas de informação mais integrados permitindo uma armazenagem mais eficiente (RODRIGUES, 2013).

As grandes empresas, principalmente as varejistas, vêm executando projetos de centros de distribuição a fim de alcançarem redução de custos em seus estoques e distribuição e, da mesma forma, aumentarem o nível de satisfação do cliente que é atendido mais rapidamente, não se defrontando com a falta de produtos nos pontos de venda finais (DASKIN; COULLARD, 2002).

5.1.2 Estrutura do Centro de Distribuição

Segundo Calazans (2001), o Centro de Distribuição (CD) é um armazém que tem por objetivo efetuar a gestão dos estoques de mercadorias na distribuição física. Este armazém recebe cargas consolidadas de diversos fornecedores, as quais são então fracionadas com intuito de consolidar os produtos em quantidade e variedade corretas, para posteriormente serem encaminhadas aos pontos de vendas, ou em alguns casos diretamente aos clientes finais, conforme o ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Centro de Distribuição



Fonte: Adaptado de Bowersox e Closs (2001)

Conforme exposto por Hill (2003), os centros de distribuição são projetados visando a circulação da mercadoria, e não apenas seu armazenamento. Os CDs são caracterizados por serem depósitos de grandes dimensões e automatizados. Os centros de distribuição são projetados para receber produtos provenientes de diferentes fábricas e fornecedores, receber os pedidos, atendê-los com eficiência e expedir os produtos para consumidores de uma determinada região com o menor tempo possível.

Um centro de distribuição tem como função manter o estoque necessário para controlar e equilibrar as variações entre o planejamento de produção e a demanda; permitindo assim acumular e consolidar produtos de vários pontos de fabricação de uma ou de várias empresas, combinando o carregamento para clientes ou destinos comuns, possibilitando também efetuar entregas no mesmo dia a clientes-chave e servindo de local para a customização de produtos, incluindo embalagem, etiquetagem e precificação, entre outras importantes atividades (MOURA, 2000).

Ainda, conforme Moura (2000), a principal finalidade do uso de CDs consiste em oferecer melhores níveis de serviço ao cliente, por meio da redução do *lead time*

(tempo de ressuprimento) e pela disponibilidade dos produtos o mais próximo possível dos pontos de venda, na localização geográfica junto ao principal mercado consumidor, oferecendo assim as condições necessárias para agilizar o atendimento dos pedidos. Dessa maneira aumenta-se a frequência dos pedidos, reduzindo os volumes e minimizando os custos de inventário, o que contribui para a redução dos custos totais de logística e proporciona melhores níveis de serviço, elevando assim o nível de competitividade da empresa, ajudando a consolidar a imagem da mesma no mercado.

A utilização do CD ao longo da cadeia logística faz-se necessária para servir como ponto de abastecimento intermediário entre as unidades produtoras e os consumidores finais, proporcionando um tempo de resposta mais rápido numa eventual necessidade de reposição (BARROS, 2005).

De acordo com Lacerda (2000), os CDs por operarem como consolidadores de carga permitem uma redução no custo de transporte. Isto por que possibilita que diversos fornecedores realizem as transferências entre suas fábricas e o CD com cargas consolidadas, da mesma forma que os pedidos efetuados pelos clientes finais podem ser enviados de forma consolidada, reduzindo assim o custo total de transporte. Desta forma ao invés de receber carregamentos separados de cada fornecedor é possível receber um único carregamento com todos os produtos necessários, garantindo assim não só uma redução nos custos de transporte como também economia no tempo de operação.

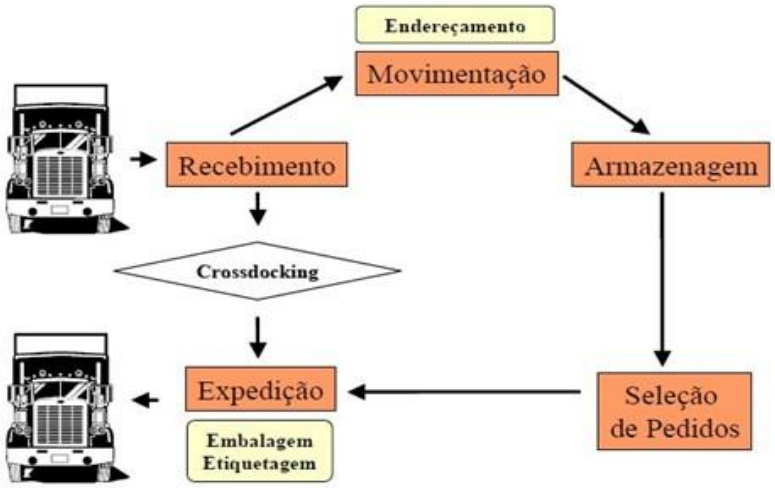
Segundo Lima (2002), a demanda por este tipo de serviço vem aumentando primeiramente devido à maior gama de produtos ofertados no mercado, e segundo pela busca da melhoria do atendimento ao cliente. Outro fator de grande relevância está na popularização da compra de produtos via *Internet*, aumentando o número de entregas diretas ao consumidor. Assim, o foco dos investimentos realizados por responsáveis pelos CDs tem sido em tecnologias que possibilitem a redução do tempo de atendimento ao cliente e simultaneamente aumente a sua produtividade.

Assim, fica evidente que um CD desempenha um papel fundamental na cadeia logística de uma empresa. Uma vez adotado esse tipo de configuração e se operado adequadamente, garantirá um fluxo de informações e mercadorias mais eficazes, uma melhoria no nível de atendimento do cliente e reduções de custo. A operação de um CD está diretamente relacionada a diversas áreas da empresa como, por exemplo, marketing, vendas, financeira, entre outras (BARROS, 2005).

5.1.3 Funções básicas de um Centro de Distribuição

Segundo Calazans (2001), as principais operações executadas por um CD são: recebimento, movimentação, armazenagem, seleção de pedidos, expedição. Tais operações estão ilustradas na Figura 2.

Figura 2 - Funções Básicas de um Centro de Distribuição



Fonte: Barros (2005)

5.1.3.1 Recebimento

O recebimento é a primeira etapa da trajetória de um determinado produto dentro de um CD. Nesta fase ocorre o descarregamento das mercadorias e são checadas as quantidades e a qualidade dos produtos. Qualquer diferença entre o solicitado e o entregue como, por exemplo, algum tipo de avaria, deve ser sinalizado neste momento, antes dos produtos adentrarem no CD (RODRIGUES e PIZZOLATO, 2003).

5.1.3.2 Movimentação

A movimentação é a etapa executada posteriormente ao descarregamento dos veículos. Existem dois tipos de movimentação dentro do CD: a transferência e a separação. A primeira consiste na transferência do material da área de recebimento para o local onde será estocado, já a segunda resume-se em retirar o material do

local estocado e levá-lo para a área onde ocorrerá a consolidação dos pedidos (BOWERSOX; CLOSS, 2001).

A movimentação das mercadorias no interior do CD pode ser feito por meio da força física humana, ou através de equipamentos, que irão garantir um manuseio mais ágil e eficiente, havendo ganhos de produtividade (BARROS, 2005).

Vale ressaltar que tanto a movimentação quanto o manuseio de materiais absorve tempo, mão-de-obra e dinheiro. Assim, é recomendável minimizar o manuseio dos materiais, a fim de se evitar movimentos desnecessários que possam aumentar o risco de dano ou perda do produto.

5.1.3.3 Armazenagem

A armazenagem corresponde a estocagem temporária dos produtos para posterior distribuição. Os estoques são importantes, pois são responsáveis por manter o equilíbrio entre a demanda e a oferta. No entanto, a maioria das empresas busca manter níveis de estoques baixos, pois estes geram custos elevados, como: custos de pedidos (custos administrativos associados ao processo de aquisição das mercadorias), custos de manutenção (referentes a instalações, mão-de-obra e equipamentos) e custo de oportunidade associado ao emprego do capital em estoque (HONG, 1999).

A atividade de armazenagem é fundamental na organização do CD, por estar intrinsecamente ligada com a otimização de sua produtividade operacional. A correta armazenagem, ou seja, a colocação adequada dos produtos em seus respectivos lugares, respeitando suas características físicas, assim como a utilização de um sistema de armazenagem adequado, pode possibilitar uma boa utilização do espaço, boa utilização dos recursos operacionais, além de otimização no tempo da mão-de- obra para localizar os pedidos/produtos no interior do armazém, dentre outros benefícios (CALAZANS, 2001).

Ainda, segundo Calazans (2001), A área de armazenagem dos CDs é composta por estruturas como porta-paletes, drive-in, estanterias e racks, que são separadas por corredores para ter acesso às mercadorias. Estes corredores são sinalizados para facilitar a operação do CD.

5.1.3.4 Separação dos pedidos

A separação de um pedido efetuado por um cliente, também é chamado por *picking*, refere-se ao processo de retirada do estoque dos produtos relacionados em um pedido. Este pedido pode ser de venda, no caso de ser solicitado por um cliente, ou de ressuprimento, quando for utilizado para atender a demanda interna da própria empresa (BARROS, 2005).

Segundo Lima (2002), o *picking* consiste na coleta do conjunto correto de produtos, em suas devidas quantidades conforme o solicitado pelo cliente, da área de armazenagem. Conforme o exposto por Ballou (2001), do tempo total gasto para se completar o ciclo do pedido dentro do CD, as atividades de entrada, preparação e seleção dos pedidos, correspondem juntas cerca de 50 a 70% do tempo total gasto nas operações. Observa-se assim que, a maneira como organiza-se a estratégia de *picking* está associada diretamente com o tempo de movimentação fazendo com que esta atividade seja prioritária dentro do CD, justificando aumento de esforços, principalmente em sistemas de separação.

Dentro da área de estocagem faz-se necessário a separação de uma área para o *picking*. O tamanho desta área variará de acordo com o tamanho das unidades de separação, a quantidade de pedidos expedidos por dia, a variedade de itens e o tempo disponível para entrega da mercadoria (LIMA, 2002).

5.1.3.5 Expedição

A expedição corresponde a última etapa a ser realizada no CD, e consiste na verificação e no carregamento dos produtos nos veículos determinados. Durante esta etapa são efetuadas atividades a conferência do pedido e da nota fiscal, a emissão de documentos de expedição e pesagem da carga para estipular o custo de transporte (CALAZANS, 2001).

Ainda, de acordo com Calazans (2001), existem alguns fatores que podem prejudicar a eficiência da operação de expedição, sendo eles:

- Atrasos de transportadoras, gerando congestionamentos na área de expedição;
- Quebra de sincronia entre os processos de recebimento e expedição nas operações de *crossdocking*. Com isto, a área de expedição pode-se

transformar em área de estocagem, dificultando a operação de expedição em si;

- Criação de procedimentos complexos e detalhistas de conferência, diminuindo a velocidade do fluxo de expedição; e
- Picos de demanda não planejados em relação ao processo de expedição.

5.2 POLUIÇÃO POR VEÍCULOS AUTOMOTORES

5.2.1 Considerações Gerais

Apesar da poluição do ar ser um problema de grande relevância e bastante discutido atualmente, ela sempre esteve presente na vida do homem. Nossos ancestrais já conviviam com a poluição natural de queimadas, erupções vulcânicas e decomposição da matéria orgânica. Porém, a intensificação das atividades antropogênicas contribui para o aumento da poluição atmosférica com suas atividades industriais e a utilização de combustíveis derivados do petróleo. Assim, com a expansão da urbanização, as fontes de poluição multiplicaram-se e se concentraram (MOREIRA, 2014).

A poluição atmosférica urbana corresponde a um dos maiores problemas que aflige a sociedade moderna, não só nos países industrializados como também nos países em desenvolvimento (GRIESHOP et al., 2012). Nas últimas décadas, o aumento das emissões atmosféricas é notório e responsável por impactos causados nas comunidades e no meio ambiente, os quais são afetados negativamente de modo constante pelos níveis elevados de poluição do ar, uma vez que a qualidade do mesmo é influenciada diretamente pela distribuição de emissões veiculares e industriais; bem como a intensidade das mesmas revela-se de crucial importância para estudo destas emissões (CETESB, 2011).

CETESB (2013) considera como poluente qualquer substância presente no ar; e que possa, pela sua concentração, ser impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando danos materiais e inconvenientes ao bem estar público, à fauna e à flora. As fontes emissoras de poluentes são numerosas e variáveis, podendo ser antrópicas ou naturais (NÓBREGA, 2013). As fontes antrópicas são resultado das atividades humanas, tais como a emissão por veículos automotores e por atividades

industriais; ao passo que as fontes naturais englobam fenômenos da natureza, tais como as emissões das vegetações, oceanos e erupções vulcânicas.

Segundo Figueiredo (2013), as fontes antrópicas podem ser classificadas de duas maneiras: fixas e móveis.

5.2.1.1 Fontes Fixas

As fontes deste tipo que apresentam maior caráter poluidor são as indústrias, seguidas pelas usinas termoelétricas, que utilizam carvão, óleo combustível ou gás, bem como incineradores de resíduos.

5.2.1.2 Fontes Móveis

Os veículos automotores, juntamente com os trens, aviões e embarcações, caracterizam este tipo de fonte de poluição, sendo que nos centros urbanos, os veículos são os principais poluidores.

Os poluentes atmosféricos ainda podem ser classificados em dois grupos, de acordo com sua formação (SANTOS JUNIOR, 2015):

5.2.1.3 Poluentes Primários

Os poluentes primários são aqueles que se encontram na atmosfera nas mesmas formas nos quais foram lançados. Pode-se citar compostos de enxofre, óxidos de carbono, compostos de nitrogênio, compostos orgânicos, compostos halogenados, e compostos radioativos.

5.2.1.4 Poluentes Secundários

Estes poluentes são produzidos na atmosfera por reações que podem ocorrer entre dois ou mais poluentes. Exemplo disto é o dióxido de enxofre (SO_2), proveniente das emissões de indústrias e de veículos, que dá origem ao gás sulfídrico (H_2S).

Segundo Teixeira, Feltes e Santana (2008), as emissões causadas por veículos automotores tem tido grande participação na degradação da qualidade do ar atmosférico, especialmente nos grandes centros urbanos. Dentre as questões habituais da realidade destes grandes centros, estão os congestionamentos de grandes extensões, em horários de pico, a redução da velocidade média do trânsito nos corredores de tráfego e o maior consumo de combustível.

Segundo Loureiro (2005) a maior parte dos derivados de petróleo consumidos no mundo destina-se ao setor de transportes seguido pela indústria. Embora existam fontes alternativas com tecnologias desenvolvidas para obtenção de energia, os fatores econômicos prevalecem, uma vez que a energia gerada através da combustão de derivados de petróleo, em alguns países, ainda é mais econômica se comparada com as alternativas.

Os poluentes associados à emissão de origem veicular são resultados da combustão dos combustíveis e da sua evaporação. Os tipos de combustíveis mais comuns utilizados em transporte são: gasolina para veículos leves e óleo diesel para os veículos pesados, tais como ônibus e caminhões (NÓBREGA, 2013).

5.2.2 Tipos de emissão veicular

Segundo Mendes (2004), as emissões originadas pelo uso de veículos automotores podem ser divididas nas seguintes categorias:

- Emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo (subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento);
- Emissões evaporativas de combustível (lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível); e
- Emissões de gases do cárter do motor (subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante).

