



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Lima, Ed Pinheiro; Demarchi, Sérgio Henrique; Gimenes, Marcelino Luiz
Uso do modelo de dispersão CAL3QHC na estimação da dispersão de CO na região central de
Maringá, Estado do Paraná
Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 3, 2010, pp. 261-269
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226528004>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Uso do modelo de dispersão CAL3QHC na estimação da dispersão de CO na região central de Maringá, Estado do Paraná

Ed Pinheiro Lima*, Sérgio Henrique Demarchi e Marcelino Luiz Gimenes

*Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: ed_p_lima@yahoo.com.br*

RESUMO. Este trabalho descreve a aplicação do modelo CAL3QHC para estimar a dispersão das emissões de CO originadas de veículos leves na região central da cidade de Maringá, Estado do Paraná. Para a estimativa, foram adotados parâmetros locais do tráfego e meteorológicos e os fatores de emissão foram estimados por meio do modelo de emissão CMEM. A concentração máxima de CO foi estimada para oito sentidos de vento, considerando as emissões de veículos em movimento e em filas de semáforos, de forma separada e em conjunto. O maior valor de concentração foi 4,80 ppm para o sentido de vento N-S, a predominante para o horário analisado. A maioria dos valores de pico de concentração se localizou em uma avenida de grande movimento. Os mapas de concentração permitiram visualizar a concentração de CO, principalmente nesta avenida e nas imediações dos semáforos.

Palavras-chave: emissões veiculares, monóxido de carbono, dispersão de poluentes.

ABSTRACT. Carbon monoxide dispersion estimative in Maringá City's central area, Paraná State. This paper describes the application of CAL3QHC model to estimate the dispersion of carbon monoxide emissions originated from the traffic of light duty vehicles within the city center of Maringá, Paraná State. Estimates of emission dispersion were obtained using the local traffic and meteorological parameters and the emission factors determined with CMEM emission model. The maximum concentration of CO was estimated for 8 directions of wind, considering the emissions from moving vehicles and vehicle in queues at traffic lights, isolated and in combination. The highest CO concentration was 4.80 ppm for the predominant NS wind direction during the examined time. Most of the concentration peaks were observed in a busy traffic avenue. The concentration maps allowed viewing the CO concentration, particularly in this avenue and in the area of traffic lights.

Key words: vehicular emissions, carbon monoxide, pollutant dispersion.

Introdução

A poluição do ar é um dos maiores problemas nos grandes centros, resultante em grande parte das emissões veiculares. Apesar das tecnologias de redução de emissões que vêm sendo gradativamente incorporadas aos veículos, o desenvolvimento urbano leva ao crescimento da frota de veículos e das distâncias percorridas, o que resulta em um aumento significativo das emissões veiculares. Paradas, ultrapassagens e conversões realizadas pelos veículos em vias urbanas têm grande impacto no consumo de combustível e, consequentemente, na emissão de monóxido de carbono. Dentre estes eventos, os mais significativos são as ocasiões em que os veículos ficam parados em funcionamento nas filas formadas à montante dos semáforos e em congestionamentos. No caso dos semáforos, o estudo realizado por Coelho et al. (2005) demonstrou os efeitos que variações no tempo de parada nos semáforos têm nas emissões.

Diferente das indústrias, os veículos são fontes móveis e suas emissões em centros urbanos geralmente ocorrem em locais de grande circulação de pessoas. O monitoramento e a modelagem da emissão de poluentes permitem uma estimativa do impacto dessa poluição na qualidade do ar. Segundo Davies e Thé (2006), a modelagem da dispersão de poluentes é essencial no estudo da atmosfera, uma vez que a escala de tempo entre mudanças na atmosfera pode ser de segundos, apresentando mudanças repentinas nos fluxos.

Dos modelos de dispersão que podem ser usados para estimar os impactos da poluição local, a maioria é específica para fontes industriais em larga escala (ZHOU; SPERLING, 2001). Por outro lado, os modelos CAL3QHC e CAL3QHCR são destinados às fontes móveis. Estes modelos fazem a estimativa da concentração de monóxido de carbono (CO) e

material particulado (MP) originados tanto de veículos em fluxo livre quanto dos parados nas filas das interseções com semáforo. O modelo CAL3QHC adota o modelo de dispersão de pluma Gaussiano que, segundo Zhou e Sperling (2001), não é adequado aos padrões de dispersão das emissões veiculares próximas a edifícios muito altos. Como o objetivo neste trabalho era de estimar a dispersão das emissões de monóxido de carbono na região central da cidade de Maringá, Estado do Paraná, onde não se tem a presença de edifícios muito altos, foi adotado o modelo CAL3QHC. A estimativa foi feita considerando veículos leves de passeio, tanto em movimento quanto parados em filas formadas à montante das interseções com semáforo. O uso do modelo CAL3QHC foi otimizado por meio da interface CalRoads View, que permitiu acelerar as etapas de pré e pós-processamento dos dados além de traçar mapas de concentração de CO.

Modelo de dispersão CAL3QHC

Modelos de dispersão destacam-se em aplicações de análise entre cenários, como, por exemplo, verificar se uma nova indústria estará de acordo com os padrões de qualidade do ar e também no planejamento de estratégias de controle efetivas para reduzir as emissões de poluentes. O CAL3QHC (EPA, 1995) é um modelo de dispersão de fonte linear que faz a estimativa da concentração de monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP) originados da combustão nos motores dos veículos. O modelo permite a estimativa para veículos em duas situações de tráfego: em movimento e em filas formadas em interseções com semáforo. Para a estimativa, o CAL3QHC incorpora o modelo de dispersão CALINE3 e um algoritmo que faz a estimativa de comprimento de fila. Este algoritmo consiste em um modelo de tráfego baseado no Highway Capacity Manual (HCM) de 1985 (FHWA, 2006) e utiliza as informações do tráfego de duração do ciclo, fluxo de saturação, fluxo de veículos e do tipo de aproximação à montante da interseção, para estimar o comprimento do arco representativo de cada fila. Em cada arco representativo, são estimadas as emissões dos veículos parados em fila que são então convertidas em fontes lineares no formato de arco do CALINE3.

