

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO POR VEÍCULOS
AUTOMOTIVOS NA CIDADE DE CAMPINAS/SP UTILIZANDO O MODELO
CAL3QHCR**

Fernanda Zambonini

Rio Claro (SP)

2012

FERNANDA ZAMBONINI

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE MONÓXIDO DE
CARBONO POR VEÍCULOS AUTOMOTIVOS NA
CIDADE DE CAMPINAS/SP UTILIZANDO O MODELO
CAL3QHCR**

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Orientador: Milton Cezar Ribeiro

Rio Claro (SP)
2012

FERNANDA ZAMBONINI

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO
POR VEÍCULOS AUTOMOTIVOS NA CIDADE DE
CAMPINAS/SP UTILIZANDO O MODELO CAL3QHCR

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Comissão Examinadora
Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro (orientador)
Prof. Dr. Marcus C. Avezum A. de Castro
Prof. Dr. Roberto Naves Domingos

Rio Claro, 13 de Novembro de 2012.

assinatura da aluna

assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelos caminhos e pessoas providenciadas na minha vida. Agradeço aos meus pais e minha família pelo apoio, mesmo à distância, e ao Miltinho pela orientação, paciência e crédito ao estudo e à Milene, sempre disposta em ajudar, pelo apoio e conversas.

Agradeço ao Ed Lima e Michely Bitencourt pelas explicações e que ajudaram, e muito, no desenvolvimento do trabalho. Agradeço também todo o pessoal da EMDEC de Campinas, pelos dados fornecidos e por nos receber na empresa tão solícitamente. Em especial, à Raquel Torres, que possibilitou todo esse contato e nos deu uma atenção sem igual.

Agradeço aos amigos da Manda-Chuva e convivência familiar, em especial Thaty, Pucca, Jô, Bia – às risadas, vivências e memórias que levarei para a vida. À Dai, Sil, Potter, Pira e todos os colegas de classe. Por todos que passaram por minha vida nestes felizes anos de faculdade. Muito obrigada!

RESUMO

A poluição atmosférica é um problema ambiental, chamando a atenção nos últimos anos pelos efeitos adversos que pode causar à saúde e aos ecossistemas. A sua relação com o clima é que define os quadros de intensidade de poluição nas cidades. A presença e quantidade de alguns gases são usadas como parâmetros de qualidade do ar, tais como material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Destes poluentes, o CO tem grande parte de sua origem nas cidades, considerando-se os automóveis como seu principal emissor. Medir a concentração do poluente é desafiador, às vezes por conta da falta de bons equipamentos devido aos seus altos custos e da grande variedade de modelos que variam em precisão. Modelos são úteis quando há a intenção de avaliar a poluição do ar, suas fontes e se avaliar cenários. Neste trabalho utilizou-se o modelo CAL3QHCR desenvolvido pela U.S *Environmental Protection Agency* (EPA) para gerar superfícies de distribuição de concentração de CO em uma área de Campinas (SP). O modelo CAL3QHCR usa dados relacionados à circulação de automóveis para gerar resultados espaciais para a distribuição de CO. Observou-se que a concentração de poluição modelada foi menor que a medida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A correlação encontrada entre estes dois dados também foi baixa, indicando que o modelo usado neste estudo precisa ser melhor parametrizado ou utilizado em outra escala. Apesar de o modelo ter falhado na correlação com os dados da CETESB, talvez possa ser explorado para entender a distribuição espacial do CO na região. Além disso, a informação gerada pode ser usada em outros estudos, e pode vir a ser útil para explicar ilhas de calor ou alguns processos ecológicos de interesse, particularmente aqueles relacionados à fenologia de plantas.

Palavras-chave: Concentração de CO, poluição atmosférica, modelos matemáticos.

ABSTRACT

Air pollution is an environmental issue worldwide and frequently cause negative effects on population health and ecosystems on cities. The relationship between climate and atmospheric pollution can be used as a surrogate to the intensity of air pollution. The present and quantity of some gases can be used as indicators to air quality: particulate matter (PM), sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), and nitrogen dioxide (NO₂). Among those gases, CO has its major source within the cities, where automobiles are the main emitter. But measure pollutant concentration are challenging, sometimes because the lack of good equipments due to high costs and of the large variability of models that varies in precision, way of measure and distribution of sellers. Modeling are useful when there are an intend to evaluate air pollution, its sources and evaluate scenarios. This work aims to use CAL3QHCR model developed by the U.S *Environmental Protection Agency* (EPA) to generate predictive surfaces of CO concentration distribution on a site within Campinas city, located in São Paulo state, Brazil. CAL3QHCR model use data urban automobile circulation to generate spatial results for CO distribution. We observed that the pollution concentration was lower on our modeling than the concentrations measured by Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), the main environmental company on the São Paulo state. Also the correlation between average estimates of our model and the measure by CETESB was weak, indicating that the model used on this study need to be or better parameterized, or the scale we measured of CO emissions need to be rescaled. Although the model failed to correlate to CETESB data, maybe one that explore the estimated emissions distributed within the sites to understand spatial distributions of CO on the regions. Also, the generated information can also be used to other studies, and come to be useful to explain heat island or some ecological process of interest, particularly those related to plant phenology.

Keywords: CO concentration, atmospheric pollution, math models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização da cidade de Campinas em relação ao Brasil e ao estado de São Paulo. Detalhe para a área de estudo e para a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da CETESB	11
Figura 2.	Fluxograma com os dados de entrada e procedimentos de trabalho para a obtenção dos resultados	13
Figura 3.	Mapa da área de estudo com detalhe para as vias e o número de faixas, localização dos semáforos e dos receptores	17
Figura 4.	Parte dos dados de temperatura, velocidade e direção do vento representada nas cartas da Aeronáutica.....	20
Figura 5.	Mapa de concentração de CO gerado para a segunda quinzena (9/8/11 a 23/8/11) do período estudado	27
Figura 6.	Mapa de concentração de CO gerado para a quinta quinzena (23/9/11 a 7/10/11) do período estudado (a); Mapa de concentração de CO gerado para a sétima quinzena (23/10/11 a 6/11/11) do período estudado (b); Mapa de concentração de CO gerado para a nona quinzena (22/11/11 a 6/12/11) do período estudado (c); Mapa de concentração de CO gerado para a 11ª quinzena (22/12/11 a 5/1/12) do período estudado (d).....	28
Figura 7.	Gráfico de dispersão e análise de correlação. O coeficiente de determinação (R^2) mostra a correlação entre os dados gerados pelo modelo CAL3QHCR e os dados obtidos da CETESB.....	29
Figura 8.	Curvas de concentração de CO dadas pela CETESB e pelo modelo CAL3QHCR.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Poluentes considerados na Resolução CONAMA 003/90, suas principais fontes e efeitos adversos.....	03
Quadro 2.	Dados de entrada do modelo CAL3QHC.....	15
Quadro 3.	Classes de Estabilidade de Pasquill modificada.....	20
Quadro 4.	Formato dos dados meteorológicos em arquivo .MET	21
Quadro 5.	Dados de concentração de CO gerados pelo modelo CAL3QHCR para a primeira quinzena de dados.....	24
Quadro 6.	Médias calculadas para cada quinzena.Valores da CETESB e do modelo CAL3QHCR.....	29
Quadro 7.	Valores médios diários gerados para a primeira quinzena pelo modelo CAL3QHCR em comparação com os valores obtidos pela CETESB	31
Quadro 8.	Coeficiente de dispersão dado análise horária para 15 dias	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Poluição do ar	01
1.2. O estudo do clima nas cidades	04
1.3. Os modelos de poluição do ar	06
2. OBJETIVOS	08
2.1. Objetivo geral.....	08
2.2. Objetivos específicos.....	08
3. MATERIAL E MÉTODOS	09
3.1. Área de Estudo.....	09
3.2. Material	12
3.3. Métodos	12
<i>3.3.1. O modelo CAL3QHCR</i>	<i>13</i>
<i>3.3.2. Dados de geometria de vias.....</i>	<i>15</i>
<i>3.3.3. Dados de tráfego e emissão.....</i>	<i>18</i>
<i>3.3.4. Dados meteorológicos</i>	<i>19</i>
<i>3.3.5. Organização e simulação dos dados no modelo CAL3QHCR.....</i>	<i>21</i>
<i>3.3.6. Interpolação das estimativas de emissão de CO calculadas nos receptores</i>	<i>22</i>
<i>3.3.7. Análise estatística</i>	<i>23</i>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Concentração de CO pelo modelo CAL3QHCR.....	24
4.2. Mapas de concentração de CO.....	26
4.3. Estimativa das concentrações médias de CO, análise de dispersão e correlação.	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
APÊNDICE A	37
APÊNDICE B.....	38

Estimativa das emissões de monóxido de carbono por veículos automotivos na cidade de Campinas/SP utilizando o modelo CAL3QHCR

FERNANDA ZAMBONINI

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, levou-se em conta o estudo sobre a poluição do ar, o estudo do clima nas cidades e dos modelos de poluição do ar. Essa revisão bibliográfica serviu para embasar os conhecimentos acerca da problemática estudada (poluição atmosférica) e seu meio (cidades), bem como o modo como seria abordado o problema (modelagem).

Uma segunda etapa tratou da descrição do método utilizado e cada parâmetro de entrada, para a determinação dos resultados. Estes são analisados sob a ótica estatística e as considerações finais os tratam sob uma análise crítica.

1.1 Poluição do ar

A poluição do ar pode ser definida como uma mudança na concentração de gases encontrados naturalmente na atmosfera de uma região ou ainda como o lançamento de gases nocivos, geralmente a níveis que podem causar problemas à saúde humana, mudar as características climáticas e transformar dinâmicas ecossistêmicas, como ilustra a Lei Estadual Nº 997, de 31 de maio de 1976 em seu Artigo 2º:

Considera-se poluição do meio ambiente a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda ou qualquer forma de energia [...] que possam tornar as águas, o ar e o solo: I – impróprios nocivos ou ofensivos à saúde; II - inconvenientes ao bem estar público; III – danosos aos materiais, à fauna e à flora; IV – prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

As fontes de poluição do ar podem ser naturais (a atividade de um vulcão ou descargas elétricas, por exemplo) ou antrópicas (gases de automóveis, por exemplo). Das fontes antrópicas, Pack (1964) agrupou-as em três classes: fontes pontuais, fontes lineares e fontes regionais. As fontes pontuais podem ser subdivididas em instantâneas (como um acidente envolvendo a liberação de grande carga poluente, por exemplo) e contínuas (a chaminé de uma fábrica, por exemplo). As fontes lineares são as vias (seja estrada, avenidas, ruas) e nas

cidades podem ser consideradas contínuas em horário de pico. As fontes regionais são as próprias cidades ou pólos industriais.

Em relação aos poluentes, esses podem ser agrupados em duas categorias: primários e secundários. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), poluentes primários são *“aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão”* e os secundários são *“aqueles formados através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera”*. Muitos tipos de gases poluentes são adotados universalmente como parâmetros da qualidade do ar. Os padrões brasileiros são regulados na Resolução CONAMA 003/90 e são apresentados no Quadro 1, onde os poluentes podem ser encontrados com suas principais fontes antrópicas, efeitos adversos que podem causar e padrões estabelecidos pela resolução supracitada.

Quadro 1 - Poluentes considerados na Resolução CONAMA 003/90, suas principais fontes e efeitos adversos.

Poluentes*	Principais Fontes	Efeitos Adversos
Material Particulado (Partículas Totais em Suspensão, Fumaça e Partículas Inaláveis)	- Automóveis; - Processos industriais; - Queima de biomassa; - Ressuspensão de poeira do solo.	Principalmente na saúde (partículas inaláveis)
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	- Queima de combustíveis que contém enxofre (diesel, gasolina); - Processos industriais de fundição de metal; - Processos industriais em plantas de ácido sulfúrico.	- Formador da chuva ácida; - Redução da visibilidade
Monóxido de Carbono (CO)	- Queima incompleta de combustíveis.	Principalmente na saúde (tóxico em altas concentrações)
Ozônio (O ₃)	NO _x +COV** sob ação da luz solar	- Na saúde (tóxico a certa concentração) - Danos à vegetação
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	NO (proveniente de emissão veicular) + oxigênio (presente na atmosfera) sob ação da luz solar	- Na saúde (a uma certa concentração, pode causar prejuízo à saúde) - Danos à vegetação

* Os gases em vermelho são poluentes primários e os gases em azul, secundários.