As emissões geradas pelo tubo de escapamento constituem-se dos subprodutos produzidos pela combustão dos combustíveis, lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento. Diferentemente dos compostos produzidos em uma combustão completa como o CO_2, H_2O e N_2, a combustão incompleta, característica da maioria dos tipos de motores usados em veículos automotivos, gerando

subprodutos indesejáveis como o CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarbonetos), R-CHO (aldeídos) e NO_X (óxidos de nitrogênio), material particulado (MP) e os SO_X (óxidos de enxofre). Os óxidos de enxofre costumam ser mais expressivos em motores de ciclo diesel devido ao maior teor de enxofre presente nestes combustíveis.

As emissões de gases do cárter são compostas de gases de combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante (TACO, 2006). Os hidrocarbonetos (HC's), nas suas distintas configurações, são os elementos poluentes mais significativos nas emissões do cárter.

E, por fim, as emissões evaporativas de combustíveis são caracterizadas pelas evaporações de hidrocarbonetos do combustível, pelo simples fato destes compostos serem bastante voláteis, principalmente a temperaturas elevadas, quando o carro não está em movimento. As perdas evaporativas com o carro em movimento costumam ser desprezadas. Estas emissões são provenientes do tanque de combustível, do carburador (quando for o caso), por meio de vazamentos e percolações nas conexões e mangueiras.

5.2.3 Principais poluentes emitidos por veículos automotores

A Resolução CONAMA 03, de 28 de junho de 1990, define como poluente atmosférico:

> Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes emitidos por veículos automotores assim como por outras fontes causam prejuízo à composição química da atmosfera com as seguintes consequências: perigo ou prejuízo ao bem estar dos homens e dos animais; dano ao meio ambiente (natural, residencial ou área de trabalho), levando a efeitos sobre a sociedade que podem ou não ser expressos financeiramente ou que conduzam a deterioração do conforto, como a diminuição da visibilidade.

A atmosfera pode ser considerada o local onde ocorrem reações químicas permanentemente. Assim, a poluição atmosférica é um fenômeno que abrange três fases importantes: emissão, dispersão e concentração. O processo de poluição atmosférica inicia-se com a emissão de poluentes por fontes naturais ou antropogênicas. Uma vez na atmosfera, o processo da poluição tem continuidade com a dispersão, por meio do transporte dos poluentes pelas massas de ar (poluentes primários), para um receptor. Durante este transporte, a combinação de dois ou mais poluentes pode provocar reações químicas, formando os poluentes secundários (TACO, 2006).

A determinação da qualidade do ar está restrita a um grupo de poluentes, quer por sua maior frequência de ocorrência, quer pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente. O grupo de poluentes consagrados universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar é composto por: Dióxido de Enxofre (SO_2), Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PI), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O_3), Hidrocarbonetos Totais (HC) e Óxidos de Nitrogênio (NO_X). A razão da escolha desses indicadores está ligada a sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente (CAVALCANTI, 2010).

Segundo Vieira (2009), os principais poluentes emitidos por veículos automotores são:

- Monóxido de Carbono (CO);
- Hidrocarbonetos (HC);
- Óxidos de Nitrogênio (NOx);
- Óxidos de Enxofre (SOx);
- Aldeídos (CHO); e
- Material Particulado (MP).

5.2.3.1 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um dos compostos tóxicos respiratórios mais perigosos para o ser humano e para os animais. Este gás não é perceptível por ser inodoro e incolor; mas é encontrado em altas concentrações nas áreas de intensa circulação de veículos dos grandes centros. Os veículos são os principais emissores

deste poluente, até mais do que as indústrias e o lançam na zona respirável da atmosfera (GUIMARÃES, 2011).

A sua presença permanente, mesmo em baixas concentrações, diminui a rapidez dos reflexos e a acuidade visual. Pessoas anêmicas ou com dificuldades respiratórias ou circulatórias sofrem efeitos no sistema nervoso central, cardiovascular e pulmonar, devido à inalação do monóxido de carbono. A exposição a este composto também pode causar bronquites e enfisemas. O monóxido de carbono prejudica o desenvolvimento de fetos, reduzindo a capacidade de transportar o oxigênio da mãe pelo sangue, afetando o peso do recém-nascido (DUTRA, 2007).

5.2.3.2 Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos são caracterizados por possuir odores desagradáveis e causar irritabilidade nos olhos, nariz, pele e na parte superior do aparelho respiratório. Estes compostos são resultantes da reação de combustão incompleta, da evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis (DUTRA, 2007).

Pinto et al. (2014) consideram como hidrocarbonetos a parcela de combustível não queimado ou parcialmente queimado que pode ser constituído pelos próprios hidrocarbonetos, por álcoois, por cetonas e por outros compostos orgânicos; sendo vários deles considerados carcinogênicos e mutagênicos.

5.2.3.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_X)

Os óxidos de nitrogênio (NO_X) são constituídos basicamente por 90% de monóxido de nitrogênio (NO) e 10% de dióxido de nitrogênio (NO_2). O NO é uma substância incolor, inodora e insípida. Em dias de radiação intensa, o NO é oxidado e acaba transformando-se em NO_2. De acordo com Vesilind e Morgan (2011), o dióxido de nitrogênio tem cor marrom-avermelhada, apresenta alta toxicidade, cheiro e gosto desagradáveis, sendo irritante aos olhos e às mucosas nasais, provocando enfisema pulmonar e pode se transformar, dentro dos pulmões, em compostos carcinogênicos denominados nitroaminas. O NO_2 reage com a água presente no ar, formando um dos principais componentes da chuva ácida: o ácido nítrico (HNO_3).

5.2.3.4 Óxidos de Enxofre (SO_X)

Os óxidos de enxofre causam graves inflamações da mucosa; aumentam a secreção nas vias respiratórias superiores e reduzem o movimento ciliar do aparelho respiratório responsável pela filtragem de partículas estranhas e remoção do muco. Estes compostos podem, também, aumentar a incidência de rinite, faringite e bronquite. O seu excesso pode provocar a acidificação em ambientes lacustres e a morte de larvas, algas e pequenos insetos. Ainda, os óxidos de enxofre interferem na fotossíntese dos vegetais e reduz a resistência dos mesmos, deixando-os suscetíveis ao ataque de pragas.

O dióxido de enxofre (SO_2) é um óxido ácido de cheiro irritante, formado a partir do enxofre, que é uma das principais impurezas existentes nos derivados de petróleo (gasolina e óleo diesel). O SO_2 reage com o oxigênio atmosférico formando o SO_3 e este juntamente com a umidade atmosférica, acaba transformando-se em ácido sulfúrico (H_2SO_4), um dos componentes da chuva ácida (TESTA, 2015).

5.2.3.5 Aldeídos (CHO)

Os aldeídos são resultados da oxidação parcial do combustível durante a sua queima. Estes compostos são extremamente tóxicos, devido a sua grande reatividade, e prejudiciais às vias respiratórias. Os motores a álcool são os maiores emissores de aldeídos (DUTRA, 2007).

5.2.3.6 Material Particulado (MP)

O material particulado (MP) é uma mistura heterogene de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar; na forma de poeira, de neblina, de fumaça, de aerossol e de fuligem com diâmetro aerodinâmico menor que 100 μm, que continuamente variam de tamanho e composição química (YANAGI, 2010).

O material particulado está diretamente relacionado a efeitos adversos à saúde humana. As partículas inaláveis (MP_{10}), ou seja, que possuem diâmetro menor que 10 μm são capazes de adentrar no sistema respiratório humano, podendo ser depositadas desde as vias nasais até as partes mais internas dos pulmões,

representando um grande risco para o desenvolvimento de doenças respiratórias e cardiovasculares (SOUZA et al., 2010).

5.3 DEPOSIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

5.3.1 Considerações Gerais

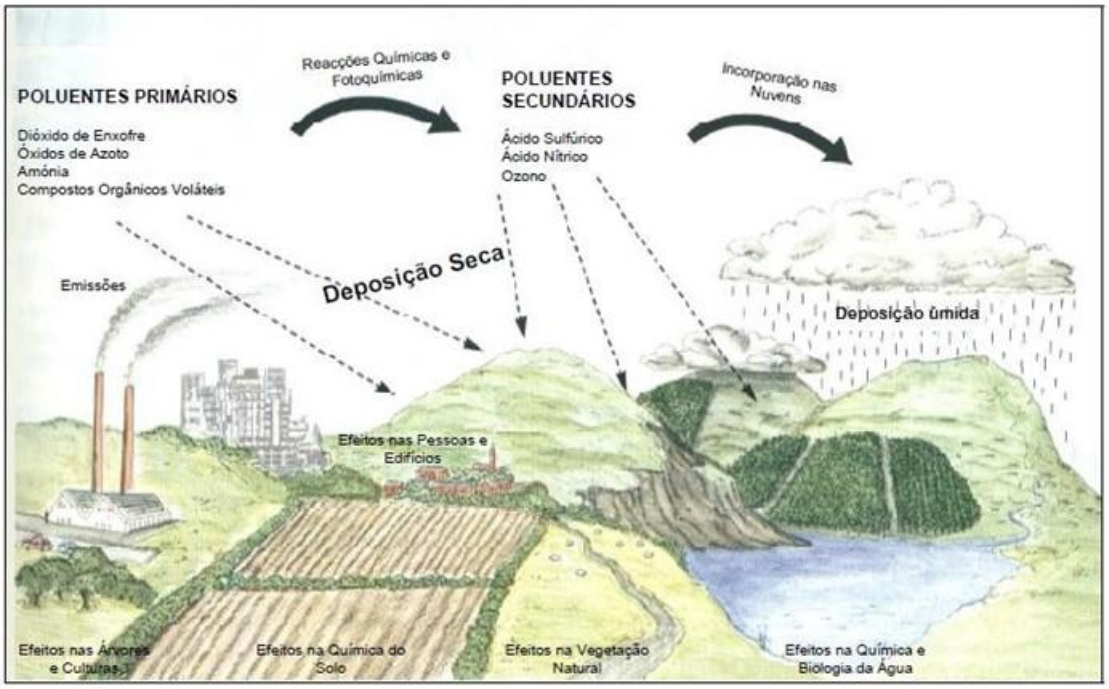
A atmosfera é constituída por uma mistura de gases, que estão presentes em diferentes proporções. Esta mistura é constituída por compostos, cujas concentrações se mantêm estáveis, e por outros que costumam apresentar variações, podendo estas serem diárias ou sazonais. Na primeira classe, estão o N_2, O_2, Ar, Ne, He, Kr, H_2 e o Xe. Já na segunda categoria, estão presentes uma infinidade de pequenas quantidades de outros compostos, os quais desempenham um papel importante no equilíbrio químico da atmosfera, como também podem atuar como substâncias poluentes. Considera-se poluente toda a substância que apresenta uma concentração suficientemente elevada, capaz de provocar efeitos adversos tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente (FELICIANO, 2001).

Segundo Medeiros (2011), as substâncias consideradas como poluentes, uma vez na atmosfera, podem ser transportados para distâncias mais ou menos longas a partir de sua fonte. À medida que são transportados pelo escoamento atmosférico, os poluentes vão interagindo quimicamente entre si, até serem depositados na superfície. O ciclo de vida global dos poluentes atmosféricos, bem como as diferentes interações que estabelecem com a superfície, estão representados na Figura 3.

A deposição atmosférica é um processo natural em que as substâncias presentes na atmosfera podem ser removidas por meio de duas maneiras. A primeira delas seria através da precipitação, na qual há incorporação desses compostos pelas nuvens, que posteriormente são depositadas sobre a superfície terrestre na forma de chuva, neve ou granizo, fenômeno este conhecido por deposição atmosférica úmida. E a segunda, na qual as substâncias são depositadas pelo impacto direto de partículas ou moléculas dos gases presentes na atmosfera sobre a superfície terrestre, processo este conhecido como deposição atmosférica seca, que depende de fatores como velocidade do vento, condições atmosféricas, umidade relativa, tamanho das partículas e superfície onde os compostos serão

depositados. A soma da deposição atmosférica úmida com a deposição atmosférica seca é denominada deposição atmosférica total (MEDEIROS, 2011).

Figura 3 - Destino e efeitos ambientais dos poluentes emitidos para a atmosfera



Fonte: Feliciano (2001)

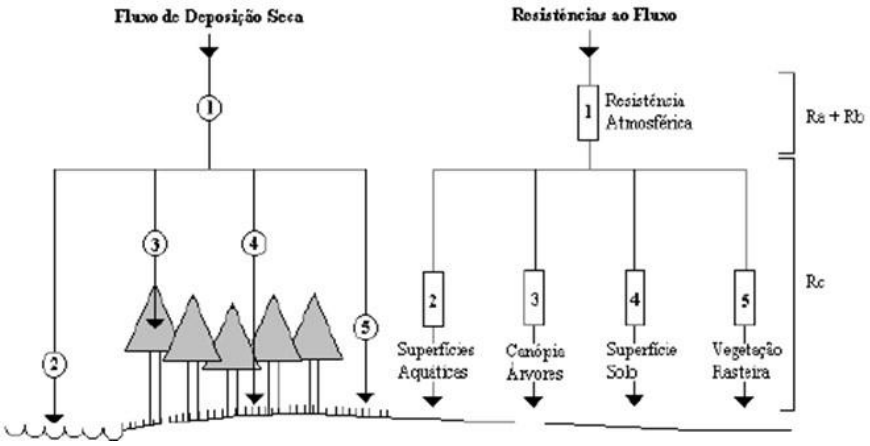
5.3.2 Deposição Seca

De certo modo, pode-se dizer que a atmosfera funciona como um reator químico dinâmico, que é alimentado por substâncias provenientes da superfície terrestre, sendo estas resultantes tanto dos processos naturais, quanto por atividades realizadas pelo homem. Uma vez neste reator, as substâncias tidas como primárias são parcial ou totalmente oxidadas ao longo de um percurso, sendo posteriormente devolvidas aos mais variados ecossistemas terrestres e aquáticos (COUTO, 2011).

A deposição seca é o processo do transporte de poluentes da atmosfera para a superfície; que, embora, por um lado contribua para a limpeza da atmosfera, por outro acaba contribuindo para alterações químicas da superfície, tendo como consequências os impactos negativos no bem estar dos seres vivos e a degradação do meio ambiente. A deposição seca de qualquer composto tido como poluente é geralmente expressa pela quantidade de massa depositada por unidade de área de

superfície e unidade de tempo, ou seja, a deposição seca é representada em termos de um fluxo. Assim, o fluxo mássico de qualquer substância a ser estudada é representado de maneira similar a Lei de Ohm, que representa o fluxo de elétrons em uma malha elétrica, conforme o ilustrado na Figura 4. Por meio desta aproximação, um processo de transporte de massa de um poluente, ao longo do seu percurso da atmosfera até a superfície acaba envolvendo três estágios distintos (CHANG et al., 2004).

Figura 4 - Processo de deposição seca de poluentes gasosos análogo à Lei de Ohm



Fonte: Feliciano (2001)

Em cada um desses estágios, os poluentes são transportados por fenômenos distintos; deste modo, as taxas de transferência também irão diferir de maneira considerável. O primeiro consiste no transporte vertical do poluente, a partir de uma certa altura na atmosfera até a vizinhança da superfície, devido principalmente a ação da turbulência. O segundo ocorre numa região adjacente à superfície, tipicamente com espessura inferior a 1mm, onde a turbulência é suprimida pelas forças viscosas; deste modo, o transporte dos gases ao longo desta camada passa a ser controlada por processos de difusão molecular. E, por fim, a interação com a superfície representa a última etapa, sendo influenciada tanto por processos de difusão molecular quanto por fatores de natureza física, química e biológica (CHAMBERLAIN, 1986).