O modelo CALINE3 (BENSON, 1979) foi desenvolvido para estimar os impactos na qualidade do ar nas proximidades de rodovias e vias arteriais pela emissão dos veículos em movimento. Os arcos individuais são representados pelo modelo CALINE3 como uma série de elementos com fontes

lineares finitas (FLS). A cada arco, é associada uma fonte linear baseada no produto do fator médio de emissão do veículo representativo da frota e o fluxo de veículos. As emissões do arco da via são distribuídas em cada FLS do elemento e a concentração no sentido do vento a partir do elemento é calculada usando a formulação Gaussiana para uma fonte linear de comprimento finito (MISHRA; PADMANABHAMUTRY, 2003):

$$C = \frac{q}{\pi \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \int_{y_1 - y}^{y_2 - y} e^{\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right)} dx \quad (1)$$

em que: q = intensidade da fonte linear; u : velocidade do vento; σ_y e σ_z = parâmetros horizontal e vertical da dispersão Gaussiana em função da distância do elemento em função da classe de estabilidade; e y_1 e y_2 = coordenadas dos pontos finais do FLS.

O modelo CALINE3 faz a caracterização da dispersão de poluentes sobre uma via empregando o conceito de zona de mistura, que consiste na região sobre as pistas de rolamento, adicionados 3 m em cada lado (Figura 1). Segundo Mishra e Padmanabhamutry (2003), esta largura adicional tem relação com a dispersão de pluma horizontal inicial, induzida pelo efeito da passagem do veículo. A zona de mistura considera a região diretamente sobre a via como uma região onde a intensa turbulência mecânica criada pelo movimento dos veículos e a turbulência térmica criada pela exaustão dos mesmos resultam em uma mistura aprimorada de poluentes. Dentro da zona de mistura, tanto a turbulência mecânica quanto a térmica são consideradas predominantes ao nível do solo.

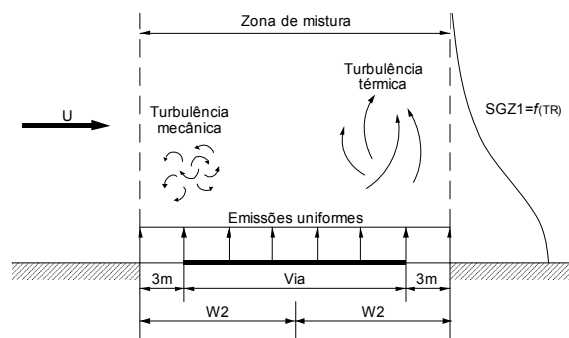


Figura 1. Zona de mistura (BENSON, 1984).

Como as emissões do tráfego ocorrem próximas ao solo e a precisão do modelo é mais importante para condições atmosféricas neutras e estáveis, a dispersão vertical inicial (SGZ1) do modelo é

considerada como função da turbulência dentro da zona de mistura (BENSON, 1979). Apesar de SGZ1 ser insensível às mudanças na velocidade e no fluxo de tráfego em certos intervalos (30–60 mph e 4000–8000 veículos h⁻¹), o tempo de residência do poluente dentro da zona de mistura, influenciado pela velocidade do vento, afeta, de forma significativa, a quantidade de mistura vertical que ocorre na zona de mistura (BENSON, 1979). O tempo de residência (*TR*) na zona de mistura é definido arbitrariamente pelo CALINE3 como sendo a relação entre a metade da largura da via (*W*/2) e a velocidade do vento (*U*).

$$TR = \frac{W/2}{U} \quad (2)$$

A equação usada pelo CALINE3 para relacionar SGZ1 e *TR* é (BENSON, 1979):

$$SGZ1 = 1,8 + 0,11 \cdot TR \quad (3)$$

que é ajustada no modelo para tempos médios (*ATIM*) diferentes de 30 min. pela seguinte lei de potência:

$$SGZ1_{ATIM} = SGZ1_{30} \cdot \left(\frac{ATIM}{30} \right)^{0,2} \quad (4)$$

As curvas de dispersão vertical usadas pelo CALINE3 são formadas pelo valor de SGZ1 do modelo de zona de mistura e o valor de σ_z a 10 km (SZ10). Segundo Benson (1979), a partir desta distância a curva de potência que aproxima a curva de Pasquill se torna imprecisa e a contribuição de elementos a mais de 10 km do receptor é insignificante, mesmo nas condições atmosféricas mais estáveis.

O parâmetro do comprimento da rugosidade do terreno (*Z*0) representa a altura em que a velocidade do vento horizontal média se aproxima de zero e é relacionada com as características da rugosidade do terreno. Apesar de não ser igual às dimensões físicas dos obstáculos, é geralmente proporcional. Para um dado conjunto de condições meteorológicas, o comprimento da rugosidade do terreno (*Z*0) e tempo médio (*ATIM*), o CALINE3 usa a mesma curva de dispersão vertical para cada elemento pertencente a um arco de via. O ajuste de SZ10 para *Z*0 e *ATIM* é feito pelos seguintes fatores de lei de potência (BENSON, 1979):

$$SGZ1_{ATIM} = SGZ1_{30} \cdot \left(\frac{ATIM}{30} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{Z0}{10} \right)^{0,07} \quad (5)$$

Segundo Benson (1979), as curvas de dispersão horizontal usadas pelo CALINE3 são as mesmas usadas por Turner (1970), com exceção do tempo médio e os ajustes de lei de potência da rugosidade da superfície, que são similares aos adotados nas curvas de dispersão vertical.