** Compostos Orgânicos Voláteis (COV): são compostos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis fósseis (gasolina e diesel, por exemplo) e solventes.

Fonte: Modificado de CETESB, 2012.

Os efeitos adversos da poluição atmosférica na saúde humana e sobre os ecossistemas naturais têm sido foco de estudos e de adoção de medidas de controle ao longo dos anos. A Organização Mundial de Saúde estima que a poluição do ar esteja associada à cerca de 2.000 a 570.000 mortes por ano, o que representa entre 0.4% a 1.1% do total de óbitos anuais em áreas urbanas pelo mundo (ZHOU et al., 2009). Para a cidade de São Paulo, Beneli (2010) mostra a relação entre fatores meteorológicos, poluentes atmosféricos e infecções respiratórias em crianças. A autora estudou um tipo de vírus e sua relação com alguns poluentes e, de fato, essa relação foi encontrada para os poluentes O₃ e NO₂. Martins et al. (2002) em estudo sobre poluição atmosférica e atendimento por pneumonia e gripe em São Paulo obtêm resultados

que mostram que a poluição do ar promove efeitos adversos para a saúde dos idosos, mesmo que eles estejam dentro do padrão de qualidade estabelecido.

Em relação aos efeitos sobre a vegetação, a interação entre as plantas e os poluentes é benéfica ao homem, pois as mesmas absorvem, transformam e acumulam os poluentes (mesmo os metais pesados) e podem ser usadas como bioindicadoras da qualidade do ar (MOREIRA, 2010). Mas os efeitos podem ser adversos para a própria planta que interage com o poluente. Isolando a influência de outros fatores de *stress* para a vegetação (como os relacionados à água, temperatura, radiação solar e presença ou não de minerais), os poluentes interagem com a vegetação, sendo que alguns podem destruir estruturas celulares e interferir no metabolismo de algumas plantas (BAUMBACK, 1996 apud MOREIRA, 2010).

Neste cenário, os automóveis respondem a grande parte dos poluentes gerados em uma cidade e podem ser considerados como a principal fonte de degradação da qualidade do ar. (TAVARES, 2009). Segundo Carvalho (2011), os automóveis na região metropolitana de São Paulo em 2005 respondiam por cerca de 56,9% das emissões de CO; 16,38% das emissões de NOx; 21,28% de SOx; 67,63% das emissões de hidrocarbonetos (HC) e cerca de 10,16% das emissões de material particulado (MP). As motocicletas e os veículos movidos a diesel, possuíram maior participação nas emissões de MP e NOx. Ainda que a tecnologia para o controle e redução da poluição tenha aumentado, a exposição aos poluentes ainda é grande devido ao aumento da frota veicular nas cidades. Em seu estudo sobre Compostos Orgânicos Voláteis na cidade de Campinas, Ueda (2010) obtém resultados que atribuem 80% da poluição às emissões veiculares.

Pensando nesta problemática, o governo criou, através do CONAMA, os programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), instituindo metas para limites máximos de emissões de poluentes por automóveis. Para veículos leves comerciais, por exemplo, o programa impõe um limite máximo de 1,3 g/km de CO por veículo para o ano de 2014, uma redução de 25% comparada a 2009 (IBAMA, 2012). Essa ação do governo é sensata, a partir do fato de que o crescimento da frota veicular no Brasil continua crescendo. Segundo o DENATRAN (2012), houve um crescimento de 13% na frota de automóveis no Brasil entre 2009 e 2011.

1.2 O estudo do clima nas cidades

As cidades possuem toda uma complexidade de interações entre os fatores ambientais e sua estrutura física (tais como prédios, construções e impermeabilização do solo), bem como

uma complexidade de fontes de poluição (temos fontes pontuais e lineares). A interação entre todos estes fatores têm consequências sobre os fatores climáticos. Segundo (GRIMM et al., 2008) as cidades são fonte de CO₂ e de outros gases do efeito estufa (alteradoras do clima global), de gases como NO, NO₂, O₃, SO₂, HNO₃ e vários gases orgânicos, devido à presença de indústrias ao redor das cidades e o seu sistema de transportes. O mesmo autor ainda considera que as cidades são responsáveis e respondem por mudanças nos ciclos biogeoquímicos.

Segundo Hobbs et al. (1974) a temperatura na cidade pode ser de 2°C a 3°C e até mesmo 10° C mais alta que as áreas rurais vizinhas. A esse fenômeno de aumento de temperatura nas cidades, é dado o nome de “Ilhas de Calor” e são causadas pela absorção de calor no asfalto e concreto. Esse “calor” é devido, principalmente, à combustão dos automóveis e às estruturas urbanas. Além disso, os corredores formados pelos prédios e a grande rugosidade da superfície afetam os ventos, que geralmente são 10% menores que os arredores no centro das cidades. Para ventos cuja velocidade é menor que 15 m/s, a redução pode chegar a 40%.

Nessa alteração da dinâmica climática, a dispersão dos poluentes pode ser dificultada e criar quadros de poluição intensa. Segundo Lyra (2008), diversos parâmetros meteorológicos estão relacionados a esses quadros e através dos quais a condição meteorológica pode ser monitorada:

- Vento próximo à superfície, responsável pelo movimento horizontal do ar e considerado elemento básico da circulação geral da terra;
- Direção e velocidade do vento, que apresentam a predominância do campo do vento sobre região específica;
- Turbulência, considerada como movimento irregular do vento e responsável principal pela dispersão dos poluentes. É influenciado pelas estruturas urbanas como prédios e rugosidade de superfície;
- Estabilidade, que é o grau de equilíbrio de uma parcela de ar (equilíbrio diretamente ligado à pressão atmosférica, temperatura e umidade) em relação aos poluentes também é considerada um fator de dispersão atmosférica com movimento vertical. É a instabilidade que irá dispersar os poluentes e é a estabilidade que pode causar a chamada “inversão térmica”. A inversão térmica é mais um fenômeno de clima urbano no qual o ar frio, mais pesado e denso, fica próximo à superfície aprisionando os poluentes. A camada de ar quente, mais leve, fica acima, dificultando a dispersão dos mesmos (CABANILLAS, 2007).

- Radiação solar, que é a radiação recebida do sol e absorvida/refletida pela terra. Nas cidades, a radiação é influenciada pela estrutura urbana (construções e prédios) e a mesma radiação é responsável pela formação de poluentes secundários, como o ozônio.
- A altura da camada limite, outro parâmetro meteorológico, entra nesse fenômeno como a camada onde os poluentes se misturam a outras substâncias suspensas no ar e pode ser entendida como a camada que vai da superfície terrestre até a altura média de 500 metros. Quanto maior a camada, maior o volume para diluição dos poluentes.

1.3 Os modelos de poluição do ar

O uso de modelos para prever a concentração e distribuição da poluição atmosférica é útil quando se pretende avaliar o impacto da poluição, suas fontes e avaliar cenários. Existem muitos modelos capazes de estimar a poluição proveniente de diversas fontes, e muitos se mostram adequados quando há dados reais disponíveis.

Para centros industriais, um exemplo de modelo é o AERMOD. Este modelo foi utilizado por Barbon e Gomes (2010) e os valores obtidos para a concentração de CO, MP, NOx e SOx foram comparados com os valores obtidos em uma estação de amostragem de qualidade do ar em Araucária, Paraná. Os autores analisaram a sensibilidade quanto à emissão de fontes externas, da contribuição de fontes internas e externas, quanto às edificações e à distribuição espacial das fontes internas. Os resultados mostraram, de forma qualitativa, que a representação da concentração de SOx e NOx foram razoavelmente boa, ao contrário das representações de CO e MP.

Quanto às fontes móveis, Lima et al. (2010) utilizaram o modelo CAL3QHC para estimar a concentração máxima de CO na região central da cidade de Maringá (PR), obtendo uma concentração máxima de 4,8 ppm para a região. O mesmo modelo foi utilizado para prever CO em Khon Kaen, Tailândia, por Tippichai et al. (2005) comparando os valores obtidos no modelo com os valores de CO obtidos por um equipamento. Os resultados mostraram uma tendência similar entre a curva do modelo e aquela gerada com a concentração medida pelo equipamento, tirando alguns períodos de ventos calmos, chuvas e o fato de a área de estudo estar localizada em no centro da cidade, parâmetros não considerados no modelo e que interferem no resultado de concentração.

Em Belo Horizonte (MG), Tavares (2009) utilizou o modelo CAL3QHCR para prever a concentração de MP para uma microrregião no centro da cidade. Os dados modelados foram comparados com os dados amostrados obtidos em uma estação de monitoramento da qualidade do ar. O resultado foi a previsão de concentração de MP menores do que o observado, fato atribuído à influência das condições meteorológicas e ao fato de não se ter um fator de emissão representativo para a área de estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é estimar a concentração de CO emitida por automóveis em área no centro da cidade de Campinas (SP), utilizando-se o modelo CAL3QHCR.

2.2. Objetivos específicos

Como etapas auxiliares para atingir o objetivo principal do trabalho e para ajudar na análise dos resultados, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Elaboração de mapas de concentração de CO na região de estudo;
- Análise estatística dos dados dos resultados modelados com os resultados da estação automática de monitoramento da qualidade do ar da CETESB em Campinas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente estudo foram utilizadas informações meteorológicas, fluxo de tráfego, dados semaforicos e mapas referentes à região urbana de Campinas. Por ser um estudo de simulação da emissão de monóxido de carbono em resposta a fatores associados ao tráfego urbano, foram utilizados dados espaciais, softwares de geoprocessamento e programas especificamente voltados para a geração de cenários de emissões para a região escolhida. A seguir estão apresentados a área de estudo, os materiais utilizados, bem como os procedimentos adotados para execução do projeto.

3.1. Área de estudo

Campinas é a uma cidade localizada no estado de São Paulo, distante a aproximadamente 100 km da capital do estado. Possui área territorial de 795 Km² e uma população de cerca de um milhão de habitantes (IBGE, 2010). O município é considerado um pólo de desenvolvimento no estado, abrangendo 19 municípios da região e somando em sua região metropolitana uma população de mais de dois milhões de habitantes (CAMPINAS, 2012).

Possui uma economia diversificada baseada principalmente em serviços e indústrias, com representações respectivas de 59,9% e 37,6% no Produto Interno Bruto (PIB) (UEDA, 2010). A frota veicular da cidade é composta por 695.853 veículos e caracterizada principalmente por automóveis (70% do total), seguido por motocicletas (13% do total). A frota de ônibus representa somente 0,64% da frota (IBGE, 2010). Em Campinas, essa quantidade de automóveis representa a quantidade de um carro para cada duas pessoas.

A área de estudo escolhida em Campinas situa-se no centro da cidade, cujas características principais incluem alto grau de edificações e alto índice de impermeabilidade do solo, pouca concentração de árvores e densidade populacional alta (PEZZUTO, 2007).

