

# Cálculo de Concentração Média de Monóxido de Carbono (CO) através do Modelo Matemático, em Ruas Cercadas de Prédios (Street Canyon) como Exemplos: Av. Paulista (SP), Av. Rio Branco (RJ) e o Estudo em Especial do Túnel Rebouças no Rio de Janeiro.

Carlos Fernando Lemos

Luiz Fernando Mattos

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Cachoeira Paulista - SP - Brasil

## Abstract

In this study, the goal is to calculate the carbon monoxide averaged concentration ( $C_T$ ) on the intense traffic ways of the big cities, as Av. Paulista (São Paulo), Av. Rio Branco and specially, Rebouças Tunnel (Rio de Janeiro) study. The mathematical method showed  $C_T$  by each 200 meters into the wide of 2-3 meters from the transit vehicle. In the tunnel, the air quality control was simulated with(without) forced ventilation wich presented 6(8) daily hours of air poor quality.

## 1 Introdução

Este estudo tem como objetivo calcular a concentração média de monóxido de carbono em vias de intenso tráfego das grandes cidades tais como : Av. Paulista (SP), Av. Rio Branco (RJ) e um estudo de caso em especial o Tunel Rebouças (o maior tunel urbano da America Latina) no Rio de Janeiro.

O cálculo básico é de um Modelo Matemático, calculando a concentração média de monóxido de carbono a cada 200 m, a uma distância lateral entre 2 e 3 metros ao veículo em trânsito.

## 2 Metodologia

Alguns parâmetros foram utilizados tais como: velocidade média dos veículos na Avenida (Km/h), fluxo de tráfego (veículos/hora), largura da via (m), média espacial de emissão de monóxido de carbono dos veículos (ppm), velocidade do vento no topo dos edifícios (m) e no nosso caso o topo do Túnel (baseado na velocidade do ventiladores) e a concentração média de monóxido de carbono em "background" (ppm).

O cálculo básico do modelo está baseado no cálculo da concentração total  $C_T$  e o somatório da média espacial e local  $DC_1$

$$C_T = C_a + DC_T \quad (1)$$

Jonhson et al. (1976) usou um método de estimativa de que a velocidade do vento seria paralelo a linha dos topos dos edifícios ou do Túnel, de acordo com a Figura 1.

A equação básica de cálculo da concentração ( $DC_1$ ) no "Street Canyon ou Túnel" será:

$$DC_1 = 0,1 K.N.S^{-0.75} (u+0.5)[(X^2 + Z^2)^{1/2} + 2]$$

lado do veículo (2)

$$DC_2 = 0,1 K.N.S^{-0.75} W (u+0.5)$$

lado oposto do veículo (3) ou

$$DC_2 = \frac{Q_i \cdot \exp(-H^2 / 2.P_z^2)}{(2/\pi)^{1/2} u.P_z \text{ seno } \theta}$$

Em que:

DC = concentração de monóxido de carbono ( ppm)

N = fluxo de veículos ( veículos/hora)

S = velocidade média dos veículos (Km/h)

u = velocidade do vento no topo dos edifícios e no topo do túnel (m/s)

w = largura da via expressa ( m)

x and y = distância horizontal e altura(m) do ponto receptor relativo a linha central de tráfego

K = constante admencional que será sempre K= 7 sugerido por Johnson (1976), no caso, as direções do vento estarão paralelas a via expressa.

d = Distância perpendicular do veículo ao receptor.

$Q_1$  = Média Espacial de emissão de CO ( ppm)

$P_z$  = 3 metros (constante). Altura efetiva sem a influência da turbulência provocadas pelos veículos.

$\theta$  = O ângulo entre a direção do vento provocado pelos veículos e a via ( 90 °)

H = Altura efetivas de emissão (Constante 2,5 m)

A média final será :

$$DC_T = \frac{1}{2} ( DC_1 + DC_{2m} )$$

As equações (2) e (3) são subjetivas devido ao calculo médio de emissão de CO (Monóxido de Carbono) de cada veículo que transitou na via.

O calculo de concentração foi dada a cada 200 m do túnel Rebouças, cerca de 48% dos automóveis que circulam diariamente pelo Túnel Rebouças são movidos a alcool e 52% movidos a gasolina com uma frota de 25% de carros novos com catalizadores. Somente 2% são considerados veículos pesados que é o transporte coletivo (Onibus), pois é expressamente proibido o tráfego de veículos pesados com caminhão.

A média de emissão dos veículos leves brasileiros em g/Km são: veículos anteriores a 1980: 54,0 g/km, de 1981 a 1990: 25 g/km, de 1991 a 1994 : 16 g/km

Os efeitos da exposição de seres humanos ao monóxido de carbono estão associados à capacidade de transporte de oxigênio na combinação com a hemoglobina do sangue, sabe-se a afinidade da hemoglobina pelo monóxido carbono é cerca de 210 vezes maior que pelo oxigênio, fazendo com que a capacidade de transporte do oxigênio seja reduzida no sangue.