Material e métodos

O modelo CAL3QHC requer todos os dados necessários do modelo CALINE3 (coordenadas dos arcos, volumes de tráfego e dados meteorológicos), além dos dados para a estimativa de comprimento de fila. O CAL3QHC considera as variáveis meteorológicas, de estabilidade atmosférica, da velocidade e sentido de vento constantes dentro da área estudada, assim como o comprimento da rugosidade da superfície (*Z*0), que é assumida como sendo relativamente uniforme. As seções a seguir detalham as etapas do trabalho.

Área de estudo

A área de estudo escolhida compreende a parte mais significativa da região central da cidade de Maringá, Estado do Paraná, apresentada em destaque na Figura 2, uma região com dimensões de 1.700 por 820 m. Para esta área, foram obtidos os dados geométricos de cada arco, que compreendem as coordenadas geométricas, a largura e a altura da via em relação ao nível local. Primeiramente, foram definidos os arcos da rede simulada.

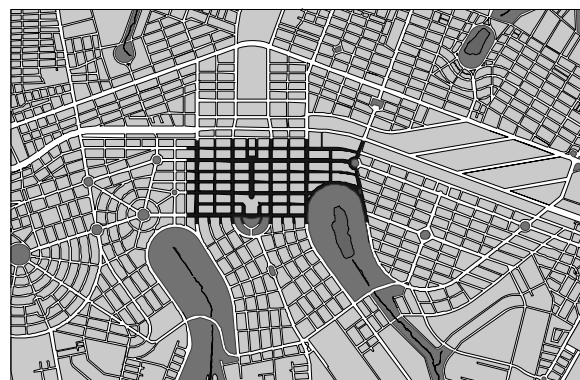


Figura 2. Área de estudo.

Os arcos no CAL3QHC podem ser de dois tipos: arcos de fluxo livre e arcos de fila. Para os arcos de fluxo livre, as coordenadas geométricas dos nós foram medidas no ponto central de cada interseção e nos pontos inicial e final de cada via da rede, conforme mostra a Figura 3A.

No caso dos arcos de fila, a coordenada do ponto inicial se localiza na linha de retenção do segmento viário representativo de cada arco. A coordenada do

ponto final é arbitrária, desde que localizada sobre o respectivo arco de fluxo livre (Figura 3B). O comprimento real do arco é estimado pelo algoritmo de estimativa de comprimento de fila do CAL3QHC, considerando a distância entre veículos de 6 m (EPA, 1995), um valor próximo ao valor médio de 6,06 m determinado para Maringá, Estado do Paraná, por Demarchi et al. (2003). Para o cálculo da largura de cada arco, foi adotado o valor de 3,20 m para cada faixa de rolamento. A largura do arco de fluxo livre consiste na soma das larguras das faixas de rolamento adicionados 3 m de cada lado – relativos ao efeito da passagem dos veículos na dispersão. A largura dos arcos de fila consiste somente na soma das larguras das faixas de rolamento, já que não há o efeito da passagem dos veículos.

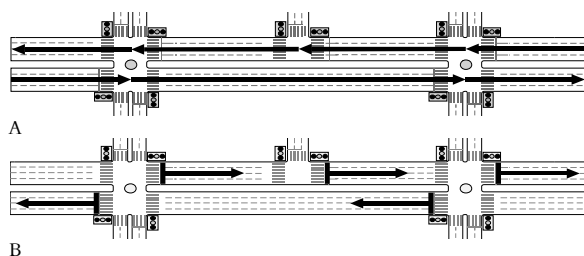


Figura 3. Arcos de fluxo livre (A) e arcos de fila (B).

No total, a rede simulada compreende 215 arcos de fluxo livre e 110 arcos de fila (Figura 4). Como o número total de arcos supera o limite original de 120 arcos do CAL3QHC, foi usada a versão adaptada do modelo que acompanha o pacote do CalRoads View, que permite um número de arcos definido pelo usuário.

Por ser a região central da cidade, o comprimento da rugosidade da superfície (Z_0) adotado foi de 400 cm, correspondente à opção *central business district* do modelo. Como receptores, foi adotado um *grid* com dimensões de 50 x 30 receptores (1.500 receptores no total), conforme ilustrado na Figura 4. Estes receptores foram localizados a uma altura de 1,80 m de altura. O modelo CAL3QHC permite o uso de dados sobre a concentração ambiente de cada poluente, ou seja, a concentração do local no início da simulação. Como não estão disponíveis estudos sobre a concentração ambiente de CO para a área de estudo, esta será adotada como nula, de forma que toda concentração de CO estimada é resultado das emissões dos veículos que transitam na rede estudada durante o período simulado.