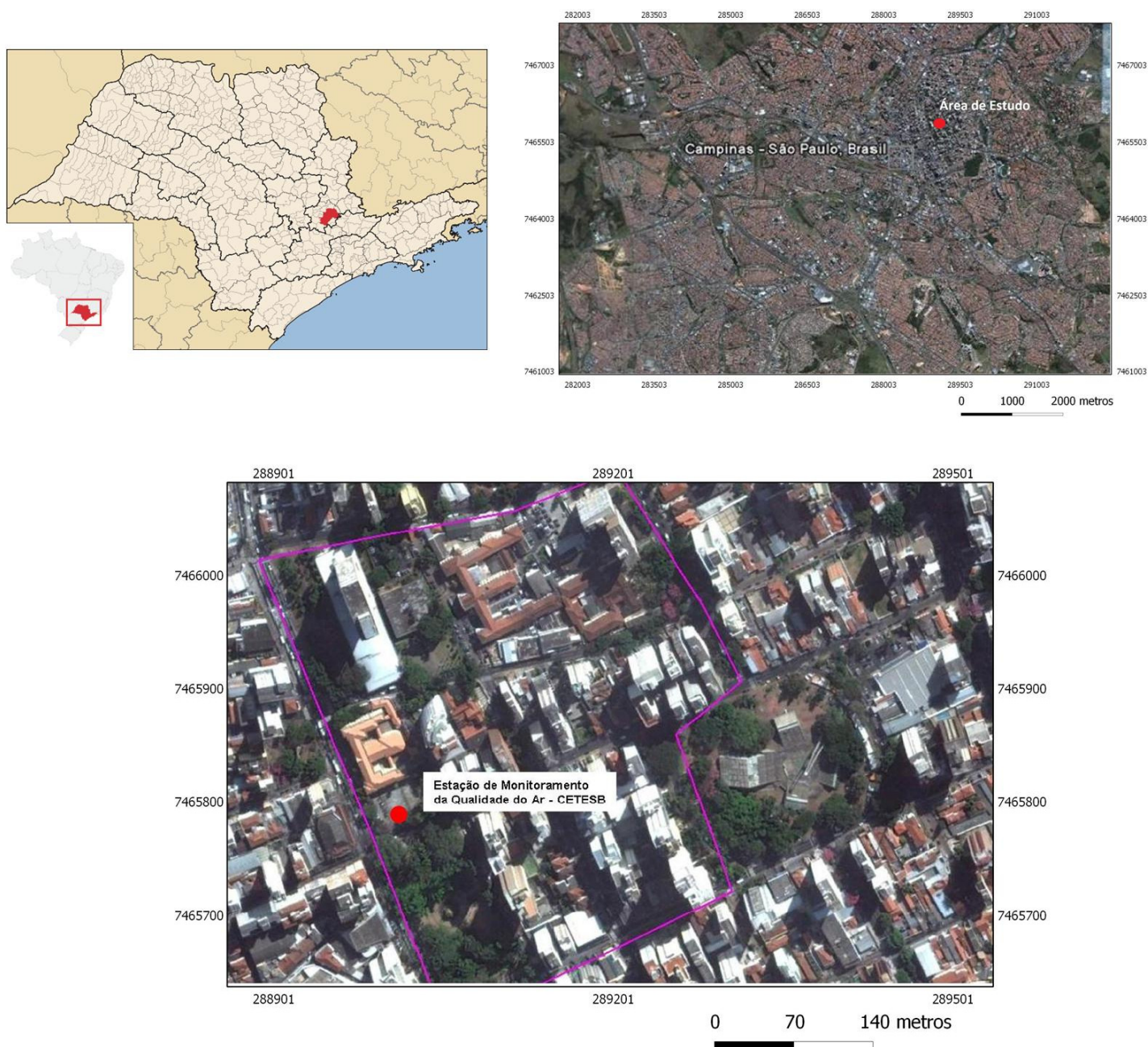
Para o período de inverno, o Centro foi apontado no estudo de Pezzuto (2007) como uma área de mais quente que ao redor (diferença chegou a ser de 7°C em relação a uma área menos urbanizada), causada pelas propriedades térmicas do centro urbanizado (tais como edifícios e materiais de construção) que armazenam calor durante o dia e dificultam um rápido esfriamento noturno. A umidade relativa do ar chegava a diferir de 30% no centro em relação ao ponto menos urbanizado estudado. Para o período de verão, este estudo apontou

comportamento semelhante para as duas regiões, com o diferencial de que a maior amplitude térmica registrada foi de 4,75°C.

O mesmo estudo classificou a região com a presença de Ilha de Calor considerada forte (diferença térmica entre 4°C e 6°C) e amplitudes térmicas no inverno e verão variando entre 5°C a 10°C.

A Figura 1 mostra a localização do município de Campinas e a área de estudo, com detalhe para o local da estação de monitoramento da CETESB, cujos dados serão comparados com os dados obtidos neste trabalho.

Figura 1 - Localização da cidade de Campinas em relação ao Brasil e ao estado de São Paulo. Detalhe para a área de estudo e para a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da CETESB.
 Fonte: Adaptado do *Google Earth*, 2012.



3.2 Material

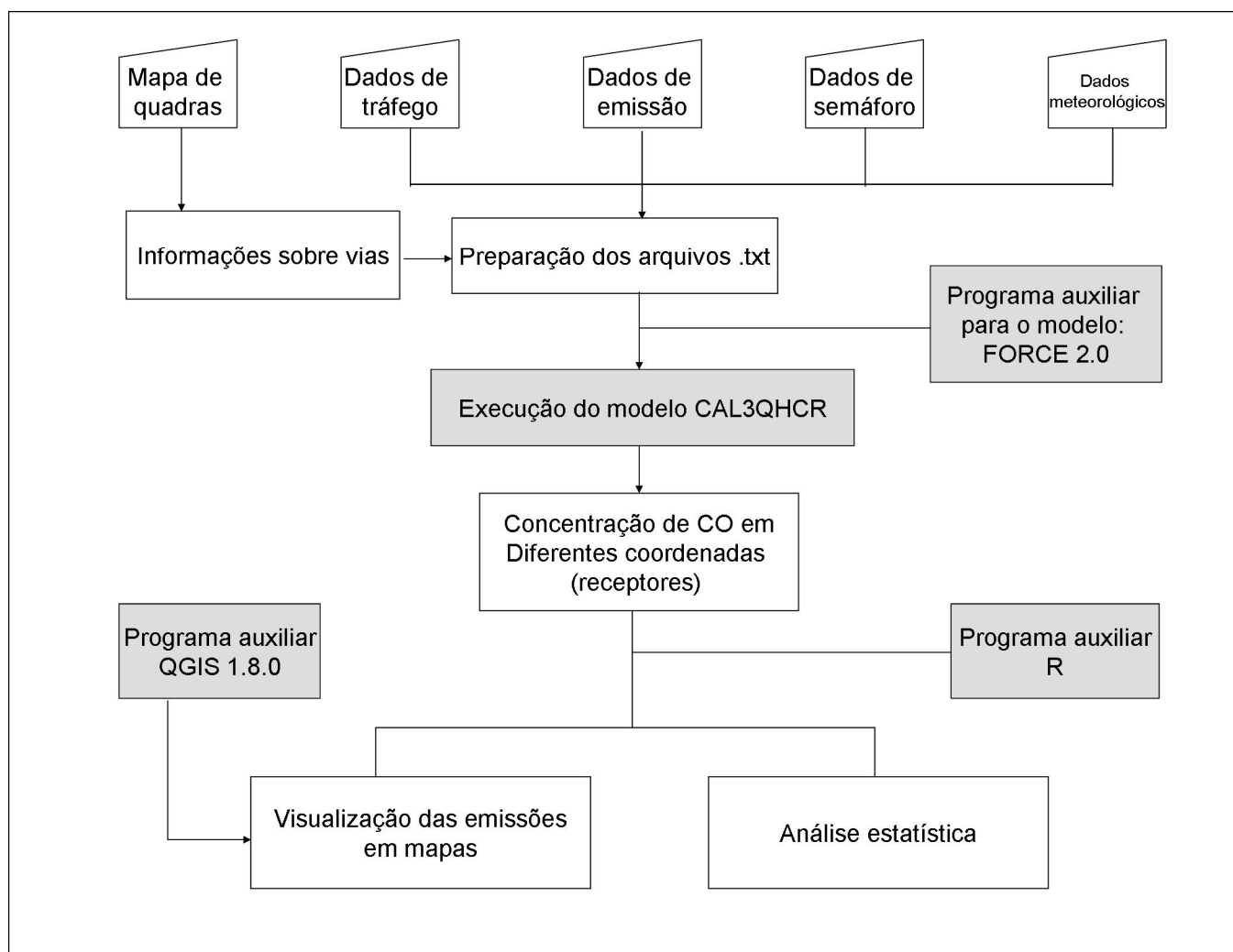
Os materiais utilizados para a realização deste trabalho consistiram em:

- Dados meteorológicos de temperatura, direção e velocidade do vento e cobertura de nuvens – essas informações foram obtidas a partir do site <http://www.redemet.aer.mil.br/> – obtidos através do documento “Mensagens meteorológicas de Uso Operacional da Aeronáutica” para o aeroporto de Viracopos;
- Dados de radiação solar da CIIAGRO (Centro Integrado de informações agrometeorológicas) para a cidade de Campinas – Fonte: <http://www.ciiagro.org.br/janeladofruticultor/index.php> ;
- Fluxos de tráfego fornecidos pelo Departamento de Geoprocessamento da Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas S/A (EMDEC);
- Planos semaforicos fornecidos pelo Departamento Semaforico da EMDEC;
- Mapa das quadras da cidade de Campinas – Fonte: EMDEC;
- Mapa com arruamentos e sistema viário da cidade de Campinas – Fonte: EMDEC;
- Mapa da localização espacial dos semáforos – Fonte: Google Earth – Street View;
- Modelo matemático de dispersão CAL3QHCR. – Fonte: http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm;
- Software de geoprocessamento livre Quantum GIS 1.8.0 (QGIS) – Fonte: <http://qgisbrasil.wordpress.com/>;
- Programa de análise numérica: FORCE 2.0 – Fonte: <http://www.techtudo.com.br/downloads/force-2-0-8>.
- Programa de análise estatística R - Fonte: <http://www.baixaki.com.br/download/r.htm>

3.3 Métodos

Consideram-se como etapas principais deste estudo as que serão descritas a seguir: apresentação do modelo CAL3QHCR; organização dos dados de geometria das vias; dados de tráfego e emissão; dados meteorológicos; modelagem espacialmente explícita com o CAL3QHCR; interpolação das estimativas de concentração de CO em pontos específicos (receptores); visualização e criação de mapas no SIG e análise estatística. Os procedimentos e respectivas informações de entrada e saída de cada etapa estão apresentados na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma com os dados de entrada e procedimentos de trabalho para a obtenção dos resultados.



3.3.1. O modelo CAL3QHCR

Os modelos de dispersão e concentração de gases poluentes são modelos matemáticos que predizem a concentração e distribuição destes gases na atmosfera através da entrada de alguns dados. Muitos deles foram desenvolvidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA), agência ambiental dos Estados Unidos. São importantes por predizer cenários (LIMA et al., 2010) e poderem ser usados como uma contribuição ao planejamento urbano e desenvolvimento de políticas públicas.

A escolha do modelo depende dos objetivos do trabalho, das características do poluente e do local de estudo. Os mais conhecidos são:

- ISCST3 (*Industrial Source Complex Short Term*) utilizado em locais de complexos industriais, apesar de poder ser ajustado para o cálculo de emissões veiculares (EPA, 1995 apud Tavares, 2009);

- CALINE-3 (*California Line Source - 3*) que se trata da terceira geração de um modelo de dispersão de poluentes emitidos próximo a vias de tráfego não sinalizadas;

- CAL3QHC (*California Line Source for Queuing and Hot Spot Calculations*), que por sua vez, é a versão que agrega o algoritmo usado no CALINE-3 com o diferencial de calcular também a concentração de CO e MP proveniente de veículos automotores parados em vias sinalizadas (EPA, 1992).

O modelo escolhido para este estudo foi o CAL3QHCR, versão posterior e melhorada do CAL3QHC. Estes modelos são baseados na dispersão Gaussiana, modelo que considera que a dispersão do poluente a partir de uma fonte pontual se dará com as mesmas características de uma curva normal (TAVARES, 2009), ou seja, a concentração é máxima no ponto calculado e vai decaindo no espaço considerado. Esse tipo de modelo considera algumas hipóteses, tais como concentração do poluente e vento próximo à superfície como variáveis constantes.

O modelo CAL3QHC prevê a concentração de poluentes em cruzamentos semaforizados e nos não semaforizados e soma a contribuição de emissão proveniente destes dois tipos de situação de tráfego. Os dados de entrada do modelo são relacionados às variáveis meteorológicas, de geometria de via, de tráfego e às variáveis de emissão. Estes dados estão discriminados no Quadro 2. Esses modelos usam o conceito de “receptor”, ou seja, o ponto onde a concentração do poluente será calculada e que pode ser entendido como aquele que recebe a influencia da poluição (homem, planta ou animal).