As duas primeiras etapas estão relacionadas com a estrutura vertical da baixa atmosfera, podendo-se dizer que são basicamente influenciadas por processos meteorológicos. A terceira etapa é determinada igualmente pelas propriedades

físicas e químicas da substância, pelas propriedades da superfície e também por fatores meteorológicos variados.

De um modo geral, é possível constatar que o processo da deposição seca é governado pela concentração do constituinte, pelo transporte turbulento na camada limite, pelas propriedades físico-químicas das espécies depositantes e pela capacidade da superfície de absorver ou adsorver estes mesmos constituintes (KRAMM et al., 1995).

A presença de substância na atmosfera é talvez o fator mais crítico na determinação das quantidades depositadas, podendo também interferir diretamente na eficiência do processo. O transporte turbulento é um fator limitante em alguns casos, como por exemplo, na deposição de gases que reagem ativamente com a superfície, e em outros a interação com a superfície terá um papel muito mais limitador. Gases que não interagem quimicamente com a superfície, nem são consumidos pelos processos biológicos do solo ou absorvidos pela vegetação, não são transferidos para a superfície (MUSSELMAN e MASSMAN, 1999).

Portanto, fica evidente que a transferência de constituintes gasosos na interface atmosfera/superfície terrestre, ocorre segundo um padrão de grande variabilidade espacial e temporal. Segundo Feliciano (2001), esta variabilidade é atribuída aos diferentes processos que estão relacionados com as condições dinâmicas (estabilidade, velocidade de fricção e intensidade de turbulência) e fotoquímicas da atmosfera, com os níveis atmosféricos e propriedades físico-químicas do poluente (solubilidade, reatividade e difusividade molecular) e, ainda, com as características da superfície (rugosidade e tipo de superfície).

Devido ao número e variabilidade dos fatores que influenciam a transferência vertical por via seca, a quantificação e a compreensão deste processo são ainda limitadas para vários constituintes/poluentes atmosféricos e não é igualmente compreendido para todos os tipos de superfície. Adicionalmente, constata-se que alguns fatores de remoção são comuns aos diferentes gases, mas existem outros que estão intimamente relacionados com a especificidade de cada constituinte ou poluente atmosférico.

5.3.3 Deposição Úmida

O fenômeno da deposição úmida refere-se ao transporte de substâncias e partículas da atmosfera para a superfície, uma vez que estas tenham sido dissolvidas em um meio aquoso. Vale ressaltar que a própria superfície pode ser úmida ou seca; os termos deposição úmida e seca estão relacionados ao mecanismo de transporte, e não à natureza da própria superfície (FINLAYSON-PITTS; PITTS, 2000).

A deposição úmida é um processo natural, no qual uma substância é retirada e enviada à superfície por meio das nuvens, neblina, chuva e neve. Tal fenômeno pode ocorrer por meio de dois processos distintos, sendo eles *washout* e *rainout*. O primeiro refere-se à remoção de constituintes da atmosfera, localizados abaixo do nível das nuvens, pelo arraste de suas partículas pela chuva, neve ou neblina. Já o segundo, representa a remoção dos constituintes uma vez que estes interagem com a umidade existente no interior das nuvens (SPORTISSE, 2006).

Ou seja, existem as interações que ocorrem abaixo das nuvens, onde os poluentes reagem com as gotas da precipitação (aerossóis-precipitação e gases-precipitação), com também existem as transformações que ocorrem dentro das nuvens (aerossóis-nuvem, gases-nuvem e aerossóis-gases). Essas interações ocorrem durante os episódios de chuva, neve ou neblina, onde espécies solúveis, sejam gases ou aerossóis, dissolvem-se no meio aquoso e são removidas da atmosfera (COUTO, 2011).

Ainda, segundo Couto (2011), os gases podem interagir com as gotas da chuva, sendo removidos de uma determinada camada na atmosfera; podendo, até mesmo, serem incorporadas altas concentrações gasosas de plumas oriundas de fontes antropogênicas e então, serem enviadas para as camadas atmosféricas mais limpas. Assim, os processos que ocorrem nos níveis inferiores as nuvens colaboram na redistribuição vertical das substâncias poluentes na atmosfera. A colisão gravitacional é considerada o principal mecanismo nos processos que ocorrem abaixo das nuvens, nos quais as gotas que caem arrastam um volume de ar, colidindo e coletando as partículas que estão no caminho.

A composição química da deposição úmida é influenciada, principalmente, pelo tipo de componentes presentes no ar, pelas transformações físicas e químicas ocorridas entre eles, por fatores meteorológicos e pela localização geográfica de

uma determinada região. De qualquer forma, sempre será encontrado um determinado grau de impureza nas águas de chuva; mesmo que não sejam identificadas atividades antropogênicas que possam impactar as características da deposição úmida.

5.3.4 Estrutura e dinâmica da Camada Limite da Atmosfera

O transporte vertical de propriedades atmosféricas e de espécies químicas entre a atmosfera e a superfície é influenciado diretamente pelos processos dinâmicos da região mais baixa da atmosfera, conhecida por Camada Limite da Atmosfera (CLA). Esta camada é a região da troposfera, onde as propriedades do escoamento são determinadas, em larga extensão, pelo atrito aerodinâmico da superfície e pela estratificação da densidade do ar, causada pelas diferenças de temperatura entre a superfície e o ar atmosférico. Tais diferenças são responsáveis pelo ciclo diário de aquecimento e arrefecimento radiativo da superfície, como também, pela advecção de ar de regiões mais quentes ou mais frias da superfície terrestre (PASQUILL; SMITH, 1983).

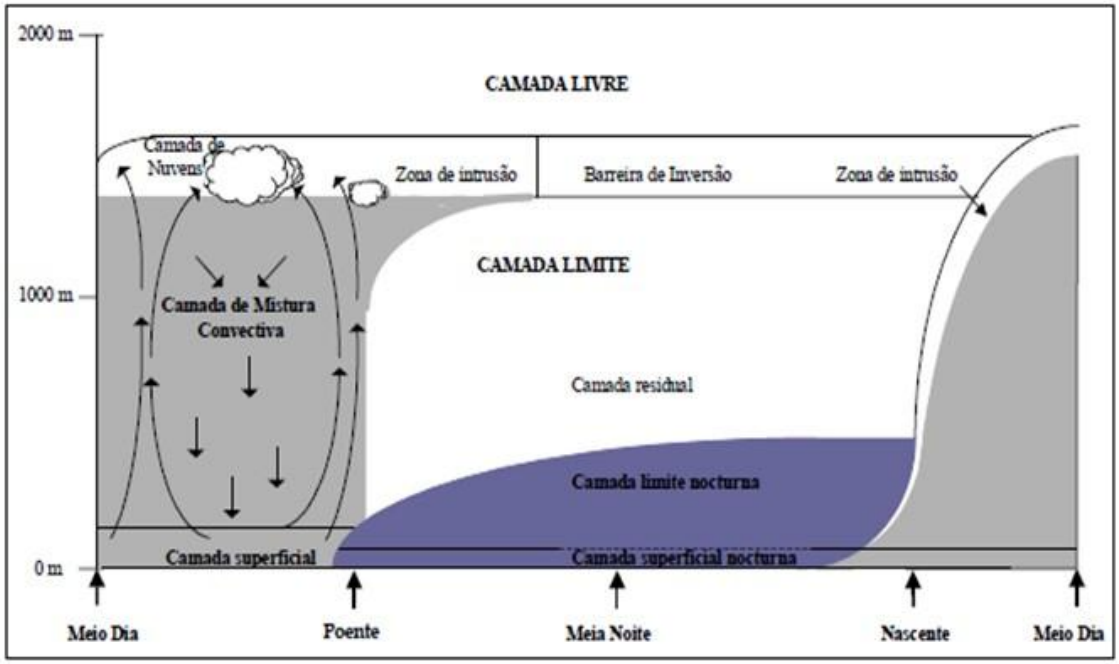
Os efeitos aerodinâmicos e térmicos, existentes devido a presença da superfície, conferem uma natureza turbulenta ao escoamento da CLA. Esta propriedade do escoamento é uma das características mais notável desta região, tanto pelo papel que desempenha na determinação da estrutura da CLA, quanto por promover o transporte vertical de momento, calor e matéria em escalas temporais relativamente curtas.

A CLA responde de forma contínua aos efeitos térmicos gerados pela superfície, a estrutura da mesma, ao longo de um período de 24 horas, pode ser simplesmente representada por dois estados dinâmicos bem distintos: a camada limite de mistura convectiva (CMC), durante o período diurno, e a Camada Limite Estável (CLE) que se forma durante a noite, conforme o ilustrado na Figura 5 (STULL, 1988).

A camada limite começa por se desenvolver em profundidade cerca de meia hora após o nascer do sol, em resultado do aquecimento da superfície pelos raios solares. À medida que o aquecimento prossegue, geram-se correntes térmicas gasosas ascensionais, transportadoras de calor para níveis mais elevados da atmosfera, os quais se encontram a temperaturas inferiores. Este movimento de

massas de ar quente promove uma mistura térmica vigorosa (convecção) capaz de estender a CLA a cerca de 1 a 2 km em altura. Durante este período, a ocorrência de transporte vertical de umidade pode levar à formação de nuvens no topo da CLA. Estas nuvens, atingindo dimensões elevadas, exercem uma grande influência nos perfis dos fluxos, quer através dos seus efeitos nas circulações de ar pela libertação de calor latente (expelindo correntes de ar para fora da CLA através do topo), quer modificando o balanço de radiação à superfície (STULL, 1988). Ao longo deste período diurno, a CLA é caracterizada por uma intensa instabilidade ou neutralidade, atingindo o seu máximo desenvolvimento ao fim da tarde.

Figura 5 - Evolução típica diária da Camada Limite da Atmosfera (CLA)



Fonte: Stull (1988)

Com a aproximação do pôr do sol, a superfície começa a arrefecer mais rapidamente do que o ar atmosférico. Deste modo, o perfil de temperatura sofre uma inversão que se desenvolve da superfície até uma altura de aproximadamente 100 a 200 metros. O topo desta região de inversão delimita a camada limite noturna estável. Acima desta identifica-se a camada residual por corresponder à parte restante da camada de mistura convectiva diurna.

De fato, as emissões noturnas para esta camada conduzem geralmente a uma acumulação de poluentes. Em contrapartida, os poluentes que durante a noite forem

lançados para a atmosfera, acima da camada superficial, tendem a flutuar por cima desta, enquanto perdurar a zona de inversão.

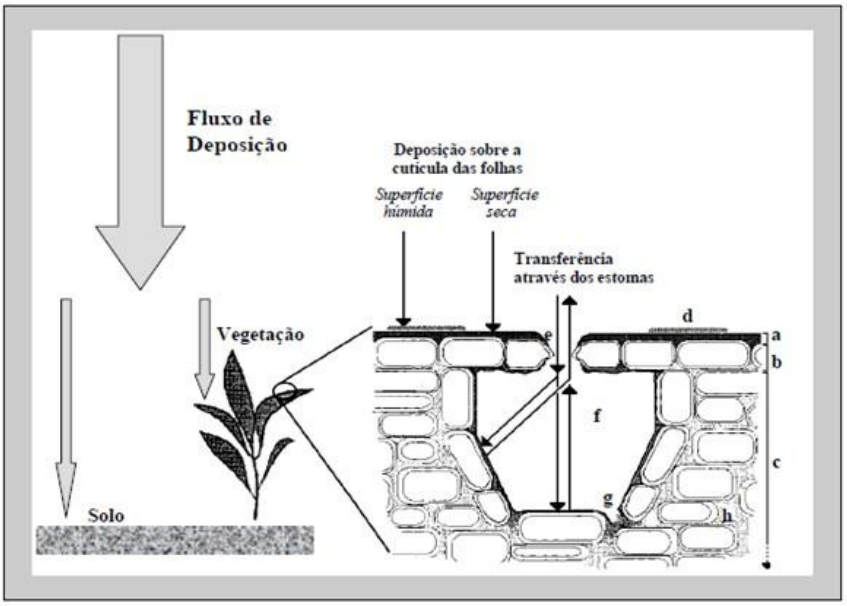
Assim, verifica-se que as alterações dos processos dinâmicos e termodinâmicos que a camada limite da atmosfera sofre, em função das condições meteorológicas e de superfície, são de importância fundamental para a compreensão dos processos, que regem a transferência de massa e de calor. Basicamente, os fatores meteorológicos que mais afetam as taxas de transferência de massa são: a velocidade e a direção do vento, a temperatura, a cobertura de nuvens, a radiação solar, as condições de umidade, como chuva, nevoeiro, orvalho e, ainda, os sistemas de altas e baixas pressões. Como todos estes fatores estão relacionados entre si, a contribuição individual de cada um no transporte de poluentes é de difícil determinação.

5.3.5 Interação dos poluentes gasosos com a superfície

Os poluentes atmosféricos são transferidos da atmosfera para a vizinhança dos mais variados elementos, que compõem as superfícies terrestres. Este transporte processa-se de uma forma mais ou menos eficiente, de acordo com a intensidade do transporte turbulento. Quando em contato com a superfície, as propriedades físico-químicas destes gases, bem como a natureza física, química e biológica dos elementos da superfície, são fatores críticos na destruição dos mesmo. Isto significa que o transporte turbulento é uma condição necessária para a ocorrência de um fluxo de massa, não sendo uma condição suficiente. Para que o fluxo de poluentes ocorra e tenha continuidade, é absolutamente necessário que estes sejam continuamente sorvidos e/ou destruídos no nível da superfície (FELICIANO, 2001).

A Figura 6 esquematiza de forma bastante sucinta os principais elementos da superfície, através dos quais os poluentes são removidos por mecanismos vários: a) cutícula; b) epiderme; c) parte do mesófilo; d) água na cutícula; e) abertura do estoma; f) cavidade estomática; g) fluído nas células da parede da cavidade estomática; h) cavidades intercelulares (apoplasto).

Figura 6 - Processo de transferência de poluentes gasosos na interface atmosfera/biosfera



Fonte: Feliciano (2001)

Dentre todos os elementos da superfície, a vegetação, especialmente quando apresenta uma área foliar exposta considerável, durante o período de crescimento, representa um dos mais importantes sumidouros dos poluentes atmosféricos. A remoção dos poluentes gasosos por estes elementos receptores ocorre majoritariamente no interior da planta após entrarem através dos estomas ou na superfície exterior das folhas por processos essencialmente físico-químicos.

Os solos têm, também, sido apontados como sumidouros mais ou menos efetivos de algumas substâncias. O conhecimento que se tem sobre as interações entre os poluentes e este tipo de superfície continua bastante limitado, mas julga-se que as mais importantes são de natureza físico-química.

Uma grande parte dos poluentes gasosos são ainda removidos de forma bastante eficiente em superfícies aquáticas, como oceanos, cursos de água doce, lagos, entre outras.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE POLUENTES

A estimativa das emissões de CO_2 pelo setor energético, no qual o setor de transportes está incluso, pode ser feita de duas maneiras, sendo estas as metodologias *Top-Down* e *Bottom-Up*. O método *Top-Down* leva em conta as emissões de dióxido de carbono (CO_2) a partir dos dados de produção e consumo de energia. O método *Bottom-Up* leva em conta as emissões de todos os gases, neste caso as emissões são quantificadas levando-se em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivos rendimentos.