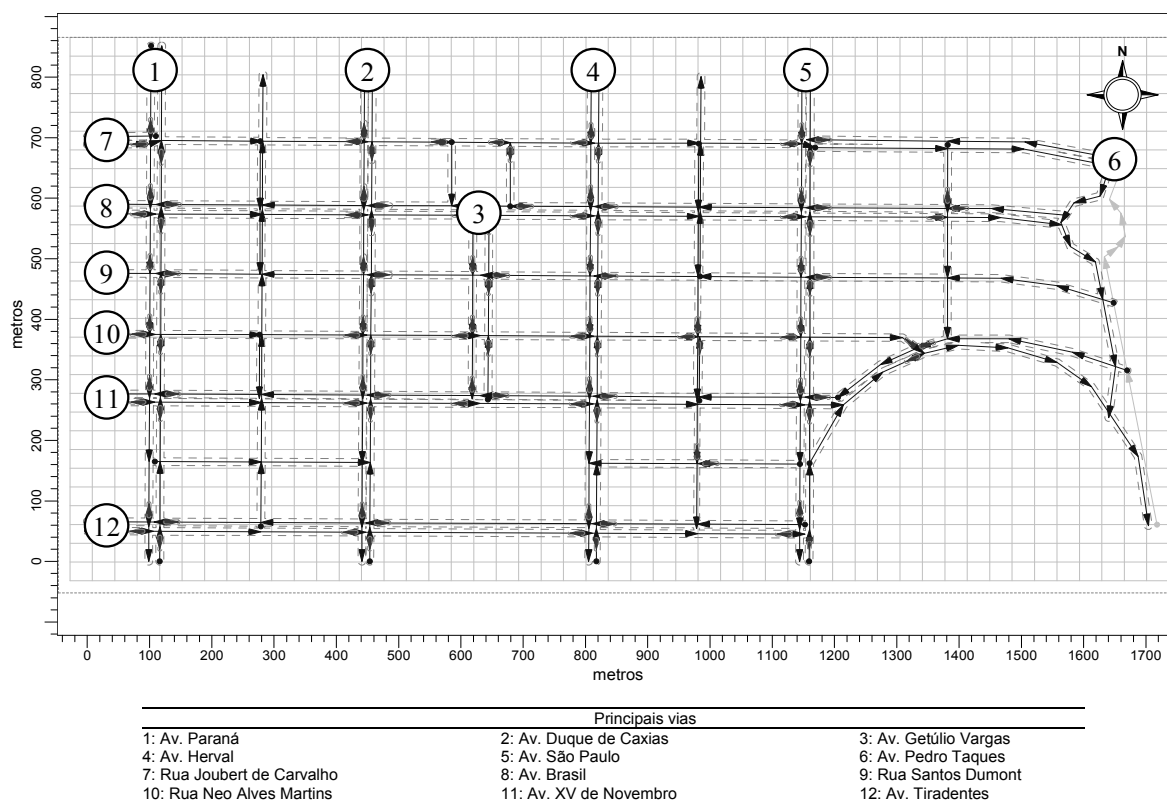


Figura 4. Rede estudada.

Parâmetros do tráfego local

Os parâmetros do tráfego necessários para o CAL3QHC compreendem o fluxo de tráfego, o fluxo de saturação, a velocidade de fluxo livre, o tempo de ciclo do semáforo e o tipo de aproximação dos veículos nas filas dos semáforos. O fluxo de tráfego usado foi obtido a partir do levantamento realizado na região central da cidade pela Secretaria Municipal de Transportes – Setran, no ano de 1999. Este levantamento consistiu em uma contagem volumétrica horária simples em 50 interseções realizadas no período das 6 às 22h, entre segundas e sextas, e no período das 6 às 14h aos sábados.

Em Demarchi et al. (2004), estes fluxos horários foram analisados para a identificação dos horários em que um maior número de picos era observado nas interseções, e o horário das 13 às 14h apresentou as maiores frequências. Desta forma, foram usados neste trabalho os fluxos referentes ao período das 13 às 14h. Como estes dados são referentes ao ano de 1999, foi necessário projetar estes valores para o ano de 2005. Para isto, utilizou-se o crescimento da frota de Maringá e do Estado apresentados na Tabela 1 (DETRAN-PR, 2006). Com base nestes dados foi adotado, por simplificação, um crescimento anual da frota de 7%, o que corresponde a um aumento em torno de 50% em relação aos valores originais de 1999.

Tabela 1. Crescimento da frota.

Ano	Paraná		Maringá	
	Total	Automóveis	Total	Automóveis
2001	7,69%	7,18%	-	-
2002	7,37%	6,49%	-	-
2003	7,76%	6,19%	8,42%	6,09%
2004	8,62%	7,06%	7,55%	4,76%
2005	7,86%	6,39%	6,57%	4,96%
Média	7,86%	6,66%	7,51%	5,27%

fonte: formulação própria com base em Detran-PR (2006).

Para a estimativa do comprimento de fila são necessários os dados do fluxo de tráfego em cada arco e dados do fluxo de saturação, do tempo de ciclo de cada semáforo e o tipo de aproximação dos veículos. Para o fluxo de saturação, foi adotado o valor de 2.102 cpe h⁻¹ faixa⁻¹, determinado em Colella et al. (2005) para a região central da cidade de Maringá, Estado do Paraná. As informações dos tempos de ciclo dos semáforos foram obtidas junto à Secretaria dos Transportes (Setran). Como não há estudo disponível para a cidade que caracterize o tipo de aproximação dos veículos nos semáforos, o tipo de aproximação adotado foi o de progressão média, o que corresponde a uma aproximação aleatória na classificação do Highway Capacity Manual (HCM) de 1985 (EPA, 1995).

Fatores de emissão

O CAL3QHC necessita dos fatores de emissão para um veículo composto da frota na velocidade de fluxo livre e parado em funcionamento. Em Epa (1995), é recomendado que estes fatores de emissão sejam estimados usando a versão mais recente do modelo de fator de emissão da EPA americana. Este procedimento, contudo, implica em fatores de emissão que não refletem as emissões dos veículos brasileiros em função das diferenças entre as tecnologias dos motores, a manutenção dos veículos e os combustíveis utilizados.