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, sem cheiro, com densidade menor que o ar, produzido pela combustão incompleta de material organico ou carbonácio, os automóveis são responsáveis por 75% da produção do CO.

## Dados Técnicos do Túnel Rebouças

- A Capacidade projetada foi de 76 mil veículos/dia, o tráfego atual (1994) médio é de 150 mil veículos/dia.
- Comprimento: 2040 metros primeira galeria e segunda galeria 800 metros com total de 2840 metros.
- Segue a tabela dos níveis de monóxido de carbono no Túnel no período de 24 horas calculado pelo modelo matemático.

Os dados técnicos do Túnel Rebouças foram adquiridos pela Secretaria de Transito do Municipio do Rio de Janeiro.

Tabela 1 Dados calculados pelo modelo com e sem ventilação forçada durante o periodo de 24 horas.

Hora do dia	Com vent	Sem vent
1	65	75
2	64	77
3	65	79
4	69	70
5	72	82
6	75	94
7	80	97
8	92	99
9	105	115
10	145	180
11	175	197
12	195	259

Hora do dia	Com vent	Sem vent
13	180	229
14	80	310
15	50	326
16	87	331
17	112	355
18	114	359
19	124	338
20	125	236
21	103	200
22	102	171
23	75	99
24	65	86

## 3 Considerações e Limitações do Modelo.

O modelo calcula o nível de monóxido de carbono, visando simular o que na realidade poderá ocorrer. O comportamento de outros gases e partículas no local simulado poderá sofrer transformações físicas e/ou químicas que o modelo não simularia. Esta simples modelo indica somente o comportamento ( concentração de CO), não indicando poluentes reativos, isto é, considerando que não haja transformações de gases para núcleos gasosos e outros poluentes.

## 4 Resultados

O nível de monóxido de carbono mantém a níveis toleráveis das 00:00 às 9:00 horas e voltando novamente das 17:00 às 00:00 horas, este nível não poderá ultrapassar 123 ppm durante 60 minutos, nível este permitido pela Federal Highway Administration dos USA, acima destes limites o Túnel Rebouças deverá ser fechado até que os níveis alcancem os limites toleráveis.

O maior nível alcançado foi às 12:00 horas com 195 ppm com ventiladores ( $u = 11\text{ m/s}$ ) e sem ventiladores ( $u = 0$ ) o nível maior nível foi de 359 ppm às 18:00 horas ( Tabela 1 e Gráfico 1).

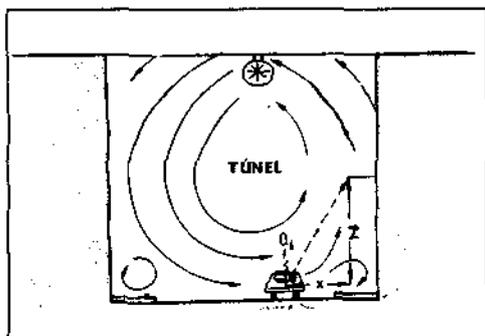
Os horários de "rush" que são entre 9:00 e 12:00 horas e 17:00 e 20:00 horas a média do fluxo de veículo esteve entre 6.000 e 7.000 veículos por hora.

O nível de CO sem ventilação divergiu com o nível de ventilação forçada a partir das 12:00 horas devido a concentração em "background" no interior do túnel, mesmo com a ventilação provocada pelos próprios veículos (efeito pistão), o nível de concentração volta a diminuir somente após 6 horas sem os ventiladores ligados.

Após às 9:30 horas os dois cálculos de concentração: o de ventilação forçada e o de ausência de ventilação, apresentaram valores acima de 123 ppm exigido pela Federal Highway Administration dos USA, no de ventilação forçada retorna a valores aceitáveis às 13:30 horas, no de ausência de ventilação retorna somente às 22:50 horas, após um pico de quase 360 ppm, 293% acima do nível tolerável. Segundo o COMANA em ambientes ventilados (ar livre) os valores que estiverem acima de 40 ppm são considerados casos de emergência, mas para túneis o critério exigido é de 123 ppm em 60 minutos.

Graficamente observa-se que houve uma queda acentuada da concentração e dois veículos entre às 13:00 e 14:00 horas ( período que geralmente ocorre o almoço, porém não se pode tirar conclusões com somente dados de um único dia : 06 de maio de 1994).

A qualidade do ar no interior do túnel esteve dentro do padrões normais aceitos somente 1/3 do período de 24 horas (8 horas) na simulação sem ventilação, na simulação com ventilação forçada a qualidade do ar melhorou em muito ficando somente 6 horas com níveis acima do permitido.