Ambos os métodos foram desenvolvidas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) e apresentadas nas "Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa", oficialmente adotadas pela Convenção do Clima para a elaboração das Comunicações Nacionais dos países signatários da convenção, inclusive o Brasil.

6.2 METODOLOGIA *TOP-DOWN*

A estimativa das emissões pelo método *Top-Down*, recomendado pelo Ministério das Minas e Energia - MME em 2014 no Balanço Energético Nacional – BEN, prevê a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum (BRASIL, 2014).

a) Conversão da unidade de consumo do combustível para unidade comum de energia

Cada combustível possui um conteúdo energético diferente, portanto o primeiro passo do método é a conversão do Consumo Aparente (CA) de cada combustível, medido na sua unidade original para uma unidade comum de energia, que é efetuado utilizando-se a Equação 1. Esta conversão é efetuada multiplicando-se o consumo do combustível pelo fator de conversão em tEP (tonelada equivalente de petróleo) por unidade do combustível (tEP/unidade). Posteriormente, transforma-se a quantidade de energia em tEP para o terajoule (TJ), conforme estabelece a

abordagem de referência. O fator de conversão para a presente pesquisa foi obtido no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2014).

Entretanto, esses valores em tEP não podem ser convertidos diretamente em terajoules (TJ), pois no Balanço Energético o conteúdo energético dos combustíveis tem como base seu Poder Calorífico Superior (PCS) e, para o IPCC (2006), a conversão para uma unidade comum de energia deve ser feita multiplicando-se o consumo de combustível pelo seu Poder Calorífico Inferior (PCI). A justificativa é que os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC (2006), em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível. Os fatores de correção para transformar o PCS em PCI são 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos (BRASIL, 2014).

$$CC = CA \times Fconv \times 45{,}2 \times 10\text{-}3 \times Fcorr \quad (1)$$

Onde:

- CC - Consumo de energia (TJ);
- CA - Consumo de combustível (m^3, L, kg);
- Fconv- Diesel (0,848 tEP/m^3); e
- Fcorr = 0,95 (combustível líquido).

b) Conteúdo de Carbono

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme a Equação 2.

$$QC = CC \times Femiss \times 10^{-3} \quad (2)$$

Onde:

- QC - Conteúdo de carbono (GgC);
- CC - Consumo de energia (TJ);

- Femiss - Fator de emissão de carbono (tC/TJ); e
- Femiss Diesel = 20,2 tC/TJ (BRASIL, 2011).

c) Emissões de CO_2

Finalmente, as emissões de CO_2 podem ser calculadas de acordo com a Equação 3.

$$ECO_2 = QC \times 44/12 \quad (3)$$

Onde:

- ECO_2 - Emissão de CO_2 (GgC); e
- QC - Emissão de C (GgC).

6.3 METODOLOGIA *BOTTOM-UP*

Os cálculos das emissões de gases do efeito estufa pelo método *Bottom-Up* podem ser realizados como procedimento adicional ao método *Top-Down*. Mas, este procedimento só pode ser feito quando existem dados locais detalhados e confiáveis.

Os dados detalhados devem ser sobre: a tecnologia de motorização utilizada, a qualidade do combustível, o consumo de combustível, a quilometragem percorrida, os fatores de emissão levantados em laboratórios locais, e o estado de manutenção da frota para cada subgrupo de veículos com características similares.

O IPCC (2006) recomenda esta prática como forma de aferição dos cálculos e, consequente, melhoria na qualidade da informação sobre a emissão de gases na atmosfera.

Os cálculos das emissões dos poluentes devem ser feitos conforme a Equação 4.

$$Emissi = \sum FEi_{abc} \times Atividade_{abc} \quad (4)$$

Onde:

- Emissi - Emissões de um gás i (g);
- FEi- Fator de emissão do gás i;
- Atividade - Quantidade de energia consumida ou distância percorrida;
- i - NO_X, HC, MP;
- a-Tipo de combustível;
- b - Tipo de veículo; e
- c - Tecnologias de controle de emissões.

Para o cálculo da emissão a partir da quilometragem anual deve ser utilizada a Equação 5.

$$Emissi = F \times FEi \times Qmédia \quad (5)$$

Onde:

- Emissi - Emissões de um gás i (g);
- F - Número de veículos da frota;
- FEi – Fator de emissão do poluente i (g/km); e
- Qmédia - Distância média percorrida no ano (km).

6.4 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO SECA

Em aplicações de modelação numérica ou em estudos onde os fluxos verticais têm de ser estimados sem o uso direto de medições de campo, o fluxo de deposição seca de um poluente é definido universalmente pela Equação 6, segundo Feliciano (2001).

$$Fsi = -Vd,i \times Ci \quad (6)$$

Onde:

- Fsi – Fluxo de deposição seca do poluente i ($g/m^2.s$);
- Vd,i - Velocidade de deposição seca (m/s); e

- Ci - Concentração do poluente a uma dada altura acima da superfície (g/m^3).

O sinal menos foi adotado, por convenção, para indicar que o fluxo vertical do poluente é negativo, quando o transporte do poluente se dá da atmosfera para a superfície.

O cálculo das concentrações dos poluentes são realizados de acordo com a Equação 7.

$$Ci = mi/V \quad (7)$$

Onde:

- mi - Massa do poluente i liberada para a atmosfera no período de 1 ano (g);
- V – Volume da camada atmosférica acima da área em estudo (m^3).

Os dados referentes à velocidade de deposição foram obtidos na literatura, para cada um dos poluentes, conforme os Quadros 1, 2, 3.

Quadro 1: Velocidades de deposição seca para os hidrocarbonetos

Hidrocarbonetos	**Vd (cm/s)**
Tasdemir e Esen(2006)	0,39
Sheu *et al*.(1996)	0,38
Franz *et al*.(1998)	0,64
Liu *et al*.(2013)	0,21

Fonte: Elaboração do autor.

Quadro 2: Velocidades de deposição seca para os materiais particulados

MP	**Vd (cm/s)**	**Autor**
$MP_{2.5}$	1,50	Zhu *et al*.(2016)
	0,93	Carb (2006)
	0,49	Liu *et al*.(2016)
MP_{10}	9,17	Zhu *et at*.(2016)
	1,13	Carb(2006)
	1,10	Liu *et al*. (2016)

Fonte: Elaboração do autor.

Quadro 3: Velocidades de deposição seca para óxidos de nitrogênio

NO_X	Vd (cm/s)
Zhang *et al*.(2009)	0,19
	0,26
	0,12
	0,17
	0,09
	0,19
	0,21
	0,13
	0,3

Fonte: Elaboração do autor.

Uma vez obtidos os fluxos de deposição seca, as quantidades dos poluentes que foram depositadas dentro da área avaliada podem ser obtidos por meio da Equação 8.

$$Dsi = Fsi \times A \quad (8)$$

Onde:

- Dsi - Massa do poluente i depositada na área avaliada no período de 1 ano (g);
- Fsi - Fluxo de deposição seca do poluente i ($g/m^2.s$)
- A – Área avaliada (m^2).

6.5 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA

O fluxo de deposição úmida *washout* pode ser calculado por meio da Equação 9, conforme o indicado por Shorshani *et al.* (2014).

$$Fu = E_{Total} \times \Lambda / S^{0,5} \times u \quad (9)$$

Onde:

- Fu – Fluxo de deposição úmida ($g/m^2.ano$);
- E_{total} – Emissão total do poluente dentro da área estudada (g);
- Λ - Coeficiente de *scavenging* (h^{-1});
- S – Área estudada (m^2);

- u –Velocidade do vento (m/h);

O coeficiente de *scavenging* está relacionado com a parcela do poluente que interage com a precipitação, e é carreada pela mesma. Tal coeficiente varia para cada poluente, podendo ser calculado por meio da equação 10, em sua forma parametrizada conforme o exposto por Sportisse (2006).

$$\Lambda = A \times I^{B} \quad (10)$$

Onde:

- Λ - Coeficiente de *scavengin*g (h^{-1});
- A - Valor adimensional relacionado as características físicas da precipitação, como também as características físicas e químicas do poluente em questão;
- B - Valor adimensional relacionado as características físicas da precipitação, como também as características físicas e químicas do poluente em questão.
- I - intensidade da precipitação (mm/h)

Os valores dos coeficientes A e B variam para cada poluente. Os valores considerados nesta pesquisa foram obtidas na literatura e estão apresentadas no Quadro 4.

Com relação aos hidrocarbonetos, uma abordagem diferente foi tomada. Para os HCs emitidos por motores à diesel, a distribuição do tamanho das partículas é tal que 52% são menores que 0,25 μm de diâmetro e outros 20% estão entre 0,5-1 μm (SZEWCZYŃSKA, 2013). Para usar um valor unificado, calculou-se a média ponderada dos tamanhos das partículas, obtendo-se um diâmetro médio de 0,39 μm, ou seja, em média as partículas de HC liberadas por motores à diesel apresentam este tamanho.

Muitos valores de A e B estão disponíveis no trabalho realizado por Sparmacher *et al*. (1993), para a realização do cálculo do coeficiente de *scavenging*. Porém para o tamanho de 0,39 μm não há tal informação. Para a obtenção destas incógnitas, para o tamanho desejado (0,39 μm), foi realizada uma interpolação entre os valores de A disponíveis para às partículas de diâmetros 0,23 μm e 0,46 μm, e o mesmo também foi feito para a obtenção do valor de B.

Os novos valores que foram obtidos pela interpolação e que foram utilizados para o cálculo do coeficiente de *scavenging* para os HCs, também estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Constantes A e B para cálculo do coeficiente de *scavenging* para o NO_X, $MP_{2.5}$, MP_{10} e HC

Poluente	A	B	Autor
NO_X	0,21	0,616	Garret *et al*. (2006)
$MP_{2.5}$	$1{,}01 \times 10^{-3}$	0,61	Feng (2007)
MP_{10}	0,8	0,79	Feng (2007)
HC	0,001044	0,60	Sparmacher *et al*. (1993) adaptado

Fonte: Elaboração do autor.

Uma vez obtidos os fluxos de deposição úmida, as quantidades dos poluentes que foram depositadas dentro da área avaliada podem ser obtidos por meio da Equação 11.

$$Dui = Fui \times A \quad (11)$$

Onde:

- Dui - Massa do poluente i depositada na área avaliada no período de 1 ano (g);
- Fui - Fluxo de deposição úmida do poluente i ($g/m^2.s$);
- A – Área avaliada (m^2).

6.6 ROTEIRIZAÇÃO

Para realização da roteirização, será aplicado o algoritmo do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbor*), por ser um método de acordo com a literatura de simples e rápida aplicação (BENEVIDES, 2011).

O algoritmo se inicia a partir de um nó V_i, deste nó ele seguirá para o próximo nó V_k, sendo de maneira que a distâncias entre ambos os nós seja a mínima possível. Ao atingir o nó V_k, o algoritmo o inserirá no fim do ciclo repetindo a operação até que todos os nós pertençam a solução e tenham sido visitado. Vale ressaltar, que o mesmo nó não pode ser visitado duas vezes nem modificar a

escolha, ou seja, uma vez que o nó é posicionado dentro da rota, ele não poderá sofrer modificação de posicionamento (BENEVIDES, 2011).

O pseudocódigo do algoritmo do vizinho mais próximo pode ser representado da seguinte maneira:

- P1: Escolha um nó inicial;
- P2: Encontre o nó mais próximo do último nó inserido na rota e inclua-o também na mesma;
- P3: Repita o Passo 2 até que a rota visite todos os nós, fechando o ciclo ao retornar ao nó inicial.

7 ESTUDO DE CASO

7.1 ÁREA DE ESTUDO

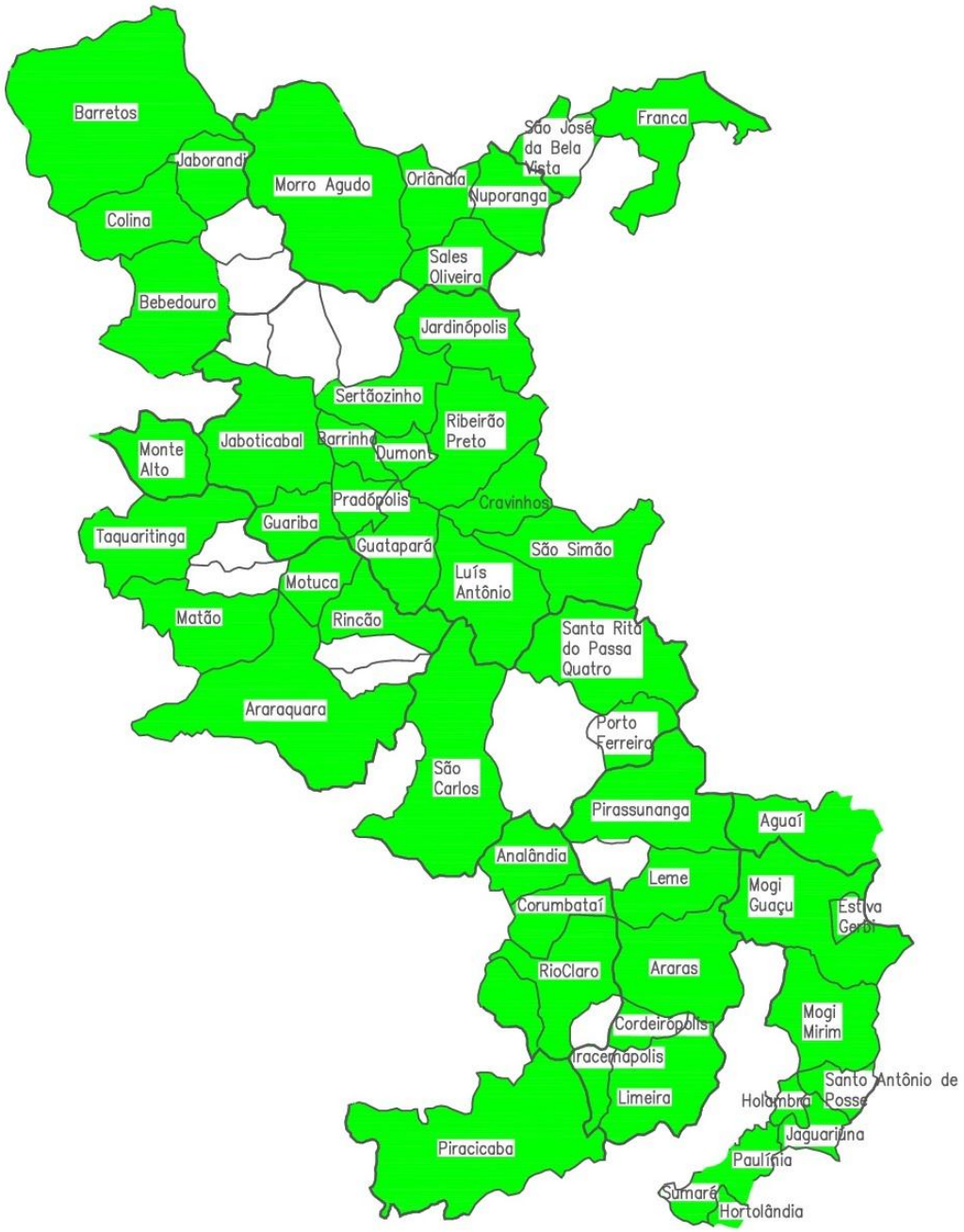
Este estudo tem como finalidade avaliar as emissões dos poluentes atmosféricos liberados e a deposição seca e úmida dos mesmos, tanto na área como um todo como também nos recursos hídricos da região, durante os serviços de entrega realizados por uma frota de veículos de um Centro de Distribuição, do ramo supermercadista, localizada no município de Ribeirão Preto - SP.