A base de dados de fatores de emissão para veículos brasileiros se restringe a fatores médios, como os do relatório anual para veículos novos da Cetesb (2007). Em Epa (1995), é sugerido que o fator de emissão do veículo composto seja determinado para a velocidade de fluxo livre da região analisada, que tende a ser significativamente superior ao valor da velocidade média do ciclo FTP (Federal Test Procedure) em que os fatores de emissão da Cetesb são determinados. De fato, a velocidade do veículo tem impacto significativo nas emissões de CO e CO₂, como pode ser visualizado em André e Hammarström (2000). Além disso, deve ser observado que para a determinação do fator de emissão dos veículos parados em fila é necessário um fator de emissão para o veículo neste modo de funcionamento do motor.

A emissão dos veículos parados tem participação significativa no CO total emitido e os fatores médios da Cetesb são para veículos novos. Assim, a alternativa adotada neste trabalho foi a de utilizar o modelo de emissão CMEM (BARTH et al., 2000) com a metodologia de adaptação à frota local feita por Lima (2007). Para os veículos parados em fila, o fator de emissão de CO obtido no CMEM foi 90,10 g h-veículo⁻¹. Para o fator de emissão dos veículos em movimento, foi utilizada a velocidade de fluxo livre de Colella et al. (2005) de 58,9 km h⁻¹, resultando num valor do fator de emissão de CO de 8,48 g mi⁻¹.

Parâmetros meteorológicos

Os parâmetros meteorológicos compreendem o sentido e a velocidade do vento, a classe de estabilidade e a altura de mistura. Os dados sobre a direção e a velocidade do vento para a cidade de Maringá no ano de 2004 foram obtidos junto ao Instituto Tecnológico Simepar. Estes dados foram compilados no formato *Source Met Data* (SAMSON) para serem importados no programa WRPLOT

View. Por meio deste, os dados foram agrupados em classes compatíveis com as classes de vento de Pasquill e então analisados para o horário das 13 às 14h (Tabela 2). A análise dos dados demonstra que a predominância dos ventos é do sentido Nordeste-Sudoeste (22,05%) e velocidade de 3 a 5 m s⁻¹ (30,00%), com uma condição predominante correspondente a 7,53% do total.

Tabela 2. Classes de vento predominantes para o horário analisado no ano de 2005.

Sentido	Classes de vento [m s ⁻¹]					Total (%)
	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-6,0	≥6,0	
N-S	6,58	4,38	4,79	2,05	2,05	19,86
NE-SO	5,34	4,66	7,53	2,47	2,05	22,05
L-O	3,29	4,93	4,93	1,23	0,55	14,93
SE-NO	2,47	2,88	1,37	0,27	0,00	6,98
S-N	2,60	2,47	1,64	0,68	0,14	7,53
SO-NE	2,05	1,23	3,15	0,27	0,14	6,85
O-L	2,19	2,74	1,37	0,27	0,27	6,85
NO-SE	2,19	2,47	5,21	1,37	1,51	12,74
Subtotal	26,71	25,75	30,00	8,63	6,71	97,67
Calmaria						2,33

Para caracterizar a turbulência e as propriedades dispersivas da atmosfera, o CAL3QHC adota as classes de estabilidade de Pasquill-Gifford, apresentadas na Tabela 3. A determinação da classe de estabilidade depende da velocidade do vento e da radiação solar durante o dia e, durante a noite, da fração de cobertura de nuvens. Para este trabalho, foi adotada a velocidade de vento de 1 m s⁻¹, correspondente ao pior caso. Como esse valor de velocidade está entre 0,5-2,0 m s⁻¹, foram adotadas como referência as frequências deste intervalo para cada direção de vento. Neste trabalho, será adotada a situação mais desfavorável para o período diurno, que é o de tempo nublado, que corresponde à classe de estabilidade D.

Tabela 3. Classes de estabilidade de Pasquill-Gifford.

Vento superficial [m s ⁻¹]	Insolação			Nebulosidade	
	durante o dia			durante a noite	
	Forte	Moderado	Leve	≥ 4/8	≤ 3/8
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A: Extremamente instável

D: Neutra

B: Moderadamente instável

E: Levemente estável

C: Levemente instável

F: Moderadamente estável

Nota: a condição neutra D deve ser selecionada em dias e noites nublados.

A altura de mistura compreende espessura da camada turbulenta adjacente ao solo e é um parâmetro-chave para modelos de poluição do ar, pois determina o volume disponível para a dispersão de poluentes. A altura da Camada Limite Planetária (CLP) varia com fatores como o tempo, a localização

geográfica e o ciclo diário de aquecimento e resfriamento da superfície terrestre. De acordo com Seibert et al. (2000), a altura de mistura não é medida por meio de práticas meteorológicas comuns, sendo geralmente um parâmetro não disponível, obtido por métodos práticos cuja definição e estimativa não são simples. Como não existem, até o momento, estudos para a cidade de Maringá, Estado do Paraná, sobre a altura de mistura e o modelo CAL3QHC apresenta somente uma sensibilidade considerável para valores de altura de mistura inferiores a 100 m (EPA, 1995), será adotado o valor de 1.000 m sugerido pelo manual do CAL3QHC.

Resultados e discussão

A Tabela 4 apresenta os valores da concentração de pico de CO obtidas em cada simulação. A concentração máxima de CO (4,80 ppm) foi observada no sentido de vento Norte-Sul. Além de apresentar a maior concentração, este sentido de vento também é o predominante no horário analisado. Assim, este sentido de vento se caracteriza como sendo o mais desfavorável à dispersão na região central para o fluxo de tráfego considerado. A análise das concentrações dos veículos em fila e em movimento demonstra a grande participação dos veículos parados nas filas formadas nos semáforos no valor total. A maioria dos valores máximos da concentração total da Tabela 4 foi observada em interseções da Avenida Duque de Caxias.

