

QUALIDADE DO AR

ANÁLISE DA DISPERSÃO DE CO, NO₂ E PTS EMITIDOS POR UM FRIGORÍFICO DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

Micheli Ferreira – michelilunkes@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira

Silmar Antonio Lunkes – silmarlunkes@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira

1. RESUMO

O estudo da qualidade do ar e da dispersão de poluentes são muito importantes, pois as emissões atmosféricas podem afetar diretamente a saúde da população local, regional e até mesmo da população global. Dessa forma, analisou-se as emissões de partículas totais em suspensão (PTS), monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) emitidos por um frigorífico localizado na região oeste do Paraná, utilizando o modelo gaussiano, e verificou-se se as concentrações nas coordenadas escolhidas estavam dentro do permitido pela Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/90, observando-se que em algumas coordenadas escolhidas para o poluente NO₂, a concentração estava acima do padrão primário estabelecido pela referida resolução, sugerindo-se então, algumas propostas para o tratamento dessas emissões afim de não afetarem a saúde da população circunvizinha.

Palavras-chave: Emissões Atmosféricas, Concentração de Poluentes, Modelo Matemático.

2. OBJETIVO

A poluição do ar pode ser definida como a presença de um ou mais contaminantes na atmosfera, em quantidades e duração tais que sejam prejudiciais ao ser humano e ao meio ambiente (VIANELO; ALVES 1991).

Dentre os principais poluentes atmosféricos em gases de combustão, pode-se citar o material particulado (MP), o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (dentre eles o NO₂), entre outros (CARVALHO; LACAVA, 2003).

O dióxido de nitrogênio (NO₂) é um gás marrom avermelhado com odor forte e muito irritante. Pode formar ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos. É gerado na combustão em veículos automotores, processos industriais em geral, usinas termoelétricas e incineração. Leva à formação da chuva ácida e a danos na vegetação (CETESB, 2009).

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro, e insípido, gerado pela combustão incompleta. Em altas concentrações, afeta os reflexos humanos. Após sofrer oxidação completa gera o dióxido de carbono (CO₂), causador do aumento do efeito estufa. (LUCON, 2003). As principais fontes emissoras de CO são os veículos automotivos, aquecedores a óleo, queima de tabaco, churrasqueiras e fogões a gás (CETESB, 2009).

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, com tamanho inferior a 100 µm, suspensos na forma de poeira, neblina, aerossóis, fumaça

ou fuligem. (CETESB, 2009). Suas fontes principais são os processos industriais, exaustão de veículos motorizados, poeira de rua em suspensão e queima de biomassa. Leva ao desenvolvimento de doenças respiratórias e pulmonares (LUCON, 2003).

Segundo a CETESB (2009), o material particulado segue a seguinte classificação: Partículas Totais em Suspensão (PTS) que são definidas como aquelas cujo diâmetro é menor que 50 μm e Partículas Inaláveis (MP10) que são definidas como aquelas cujo diâmetro é menor que 10 μm .

Para Curbani e Radaeli (2006), dispersão atmosférica é um termo usado tecnicamente para definir o transporte turbulento de uma substância na atmosfera pelos fenômenos de transportes de convecção e difusão.

De acordo com Franco (2005), os modelos de dispersão são divididos em: modelos numéricos, modelos estatísticos, modelos físicos e modelos gaussianos.

Os modelos gaussianos são baseados numa equação simples que descreve um campo de concentração tridimensional, gerado por uma fonte pontual sobre condições de emissão e meteorológicas estacionárias, sendo utilizados para estimar impactos e concentrações de poluentes (FRANCO, 2005).

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é analisar as concentrações de PTS, NO_2 e CO , em coordenadas/pontos pré-definidos, de um frigorífico localizado na região oeste do Paraná – Brasil, e defrontar com a legislação vigente que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, levando em consideração o padrão primário desses poluentes.

3. METODOLOGIA

Nas imediações do frigorífico, que utiliza como combustível para as caldeiras, resíduos de beneficiamento de madeira florestais oriundos do corte raso dos reflorestamentos da região, foi calculado a concentração de NO_2 , CO e PTS. Para tanto, utilizou-se o modelo gaussiano clássico ou Pasquill – Gifford. Nele a concentração média num ponto qualquer sobre o terreno, de coordenadas (x, y, z), resultante das emissões de uma fonte pontual, pode ser expressa pela equação abaixo:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z - h_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

Onde:

C (x, y, z): concentração média do poluente, nos pontos (x, y, z) - (g.m⁻³)

x: distância da fonte - (m)

y: distância horizontal do eixo central da pluma - (m)

z: distância acima do solo - (m)

Q: vazão mássica de emissão - (g.s⁻¹)

v: velocidade do vento na altura da chaminé - (m.s⁻¹)

h_{ef}: altura efetiva da chaminé - (m)

σ_y, σ_z: coeficientes de dispersão horizontal e vertical - (m)

Para efeito de cálculo, foram feitas algumas considerações: terreno onde se localiza o frigorífico plano, velocidade do vento unidirecional e constante, condições de turbulência atmosférica homogêneas e estacionárias.