As principais diferenças entre os modelos CAL3QHCR e CAL3QHC que fizeram com que a primeira opção fosse escolhida, é o fato do modelo CAL3QHCR permitir usar 1 ano de dados meteorológicos contra 1 hora dos necessários no CAL3QHC, como também calcula a concentração de CO para 8 horas (média utilizada pela CETESB).

Além dessas diferenças, o modelo CAL3QHCR dá a opção por dois tipos de cálculo: a aproximação I (*Tier I*), que utiliza 1 ano de dados meteorológicos e 1 hora de dados de tráfego (“padrão”) e a aproximação II (*Tier II*), que utiliza os mesmos dados meteorológicos da aproximação I mas detalha os dados de tráfego, utilizando sete dias “padrões” que correspondem a cada dia da semana e usa dados para as 24 horas de cada dia dessa semana.

As variáveis de emissão são as mais importantes para o cálculo da concentração do gás poluente, pois representam a carga de poluente que cada veículo emite em função do seu

estado de funcionamento (se o veículo está com o ar-condicionado ligado ou não, por exemplo), das condições de tráfego (engarrafamentos ou via livre, por exemplo) e da via (presença de buracos, valas, etc.). É um parâmetro difícil de estimar e que é característico da frota de cada local. No Brasil, ainda existem poucos estudos sobre fatores de emissão e geralmente os fatores usados como referência são os fatores médios da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), publicados anualmente nos Relatórios da Qualidade do Ar no estado de São Paulo, desde 2001.

Quadro 2 - Dados de entrada do modelo CAL3QHC.

<u>Variáveis Meteorológicas</u>	<u>Variáveis de Geometria de Via</u>
- Rugosidade da superfície (cm) - Velocidade de absorção (cm/s) - Velocidade de deposição (cm/s) - Velocidade do vento (m/s) - Classe de estabilidade (A a F) - Altura de mistura (m) - Temperatura (K)	- Coordenadas da via (X,Y) - Largura da via (m) - Coordenadas do receptor (X,Y e Z)
<u>Variáveis de Emissão</u>	<u>Variáveis de Tráfego (para cada segmento considerado)</u>
- Fator de emissão para veículos em movimento (g/veh.km) - Fator de emissão para veículos parados em fila (g/veh.h)	- Volume de tráfego (veh/h) - Velocidade de tráfego (km/h) - Ciclo semafórico para cada fase (s), considerando a fase de vermelho - Fluxo de saturação (veh/h) - Tipo de sinal - Tipo de aproximação dos veículos

Fonte: Elaborado com base no *User's Guide* CAL3QHC da EPA (1992) e modificado pela autora, 2012.

3.3.2. Dados de geometria das vias

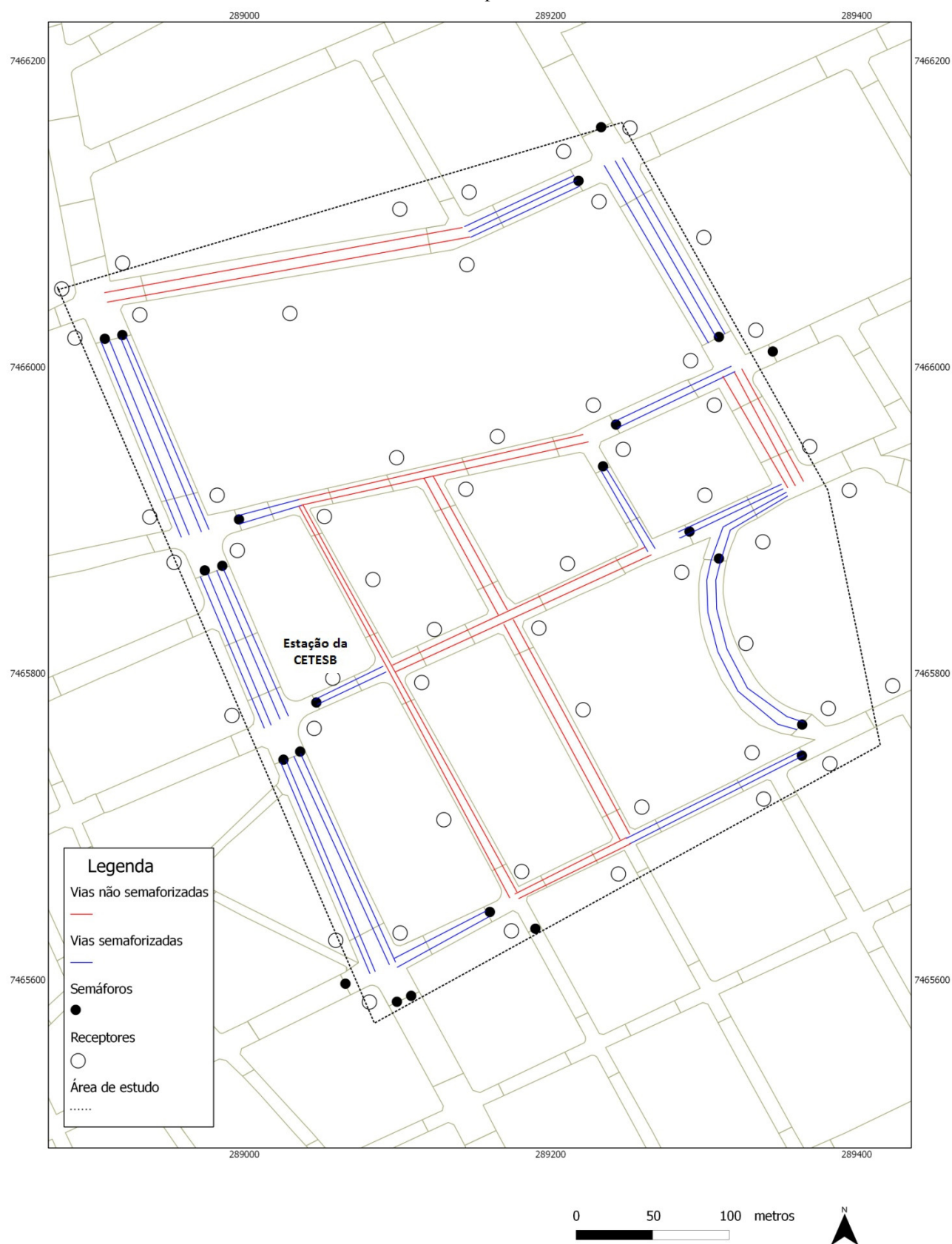
Para o cálculo da concentração de CO, o modelo exige a definição do número de vias (chamadas *links*) que compõe a área de estudo; a definição de seus tipos, ou seja, se são

semaforizadas (chamadas *queue link*) ou não semaforizadas (chamadas *free flow links*) e a largura da zona de mistura, correspondente à área onde o CO é primeiramente emitido antes de ser disperso pelo vento (UDOT, 2003). A largura zona de mistura para *links* não semaforizados é igual à largura da via acrescentados 3 metros para cada lado, pois o movimento dos carros nessas vias causa ‘turbulência’ na região em volta, criando a zona de mistura. Para *links* semaforizados essa largura é considerada igual à largura da via, pois os veículos parados não criam tal turbulência (EPA, 1992).

Conforme apresentado anteriormente, receptores são posições selecionadas pelo usuário para as quais o CAL3QHCR irá estimar as emissões. Cada receptor é caracterizado pelos seguintes atributos: X, Y e Z, sendo que X e Y referem-se às coordenadas UTM onde estão localizados os receptores, e o Z à altura estimada para os mesmos (1,5 m). Esta altura foi adotada por ser a mesma altura de uma pessoa que seria potencialmente afetada pela poluição (baseando-se no descrito no guia do usuário do modelo CAL3QHC).

Na área de estudo foram selecionadas 17 vias semaforizadas e 12 não semaforizadas, num total de 29 vias. O número total de receptores foi de 53. A Figura 3 apresenta os *links* e os receptores na área de estudo.

Figura 3 - Mapa da área de estudo com detalhe para as vias e o número de faixas, localização dos semáforos e dos receptores.



3.3.3 Dados de tráfego e emissão

Os dados relacionados aos aspectos de tráfego envolvem a duração do ciclo semafórico, tempo de sinal vermelho, tempo de sinal amarelo e volume de tráfego. Dados adicionais como taxa de saturação de tráfego, tipo de aproximação e definição do tipo de sinal são opcionais para o modelo CAL3QHCR.

A duração do ciclo semafórico, tempo de vermelho e amarelo foram fornecidos pelo Departamento Semafórico da EMDEC em formato de Folhas de Programação de Semáforos, os quais são documentos da programação de operação dos referidos equipamentos. Com base nas informações das Folhas de Programação de Semáforos foi escolhido o horário entre 12h30 e 13h30 (horário de pico do almoço) com ciclo semafórico de 100 segundos, sendo 54 segundos no estado vermelho, e 4 segundos para o amarelo em cada intervalo.

O volume de tráfego é o parâmetro referente ao número de veículos na via no período de uma hora. O período considerado para esse parâmetro também foi o horário de pico do almoço (12h30 a 13h30). As informações foram fornecidas pelo Departamento de Geoprocessamento da EMDEC e visto se tratarem de dados de volumes de tráfego datados do ano de 2007, um ajuste para o ano de 2012 foi necessário. Tal ajuste foi realizado com base nos dados de frota veicular publicados pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), que considerou um aumento da frota em 39% para o período 2007- 2012. De todas as 29 vias avaliadas, somente quatro não tiveram informações de volume de tráfego. Para tais vias foram utilizadas informações de trechos espacialmente contíguos ou próximos.

Para o tipo de sinal, o modelo CAL3QHC disponibiliza três opções: *pre-timed*, ou semáforo programado para operar segundo padrões estabelecidos; *actuated*, semáforos que atuam quando há detecção de veículos; e *semi-actuated*, onde há programação para horários de pico, mas que age como *actuated* fora desses horários. No presente estudo foi escolhida a opção *pre-timed* para os semáforos da área, uma vez que as Folhas de Programação de Semáforos operam nesse sistema.

Para rodar o modelo CAL3QHCR são necessárias as informações da taxa de saturação de tráfego e o tipo de aproximação. A taxa de saturação de tráfego é a quantidade horária de veículos que passam em uma via considerando somente sinal verde. Já o tipo de aproximação refere-se ao movimento dos veículos em uma via, influenciados pelo espaço e tempo (UDOT, 2003). Como para a área de estudo não se encontram disponíveis dados sobre a taxa de saturação, seguindo o manual do usuário do modelo CAL3QHCR foi utilizado o padrão de 1600 veículos por hora (EPA, 1992). Também em virtude da deficiência de informações sobre

a taxa de aproximação, foi adotado o padrão sugerido no manual do CAL3QHC denominado “*average progreession*”.

Em relação ao parâmetro fator de emissão, correspondente à emissão de CO pelos veículos, dois valores são necessários: um para veículos parados nos semáforos e outro para veículos em movimento. Como esses valores são difíceis de estimar e não existem para a área de estudo, optou-se por utilizar informações disponíveis para outra cidade de grande porte da região, no caso a cidade de São Paulo. O fator de emissão usado neste trabalho foi o obtido pelo estudo “*São Paulo Vehicle Activity Study*” conduzido em 2004 por Lents et al. (2004) para caracterizar a frota da região de São Paulo. Para o fator de emissão foi adotado o valor de 23,03 gramas de CO por veículo, o que correspondente à taxa média encontrada naquele estudo.

3.3.4 Dados meteorológicos

As variáveis meteorológicas utilizadas pelo CAL3QHCR são: temperatura, velocidade e direção do vento, classe de estabilidade, altura de mistura e rugosidade de superfície. Os parâmetros velocidade de absorção e velocidade de deposição são usados somente quando se deseja modelar a concentração e distribuição de MP, o que não é o caso.