O CD em questão opera com uma frota de 41 veículos, sendo todos caminhões do tipo trucado, trabalhando durante 302 dias ao longo do ano (desconsiderando os domingos e os feriados).

Tal frota tem como objetivo atender 42 filiais de sua rede de supermercados, distribuídas ao longo de 16 municípios, todos localizados no Estado de São Paulo, sendo estes: Sertãozinho (5 filiais), Ribeirão Preto (13 filiais), Franca (4 filiais), Barretos (3 filiais), Araraquara (2 filiais), São Carlos (3 filiais), Rio Claro (1 filial), Jaboticabal (2 filiais), Bebedouro (2 filiais), Piracicaba (1 filial), Sumaré (1 filial), Araras (1 filial), Matão (1 filial), Monte Alto (1 filial), Jardinópolis (1 filial) e Limeira (1filial).

Para os cálculos de emissões e deposições seca e úmida na área como um todo e nos recursos hídricos, serão consideradas não só os munícipios que são atendidos pelo CD, como também todas as cidades por onde a frota de veículos passa ao longo de seu percurso, sendo estes: São José da Bela Vista, Nuporanga, Sales Oliveira, Orlândia, Morro Agudo, Colina, Jaborandi, Taquaral, Dumont, Barrinha, Pradópolis, Guariba, Taquaritinga, Motuca, Guatapara, Rincão, Luís Antônio, Cravinhos, São Simão, Santa Rita do Passa Quatro, Porto Ferreira, Pirassununga, Analândia, Corumbataí, Leme, Aguaí, Mogi Guaçu, Estiva Gerbi, Cordeirópolis, Iracemápolis, Mogi Mirim, Santo Antônio de Posse, Holambra, Jaguariúna, Paulínia e Hortolândia. A área total de influência a ser considerada neste estudo é constituída por 52 municípios, conforme o ilustrado na Figura 7.

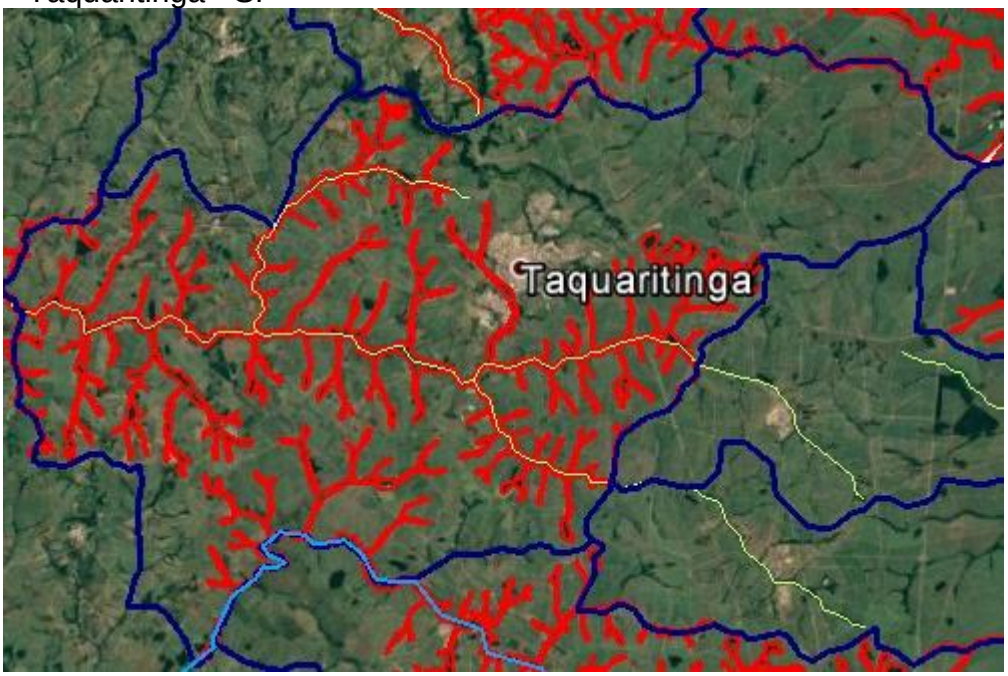
Figura 7 - Municípios considerados nos estudos de emissões e deposição seca



Fonte: Próprio autor.

A área total de cada um desses municípios foi obtida no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As áreas referentes aos recursos hídricos de cada município foram obtidas utilizando-se a ferramenta Google Earth Pro®, para isso foram levadas em consideração não só a área do corpo d'água, como também, suas áreas de matas ciliares, conforme o ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Exemplo da área referente aos recursos hídricos do município de Taquaritinga - SP



Fonte: Próprio autor.

As áreas totais e dos recursos hídricos de cada um dos munícipios dentro da área de estuda estão representadas no Quadro 5.

Quadro 5: Área dos municípios considerados no estudo

(continua)

Município	**Área (km²)**	**Área dos Recursos Hídricos (km²)**
Sertãozinho	402,60	10,92
Ribeirão Preto	651,30	30,80
Rio Claro	498,70	26,43
Matão	524,90	73,82
Monte Alto	346,50	41,24
Franca	605,70	23,73
Barretos	1 565,60	70,09
Araraquara	1 004,10	124,76
Araras	644,80	48,50
Bebedouro	683,30	11,94
São Carlos	1 137,30	157,04
Jaboticabal	706,60	71,64
Limeira	581,00	21,70
Piracicaba	1 376,90	122,38
Sumaré	153,00	8,69
São José da Bela Vista	277,00	13,55
Nuporanga	348,30	15,25
Sales Oliveira	305,60	15,82
Orlândia	291,80	6,29
Morro Agudo	1 388,20	94,91
Jardinópolis	502,50	49,48
Colina	422,60	11,08
Jaborandi	273,40	5,93

Quadro 5: Área dos municípios considerados no estudo

(conclusão)

Taquaral	53,90	4,71
Dumont	111,376	8,90
Barrinha	146,025	11,18
Pradópolis	167,378	n.d.
Guariba	270,289	34,30
Taquaritinga	594,335	59,40
Motuca	228,70	21,32
Guatapara	413,567	17,40
Rincão	316,639	39,68
Luís Antônio	598,257	34,55
Cravinhos	311,423	35,68
São Simão	617,252	43,24
Santa Rita do Passa Quatro	754,141	61,93
Porto Ferreira	244,906	16,43
Pirassununga	727,118	37,48
Analândia	325,953	13,78
Corumbataí	278,622	8,05
Leme	402,871	17,46
Aguaí	474,554	33,84
Mogi Guaçu	812,753	31,76
Estiva Gerbi	74,144	3,24
Cordeirópolis	137,579	4,45
Iracemápolis	115,118	8,78
Mogi Mirim	497,708	13,04
Santo Antônio De Posse	154,133	6,63
Holambra	65,577	2,20
Jaguariúna	141,391	10,22
Paulínia	138,777	7,38
Hortolândia	62,416	3,59
Total	**23.928,60**	**1.646,61**

Fonte: Elaboração do autor.

8 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

8.1 ROTEIRIZAÇÃO

Para a realização da roteirização, o primeiro passo foi encontrar o número de habitantes de cada um dos municípios que são atendidos pelo Centro de Distribuição da empresa. Tais dados foram obtidos no site do IBGE (2017), e são apresentados na Tabela 1.

Em seguida, algumas hipóteses foram tomadas de modo a ser encontrado o número de caminhões necessários para atender de maneira efetiva cada um dos pontos de entrega. A primeira delas foi que cada família em média, é constituída por quatro pessoas. Tal valor foi escolhido com base em dados estatísticos disponibilizados na internet pelo site do IBGE (2017) referentes ao tamanho da família brasileira. A segunda hipótese tomada foi que cada família consome em média, uma cesta básica por semana.

Dividindo-se o número total de habitantes de cada município por quatro, que é o número médio de pessoas que integram uma família, foi encontrado o número médio de famílias existentes em cada cidade. O número total de cestas básicas, que são necessários pra suprir a demanda de cada mercado foi obtido realizando-se uma busca na internet no site Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS, 2017), e encontrando o número total de supermercados existentes em cada cidade. Dividindo-se o número de famílias pelo número de mercados é possível saber, em média, o número de famílias que frequenta cada mercado. Como cada família consome uma cesta básica por semana, foi possível encontrar o número de cestas básicas que são enviadas semanalmente para cada supermercado.

A quantidade máxima de cestas básicas que cabem no caminhão foi obtida dividindo-se a carga máxima que o caminhão pode carregar, que é 14 toneladas, dados estes fornecidos pela empresa, pelo peso de uma cesta básica, que é em média, 8,4 kg, dados estes medidos em campo, dando um total de 1666 cestas básicas por caminhão.

E, finalmente, dividindo-se o número total de cestas básicas necessárias em cada mercado, pelo número total de cestas básicas que cabem por caminhão, foi encontrado o número total de caminhões que devem ser enviados semanalmente

para cada supermercado de modo a suprir suas demandas, estes dados estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidades de cestas básicas e caminhões enviados para cada município

Municípios	População Estimada em 2017 - IBGE	Número de Famílias	Número de Mercados no Município	Quantidade de Cestas Básicas por Mercado	Caminhões por Mercado
Ribeirão Preto	682.302	170.576	20	8.529	6
Sertãozinho	122.643	30.661	15	2.044	2
Jaboticabal	76.563	19.141	18	1.063	1
Monte Alto	49.979	12.495	15	833	1
Bebedouro	77.761	19.440	18	1.080	1
Barretos	120.638	30.160	23	1.311	1
Matão	82.307	20.577	18	1.143	1
Araraquara	230.770	57.693	19	3.036	2
São Carlos	246.088	61.522	18	3.418	3
Rio Claro	202.952	50.738	21	2.416	2
Araras	131.282	32.821	18	1.823	2
Limeira	300.911	75.228	17	4.425	3
Piracicaba	397.322	99.331	20	4.967	3
Sumaré	273.007	68.252	12	5.688	4
Jardinópolis	42.904	10.726	8	1.341	1
Franca	347.237	86.809	20	4.340	3

Fonte: Elaboração do autor.

Para a roteirização, foi aplicado o algoritmo do vizinho mais próximo de modo empírico, onde cada uma das filiais em cada município foi considerado um nó dentro de uma malha, e cada caminhão, sairá do CD, e se dirigirá até o ponto mais próximo, após feita a entrega o caminhão retornará ao CD, e retornará ao mesmo ponto, em caso de filiais que necessitam de mais de um caminhão para atender a sua demanda, caso contrário, ele se dirigirá ao próximo ponto, sendo este o mais próximo. Cada caminhão deixa o CD às 08:00 da manhã, completamente carregado, e demora em média duas horas para descarregá-lo, como também para carregá-lo novamente.

As distâncias percorridas entre o CD e cada filial foram obtidas por meio da ferramenta Google Maps®, assim como os tempos de viagem para cada ponto. O resultado da roteirização está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Roteirização da frota do Centro de Distribuição estudado

(continua)

CD (Hora de Saída)	Veiculo	Dia	Cidade	Ponto	Quilometragem (km)	Hora de chegada no ponto
08:00	1	1	Ribeirão Preto	1	7,9	08:08
08:00	2	1	Ribeirão Preto	2	8,5	08:10
08:00	3	1	Ribeirão Preto	3	9,7	08:15
08:00	4	1	Ribeirão Preto	4	12,7	08:15
08:00	5	1	Ribeirão Preto	5	14,7	08:20
08:00	6	1	Ribeirão Preto	6	13,8	08:17
08:00	7	1	Ribeirão Preto	7	13,5	08:20
08:00	8	1	Ribeirão Preto	8	14,4	08:22
08:00	9	1	Ribeirão Preto	9	16,1	08:23
08:00	10	1	Ribeirão Preto	10	13,3	08:19
08:00	11	1	Ribeirão Preto	11	14,5	08:23
08:00	12	1	Ribeirão Preto	12	17,9	08:23
08:00	13	1	Sertãozinho	1	26,4	08:25
08:00	14	1	Sertãozinho	2	25,3	08:25
08:00	15	1	Sertãozinho	3	26,7	08:26
08:00	16	1	Sertãozinho	4	30,0	08:33
08:00	17	1	Sertãozinho	5	29,2	08:25
08:00	18	1	Jaboticabal	1	62,7	08:48
08:00	19	1	Jaboticabal	2	63,4	08:50
08:00	20	1	Monte Alto	1	83,9	09:01
08:00	21	1	Bebedouro	1	86,4	08:58
08:00	22	1	Bebedouro	2	84,3	08:57
08:00	23	1	Barretos	1	122	09:23
08:00	24	1	Barretos	2	122	09:20
08:00	25	1	Barretos	3	125	09:24
08:00	26	1	Matão	1	104	09:11
08:00	27	1	Araraquara	1	98,7	09:09
08:00	28	1	Araraquara	2	98,5	09:12
08:00	29	1	São Carlos	1	112	09:17
08:00	30	1	São Carlos	2	119	09:21
08:00	31	1	São Carlos	3	119	09:22
08:00	32	1	Rio Claro	1	175	09:57
08:00	33	1	Araras	1	156	09:45
08:00	34	1	Limeira	1	187	10:07

Tabela 2: Roteirização da frota do Centro de Distribuição estudado
(continuação)

08:00	35	1	Piracicaba	1	212	10:23
08:00	36	1	Sumaré	1	229	10:28
08:00	37	1	Jardinópolis	1	11,8	08:14
08:00	38	1	Franca	1	85	09:01
08:00	39	1	Franca	2	86,6	08:59
08:00	40	1	Franca	3	88,5	09:00
08:00	41	1	Franca	4	87,4	09:05
12:16	1	1	Ribeirão Preto	1	7,9	12:24
12:20	2	1	Ribeirão Preto	2	8,5	12:30
12:30	3	1	Ribeirão Preto	3	9,7	12:45
12:30	4	1	Ribeirão Preto	4	12,7	12:45
12:40	5	1	Ribeirão Preto	5	14,7	13:00
12:34	6	1	Ribeirão Preto	6	13,8	12:51
12:40	7	1	Ribeirão Preto	7	13,5	13:00
12:44	8	1	Ribeirão Preto	8	14,4	13:06
12:46	9	1	Ribeirão Preto	9	16,1	13:09
12:38	10	1	Ribeirão Preto	10	13,3	12:57
12:46	11	1	Ribeirão Preto	11	14,5	13:09
13:46	12	1	Ribeirão Preto	12	17,9	14:09
12:50	13	1	Sertãozinho	1	26,4	13:15
12:50	14	1	Sertãozinho	2	25,3	13:15
12:52	15	1	Sertãozinho	3	26,7	13:18
13:06	16	1	Sertãozinho	4	30,0	13:39
12:50	17	1	Sertãozinho	5	29,2	13:15
13:36	18	1	Araraquara	1	98,7	14:45
13:40	19	1	Araraquara	2	98,5	14:52
14:02	20	1	São Carlos	1	112	15:19
13:56	21	1	São Carlos	2	119	15:17
13:54	22	1	São Carlos	3	119	15:16
14:46	23	1	Rio Claro	1	175	16:43
14:40	24	1	Araras	1	156	16:25
14:48	25	1	Limeira	1	187	17:55
14:22	26	1	Piracicaba	1	212	16:45
14:18	27	1	Sumaré	1	229	16:46
14:24	28	1	Franca	1	85	15:25
14:34	29	1	Franca	2	86,6	15:33