Linha de Tráfego

Figura 1 Esquema do Túnel com a circulação interna provocada pelos veículos

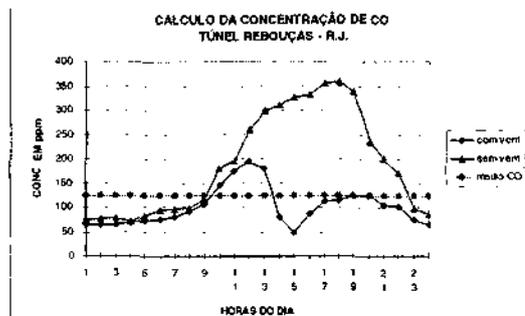


Gráfico 1. Cálculo de concentração de CO Comparação entre as concentrações com e sem ventilação e limite máximo permitido.

## 5 Bibliografia.

- Goes, S. C. R, Manual de Toxicologia do Refino de Petróleo - Programa de toxicologia Industrial, 1991, pp. 39-40.
- Derisio, C. J, Introdução ao Controle de Poluição Ambiental, 1992, CETESB.
- Hanna, R. S., Briggs A. Gary, Hosker, Jr. R. P., Handbook on Atmospheric Diffusion, 1982, Technical Information Center, U.S Department of Energy.
- Halitsky, J., 1963, Gas Diffusion near Buildings, ashrae Trans., 69:464-485.

Barry, P. J., 1964, Estimation of Downwind Concentration of Airborne Effluents Discharged in the Neighborhood of Building, Report AECL-2043, Atomic Energy of Canada, Ltd., Chalk River, Ontario.

# Uma Comparação entre um Modelo Gaussiano e a Equação de Difusão no Cálculo da Concentração de Poluentes na Camada Limite Convectiva

G.A. Degrazia

D.M. Moreira

Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria

H.R. Friedrich

Departamento de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria 97119-900, Santa Maria, RS

## Abstract

In this work two different models are used in order to predict ground level concentrations due to elevated sources in a continuous convective boundary layer (CBL). The first model is the advection-diffusion equation with the application of the Laplace transformation and Gaussian Quadrature method and the second is an update Gaussian model. The advection-diffusion equation is closed using eddy diffusivities proposed by Degrazia et alii (1994) and Holtslag-Moeng (1991).

With the utilization of the observations of ground-level concentrations, collected in Copenhagen (Gryning et alii, 1987), the performance of the advection-diffusion equation model are evaluated against the update Gaussian model. Although the prediction of the Gaussian Model attained to a good concordance with observed ground-level concentrations, statistical indices indicates that better results are obtained with those proposed by advection-diffusion equation.

## 1 Introdução

Os problemas ambientais causados pelo rápido desenvolvimento industrial e tecnológico têm levado, nas últimas décadas, à investigação da dispersão e do transporte de poluentes na atmosfera. Esta investigação é uma atividade fundamental na proteção da qualidade do ar. A partir da estimativa do campo de concentração de contaminantes próximo à fonte é possível avaliar o impacto ambiental causado e agir no sentido de solucionar o problema da forma mais conveniente.

O estudo da dispersão de poluentes na Camada Limite Convectiva (CLC) é especialmente importante no caso de emissões a partir de fontes elevadas, pois estas geralmente contribuem para a máxima concentração ao nível do solo durante a convecção.

Neste trabalho, resolve-se a equação da difusão e advecção analiticamente e obtêm-se a concentração superficial de contaminantes emitidos na CLC. Pelo emprego de observações de concentrações superficiais realizadas na cidade de Copenhagen (Gryning et alii, 1987), a performance do presente modelo é confrontada com a de um modelo Gaussiano atualizado.

## 2 Método de Solução da Equação de Difusão e Advecção

Integrando-se lateralmente a equação da difusão e advecção e desprezando-se a difusão logitudinal em comparação ao transporte médio obtêm-se:

$$U \frac{\partial c^y}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial c^y}{\partial z} \right) \quad (2.1)$$

onde  $c^y$  é a concentração média integrada lateralmente.

Considera-se uma CLC, de altura  $Z_i$ , como sendo uma superfície multicomposta de diversas regiões  $n$ . O problema de difusão vertical é resolvido considerando-se as fronteiras da superfície da terra e o topo da CLC. A altura  $Z_i$  foi dividida em regiões de 50 m cada, considerando-se um contato perfeito entre elas, com as seguintes condições de contorno:

$$U c_n^y(0, z) = Q \delta(z - z_i) \quad (2.2)$$

$$c_n^y = c_{n+1}^y \quad (2.3)$$

$$K_n \frac{\partial c_n^y}{\partial z} = 0 \quad \text{em } z = 0 \text{ e } z = Z_i \quad (2.4)$$

$$K_n \frac{\partial c_n^y}{\partial z} = K_{n+1} \frac{\partial c_{n+1}^y}{\partial z} \quad (2.5)$$