Os dados de temperatura, velocidade e direção do vento foram obtidos a partir de cartas da Aeronáutica para o aeroporto de Viracopos, em Campinas. Como as informações das cartas não apresentam os dados de velocidade e direção do vento em forma numérica, mas sim por meio de símbolos, os mesmos foram interpretados seguindo o Manual de Centros Meteorológicos MCA 105-12 do Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Ministério da Defesa (2012). A partir dos valores interpretados com base nos símbolos, foram estimados valores médios para cada parâmetro de interesse. Na etapa de interpretação da direção do vento, este parâmetro foi medido com a ajuda da ferramenta “Ângulo” do QGIS 1.8.0. Como exemplo de apresentação dos parâmetros abordados nas cartas da aeronáutica, é apresentada a Figura 4.

Para estimar a classe de estabilidade foi utilizado o método de Pasquill-Gifford-Turner, no qual os parâmetros insolação, velocidade de vento e cobertura de nuvens são informações que se cruzam para categorizar a classe de estabilidade atmosférica em A (fortemente instável), B (moderadamente instável), C (fracamente instável), D (neutra), E (moderadamente estável) e F (extremamente estável). Mais tarde a classe G também foi incluída para representar ventos calmos e condições de noite estáveis (Mohan e Siddiqui,

1998). Estas informações podem ser visualizadas abaixo (Quadro 3). A insolação foi obtida para 365 dias através do portal “Janela do Fruticultor”. O portal traz as informações de insolação em MJ/dia e tiveram de ser convertidos em W/m^2 . O resultado foi de insolação fraca, ou seja, menos de $300 W/m^2$ para todo o ano. Os parâmetros velocidade de vento e cobertura de nuvens foram interpretados das cartas da Aeronáutica.

Figura 4 - Parte dos dados de temperatura, velocidade e direção do vento representada nas cartas da Aeronáutica.

	25/07	26/07	27/07	28/07	29/07
0100	16 260 CVK 	17 240 CVK 	16 220 CVK 	17 200 CVK 	16 160 CVK 
	11	12	11	12	11
0200	15 270 CVK 	16 240 CVK 	15 220 CVK 	16 190 CVK 	16 160 CVK 
	11	12	12	12	11
0300	15 270 CVK 	16 240 CVK 	14 220 CVK 	15 190 CVK 	16 160 CVK 
	12	11	11	12	11

Quadro 3 - Classes de Estabilidade de Pasquill modificada.

Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)	Radiação solar durante o dia ($W.m^{-2}$)				Dentro de 1 h antes do nascer do sol e depois do pôr do sol*	Cobertura de nuvens durante a noite		
	Forte (>600)	Moderada (300-600)	Fraca (<300)	Nublado		0-3/8	4/8-7/8	1
≤ 2.0	A	A-B	B	C	D	F ou G**	F	D
2.0-3.0	A-B	B	C	C	D	F	E	D
3.0-5.0	B	B-C	C	C	D	E	D	D
5.0-6.0	C	C-D	D	D	D	D	D	D
> 6.0	C	D	D	D	D	D	D	D

* Segundo MOHAN e SIDDIQUI (1998), a noite é definida incluindo uma hora antes do nascer do sol e uma hora depois.

** Considera-se G quando a cobertura de nuvens é 0 ou 1/8 e velocidade do vento 0 ou $0.5 m.s^{-1}$.

Fonte: Modificado de MOHAN e SIDDIQUI (1998).

A altura de mistura adotada foi de 1000m, de acordo com o indicado no guia do usuário do CAL3QHC 2.0 (EPA, 1992). A rugosidade de superfície das vias é outro parâmetro utilizado pelo modelo. Esse parâmetro varia com o tipo de uso do solo e para a área estudada foi considerado 321 cm, correspondente à rugosidade de um centro comercial, de acordo com os valores apresentados no guia do usuário do CAL3QHC 2.0 (EPA, 1992).

3.3.5. Organização e simulação dos dados no modelo CAL3QHCR

Como citado anteriormente, no modelo CAL3QHCR há a possibilidade de escolha entre dois tipos de aproximação. Considerando os dados obtidos, a aproximação usada para este estudo foi a aproximação 1 (*Tier 1*), onde os dados necessários são 1 ano de dados meteorológicos e 1 hora de dados “padrão” de tráfego. O período correspondente a 12h30 e 13h30 foi o escolhido entre os três períodos de dados de volume de tráfego fornecidos pela EMDEC, que correspondem aos horários de pico da manhã, pico do almoço e pico da tarde. Para a simulação dos dados meteorológicos, foram usados 6 meses correspondentes ao período de 25/07/2011 a 31/12/2011. Apesar de o modelo usar dados para um ano, essa exigência é como um limite para a entrada de dados, sendo que um período personalizado também pode ser usado, como no caso deste trabalho.

Três tipos de arquivo precisam ser elaborados para serem lidos pelo modelo como arquivos de entrada. O primeiro, em formato .CTL contém a listagem dos nomes e formato dos arquivos que serão usados e criados pelo programa, bem como a sequência em que devem ser lidos e escritos, em ordem fixa. Outro arquivo, em formato .MET, contém os dados meteorológicos e elaborado a partir de um formato fixo, mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Formato dos dados meteorológicos em arquivo .MET.

VARIÁVEL	FORMATO	COLUNAS
Ano (últimos 2 dígitos)	I2	1-2
Mês	I2	3-4
Dia	I2	5-6
Hora	I2	7-8
Direção do vento (em graus)	F9.4	9-17
Velocidade do vento (m/s)	F9.4	18-26
Temperatura ambiente (K)	F6.1	27-32
Classe de estabilidade (A=1, F=6)	I2	33-34
Altura de mistura rural (m)	F7.1	35-41
Altura de mistura urbana (m)	F7.1	42-48

Legenda: I=número inteiro; F=número decimal.

O número que vem junto à letra corresponde à quantidade de dígitos.

Exemplo: I2= número inteiro com dois dígitos.

F9.4= número decimal com 4 casas e com 9 dígitos, incluindo o ponto.

Fonte: modificado de EPA,1992.

O último tipo de arquivo corresponde à entrada dos dados de tráfego, geometria das vias e emissão e precisa estar em formato .INP. Assim como na entrada dos dados

meteorológicos, esses dados precisam ter a sequência certa no arquivo de entrada. O Apêndice A contém parte dos dados meteorológicos e o Apêndice B contém as informações de geometria de vias e dados de tráfego usados para a simulação.

Durante a rodagem do modelo, o programa cria mais 4 arquivos. Os dois primeiros, contendo dados referentes ao tráfego, são usados como arquivos de apoio para o processamento de dados no programa. Um terceiro tipo é referente ao processamento dos dados das vias, com todas as informações adicionadas pelo usuário e com os parâmetros calculados pelo programa, tal como a largura da fila formada no semáforo.

O último arquivo gerado é o arquivo principal, com o resumo dos dados de entrada (informações gerais) e os resultados da concentração máxima de CO em tabelas. Essas tabelas são: concentração máxima de CO em ppm; a máxima concentração para a média de 8 horas (ppm); os 5 cenários de maiores concentrações em 1 hora (ppm); a máxima concentração média de 8 horas, contando a contribuição por *link*; a máxima concentração média de 8 horas, contando a contribuição por *link* para o segundo cenário; máxima concentração média de 1 hora de contribuição por *link*; máxima concentração média de 1 hora de contribuição por *link* para o segundo cenário.

Além destes resultados, é criada também uma última tabela contendo a frequência de ventos calmos (importante condição atmosférica de pior dispersão possível), com indicação de número de ocorrências destes ventos e horas consecutivas de ventos calmos.

Vale ressaltar que a resposta dada pelo modelo de concentração de CO para cada um dos 53 receptores é feita através da escolha do pior caso de poluição para o período. No caso, a quinzena apresentou os valores máximos de CO encontrados dentro do período. Por exemplo, o resultado apresentado, considerando 8 horas médias, para o receptor um (rodado na primeira quinzena) foi de 0.19 ppm de CO, evento dado no dia 12 às 3 horas. Isso quer dizer que o modelo não usa todo o período dado, mas encontra dentro dele o pior cenário de concentração.

3.3.6. Interpolação das estimativas de emissão de CO calculadas nos receptores

Nesta fase do trabalho, o programa estatístico R é utilizado. As análises foram feitas dividindo-se o período de estudo (seis meses) em quinzenas, resultando em 12 séries, cada qual referente aos períodos de 25/7/11 a 8/7/11; 9/8/11 a 23/8/11; 24/8/11 a 7/9/11; 8/9/11 a 22/9/11; 23/9/11 a 7/10/11; 8/10/11 a 22/10/11; 23/10/11 a 6/11/11; 7/11/11 a 21/11/11; 22/11/11 a 6/12/11; 7/12/11 a 21/12/11; 22/12/11 a 5/1/12; 6/1/12 a 20/11/12.

Os valores obtidos pelo modelo CAL3QHCR para os receptores foram lidos pelo R e interpolados pelo mesmo programa usando a função *interp()* do pacote AKIMA. Essa função utilizou as coordenadas UTM dos pontos dos receptores fornecidas, bem como os dados de concentração de CO gerados para cada quinzena, e criou valores de concentração de CO para toda a área de estudo. A partir destes dados, utilizou-se o programa para criar superfícies mostrando, em esquema de cores, a concentração do poluente.

Depois de gerados estes valores, o pacote RGDAL foi utilizado no R para a exportação dos arquivos em formato *Geotiff*. O formato Geotiff é um tipo de formato de imagem (raster) que armazena informações de sistema de coordenadas e de valores nas três dimensões (X,Y e Z). Essas informações são úteis quando utilizadas junto às ferramentas de Geoprocessamento para análises espaciais e criação de mapas.

A partir das 12 imagens *Geotiff* criadas, utilizou-se o programa QGIS 1.8.0 para visualizá-las e criar *layouts* (mapas). Como as imagens geradas pelo R em formato Geotiff são tipos de imagens de uma só banda de cor, utilizaram-se as ferramentas *1-Band Raster Colour Table V1x* e *Colour Scale Bar*, ambas desenvolvidas por BC-Consults. Essas ferramentas criam e permitem a escolha de um padrão de cores (“mapa de cores”) escolhido pelo usuário e o aplica tanto na imagem *Geotiff* escolhida como também à legenda.

3.3.7. Análise estatística

Para a análise estatística, utilizou-se os dados gerados em cada uma das 12 quinzenas e os dados da CETESB para o mesmo período. O parâmetro de análise para cada quinzena foi a operação matemática de média aritmética dos valores encontrados em cada receptor.

Com estes dados, foi possível criar um gráfico de dispersão, mostrando a relação entre os dados obtidos pelo modelo CAL3QHCR e os obtidos pela CETESB. Diante do gráfico de dispersão, utilizou-se a análise de correlação de Pearson, que mede o grau de correlação entre duas variáveis através do coeficiente de determinação (R^2).

O coeficiente de determinação explica o quão bem os dados foram ajustados em uma regressão. Um R^2 próximo a 1, indica boa aproximação. O programa utilizado para essas análises foi o Excel, do pacote Office 2003.

4. RESULTADOS E DICUSSÃO

Para facilitar a apresentação dos resultados, os mesmos estão organizados em três seções: (a) concentração de CO pelo modelo CAL3QHCR; (b) representação das concentrações interpoladas em forma de mapas (modelos de superfície); (c) estimativa das concentrações médias para cada uma das 12 quinzenas, gráfico de dispersão das médias estimadas e das concentrações obtidas pela CETESB, bem como análise de correlação entre essas informações.

4.1. Concentração de CO pelo modelo CAL3QHCR

Os resultados obtidos para a concentração de CO na primeira quinzena utilizando o modelo CAL3QHCR está apresentado no Quadro 5. Cabe lembrar que os valores apresentados referem-se à concentração máxima para a média de oito horas. Analisando todas as quinzenas, foram estimados valores que variaram de 0,5 a 0 ppm, com valor médio de 0,18 $\pm$ 0,12 ppm.

Quadro 5 – Dados de concentração de CO gerados pelo modelo CAL3QHCR para a primeira quinzena de dados.