Tabela 2: Roteirização da frota do Centro de Distribuição estudado
(continuação)

14:42	30	1	Franca	3	88,5	15:42
14:44	31	1	Franca	4	87,4	15:49
08:00	32	2	Ribeirão Preto	1	7,9	08:08
08:00	33	2	Ribeirão Preto	2	8,5	08:10
08:00	34	2	Ribeirão Preto	3	9,7	08:15
08:00	35	2	Ribeirão Preto	4	12,7	08:15
08:00	36	2	Ribeirão Preto	5	14,7	08:20
08:00	37	2	Ribeirão Preto	6	13,8	08:17
08:00	38	2	Ribeirão Preto	7	13,5	08:20
08:00	39	2	Ribeirão Preto	8	14,4	08:22
08:00	40	2	Ribeirão Preto	9	16,1	08:23
08:00	41	2	Ribeirão Preto	10	13,3	08:19
08:00	1	2	Ribeirão Preto	11	14,5	08:23
08:00	2	2	Ribeirão Preto	12	17,9	08:23
08:00	3	2	São Carlos	1	112	09:17
08:00	4	2	São Carlos	2	119	09:21
08:00	5	2	São Carlos	3	119	09:22
08:00	6	2	Limeira	1	187	10:07
08:00	7	2	Piracicaba	1	212	10:23
08:00	8	2	Sumaré	1	229	10:28
08:00	9	2	Franca	1	85	09:01
08:00	10	2	Franca	2	86,6	08:59
08:00	11	2	Franca	3	88,5	09:00
08:00	12	2	Franca	4	87,4	09:05
08:00	13	2	Ribeirão Preto	1	7,9	08:08
08:00	14	2	Ribeirão Preto	2	8,5	08:10
08:00	15	2	Ribeirão Preto	3	9,7	08:15
08:00	16	2	Ribeirão Preto	4	12,7	08:15
08:00	17	2	Ribeirão Preto	5	14,7	08:20
08:00	18	2	Ribeirão Preto	6	13,8	08:17
08:00	19	2	Ribeirão Preto	7	13,5	08:20
08:00	20	2	Ribeirão Preto	8	14,4	08:22

Tabela 2: Roteirização da frota do Centro de Distribuição estudado
(continuação)

08:00	21	2	Ribeirão Preto	9	16,1	08:23
08:00	22	2	Ribeirão Preto	10	13,3	08:19
08:00	23	2	Ribeirão Preto	11	14,5	08:23
08:00	24	2	Ribeirão Preto	12	17,9	08:23
08:00	25	2	Sumaré	1	229	10:28
08:00	26	3	Ribeirão Preto	1	7,9	08:08
08:00	27	3	Ribeirão Preto	2	8,5	08:10
08:00	28	3	Ribeirão Preto	3	9,7	08:15
08:00	29	3	Ribeirão Preto	4	12,7	08:15
08:00	30	3	Ribeirão Preto	5	14,7	08:20
08:00	31	3	Ribeirão Preto	6	13,8	08:17
08:00	32	3	Ribeirão Preto	7	13,5	08:20
08:00	33	3	Ribeirão Preto	8	14,4	08:22
08:00	34	3	Ribeirão Preto	9	16,1	08:23
08:00	35	3	Ribeirão Preto	10	13,3	08:19
08:00	36	3	Ribeirão Preto	11	14,5	08:23
08:00	37	3	Ribeirão Preto	12	17,9	08:23
08:00	38	3	Ribeirão Preto	1	7,9	08:08
08:00	39	3	Ribeirão Preto	2	8,5	08:10
08:00	40	3	Ribeirão Preto	3	9,7	08:15
08:00	41	3	Ribeirão Preto	4	12,7	08:15
08:00	1	3	Ribeirão Preto	5	14,7	08:20
08:00	2	3	Ribeirão Preto	6	13,8	08:17
08:00	3	3	Ribeirão Preto	7	13,5	08:20
08:00	4	3	Ribeirão Preto	8	14,4	08:22
08:00	5	3	Ribeirão Preto	9	16,1	08:23
08:00	6	3	Ribeirão Preto	10	13,3	08:19
08:00	7	3	Ribeirão Preto	11	14,5	08:23

Tabela 2: Roteirização da frota do Centro de Distribuição estudado
(conclusão)

08:00	8	3	Ribeirão Preto	12	17,9	08:23

Fonte: Elaboração do autor.

8.2 CÁLCULOS DA EMISSÃO PELO MÉTODO *TOP-DOWN*

Para a realização do cálculo da emissão de CO_2 para o funcionamento atual do CD, o primeiro passo foi o cálculo da distância anual percorrida para atender cada um dos pontos. Este cálculo foi feito com as distâncias obtidas pelo Google Maps®, entre o CD e as filiais, somando-se tanto o valor de ida, como o de volta, e posteriormente multiplicando-se este valor pelo número de dias que o CD operou no ano, sendo um total de 302 dias, e finalmente multiplicando este valor também por 3, que é o número médio de vezes que um ponto pode ser visitado no mesmo dia.

O segundo passo para a aplicação desse método foi o cálculo do consumo de energia (CC) por meio da Equação 1. O consumo de combustível (CA) foi feito pelo produto da distância total percorrida pelos veículos para atender cada um dos pontos, no período de um ano, com o fator de rendimento do veículos; sendo estes 3,7 km/litro para os caminhões do tipo trucado, dados estes fornecidos pelos próprios operadores logísticos do CD.

Para os fatores de conversão (Fconv) e correção (Fcorr) foram adotados os valores de 0,848 tEP/m³ e 0,95 (combustíveis líquidos), conforme indicado por Brasil (2014). Uma vez obtido os consumos de energia, são calculados os conteúdos de carbono (QC) com a Equação 2; para este cálculo, utilizou-se o fator de emissão igual a 20,2 tC/TJ relativo ao óleo diesel (BRASIL, 2011). E, por fim, substituindo o valor de QC na Equação 3, são obtidos os valores da emissão de dióxido de carbono (CO_2). Os resultados obtidos por meio das Equações de 1, 2 e 3, para o funcionamento atual do CD são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Emissões de CO_2 para o funcionamento atual do CD

Cidade	Ponto	Distância Anual (km)	CA (m^3)	CC (TJ)	QC (Gg)	ECO_2 (Gg)
Sertãozinho	1	47293,2	12,7819459	0,465430532	0,009401697	0,034472888
	2	56353,2	15,2305946	0,554593469	0,011202788	0,04107689
	3	57621,6	15,5734054	0,56707628	0,011454941	0,04200145
	4	54178,8	14,6429189	0,533194364	0,010770526	0,039491929
	5	55628,4	15,0347027	0,547460434	0,011058701	0,040548569
Ribeirão Preto	1	46206	12,4881081	0,454730979	0,009185566	0,033680408
	2	45118,8	12,1942703	0,444031427	0,008969435	0,032887928
	3	14314,8	3,86886486	0,140877441	0,002845724	0,010434322
	4	23737,2	6,41545946	0,233606895	0,004718859	0,017302484
	5	23374,8	6,31751351	0,230040378	0,004646816	0,017038324
	6	16308	4,40756757	0,160493287	0,003241964	0,011887203
	7	39501,6	10,6761081	0,388750406	0,007852758	0,028793447
	8	40226,4	10,872	0,395883441	0,007996846	0,029321767
	9	25549,2	6,90518919	0,251439483	0,005079078	0,018623284
	10	50736	13,7124324	0,499312448	0,010086111	0,036982409
	11	24643,2	6,66032432	0,242523189	0,004898968	0,017962884
	13	41676	11,2637838	0,410149511	0,00828502	0,030378407
Franca	1	188448	50,9318919	1,854589091	0,0374627	0,137363232
	2	192072	51,9113514	1,890254266	0,038183136	0,140004833
	3	199320	53,8702703	1,961584616	0,039624009	0,145288034
	4	188448	50,9318919	1,854589091	0,0374627	0,137363232
Barretos	1	275424	74,4389189	2,710553287	0,054753176	0,200761647
	2	269988	72,9697297	2,657055525	0,053672522	0,196799246
	3	268176	72,48	2,639222938	0,053312303	0,195478446
Araraquara	1	242808	65,6237838	2,389566714	0,048269248	0,176987241
	2	231936	62,6854054	2,282571189	0,046107938	0,169062439
São Carlos	1	268176	72,48	2,639222938	0,053312303	0,195478446
	2	246432	66,6032432	2,425231889	0,048989684	0,179628842
	3	268176	72,48	2,639222938	0,053312303	0,195478446
Rio Claro	1	342468	92,5589189	3,370359022	0,068081252	0,249631258
Jaboticabal	1	140430	37,9540541	1,382025525	0,027916916	0,102362024
	2	138618	37,4643243	1,364192937	0,027556697	0,101041224
Bebedouro	1	154020	41,627027	1,51576993	0,030618553	0,112268026
	2	158731,2	42,9003243	1,562134658	0,03155512	0,115702107
Piracicaba	1	391392	105,781622	3,851838882	0,077807145	0,285292867
Sumaré	1	449376	121,452973	4,422481679	0,08933413	0,327558476
Limeira	1	382332	103,332973	3,762675945	0,076006054	0,278688865
Araras	1	353340	95,4972973	3,477354546	0,070242562	0,25755606
Matão	1	221064	59,747027	2,175575665	0,043946628	0,161137638
Monte Alto	1	177938,4	48,0914595	1,751160084	0,035373434	0,12970259
Jardinópolis	1	21381,6	5,77881081	0,210424532	0,004250576	0,015585444
	Total	**6.432.962,4**			**Total**	**4,70**

Fonte: Elaboração do autor.

Para o cálculo das emissões após a roteirização, primeiramente foram calculadas as distâncias totais percorridas por cada caminhão durante a execução da rota. Obtidos tais valores, as distâncias anuais percorridas foram conseguidas multiplicando-se os valores percorridos por cada caminhão por dois, que corresponde ao número de vezes que a rota é executada em uma semana, e também, multiplicando-se esse valor pelo número totais de semanas existente em um ano. Neste caso para se obter um valor médio, já que domingos e feriados são desconsiderados, o número de semanas no ano foi obtido dividindo-se 365 dias por 6.

Após isso, para a obtenção dos valores de emissões de CO_2, as mesmas equações, e coeficientes demonstrados no início deste tópico foram utilizados. Os resultados das emissões de CO_2 da frota, após a roteirização, são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Emissões de CO_2 da frota do CD após a roteirização

(continua)

Caminhão	Distância Anual Percorrida (km)	CA (m^3)	CC (TJ)	QC (Gg)	ECO_2 (Gg)
1	10980	2,967567568	0,108058394	0,00218278	0,008003525
2	11882,8	3,211567568	0,116943195	0,002362253	0,008661593
3	35355,6	9,555567568	0,347948029	0,00702855	0,025771351
4	38747,2	10,47221622	0,381326066	0,007702787	0,028243551
5	40138	10,84810811	0,395013462	0,007979272	0,02925733
6	55607,6	15,02908108	0,547255733	0,011054566	0,040533408
7	61854	16,7172973	0,608728953	0,012296325	0,045086524
8	67270,8	18,1812973	0,66203776	0,013373163	0,04903493
9	28596,8	7,728864865	0,281432084	0,005684928	0,020844736
10	27620,8	7,465081081	0,271826893	0,005490903	0,020133312
11	28670	7,748648649	0,282152473	0,00569948	0,020898093
12	30060,8	8,124540541	0,29583987	0,005975965	0,021911873
13	14810,8	4,002918919	0,145758767	0,002944327	0,010795866
14	14420,4	3,897405405	0,141916691	0,002866717	0,010511296
15	15396,4	4,161189189	0,151521881	0,003060742	0,011222721
16	17738,8	4,79427027	0,174574339	0,003526402	0,012930139
17	17836,4	4,820648649	0,175534858	0,003545804	0,013001282
18	42748,8	11,55372973	0,420707347	0,008498288	0,031160391
19	42797,6	11,56691892	0,421187607	0,00850799	0,031195962
20	51313,2	13,86843243	0,504992894	0,010200856	0,03740314
21	54046	14,60702703	0,531887428	0,010744126	0,039395129
22	52850,4	14,28389189	0,52012107	0,010506446	0,038523634

Tabela 4: Emissões de CO_2 da frota do CD após a roteirização

(conclusão)

23	76006	20,54216216	0,748004216	0,015109685	0,055402179
24	72199,6	19,51340541	0,710543973	0,014352988	0,052627624
25	132004	35,67675676	1,299102025	0,026241861	0,096220157
26	79031,6	21,35989189	0,777780307	0,015711162	0,057607595
27	82032,8	22,17102703	0,807316268	0,016307789	0,059795225
28	47140,8	12,74075676	0,463930705	0,0093714	0,034361801
29	51557,2	13,93437838	0,507394192	0,010249363	0,037580996
30	54216,8	14,65318919	0,533568336	0,01077808	0,039519628
31	53728,8	14,5212973	0,528765741	0,010681068	0,039163916
32	47921,6	12,95178378	0,471614857	0,00952662	0,03493094
33	43651,6	11,79772973	0,429592148	0,008677761	0,031818458
34	51923,2	14,0332973	0,510996138	0,010322122	0,037847781
35	58072	15,69513514	0,571508839	0,011544479	0,042329755
36	63000,8	17,02724324	0,620015051	0,012524304	0,045922448
37	10614	2,868648649	0,104456447	0,00211002	0,007736741
38	25961,6	7,016648649	0,255498069	0,005161061	0,01892389
39	26718	7,221081081	0,262942092	0,00531143	0,019475244
40	27889,2	7,537621622	0,274468321	0,00554426	0,020328954
41	27669,6	7,47827027	0,272307153	0,005500604	0,020168883
Total	**1.792.082,4**			**Total**	**1,31**

Fonte: Elaboração do autor.

O Centro de Distribuição (CD) utilizado na análise realiza atualmente o serviço de entrega percorrendo 6.432.962,4 km/ano e com a roteirização simulada, o mesmo serviço passaria a percorrer 1.792.082,4 km/ano. Isto significa uma redução de 72% de quilometragem percorrida anualmente para atender a mesma demanda.

Essa redução de quilometragem reflete diretamente na redução da emissão de poluentes. Pelo método *Top–Down*, o sistema de entrega atualmente emite 4,70 gigagramas/ano de Dióxido de Carbono (CO_2) na atmosfera, que corresponde a 4.700 toneladas deste poluente por ano. Com a roteirização simulada, o CD passaria a emitir 1,31 gigagramas/ano de CO_2, correspondendo a 1.310 toneladas/ano. Portanto, o método de roteirização proposto garante uma redução de 72% da emissão de CO_2 na atmosfera.