Tabela 4. Concentração máxima de CO (ppm) 60 min.⁻¹★.

Sentido	Ventos	Fluxo livre	Fila	Todos os arcos
	Frequência			
N-S	6,58%	1,40	3,80	4,80
NE-SO	5,34%	1,40	3,50	4,50
L-O	3,29%	1,60	2,20	2,90
SE-NO	2,47%	1,40	3,40	4,20
S-N	2,60%	1,40	3,60	4,50
SO-NE	2,05%	1,30	1,50	2,40
O-L	2,19%	1,60	1,90	3,20
NO-SE	2,19%	1,20	1,70	2,70

★Limite máximo de 35 ppm para 1h segundo Resolução Conama nº 03/90.

Para analisar a concentração de CO na área de estudo, foram traçados três mapas de concentração para a direção de vento predominante, Norte, correspondentes à consideração de todos os arcos (Figura 5), somente arcos de fluxo livre (Figura 6) e somente arcos de fila (Figura 7). Na Figura 5, é possível notar uma região que se destaca pela maior concentração de CO, localizada sobre a Avenida Duque de Caxias. Isto se deve, provavelmente, ao fato desta via ser importante ligação Norte-Sul da

cidade, apresentando intenso fluxo de veículos e pedestres no horário analisado.

No caso da consideração de somente arcos de fluxo livre (Figura 6), é possível notar pequenas regiões de concentração nula, formadas pela distância entre as vias, diferente das ilhas de concentração observadas na Figura 5.

A Figura 7 apresenta a concentração de CO pelas emissões de veículos parados nas filas dos semáforos. Neste caso, são formadas ilhas de concentração de CO nas interseções, principalmente nas mais movimentadas. Destaca-se, novamente, a Av. Duque de Caxias, onde foi observada a maioria dos picos de concentração da Tabela 4.

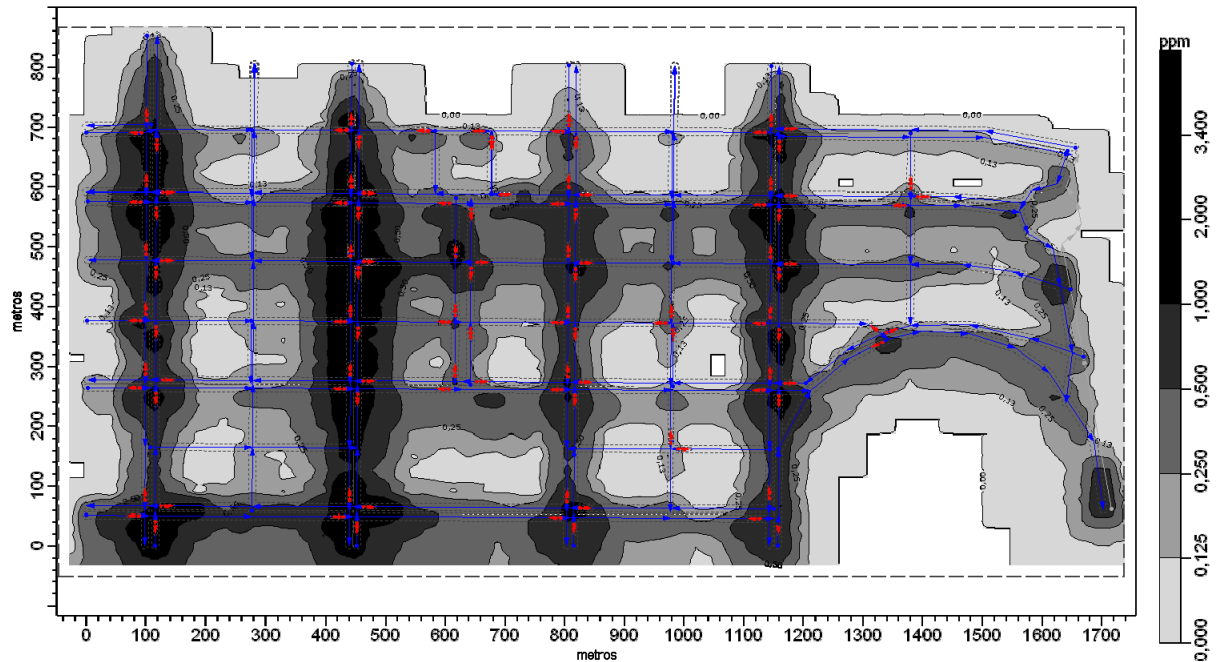


Figura 5. Concentração de CO considerando veículos parados e em movimento.