Receptor	Conc. de CO (ppm)	Receptor	Conc. de CO (ppm)	Receptor	Conc. de CO (ppm)
REC1	0.19	REC19	0.23	REC37	0.28
REC2	0.07	REC20	0.19	REC38	0.33
REC3	0.07	REC21	0.27	REC39	0.02
REC4	0.10	REC22	0.25	REC40	0.03
REC5	0.17	REC23	0.00	REC41	0.00
REC6	0.21	REC24	0.10	REC42	0.00
REC7	0.43	REC25	0.25	REC43	0.10
REC8	0.10	REC26	0.13	REC44	0.19
REC9	0.37	REC27	0.10	REC45	0.10
REC10	0.20	REC28	0.04	REC46	0.30
REC11	0.40	REC29	0.32	REC47	0.10
REC12	0.42	REC30	0.19	REC48	0.50
REC13	0.17	REC31	0.10	REC49	0.27
REC14	0.23	REC32	0.12	REC50	0.10
REC15	0.22	REC33	0.22	REC51	0.00
REC16	0.10	REC34	0.45	REC52	0.07
REC17	0.00	REC35	0.26	REC53	0.15
REC18	0.17	REC36	0.25		

Apesar da diferença dos valores observados para cada receptor em todas as quinzenas, estes valores ainda ficaram abaixo daqueles obtidos pela CETESB. Para todas as quinzenas calculadas, o valor máximo de concentração não ultrapassou 0,5 ppm de CO. Os valores da CETESB para os seis meses encontrou valores que chegaram a atingir o máximo de 3 ppm, com valores mais freqüentes entre 0,8 a 1,4 ppm.

Esta diferença na concentração do poluente pode ser explicada pelos parâmetros de entrada usados no modelo CAL3QHCR. Segundo UDOT (2003), o modelo é sensível aos seguintes parâmetros: localização dos receptores, rugosidade de superfície, ciclo do semáforo, tempo de sinal vermelho, volume de tráfego, taxa de saturação, fator de emissão, classe de estabilidade e velocidade do vento. Destes, o que possui o maior peso no trabalho dado a falta de informação, é o fator de emissão.

Neste trabalho, o valor de 23,03 g/km de CO foi adotado como fator de emissão tanto para veículos em fluxo livre quanto para os parados em fila. No trabalho de Lima et al. (2010), o fator de emissão para veículos parados em funcionamento calculado para a frota local de Maringá (PR) foi de 90,10 g/h e para os veículos em fluxo livre, de 8,48 g/milha. Abdul-Wahab (2004) calculou o fator de emissão em 1026 g/veículo para veículos parados em fila e 45 g/milha para veículos em movimento. Esses estudos evidenciam a diferença entre esses dois fatores, mostrando o quanto um veículo parado emite de CO a mais que um veículo em movimento. Nos estudos citados, a emissão chegou a ser de 10 vezes e 22 vezes maior para os veículos parados em relação àqueles em movimento.

A velocidade do vento é importante, pois é um parâmetro inversamente proporcional à concentração de CO (UDOT, 2003), considerado um fator de dispersão do poluente. Apesar dos valores obtidos nas cartas da Aeronáutica, deve-se considerar a grande concentração de prédios e construções na área de estudo, muito diferente da área do aeroporto de Viracopos, onde este parâmetro é calculado. Como citado na Introdução deste trabalho, a concentração de prédios e construções afeta a velocidade dos ventos, chegando a diminuir sua intensidade (HOBBS, 1974).

Em seu estudo, Ueda (2010) analisou a dispersão da concentração de CO com o uso do *software ISC-Aermod View*, comparando os resultados preditos pelo modelo com os valores obtidos pela CETESB. O resultado predito para a média de 8 horas foi 28 vezes menor comparado ao valor medido na estação de monitoramento da CETESB. Ueda (2010) atribui esta diferença à intensidade no movimento de carros na avenida onde se localiza a estação, bem como às emissões dos automóveis (fator de emissão). Tavares (2009) em seu estudo de concentração de MP em uma micro-região de Belo Horizonte, também obteve concentrações

preditas abaixo dos valores medidos. A autora atribui essas diferenças ao fator de emissão e relevo complexo das cidades.

4.2. Mapas de concentração de CO

Em relação aos mapas de concentração de CO, os 12 mapas quinzenais gerados mostraram pequena variação na distribuição do poluente entre si. No entanto, em todos os mapas podemos encontrar as maiores concentrações em quatro focos distintos. Três destes maiores focos localizam-se próximos à Prefeitura (Figura 5). A localização da estação automática da CETESB também é apresentada no mapa. A Figura 6 mostra quatro mapas de outras quinzenas, para fins de comparação.

Com relação a estes focos, podemos analisar que talvez tenham se dado pela maior fluxo veicular na região, pois o fator de emissão, responsável pelas concentrações de poluentes, foi o mesmo para toda a área estudada. A relação dos semáforos e concentração de CO também não se mostra consistente, visto que as regiões de foco de concentração não são aquelas de maior concentração de semáforo (Figura 3).

Figura 5 – Mapa de concentração de CO gerado para a segunda quinzena (9/8/11 a 23/8/11) do período estudado.

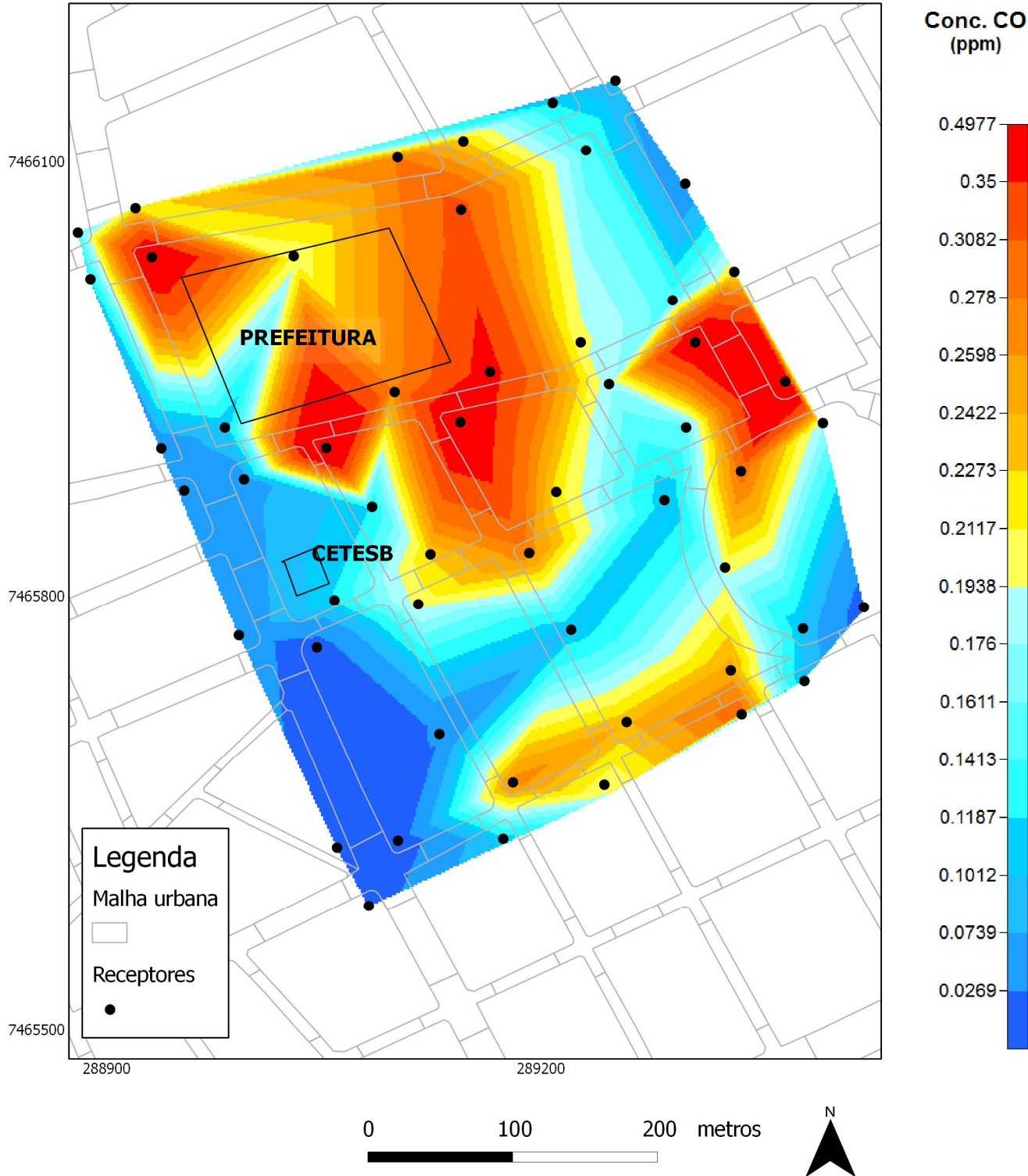
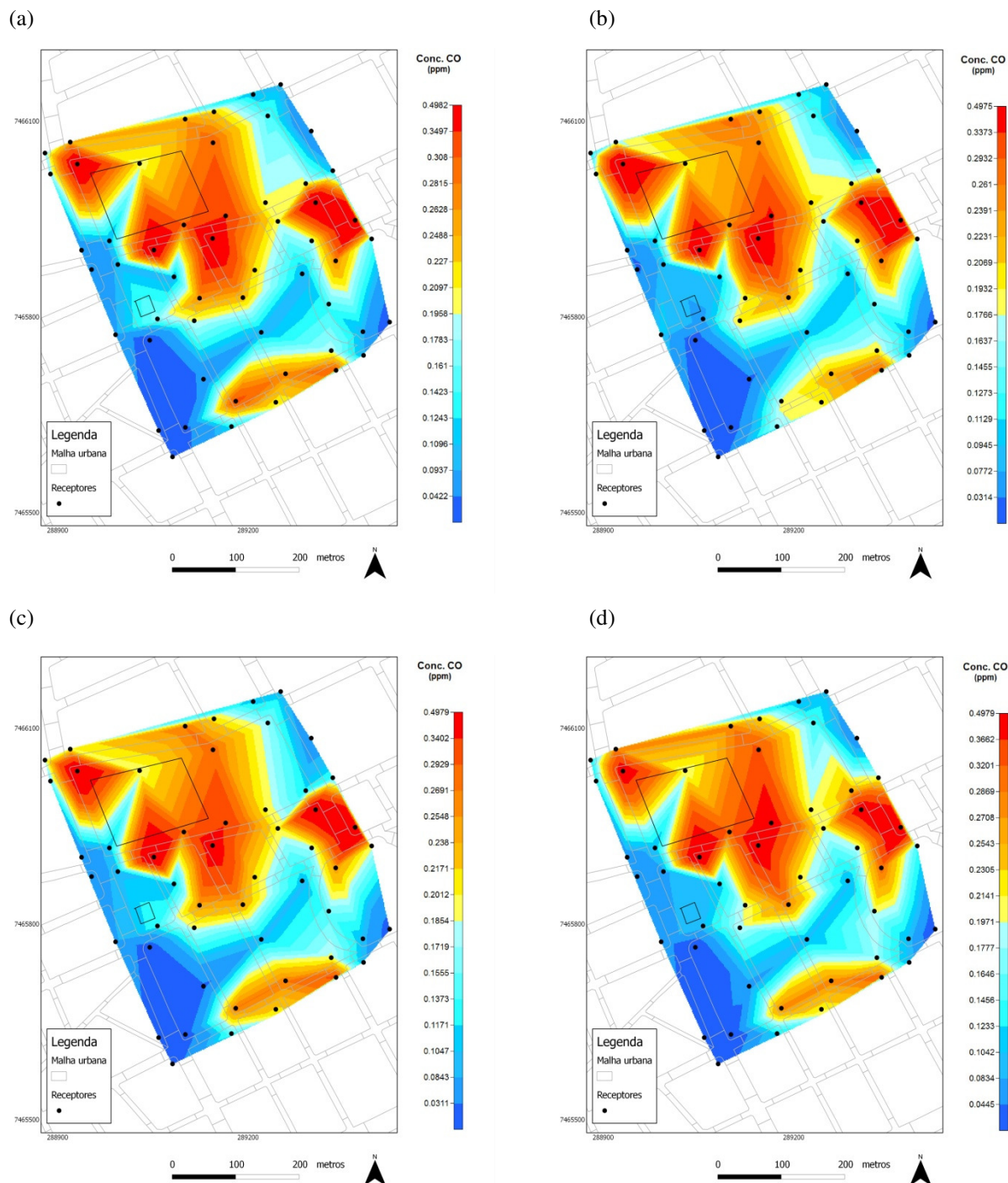


Figura 6 – (a) Mapa de concentração de CO gerado para a quinta quinzena (23/9/11 a 7/10/11) do período estudado; (b) Mapa de concentração de CO gerado para a sétima quinzena (23/10/11 a 6/11/11) do período estudado; (c) Mapa de concentração de CO gerado para a nona quinzena (22/11/11 a 6/12/11) do período estudado; (d) Mapa de concentração de CO gerado para a 11ª quinzena (22/12/11 a 5/1/12) do período estudado.