8.3 CÁLCULO DAS EMISSÕES PELO MÉTODO *BOTTOM-UP*

Os cálculos das emissões pelo método *Bottom-Up*, para o funcionamento atual do CD, foram feitas por meio da Equação 5 para os seguintes compostos: Hidrocarbonetos (HC), Óxidos de Nitrogênio (NOx) e Material Particulado (MP). A

frota (F) do Centro de Distribuição é constituída por 41 veículos. Os fatores de emissão (FEi) utilizados foram, 0,03 g/km, 1,55 g/km e 0,014 g/km, para o HC, NOx e MP respectivamente, conforme CETESB (2013). As quilometragens (Q) utilizadas na equação foram as mesmas apresentadas na Tabela 3. Os resultados obtidos por meio da aplicação do método são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Emissões de HC, NOx e MP para o funcionamento atual do CD

(continua)

Cidade	Ponto	Emissão HC (g)	Emissão NOx (g)	Emissão MP (g)
Sertãozinho	1	1418,796	78033,78	756,6912
	2	1690,596	92982,78	901,6512
	3	1728,648	95075,64	921,9456
	4	1625,364	89395,02	866,8608
	5	1668,852	91786,86	890,0544
Ribeirão Preto	1	1386,18	76239,9	739,296
	2	1353,564	74446,02	721,9008
	3	429,444	23619,42	229,0368
	4	712,116	39166,38	379,7952
	5	701,244	38568,42	373,9968
	6	489,24	26908,2	260,928
	7	1185,048	65177,64	632,0256
	8	1206,792	66373,56	643,6224
	9	766,476	42156,18	408,7872
	10	1522,08	83714,4	811,776
	11	739,296	40661,28	394,2912
	12	1250,28	68765,4	666,816
Franca	1	5653,44	310939,2	3015,168
	2	5762,16	316918,8	3073,152
	3	5979,6	328878	3189,12
	4	5653,44	310939,2	3015,168
Barretos	1	8262,72	454449,6	4406,784
	2	8099,64	445480,2	4319,808
	3	8045,28	442490,4	4290,816
Araraquara	1	7284,24	400633,2	3884,928
	2	6958,08	382694,4	3710,976
São Carlos	1	8045,28	442490,4	4290,816
	2	7392,96	406612,8	3942,912
	3	8045,28	442490,4	4290,816
Rio Claro	1	10274,04	565072,2	5479,488
Jaboticabal	1	4212,9	231709,5	2246,88
	2	4158,54	228719,7	2217,888
Bebedouro	1	4620,6	254133	2464,32
	2	4761,936	261906,48	2539,6992

Tabela 5: Emissões de HC, NOx e MP para o funcionamento atual do CD

(conclusão)

Piracicaba	1	11741,76	645796,8	6262,272
Sumaré	1	13481,28	741470,4	7190,016
Limeira	1	11469,96	630847,8	6117,312
Araras	1	10600,2	583011	5653,44
Matão	1	6631,92	364755,6	3537,024
Monte Alto	1	5338,152	293598,36	2847,0144
Jardinópolis	1	641,448	35279,64	342,1056
	Total	**192.988,87**	**10.614.387,96**	**102.927,40**

Fonte: Elaboração do autor.

Para o cálculo das emissões dos HC, NOx e MP, após a roteirização, a mesma equação e coeficientes apresentados no início deste tópico foram utilizados. As quilometragens anuais foram as mesmas apresentadas na Tabela 4, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Emissões de HC, NOx e MP após a roteirização

(continua)

Caminhão	**Emissão HC (g)**	**Emissão NOx (g)**	**Emissão MP (g)**
1	329,4	18117	175,68
2	356,484	19606,62	190,1248
3	1060,668	58336,74	565,6896
4	1162,416	63932,88	619,9552
5	1204,14	66227,7	642,208
6	1668,228	91752,54	889,7216
7	1855,62	102059,1	989,664
8	2018,124	110996,82	1076,3328
9	857,904	47184,72	457,5488
10	828,624	45574,32	441,9328
11	860,1	47305,5	458,72
12	901,824	49600,32	480,9728
13	444,324	24437,82	236,9728
14	432,612	23793,66	230,7264
15	461,892	25404,06	246,3424
16	532,164	29269,02	283,8208
17	535,092	29430,06	285,3824
18	1282,464	70535,52	683,9808
19	1283,928	70616,04	684,7616
20	1539,396	84666,78	821,0112
21	1621,38	89175,9	864,736
22	1585,512	87203,16	845,6064
23	2280,18	125409,9	1216,096

Tabela 6: Emissões de HC, NOx e MP após a roteirização

(conclusão)

24	2165,988	119129,34	1155,1936
25	3960,12	217806,6	2112,064
26	2370,948	130402,14	1264,5056
27	2460,984	135354,12	1312,5248
28	1414,224	77782,32	754,2528
29	1546,716	85069,38	824,9152
30	1626,504	89457,72	867,4688
31	1611,864	88652,52	859,6608
32	1437,648	79070,64	766,7456
33	1309,548	72025,14	698,4256
34	1557,696	85673,28	830,7712
35	1742,16	95818,8	929,152
36	1890,024	103951,32	1008,0128
37	318,42	17513,1	169,824
38	778,848	42836,64	415,3856
39	801,54	44084,7	427,488
40	836,676	46017,18	446,2272
41	830,088	45654,84	442,7136
Total	**53.762,472**	**2.956.935,96**	**28.673,3184**

Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados das emissões dos poluentes HC, NOx e MP, tanto para o funcionamento atual quanto para a roteirização realizada, estão representadas na Tabela 7.

Tabela 7: Comparativo das emissões de HC, NOx e MP antes e após roteirização

Roteirização	**HC (kg)**	**NOx (Kg)**	**MP (Kg)**
Atual	193	10.614,40	102,93
Simulada	53,80	2.956,94	28,70

Fonte: Elaboração do autor.

Pelo método *Bottom–Up*, a frota de veículos do Centro de Distribuição no sistema de entregas emite aproximadamente 193 kg/ano de Hidrocarboneto (HC), 10.615 kg/ano de Óxidos de Nitrogênio (NO_X) e 103 kg/ano de Materiais Particulados (MP) para a atmosfera. Se o sistema realizasse o serviço de entrega seguindo a roteirização simulada, haveria novos padrões destes poluentes, liberando 54 kg/ano de Hidrocarboneto (HC), 2957 kg/ano de Óxidos de Nitrogênio (NO_X) e 29 kg/ano de Materiais Particulados (MP). Estes valores representam uma redução de aproximadamente igual a 72% destes poluentes no ar.

8.4 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO SECA DOS POLUENTES ESTUDADOS

A estimativa dos fluxos de deposição seca (Fi) de cada poluente foi calculada com a aplicação da Equação 6. Os valores da velocidade de deposição (Vd,i) utilizados para cada composto foram as médias dos dados que estão apresentados nos Quadros 1, 2, 3.

O material particulado é emitido na atmosfera em diferentes diâmetros de partículas; e segundo Shorshani *et al*. (2014), a distribuição do tamanho das partículas das emissões de veículos automotores consiste em 58% de partículas com um diâmetro inferior a 1 μm, 8% de partículas entre 1 e 2,5 μm, 13% de partículas entre 2,5 e 10 μm e 21% de partículas maiores que 10 μm. Assim, no estudo em questão foram analisados os fluxos de deposição seca para os materiais particulados considerando que 66% deste corresponde ao $MP_{2,5}$ e 13% ao MP_{10}. Os demais tamanhos das partículas não foram analisados porque não há dados disponíveis sobre as velocidades de deposição.

A concentração dos poluentes (Ci) foi obtida por meio da Equação 7. O valor da massa considerada na equação é igual ao somatório das massas de cada poluente. O volume é o resultado do produto da área total envolvida no estudo pela altura; que foi considera como 1000 metros, pois segundo Stull (1988) neste limite da atmosfera prevalecem os movimentos turbulentos das massas de ar, que são um fator relevante para ocorrer o fenômeno da deposição seca. Os resultados obtidos dos fluxos de deposição seca dos poluentes analisados, tanto para o funcionamento atual quanto para os dados obtidos após a roteirização, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Fluxo de Deposição Seca atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	**HC**	**NOx**	**MP_{10}**	**$MP_{2.5}$**
Fluxo de Deposição Seca Atual (ng/m².d)	2.822,17	73.585,60	1.835,92	2.387,44
Fluxo de Deposição Seca Pós-Roteirização (ng/m².d)	786,20	20.499,33	511,45	665,10

Fonte: Elaboração do autor.

Uma vez obtidos os fluxos de deposição seca, a deposição seca em si que ocorre na área estudada pode ser calculada por meio da Equação 8. Os dados referentes à deposição seca estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Deposição seca atual e pós-roteirização na área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	HC	NOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Deposição Seca Atual (Kg/ano)	67,53	1.760,80	43,93	57,13
Deposição Seca Pós-Roteirização (Kg/ano)	18,81	490,52	12,24	15,92

Fonte: Elaboração do autor.

Com relação as deposições secas que ocorrem diretamente nos recursos hídricos da área estuda, estas foram obtidas multiplicando-se os valores de deposição seca apresentados na Tabela 9 por 6,88%, sendo este valor a porcentagem da área avaliada que correspondem aos corpos hídricos. Os valores das deposições secas que incidem diretamente nos recursos hídricos estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Deposição seca atual e pós-roteirização nos recursos hídricos da área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	HC	NOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Deposição Seca Atual nos R.H. (Kg/ano)	4,65	121,14	3,02	3,93
Deposição Seca Pós-Roteirização nos R.H. (Kg/ano)	1,30	33,80	0,84	1,10

Fonte: Elaboração do autor.

8.5 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA DOS POLUENTES ESTUDADOS

Para o cálculo do fluxo de deposição úmida, primeiramente foi encontrado dentro da área estudada o município que apresenta maior média de precipitação

anual, utilizando dados meteorológicos disponibilizados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017); sendo, neste caso, a cidade de Franca. Utilizando-se dos dados disponíveis no INMET (2017), para o município de Franca, foram obtidos os históricos de precipitação que ocorreram nos anos de 2015 e 2016. Para este período foi encontrado o dia que apresentou a maior precipitação, no valor de 58,8 mm, como também a velocidade do vento (u) de 4,67 m/s. Dividindo-se o valor de precipitação encontrado por 24h, foi obtido a intensidade de precipitação (I), num valor de 2,45 (mm/h).

Este valor assim como a velocidade do vento, foram considerados para a área como um todo, de modo a considerar o pior cenário possível. Entrando com o valor da intensidade de precipitação (I), na Equação 5, juntamente com os valores dos coeficientes A e B, apresentados no Quadro 5, foram calculados os coeficientes de *scavenging* para os poluentes HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$.

Com os coeficientes de *scavenging*, emissões totais (E_{Total}), calculadas pelo método *Bottom-Up*, valor da área (S) e velocidade do vento, foram calculados os fluxos de deposição úmida por meio da Equação 9. Para se obter o fluxo de deposição úmida total, os valores obtidos por meio da Equação 9 foram multiplicados por 134, que é o número médio de precipitações que ocorreu no município de Franca nos anos de 2015 e 2016.

Os resultados obtidos pelo método descrito estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Fluxo de deposição úmida atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	**HC**	**NOx**	**MP_{10}**	**$MP_{2.5}$**
Fluxo de Deposição Úmida Atual ($ng/m^2.d$)	57,15	641.367,50	3.599,80	19,64
Fluxo de Deposição Úmida Pós-Roteirização ($ng/m^2.d$)	15,92	178.670,94	1.002,81	5,50

Fonte: Elaboração do autor.

Uma vez obtidos os fluxos de deposição úmida, a deposição úmida em si que ocorre na área estudada pode ser calculada por meio da Equação 11. Os dados referentes às deposições úmida estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Deposição úmida atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	HC	NOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Deposição Úmida Atual (Kg/ano)	1,40	15.347,03	86,14	0,50
Deposição Úmida Pós-Roteirização (Kg/ano)	0,38	4.275,35	24	0,13

Fonte: Elaboração do autor.

Com relação às deposições úmidas que ocorrem diretamente nos recursos hídricos da área estudada, estas foram obtidas multiplicando-se os valores de deposição seca apresentados na Tabela 12 por 6,88%, sendo este valor a porcentagem da área avaliada que correspondem aos corpos hídricos. Os valores das deposições úmidas que incidem diretamente nos recursos hídricos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Deposição úmida atual e pós-roteirização nos recursos hídricos da área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	HC	NOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Deposição Úmida Atual nos R.H. (Kg/ano)	0,094	1.055,90	5,93	0,032
Deposição Úmida Pós-Roteirização nos R.H. (Kg/ano)	0,026	294,14	1,65	0,0090

Fonte: Elaboração do autor.

8.6 ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO TOTAL DOS POLUENTES ESTUDADOS

O cálculo das deposições totais é feito por meio da soma das deposições seca com a úmida (MEDEIROS, 2011). Assim, as deposições atmosféricas totais que ocorreram na área estudada foram obtidas somando-se os valores apresentados nas Tabelas 9 e 12. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Deposição total atual e pós-roteirização para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	HC	NOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Deposição Total Atual (Kg/ano)	68,90	17.107,82	130,07	57,60
Deposição Total Pós-Roteirização (Kg/ano)	19,20	4.765,90	36,23	16,04

Fonte: Elaboração do autor.

Com relação às deposições totais que ocorreram diretamente nos recursos hídricos, estas foram obtidas somando-se os valores apresentados nas Tabelas 10 e 13. Os resultados deste procedimento estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Deposição Total atual e pós-roteirização nos recursos hídricos da área estudada para HC, NOx, MP_{10} e $MP_{2.5}$

DEPOSIÇÃO	HC	NOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Deposição Total Atual nos R.H. (Kg/ano)	4,74	1.177,02	9,00	4,00
Deposição Total Pós-Roteirização nos R.H. (Kg/ano)	1,32	327,90	2,50	1,10

Fonte: Elaboração do autor.

A deposição total de poluentes gerada pela operação dos veículos do Centro de Distribuição atualmente se apresentam, aproximadamente, nos seguintes valores: 69 kg/ano de Hidrocarboneto (HC), 17.108 kg/ano de Óxidos de Nitrogênio (NO_X), 131 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 10 µm (MP_{10}) e 57 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 2,5 µm ($MP_{2,5}$). De maneira similar, a roteirização proposta resulta em uma diminuição na deposição dos poluentes para os seguintes valores: 20 kg/ano de Hidrocarboneto (HC), 4.766 kg/ano de Óxidos de Nitrogênio (NO_X), 37 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 10 µm (MP_{10}) e 17 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 2,5 µm ($MP_{2,5}$). Os valores das reduções de deposição total dos poluentes são aproximadamente 71% de Hidrocarboneto (HC), 72% de Óxidos de Nitrogênio (NO_X), 72% de Materiais

Particulados com diâmetro 10 µm (MP_{10}) e 70% de Materiais Particulados com diâmetro 2,5 µm ($MP_{2,5}$).

Os poluentes são depositados nos elementos compositores da superfície: águas superficiais, vegetação e solo. A ênfase da pesquisa foi analisar a emissão de poluentes por veículos automotores e a deposição destes diretamente em corpos d´água.

Portanto, a frota de veículos do caso em estudo atualmente provoca a deposição de poluentes diretamente nos recursos hídricos da área de influência com os seguintes resultados: 5 kg/ano de Hidrocarboneto (HC), 1178 kg/ano de Óxidos de Nitrogênio (NO_X), 9 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 10 µm (MP_{10}) e 4 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 2,5 µm ($MP_{2,5}$). Se o Centro de Distribuição realizasse o serviço de entregas seguindo a roteirização simulada, os resultados da deposição de poluentes diretamente nos recursos hídricos seriam os seguintes: 2 kg/ano de Hidrocarboneto (HC), 328 kg/ano de Óxidos de Nitrogênio (NO_X), 3 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 10 µm (MP_{10}) e 2 kg/ano de Materiais Particulados com diâmetro 2,5 µm ($MP_{2,5}$). Assim, a redução da deposição de poluentes diretamente nos recursos hídricos seriam da seguinte ordem: 60% de Hidrocarboneto (HC), 72% de Óxidos de Nitrogênio (NO_X), 78% de Materiais Particulados com diâmetro 10 µm (MP_{10}) e 50% de Materiais Particulados com diâmetro 2,5 µm ($MP_{2,5}$).