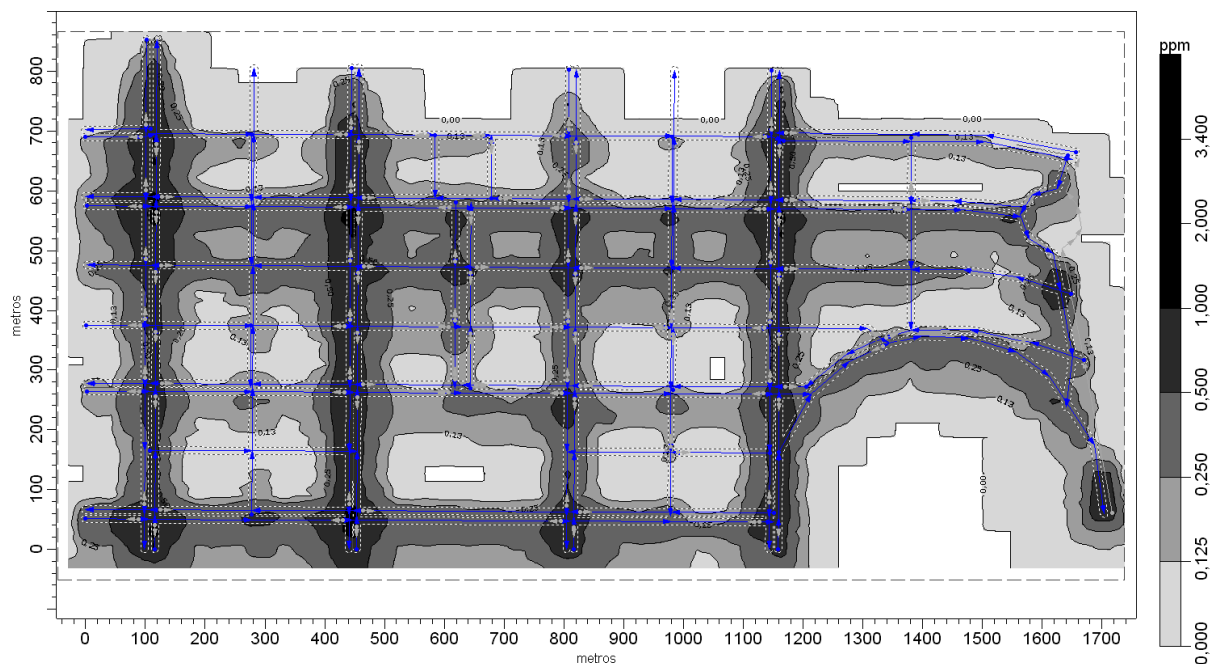


Figura 6. Concentração de CO considerando veículos em movimento.

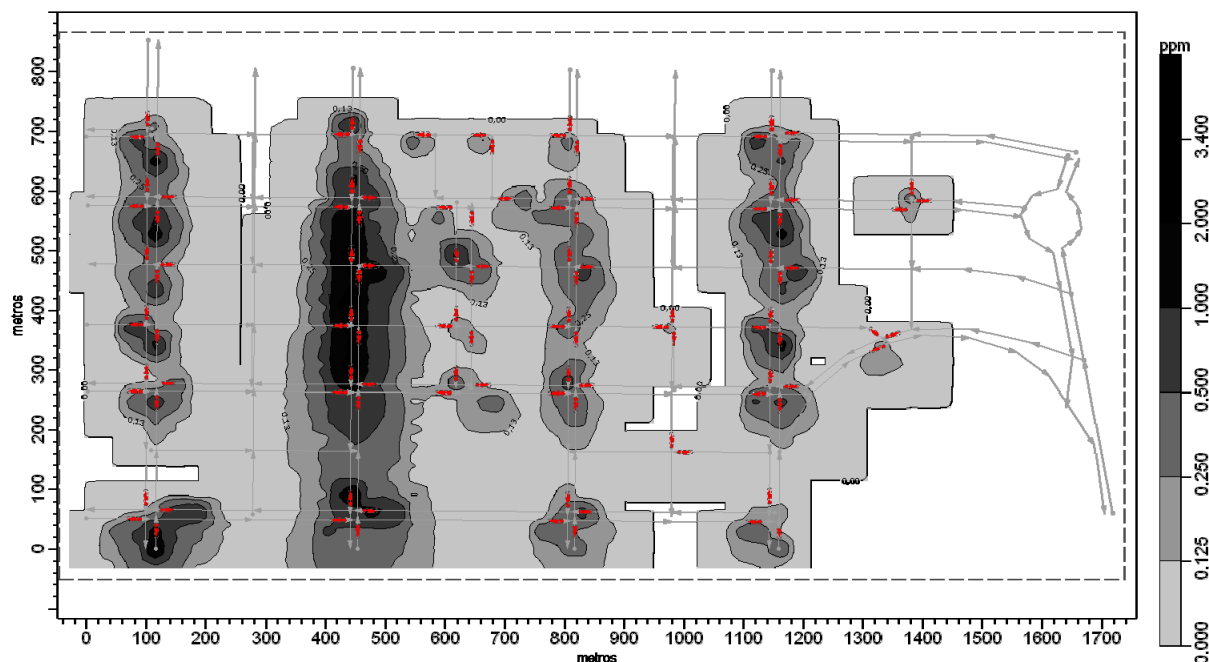


Figura 7. Concentração de CO considerando veículos parados.

Conclusão

Neste trabalho, as emissões de monóxido de carbono de veículos leves foram estimadas para a região central da cidade de Maringá, Estado do Paraná, utilizando o modelo de dispersão CAL3QHC pela interface CalRoads View. Em relação às concentrações obtidas, observou-se que o sentido de vento mais frequente para a velocidade analisada, Norte-Sul, contribui com o valor mais alto de concentração (4,80 ppm). As maiores concentrações ocorreram em sua maioria sobre a Avenida Duque de Caxias, que possui grande fluxo de veículos e pedestres no horário analisado, o que caracteriza esta avenida como a mais crítica na qualidade do ar na região analisada.