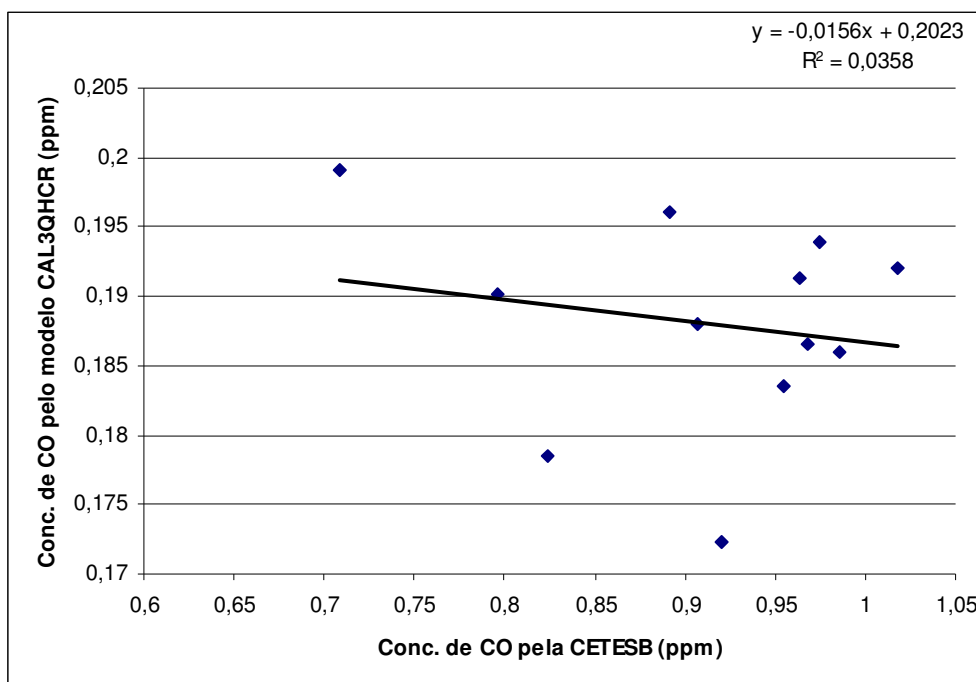
4.3. Estimativa das concentrações médias de CO, análise de dispersão e correlação

Em relação às médias de concentração de CO calculadas para cada uma das 12 quinzenas em relação à média calculada para o mesmo período com os dados obtidos pela estação automática da CETESB (Quadro 6), foram os valores usados para se fazer o gráfico de dispersão e análise de correlação de Pearson, apresentadas na Figura 7.

Quadro 6 – Médias calculadas para cada quinzena.
Valores da CETESB e do modelo CAL3QHCR.

Quinzena	CETESB	CAL3QHCR
1	1,02	0,19
2	0,96	0,19
3	0,99	0,19
4	0,97	0,19
5	0,89	0,20
6	0,92	0,17
7	0,82	0,18
8	0,91	0,19
9	0,97	0,19
10	0,95	0,18
11	0,71	0,20
12	0,80	0,19

Figura 7 – Gráfico de dispersão e análise de correlação. O coeficiente de determinação R^2 mostra a correlação entre os dados gerados pelo modelo CAL3QHCR e os dados obtidos da CETESB.



A partir do gráfico apresentado, observa-se claramente a falta de correlação entre as duas variáveis (CO da CETESB vs CAL3QHCR). O coeficiente de determinação R^2 apresentou um valor de apenas 0,03 (praticamente nulo), quando a relação ótima esperada seria de ~ 1 .

Tippichai et al. (2005), no estudo de concentração de CO em duas vias localizadas em Khon Kaen (Tailândia), concluiu que o modelo CAL3QHC poderia ser aplicado na região para prever a concentração do poluente. Apesar da diferença no método aplicado, Tippichai et al. (2005) considerou nove resultados, referentes aos nove dias de seu estudo, e os gráficos apresentados mostraram uma tendência similar entre as duas curvas, exceto para dois destes resultados. As possíveis causas apontadas para os erros nas estimativas, segundo o estudo, seriam referentes aos dias de chuva, à mudança na direção do vento, à baixa velocidade do vento e às construções no centro da cidade. A complexidade do terreno, representada por prédios altos, é uma fonte de erros para modelagens que usam a distribuição da pluma gaussiana, a partir do momento que estes modelos foram desenvolvidos para terrenos planos de rodovias e vias arteriais, não considerando terrenos circundados por tais construções (ZHOU e SPERLING, 2001).

Nemalapuri (2010) estudando o impacto das operações de tráfego na emissão de monóxido de carbono, estimou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,4464$ entre o CO medido e o previsto pelo modelo CAL3QHC. Segundo Nemalapuri (2010) ou modelo não apresentou bom desempenho ao prever a concentração do poluente próximo a um ponto de ônibus. Para o autor, essa baixa correlação pode ser explicada por fatores tais como turbulência, mudanças na velocidade e direção do vento e à técnica de modelagem. Por outro lado, Kho et al. (2007) encontraram um valor de correlação bastante expressivo ($R^2 = 0,898$) entre os valores modelados e observados de CO em uma interseção na cidade de Kota Kinabalu (Malásia) no ano de 2004.

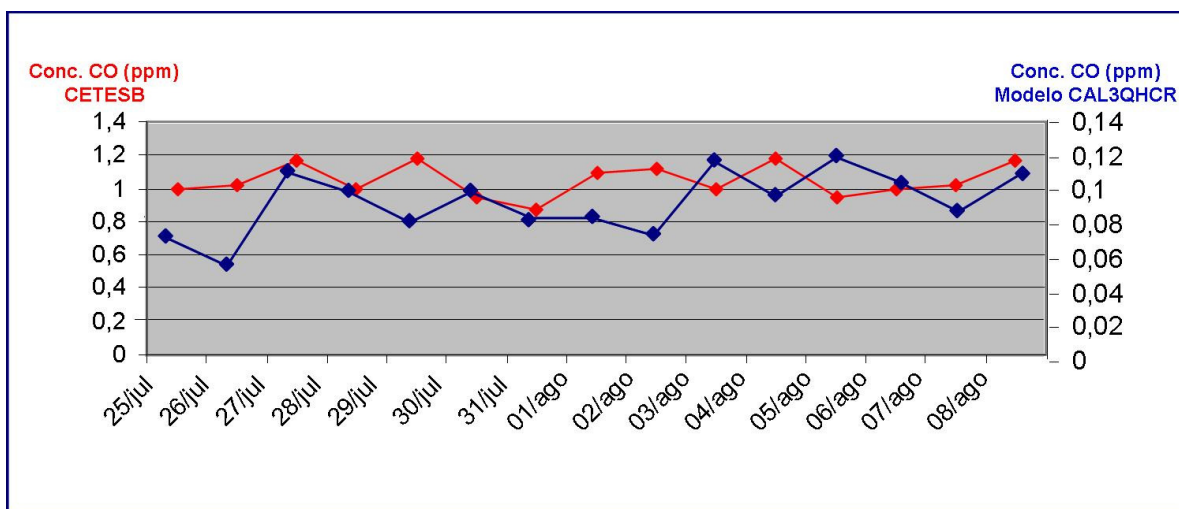
A fim de se tentar conseguir um valor de R^2 mais alto ou próximo aos das referências consultadas, outras duas análises sobre os resultados do modelo CAL3QHCR foram feitas. A primeira análise considerou as respostas de concentração de CO geradas por dia e não para a quinzena. O período considerado foi o da primeira quinzena (25 de julho de 2012 a 08 de agosto de 2012). O resultado para esta análise mostrou um R^2 igualmente baixo, de 0,038, não mudando o resultado apresentado anteriormente para este trabalho. A tabela contendo os valores de concentração de CO para cada dia em comparação com os valores da CETESB é apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores médios diários gerados para a primeira quinzena pelo modelo CAL3QHCR em comparação com os valores obtidos pela CETESB.

Dia	Média diária da concentração CO (ppm) pelo modelo CAL3QHCR	Média diária da concentração CO (ppm) pela CETESB
25/jul	0,11	0,99
26/jul	0,09	1,02
27/jul	0,11	1,17
28/jul	0,12	0,99
29/jul	0,10	1,17
30/jul	0,12	0,94
31/jul	0,07	0,87
01/ago	0,08	1,09
02/ago	0,08	1,11
03/ago	0,10	0,99
04/ago	0,08	1,17
05/ago	0,10	0,94
06/ago	0,11	0,99
07/ago	0,06	1,02
08/ago	0,07	1,17

A segunda análise considerou os resultados horários obtidos pelo modelo CAL3QHCR. Para esta situação, a primeira quinzena foi considerada. Por não considerar a concentração em cada hora, mas sim para a hora onde há maior concentração de CO para cada receptor, em todos os dias considerados não houve uma resposta para as 24 horas do dia. As horas consideradas pelo modelo CAL3QHCR foram usadas em comparação com os dados horários disponíveis da CETESB. A partir da organização destes dados, foi calculado um coeficiente de dispersão (R^2) para cada dia. A Figura 8 ilustra o comportamento das curvas da CETESB e do modelo CAL3QHCR para o período considerado e no Quadro 8 são apresentados os resultados obtidos.

Figura 8 – Curvas de concentração de CO dadas pela CETESB e pelo modelo CAL3QHCR.



Quadro 8 – Coeficiente de dispersão dado pela análise horária para 15 dias.

Dia	R ²
25/jul	0,495
26/jul	0,313
27/jul	0,002
28/jul	0,063
29/jul	0,115
30/jul	0,082
31/jul	0,063
01/ago	0,473
02/ago	0,224
03/ago	0,136
04/ago	0,046
05/ago	0,033
06/ago	0,038
07/ago	0,168
08/ago	0,105

Os resultados obtidos também não mostraram uma boa relação entre os resultados, exceção para os dias 25/7, 26/7 e 01/8. Para as duas diferentes análises dadas sobre os valores do modelo CAL3QHCR também não se mostraram satisfatórias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo CAL3QHCR, bem aceito na literatura como um bom modelo de predição de CO, não pôde ser aplicado ao caso deste estudo. Muitas causas são prováveis para o baixo desempenho do modelo, além das causas já citadas pelos autores revisados (dias de chuva, mudanças na direção e velocidade do vento, relevo complexo). Uma delas é a forma de abordagem do modelo. Na falta de alguns parâmetros para calibrar o modelo foram adotados alguns valores “padrões”, o que pode ter generalizado demais as informações. Outra causa seria o período adotado para estimar o poluente. O intervalo de seis meses divididos em quinzenas talvez não seja a melhor forma de se usar os resultados do modelo. Muitos autores consideravam períodos de um dia, avaliando dados horários, mas a tentativa em se usar essa análise também não se mostrou razoável, devido aos resultados obtidos.

Outra consideração é sobre os dias e horários da semana. O uso de uma hora padrão de dados de tráfego e emissão desconsidera variações na semana e no dia, atribuídas a horas de pico, horários de trabalho, madrugadas e finais de semana. O tipo de modelagem que consideraria estes fatores é aproximação II (*Tier II*), mas que não pôde ser usado devido à falta de informações.

A análise de apenas uma área limitada no centro da cidade também pode ter prejudicado os valores encontrados no modelo, visto que a estação automática da CETESB considera a influência de toda a poluição que chega até ela e não apenas de um trecho delimitado. A mesma observação é feita ao fato de ser avaliar somente automóveis, desconsiderando toda a frota de ônibus, micro-ônibus, vans, motocicletas e eventuais caminhões e caminhonetes que transitam no local e influenciam muito na concentração de CO.