9 CONCLUSÕES

A roteirização simulada colabora com uma redução de aproximadamente 72% da quilometragem atual percorrida pela frota do Centro de Distribuição estudado. Também, se a operação de entrega seguisse a roteirização proposta, haveria uma redução aproximada de 72% na emissão de poluentes na atmosfera e na deposição total de poluentes na superfície. Portanto, pode-se concluir, pelo estudo de caso, que a quilometragem percorrida por uma frota de veículos é o fator predominante com maior influência, tanto nas emissões quanto nas deposições de poluentes atmosféricos.

Pelos resultados obtidos, observou-se que a deposição úmida é o principal processo de transporte dos Óxidos de Nitrogênio (NOx) da atmosfera para a superfície, por outro lado os hidrocarbonetos e os materiais particulados sofrem maior influência do processo de deposição seca.

Apesar dos motores a diesel serem mais ecológicos, devido as novas tecnologias, e gerarem menores emissões de CO_2, eles continuam exibindo altos níveis de emissão de NOx e fuligem, devido principalmente ao um mau controle do processo de combustão.

Os Óxidos de Nitrogênio (NOx) acarretam grandes problemas, por gerar impactos negativos nos corpos d'água, como a eutrofização e a acidificação dos mesmos, ainda que a água potável, encontrada na superfície corresponde à uma parcela pequena da água potável disponível no planeta.

Poluentes como os hidrocarbonetos são altamente cancerígenos e uma vez que atingem os recursos hídricos são de difícil tratamento. Muitas vezes não são removidos pelos tratamentos convencionais de água. Isto aumenta ainda mais a exposição das populações a estes elementos, que já estão amplamente presentes no ar.

Os materiais particulados liberados na forma de fuligem, nos processos de combustão dos motores a diesel, representam um risco maior a saúde, além dos problemas que eles mesmo provocam. Outros poluentes na atmosfera como, por exemplo, os HCs podem se associar a estas partículas de fuligem. Os movimentos de massas de ar e as movimentações de veículo e pessoas podem ressuspender estas partículas, aumentando a exposição das populações a vários tipos de compostos perigosos.

Com relação aos dados obtidos fica evidente o quanto as deposições de poluentes emitidos para a atmosfera podem ser danosas, tanto ao meio ambiente quanto para a saúde humana e para a economia.

Com a atual tendência das empresas em aderir ao sistema de centro de distribuição e o número cada vez mais crescente deste tipo de instalação, devido as grandes vantagens logísticas que este tipo de serviço oferece, maiores devem ser as atenções que devem ser dadas a este tipo de operação.

Pelo estudo realizado, também é possível observar que os elevados valores de emissão estão diretamente relacionados às grandes distâncias percorridas pela frota para atender os pontos de entrega, como também pelo fato de operar com o sistema *just in time*, promovendo um grande volume de entrega de mercadorias. As frotas que realizam as entregas precisam ser numerosas, e na maioria das vezes compostas por veículos pesados movidos a diesel, sendo estes responsáveis por maiores quantidades de emissão.

Apesar das novas tecnologias, como motores elétricos e até mesmo combustíveis alternativos que possuem menores fatores de emissão dos poluentes, nem sempre a empresa, ou a região que opera o CD, terá tais atributos a sua disposição. Assim, a maneira mais simples e eficiente para se diminuir os impactos gerados pela frota de um centro de distribuição é a utilização de rotas mais otimizadas, que permitem uma menor quilometragem rodada por seus veículos.

Os poluentes analisados são responsáveis por diversos impactos negativos, tanto à saúde da população quanto ao meio ambiente. Muitos impactos são onerosos para o Estado, que pode gastar grandes quantidades de recursos para minimizar os problemas gerados pela emissão.

Outro fator agravante é o fato destes elementos, ao atingirem a atmosfera, serem capazes de percorrer grandes distâncias e se dispersarem, atingindo grandes áreas e impactando outras regiões, causando também efeitos em escala global.

A realização de estudos como este é de fundamental importância para que haja a formulação de políticas públicas ambientais e de gestão do transporte e trânsito, buscando resultados mais efetivos no controle das emissões e focando nos maiores agentes poluidores.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS - ABRAS. **Economia e Pesquisa**. São Paulo, 2017.

AZUAGA. D. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. 2000, 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**.4. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

BARROS, M. C. **Warehouse Management System (WMS):** conceitos teóricos e implementação em um centro de distribuição. 2005. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n° 003, de 28 de Junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 22 ago. 1990.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana**. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **1° Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários:** relatório final. Brasília, DF, 2011. 114 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2014. 282p. Disponível em: < http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 04 mar. 2017.

BENEVIDES, P. F. **Aplicação de heurísticas e meta heurísticas para o problema do caixeiro viajante em um problema real de roteirização de veículos**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J**. Logística empresarial:** o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001. 594 p.

CALAZANS, F. **Centro de distribuição**. [S. l.]: Análise Setorial Gazeta Mercantil: 2001.

CARB, C. **Lake Tahoe Atmospheric Deposition Study (LTADS).** Sacramento: Tahoe Regional Planning Agency, 2006.

CASTRO, J. T.; KUSE, H. Impacts of large truck restrictions in freight carrier operations in Metro Manila. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, [S. l.], v. 6, p. 2947-2962, 2005.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de gestão da qualidade do ar – abordagem preventiva e corretiva**. 2010. 269 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório anual de qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2004.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório anual de qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório anual de qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013.

CHAMBERLAIN, A. C. Deposition of gases and particles on vegetation and soils. Em: Air Pollutants and their Effects on Terrestrial Ecosystem. **Advances in Environmental Science and Technology,** New York, v. 18, p. 189-209, 1986.

CHANG, W.; HEIKES, B. G.; LEE, M. Ozone deposition to the sea surface: chemical enhancement and wind speed dependence. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 38, p.1053-1059, 2004.

COUTO, E. da R. **Transformações de SO_2 e NO_2 na atmosfera da área de influência do pólo industrial de Camaçari**. 2011. 273 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

DASKIN, M. S.; COULLARD, C. R. An inventory-location model: formulation, solution algorithm and Computational Research. **Annals of Operations Research,** Amsterdam, v.110, p. 83-106, 2002.

DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014.

DUTRA, E. G. **Metodologia teórico-experimental para determinação dos parâmetros básicos para elaboração de inventários de emissão de veículos leves do ciclo otto**. 2007. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FELICIANO, M. J. S. **Deposição Seca de Poluentes Gasosos em Ecossistemas do Sul da Europa: Medição e Parametrização**. 2001. 303 f. Tese (Doutorado em Ambiente e Ordenamento) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2001.

FENG, J. A 3-mode parameterization of below-cloud scavenging of aerosols for use in atmospheric dispersion models. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 41, n. 1, p. 6808-6822, abr. 2007.

FIGUEIREDO, L. V. P. **Impactos da restrição da circulação de veículos de carga na emissão de poluentes:** um estudo de caso em Belo Horizonte. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, J. N. **Chemistry of the upper and lower atmosphere:** theory, experiments and applications. San Diego: Academic, 2000, p. 1-348.

FRANZ, T.; EISENREICH, S. J.; HOLSEN, T. M. Dry deposition of particulate polychlornated bipheyls and polycyclic aromatic hydrocarbons to Lake Michigan. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 32, p. 3681–3688,1998.

GARRETT, T. J.; AVEY, L.; PALMER, P. I.; STOHL, A.; NEUMAN, J. A.; BROCK, C. A.; RYERSON, T. B.; HOLLOWAY, J. S. Quantifying wet scavenging processes in aircraft observations of nitric acid and cloud condensation nuclei. **Journal of Geophysical Research,** Whashington, v. 111, n. 1, p. 1-12, nov. 2006.

GRIESHOP, A. P. et al. Modeling air pollutant emissions from indian auto-rickshaws: model development and implication for fleet emission rate estimates. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 50, p. 148-156, 2012.

GUIMARÃES, F. **Estudo sobre as relações entre as doenças respiratórias e a poluição atmosférica e variáveis climáticas, na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil**. 2011. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

HILL, A. **Centros de distribuição:** estratégia para redução de custos e garantia de entrega rápida e eficaz. [S. l.], 2003.

HONG, Y. C. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada:** supply chain. São Paulo: Atlas, 182. 1999 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE cidades**. Rio de Janeiro, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Estações automáticas**. Brasília, DF, 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Tokio: IGES, 2006.

KRAMM, G.; DLUGI, R.; DOLLARD, G. J.; FOKEN, T.; MOLDERS, N.; MÜLLER, H.; SEILER, W.; SIEVERING H. On the dry deposition of ozone and reactive nitrogen species. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 29, n. 21, p. 3209-3231, 1995.

LACERDA, L. **Armazenagem estratégica:** analisando novos conceitos. Rio de Janeiro: Centro de Estudos em Logística (CEL); COPPEAD/UFRJ, 2000.

LIMA, M. P. **Armazenagem:** considerações sobre a atividade de Picking. Rio de Janeiro: Centro de Estudos em Logística (CEL); COPPEAD/UFRJ, 2002.

LIU, F.; XU, Y.; LIU, J.; LIU, D.; LI, J.; ZHANG, G. Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to a coastal site of Hong Kong, South China. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 69, p. 265–272, 2013.

LIU, J.; ZHU, L.; WANG, H.; YANG, Y.; LIU, J.; QIU, D. Dry deposition of particulate matter at na urban forest, wetland and lake surface in Beijing. **Atmospheric Environment,** Oxford, v.125, p.178–187, 2016.

LOUREIRO L. N.; **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da região metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis**. 2005. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MEDEIROS, F. H. **Caracterização da deposição atmosférica e aporte de espécies químicas no principal corpo aquático da cidade de São José do Rio Preto, SP**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, São José do Rio Preto, 2011.

MENDES, F. E. **Avaliação de programa de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil.** 2004. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MOREIRA, H. B. C. **Aplicação da teoria fuzzy em um modelo de transporte de massa, para avaliar o risco da dispersão de poluentes atmosféricos**. 2014. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MOURA, R. A. **Administração de armazéns**. São Paulo: Instituto IMAM, 2000.

MUSSELMAN, R. C.; MASSMAN, W. J. Ozone flux to vegetation and its relationship to plant response and ambient air quality standards. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 65- 73,1999.

NÓBREGA, L. A. **Modelagem da influência de poluentes atmosféricos veiculares e fatores meteorológicos em afecções respiratórias**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Modelos de Decisão e Saúde) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

PASQUILL, F.; SMITH, F. B. **Atmospheric difusion:** study of the dispersion of windborne material from industrial and other sources. 3. ed. London: Ellis Horwood Series in Environmental Science, 1983.

PINTO, J. P.; MARTINS, L. D.; SILVA JÚNIOR, C. R.; SABINO, F. C.; AMADOR, I. R.; SOLCI, M. C. Carbonyl concentrations from sites affected by emission from different fuels and vehicles. **Atmospheric Pollution Research**, [S. l.], v. 5, p. 404-410, fev. 2014.

PINTO, P. M. G. C. **Análise das Emissões Veiculares em Regiões Urbanas e Metodologia para Quantificação de poluentes**. 2005. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia e Ciência, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RESENDE, L. L. **Monitoramento de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e n- alcanos em amostras de água e tecidos de peixe da Baía de Guanabara- RJ**. Relatório. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica – PUC RIO, 2012. 33 p.

RODRIGUES, E. F. **A economicidade dos centros de distribuição: Uma análise para o varejo brasileiro.** 2013. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

RODRIGUES, G. G.; PIZZOLATO, N. D. **Centros de distribuição:** armazenagem estratégica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23., Ouro Preto. p. 1-8.

SANTOS JUNIOR, D. A. M. **Emissões Veiculares em São Paulo:** quantificação de fontes com modelos receptores e caracterização do material carbonáceo. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Física Atmosférica) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SHORSHANI, M. F.; BONHOMME, C.; PETRUCCI, G.; ANDRÉ, M.; SEIGNEUR, C. Road traffic impact on urban water quality: a step towards integrated traffic, air and stormwater modelling. **Environmental Science and Pollution Research,** [S. l.], v. 21, n. 1, p. 5297-5310, nov. 2014.

SHEU, H. L.; LEE, W.J., SU, C. C., CHAO, H. R., FAN, Y. C. Dry deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. **Journal of Environmental Engineering**, New York, v. 122, p. 1101–1109.1996.

SILVA, E. N. de A. **Centralização da distribuição e custos de transporte: Estudo de caso da Ambev**. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, P. A.; MELLO W. Z.; MARIANI R. L.; SELLA, S. M. Caracterização do Material Particulado Fino e Grosso e Composição da Fração Inorgânica Solúvel em Água em São José dos Campos (SP). **Quim. Nova,** São Paulo, v. 33, n. 6, p. 1247-1253, 2010.

SPARMACHER, H.; FULBERG, K.; BONKO, H. Below-cloud scavenging of aerosol particles: particle-bound radionuclides experimental. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 27, p. 605–618, 1993.

SPORTISSE, B. A review of parameterizations for modelling dry deposition and scavenging of radionuclides. **Atmospheric Environment.,** Oxford, v. 41, n. 1, p. 2683-2698, abr. 2006.

STULL, R. **An introduction to boundary layer meteorology**. New York: Kluwer Academic, 1988.

SZEWCZYŃSKA, M.; POŚNIAK, M.; DOBRZYŃSKA, E.; PYRZYŃSKA, K.; BARANIECKA, J. Polycyclic aromatic hydrocarbons distribution in fine and ultrafine particles emitted from diesel engines. **Pol. J. Environ. Stud.,** [S. l.], v. 22, p. 553–560, 2013.

TACO, G. B. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas**. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, 2006.

TANIGUCHI, E., THOMPSON, R. G. **Recent advances in city logistics**. Amsterdam: Elsevier, 2006.

TASDEMIR, Y.; ESEN, F. Dry deposition fluxes and deposition velocities of PAHs at an urban site in Turkey. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 41, p. 1288-1301, 2006.

TEIXEIRA, E. C; FELTES, S; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. **Química Nova,** São Paulo, v. 31, p. 244, 2008.

TESTA, J. F. A poluição atmosférica por veículos automotores na Região Metropolitana de São Paulo: causas e impactos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,** Santa Maria, v. 9, n. 2, p.1209-1221, ago. 2015.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

VIEIRA, N. R. **Poluição do ar: indicadores ambientais**. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

WILLS, W. **O aumento da influência energética nos veículos leves e suas implicações nas emissões de gases de efeito estufa:** cenário brasileiro entre 2000 e 2030. 2008, 155 f. Dissertação (Mestrado em ciências em Planejamento Energético) –Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

YANAGI, Y. **Estudo da influência do material particulado na incidência e mortalidade por câncer na cidade de São Paulo**. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ZHANG, L. R.; VET, J. M.; O'BRIEN, C.; MIHELE, Z.; LIANG, A.; WIEBE, D. Dry deposition of individual nitrogen species at eight Canadian rural sites. **Journal of Geophysical Research,** Whashington, v. 114, D02301, 2009.

ZHU, L.; LIU, J.; CONG, L.; MA, W.; MA, W.; ZHANG, Z. Spatio temporal characteristics of particulate matter and dry deposition flux in the Cuihu Wetland of Beijing. **PLoS ONE,** San Francisco, v. 11, n. 7, p. 1-16, 2016.