Determinou-se as coordenadas (x, y, z) onde desejava-se obter as concentrações dos poluentes, sendo que antes de calcular as concentrações com a Equação (1), teve-se que determinar os coeficientes de dispersão horizontal e vertical.

Segundo Melo (2005), os coeficientes de dispersão foram parametrizados para seis classes de estabilidade (A a F) conforme mostra Tabela 1:

Tabela 1 – - Categoria de estabilidade de Pasquill

Velocidade do vento à 10 metros da Superfície	Período Diurno Radiação Solar			Período Noturno Grau de cobertura de Nuvens		Dia ou Noite Tempo Encoberto
	Forte	Moderada	Fraca	≥ 4/8	≤ 3/8	
< 2	A	A - B	B	-	-	D
2 – 3	A - B	B	C	E	F	D

3 – 5	B	B - C	C	D	E	D
5 – 6	C	C - D	D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D	D
A: Extremamente Instável B: Moderadamente Instável		C: Levemente Instável D: Neutra		E: Moderadamente Estável F: Levemente Estável		

Fonte: (FRANCO, 2005).

Com o auxílio de um anemômetro, nas dependências do frigorífico, foram feitas várias medidas da velocidade do vento a 10 metros do solo, sendo feita uma média aritmética dessas medidas. Essas medições foram feitas no período diurno, considerando-se uma radiação solar moderada. Assim, de acordo com a categoria de estabilidade atmosférica, pôde-se definir os coeficientes de dispersão como mostra a Tabela 2. Neste mesmo dia, com o auxílio de um termômetro, mediu-se a temperatura ambiente.

Tabela 2 - Parâmetros de dispersão URBANA

Categoria	σ_y	σ_z
A - B	$0,32.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,24.x.(1+0,001.x)^{-0,5}$
C	$0,22.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,20.x$
D	$0,16.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,14.x.(1+0,0003.x)^{-0,5}$
E - F	$0,11.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,08.x.(1+0,0015.x)^{-0,5}$

Fonte: (FRANCO, 2005).

Para o cálculo da concentração foi necessário obter a altura efetiva h_{ef} da chaminé, que de acordo com Melo (2005), é definida como a altura na qual a pluma torna-se passiva e passa a seguir o movimento do ar atmosférico, e é dada pela equação a seguir:

$$h_{ef} = h_g + \Delta h \quad (2)$$

Onde:

hg: altura real da chaminé - (m)

Δh : ascensão da pluma - (m)

Para se obter Δh Melo (2005), cita alguns modelos, dentre eles está a formula de Division – Bryant:

$$\Delta h = d \left(\frac{v_s}{v} \right)^{1,4} * \left(1 + \frac{\Delta T}{T_s} \right) \quad (3)$$

Onde:

d: diâmetro interno da chaminé - (m)

v_s : velocidade do poluente na saída da chaminé - (m.s⁻¹)

v: velocidade do vento na altura da chaminé - (m.s⁻¹)

ΔT : temperatura do gás na chaminé menos a temp. ambiente (T_a) - (K)

T_s : temperatura do gás na chaminé - (K)

Para obter a velocidade do vento na altura da chaminé, Melo (2005) nos apresenta a seguinte equação:

$$v = v_{10} \left(\frac{h_g}{10} \right)^p \quad (4)$$

Onde:

v_{10} : média da velocidade do vento a 10 metros de altura – (m.s⁻¹)

p: expoente escolhido de acordo com a estabilidade atmosférica

Para a escolha do expoente “p”, Melo (2005) nos apresenta uma tabela, conforme a Tabela 3, que o correlaciona de acordo com a classe da estabilidade atmosférica:

Tabela 3 - Expoente “p” versus Classes de estabilidade atmosférica

Classe de Estabilidade Atmosférica	Expoente “p”
A (muito instável)	0,10
B (moderadamente instável)	0,15
C (levemente instável)	0,20
D (neutro)	0,25

E (moderadamente estável)	0,25
F (muito estável)	0,30

Fonte: (FRANCO, 2005)

O frigorífico forneceu alguns dados necessários para realização do cálculo da concentração de NO₂, CO e PTS: diâmetro interno da chaminé (d), altura real da chaminé (h_g), temperatura dos gases na saída da chaminé ($\Delta T + T_s$), vazão mássica de emissão (Q), velocidade do poluente na saída da chaminé (v_s). Após, montou-se uma planilha no Excel para calcular as concentrações nas coordenadas escolhidas, plotou-se as informações em gráficos e posteriormente analisou-se os resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados fornecidos pelo frigorífico estão contemplados na Tabela 4 e os coletados in loco na Tabela 5.