Enfim, uma análise mais profunda ligada às variações das estações do ano e a concentração do poluente e o uso dos mapas gerados para a análise do efeito dos focos de poluição sobre a área de estudo, em especial à região onde se localiza a Prefeitura, não se tornou viável devido ao baixo desempenho apresentada pelos resultados do modelo CAL3QHCR. Entretanto, embora os modelos possam ter falhado para estimar o CO em si, pode ser que os resultados do CAL3QHCR gere informações que venham a ser úteis em outros estudos, como por exemplo, aqueles relacionados a processos ecológicos em si, como é o caso da fenologia de plantas, formação de ilhas de calor, ou mesmo bem estar da população quando transitam pelas diferentes regiões de metrópoles urbanas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-WAHAB, S. A. **An application and evaluation of the CAL3QHC model for predicting carbon monoxide concentrations from motor vehicles near a roadway intersection in Muscat, Oman.** Environmental Management, Nova Iorque, v. 34, n. 3, p. 372-382, jul. 2004.

BARBON, A.; GOMES, J. **Simulação das emissões atmosféricas sobre o município de Araucária com uso do modelo AERMOD.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.129-140, abr/jun. 2010.

BENELI, P. C. **Associação entre fatores meteorológicos, poluentes atmosféricos e ocorrência de viroses respiratórias em crianças: destaque ao Parainfluenza vírus humano (HPIV).** 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CABANILLAS, R. E. Q. **Contaminação atmosférica na cidade de Campinas e a Educação como proposta ambiental para políticas públicas.** 2007. 198 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CAMPINAS. **Origens** [2012]. Site da Prefeitura Municipal de Campinas. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/sobre-campinas/origens.php>>. Acesso em: 3 set. 2012.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2011.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes** [2012]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: 7 jun. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 ago 1990. Seção 1, p.15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 03 ago 2012.

DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frotas de 2009, 2011 e 2012.** Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **User's Guide to CAL3QHC Version 2.0: a modeling methodology for predicting pollutant concentrations near roadways intersections.** Office of air quality, planning and standards, nov. 1992. Disponível em: <http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm>. Acesso em: 28 jun. 2012.

GRIMM, N. B.; FAETH, S. H.; GOLUBIEWSKI, N. E.; REDMAN, C.L.; WU, J.; BAI, X.; BRIGGS, J. M. **Global change and the ecology of cities.** Science, Nova Iorque, v. 319, n.746, p. 756 - 760, fev. 2008.

HOBBS, P. V.; HARRISON, H.; ROBINSON, E. **Atmospheric effects of pollutants**. Science, Nova Iorque, v. 183, n. 4128, p. 909 – 915, mar. 1974.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente. **Programas De Controle De Emissões Veiculares** [2012]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>>. Acesso em: 28 nov. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Campinas**. Séries Cidades. Estatísticas com base no ano de 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

KHO, F. W. L.; LAW, P. L.; IBRAHIM, S. H.; SENTIAN, J. **Carbon monoxide levels along roadway**. International Journal of Environmental Science and Technology, Teerã, v.4, n.1, p. 27-34. 2007.

LENTS, J.; NIKKILA, N.; OSSES, M. **São Paulo Vehicle Activity Study**. Relatório de 20 agosto de 2004. Disponível em: <<http://www.issrc.org/ive/downloads/reports/SaoPauloBrazil.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

LIMA, E. P.; DEMARCHI, S. H.; GIMENES, M. L. **Uso do modelo de dispersão CAL3QHC na estimação da dispersão de CO na região central de Maringá, Estado do Paraná**. Acta Scientiarum Technology, Maringá, v. 32, n. 3, p. 261 – 269, 2010.

LYRA, D. G. P. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador**. 2008. 233 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. **Poluição atmosférica e atendimento por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil**. Revista Saúde Pública, São Paulo, v.36, n.1, p. 88-94. 2002.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Manual de Centros Meteorológicos MCA 105-12**. 2012. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=3738>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

MOHAN, M.; SIDDIQUI, T. A. **Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification**. Atmospheric Environment, Great Britain, v. 32, n. 21, p. 3775 – 3781. 1998.

MOREIRA, T. C. L. **Interação da poluição atmosférica e a vegetação arbórea na cidade de São Paulo**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NEMALAPURI, V. K. **Impact of traffic operations on carbon monoxide emissions analysis**. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – School of Advanced Structures, College of Engineering and Applied Science, University of Cincinnati, Cincinnati, 2010. Disponível em:

<<http://etd.ohiolink.edu/view.cgi/Nemalapuri%20Vijay%20Krishna.pdf?ucin1282322424>>.

Acesso em: 8 ago. 2012.

PACK, D. H. **Meteorology of air pollution**. Science, Nova Iorque, v. 146, n. 3648, p. 1119-1127, nov. 1964.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. 2007. 182 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 997, de 31 de maio de 1976**. Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/lei_997_1976.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2012.

TAVARES, F. V. F. **Estudo do processo de dispersão de emissões veiculares em uma microrregião de Belo Horizonte utilizando simulação numérica**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2009.

TIPPICHAH, A.; KLUNGBOONKRONG, P.; PAN-ARAM, R; WONGWISES, P. **Prediction of CO concentrations from road traffic at signalized intersections using CAL3QHC model: the Khon Kaen case study**. Songklanakarin J. Sci. Technol., v.27, n.6, p.1285-1298, dec. 2005.

UDOT - UTAH DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Manual** [s.n]. 2003. Manual explicativo dos parâmetros usados no modelo CAL3QHC. Disponível em:

<<http://www.udot.utah.gov/main/uconowner.gf?n=200309081521212>>. Acesso em: 03 set. 2012.

UEDA, A.C. **Estudo de Compostos Orgânicos Voláteis na Atmosfera da Região Metropolitana de Campinas**. 2010. 268 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ZHOU, B.; WILSON, J.G.; ZHAN, F.B.; ZENG, Y. **Air pollution exposure assessment methods utilized in epidemiological studies**. Journal of Environmental Monitoring, Londres, n. 11, p. 475-490. 2009.

ZHOU; H.; SPERLING, D. **Traffic emission pollution sampling and analysis on urban streets with high-risings buildings**. Transportation Research Part D, Amsterdam, n.6, p.269-281. 2001.

APÊNDICE A - Quadro com parte dos dados meteorológicos de Campinas e usados no modelo.

ANO	MÊS	DIA	HORA	Direção do vento	Velocidade	Temperatura	Classe de	Altura de Mistura	
				(em graus)	do vento (m/s)	(K)	Estabilidade	Rural	Urbana
11	7	25	1	60	5	289	4	1000	1000
11	7	25	2	70	5	288	4	1000	1000
11	7	25	3	80	5	288	4	1000	1000
11	7	25	4	60	5	287	4	1000	1000
11	7	25	5	60	5	287	4	1000	1000
11	7	25	6	60	5	286	4	1000	1000
11	7	25	7	60	5	286	4	1000	1000
11	7	25	8	70	5	285	4	1000	1000
11	7	25	9	70	5	285	4	1000	1000
11	7	25	10	60	5	285	4	1000	1000
11	7	25	11	60	5	286	4	1000	1000
11	7	25	12	70	5	288	4	1000	1000
11	7	25	13	60	2,5	291	3	1000	1000
11	7	25	14	11	2,5	294	3	1000	1000
11	7	25	15	100	2,5	295	3	1000	1000
11	7	25	16	160	0,75	298	2	1000	1000
11	7	25	17	310	2,5	298	3	1000	1000
11	7	25	18	310	2,5	298	4	1000	1000
11	7	25	19	150	5	296	4	1000	1000
11	7	25	20	110	2,5	292	4	1000	1000
11	7	25	21	130	2,5	290	4	1000	1000
11	7	25	22	80	2,5	290	4	1000	1000
11	7	25	23	70	5	289	4	1000	1000
11	7	25	24	110	5	290	4	1000	1000
11	7	26	1	120	5	290	4	1000	1000
11	7	26	2	110	2,5	289	4	1000	1000
11	7	26	3	100	2,5	289	4	1000	1000
11	7	26	4	90	2,5	287	4	1000	1000
11	7	26	5	110	5	288	4	1000	1000
11	7	26	6	100	2,5	288	3	1000	1000
11	7	26	7	150	5	288	4	1000	1000
11	7	26	8	100	2,5	287	3	1000	1000
11	7	26	9	80	2,5	286	3	1000	1000
11	7	26	10	80	2,5	285	3	1000	1000
11	7	26	11	90	2,5	288	3	1000	1000
11	7	26	12	120	2,5	291	3	1000	1000
11	7	26	13	150	2,5	295	3	1000	1000
11	7	26	14	290	5	295	4	1000	1000
11	7	26	15	170	5	297	4	1000	1000
11	7	26	16	180	5	298	4	1000	1000
11	7	26	17	220	5	298	4	1000	1000
11	7	26	18	240	5	298	4	1000	1000
11	7	26	19	240	0,75	299	4	1000	1000
11	7	26	20	290	2,5	297	4	1000	1000

APÊNDICE B - Dados de geometria de vias e de tráfego da cidade de Campinas e utilizados na simulação.

NÚMERO DO LINK	LOCAL	COORDENADAS UTM INICIAL (M)	COORDENADAS UTM FINAL (M)	ZONA DE MISTURA (M)	VOLUME DE VEÍCULOS (VEH/H)
1	Avenida Irmã Serafina, lado direito	289036, 7465747	289098, 7465611	12.	1198
2	Avenida Irmã Serafina, lado esquerdo	289025, 7465742	289089, 7465607	12.	1276
3	Avenida Anchieta 1, lado direito	288984, 7465868	289025, 7465770	12.	2096
4	Avenida Anchieta 1, lado esquerdo	288974, 7465864	289015, 7465765	12.	2028
5	Avenida Anchieta 2, lado direito	288920, 7466019	288974, 7465893	12.	2834
6	Avenida Anchieta 2, lado esquerdo	288910, 7466017	288963, 7465890	12.	992
7	Rua Barreto Leme 1	289144, 7466087	288910, 7466045	24.	1323
8	Rua Barreto Leme 2	289217, 7466121	289145, 7466087	18.	1323
9	Avenida Júlio de Mesquita 1	289308, 7466018	289244, 7466135	24.	2618
10	Avenida Júlio de Mesquita 2	289359, 7465921	289320, 7465997	30.	2050
11	Rua Antônio Cesarino 1	289309, 7465873	289360, 7465918	15.	2930
12	Rua Antônio Cesarino 2	289364, 7465766	289309, 7465873	15.	1927
13	Rua Conceição 1	289159, 7465643	289093, 7465609	14.	1027
14	Rua Conceição 2	289251, 7465690	289178, 7465653	20.	1027
15	Rua Conceição 3	289346, 7465736	289251, 7465690	20.	1027
16	Rua Conceição 4	289365, 7465746	289346, 7465736	14.	1467
17	Rua General Osório 1	289290, 7465890	289359, 7465921	14.	2930
18	Rua General Osório 2	289173, 7465837	289265, 7465880	20.	814
19	Rua General Osório 3	289096, 7465802	289173, 7465837	20.	814
20	Rua General Osório 4	289047, 7465780	289096, 7465802	14.	1013
21	Avenida Benjamin Constant 1	289243, 7465961	289319, 7465998	14.	1206
22	Avenida Benjamin Constant 2	289121, 7465930	289224, 7465952	20.	1393
23	Avenida Benjamin Constant 3	289035, 7465911	289121, 7465930	20.	1393
24	Avenida Benjamin Constant 4	288996, 7465899	289035, 7465910	14.	3055
25	Rua Boaventura do Amaral	289096, 7465802	289178, 7465654	16.	187
26	Rua Padre Vieira 1	289251, 7465690	289173, 7465837	20.	187
27	Rua Boaventura do Amaral 2	289096, 7465802	289035, 7465910	14.	187
28	Rua Padre Vieira 2	289173, 7465837	289121, 7465930	20.	187
29	Rua Antônio Cesarino 3	289235, 7465933	289265, 7465880	10.	187