Estes picos de concentração na Duque de Caxias, assim como os demais observados, se localizam na região das interseções com semáforo. Os mapas de concentração de CO permitiram visualizar o impacto dos veículos parados em fila na região das interseções, demonstrando a importância da consideração deste modo de operação nas análises da emissão proveniente do tráfego urbano, principalmente no caso estudado, que apresenta considerável número de interseções com semáforo. As possíveis medidas para a redução das emissões de CO pelas paradas nos semáforos envolvem a redução do tempo de parada dos veículos e a substituição dos semáforos por rotatórias, este último mais eficiente, mas difícil de implementar na área estudada. Outra alternativa seria o incentivo ao uso de transporte coletivo por meio de campanhas e

de melhorias no serviço, o que poderia levar à uma redução no fluxo de veículos em uso e, consequentemente, nas emissões.

O modelo de dispersão linear CAL3QHC se mostrou adequado à análise da malha viária com semáforos da região central de Maringá pela disponibilidade de dados relativos ao tráfego, a meteorologia e fatores de emissão de CO. A adoção do modelo em outros centros urbanos ficaria restrita à altura dos edifícios na região a ser analisada e a disponibilidade de parâmetros meteorológicos e do tráfego, além dos fatores de emissão nos modos de operação do motor requeridos pelo modelo. Contudo, para melhor estimativa seriam necessárias ainda algumas adaptações. Neste trabalho, foram adotados fatores de emissão estimados por meio de um modelo de emissão modal adaptado à frota local. Como os fatores de emissão influenciam de forma significativa no resultado final, a determinação de fatores de emissão reais que permitissem a validação desta adaptação do modelo permitiria uma proximidade maior ao cenário real.

Outra consideração é em relação ao comprimento de fila. Apesar do valor do espaçamento entre veículos para Maringá ser muito próximo ao adotado pelo modelo CAL3QHC, uma análise do algoritmo de estimativa de comprimento da fila permitiria validar o comprimento estimado pelo modelo. No caso da necessidade de alterações no algoritmo, isso seria possível, já que o código do modelo CAL3QHC é aberto. Por fim, o uso de um modelo de dispersão necessita da validação pela

amostragem. Neste sentido, um estudo para a cidade permitiria realizar a validação o modelo de dispersão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pela concessão de bolsas de doutorado e de produtividade, à Setran e à Lakes Environmental.

Referências

- ANDRÉ, M.; HAMMARSTRÖN, U. Driving speeds in Europe for pollutant emissions estimation. **Transportation Research Part D**, v. 5, n. 5, p. 321-335, 2000.
- BARTH, M.; AN, F.; YOUNGLOVE, T.; SCORA, G.; LEVINE, C.; ROSS, M.; WENZEL, T. **Comprehensive modal emission model (CMEM)**. Version 2.0, user's guide. Riverside: University of California, 2000.
- BENSON, P. E. **CALINE3** – A versatile dispersion model for predicting air pollutant levels near highways and arterial streets. FHWA-CA-TL-79-23. Sacramento: California Department of Transportation, 1979.
- BENSON, P. **CALINE4** – A dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways. FHWA/CA-TL-84/15. Sacramento: California Department of Transportation, 1984.
- CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2006**. São Paulo: Cetesb, 2007.
- COELHO, M. C.; FARIAS, T. L.; ROUPHAIL, N. M. Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions. **Transportation Research Part D**, v. 10, n. 4, p. 323-340, 2005.
- COLELLA, D. A. T.; LIMA, E. P.; DEMARCHI, S. H. Calibração e validação do modelo fluxo-velocidade do integration para vias urbanas semaforizadas. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE (Org.). **Transporte em Transformação**. Brasília. Confederação Nacional do Transporte; LGE, 2005, p. 101-121.
- DAVIES, G. B.; THÉ, J. The need for air dispersion modeling. In: INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY CONFERENCE ON SUSTAINABLE TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2006. Coimbatore. **Proceedings...** Coimbatore: ICSTEP, Índia, 2006.
- DEMARCHI, S. H.; BERTONCINI, B. V.; LIMA, E. P. Estimativa de uma matriz O-D sintética para a região central de Maringá utilizando o queensod. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 18., 2004, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Anpet, 2004. v. 2, p. 844-855.
- DEMARCHI, S. H.; COLELLA, D. A.; BERTONCINI, B. V. Determinação da densidade de congestionamento em filas de interseções semaforizadas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 17., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2003. v. 1, p. 476-488.
- DETRAN-PR. **Frota cadastrada no município de Maringá** – posição dezembro de 2005. Curitiba: Departamento de Trânsito do Paraná, Divisão de Estatística, 2006.
- EPA-Environmental Protection Agency. **CAL3QHC Version 2.0**. A modeling methodology for predicting pollutant concentrations near roadway intersections. Durham: US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, 1995.
- FHWA. **Transportation conformity reference guide** – Section F – Chapter 14, Federal highway administration. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/conformity/ref_guid/chap14.htm>. Acesso em: 16 jun. 2006.
- LIMA, E. P. **Análise da emissão de poluentes automotivos na cidade de Maringá**. 2007. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.
- MISHRA, K. V.; PADMANABHAMUTRY, B. Performance evaluation of CALINE3, CAL3QHC and PART5 in predicting lead concentration in the atmosphere over Delhi. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 22, p. 3077-3089, 2003.
- SEIBERT, P.; BEYRICH, F.; GRYNING, S.; JOFFRE, S.; RASMUSSEN, A.; TERCIER, P. Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. **Atmospheric Environment**, v. 34, n. 7, p. 1001-1027, 2000.
- TURNER, D. B. **Workbook of atmospheric dispersion estimates**. North Carolina: US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, 1970.
- ZHOU, H; SPERLING, D. Traffic emission pollution sampling and analysis on urban streets with high-rising buildings. **Transportation Research Part D**, v. 6, n. 4, p. 269-281, 2001.

Received on August 28, 2008.

Accepted on November 27, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.