Tabela 4 - Parâmetros fornecidos pela indústria

Parâmetro	Valor
d	0,5 m
v _s	5 m.s ⁻¹
T _s	125°C
H _g	30 m
Emissão de PTS	7,5 g.s ⁻¹
Emissão de CO	18,8 g.s ⁻¹
Emissão de NO ₂	27,8 g.s ⁻¹

Tabela 5 - Parâmetros coletados

Parâmetro	Valor
v ₁₀	8 m.s ⁻¹
T _a	25°C

De acordo com a velocidade média do vento obtida a 10 metros da superfície, e considerando uma radiação solar moderada, obteve-se a estabilidade atmosférica, que de acordo com a Tabela 1, é neutra (D). Dessa maneira, utilizando a Tabela 2, pode-se obter os coeficientes σ_y e σ_z e com a Tabela 3, pode-se obter o expoente p. Assim, $\sigma_y = 0,16.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$, $\sigma_z = 0,14.x.(1+0,0003.x)^{-0,5}$ e $p = 0,25$.

Com todos os dados necessários obtidos, calculou-se primeiramente a velocidade do vento na altura da chaminé com o auxílio da Equação 4:

$$v = 8 \left(\frac{30}{10} \right)^{0,25} \rightarrow v = 10,5286 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$$

Após calculou-se a ascensão da pluma utilizando a Equação 3:

$$\Delta h = 0,5 \left(\frac{5}{10,5286} \right)^{1,4} * \left(1 + \frac{125-25}{125} \right) \rightarrow \Delta h = 0,3201 \text{ m}$$

Em seguida calculou-se a altura efetiva da chaminé de acordo com a Equação 2:

$$h_{ef} = 30 + 0,3201 \rightarrow h_{ef} = 30,3201$$

Feito isso, utilizando a Equação 1, e com o auxílio do Excel pôde-se calcular a concentração, para cada um dos poluentes escolhidos, na altura do solo nas coordenadas escolhidas, conforme disposto no Gráfico 1, 2 e 3.

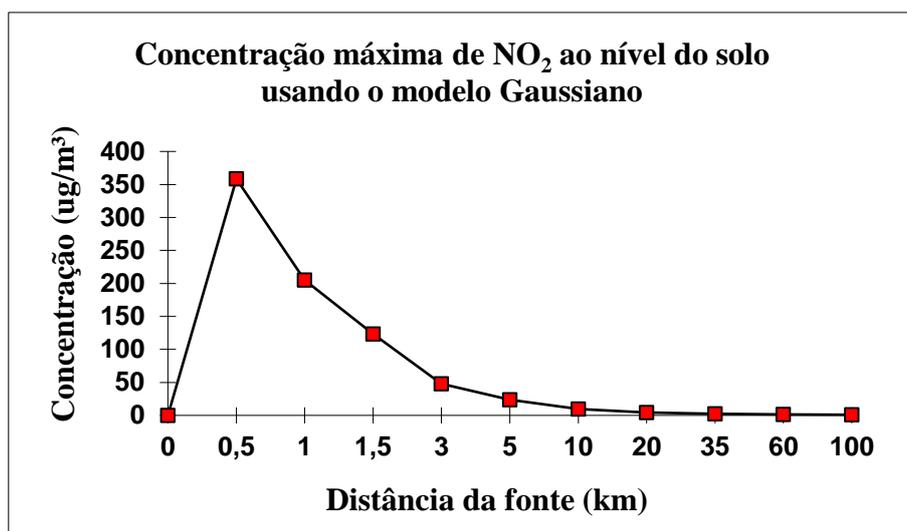


Gráfico 1: Concentração máxima de NO₂ ao nível do solo

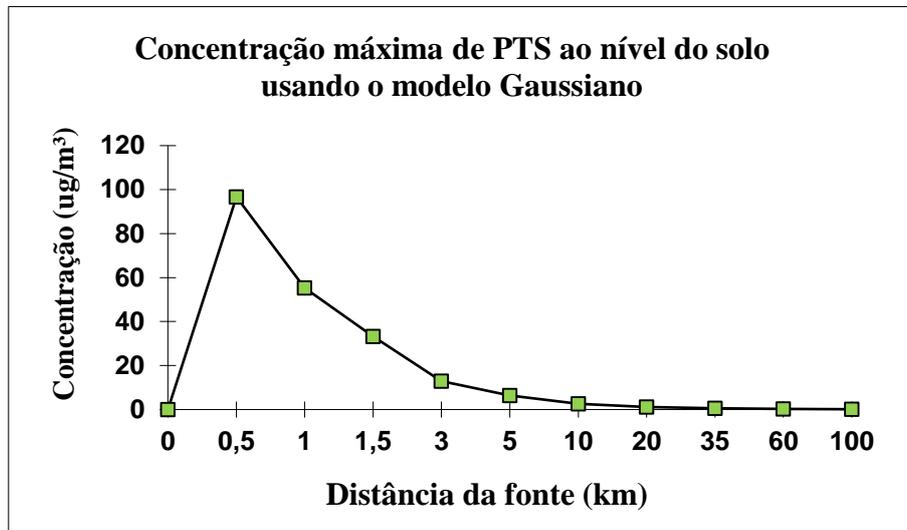


Gráfico 2: Concentração máxima de PTS ao nível do solo

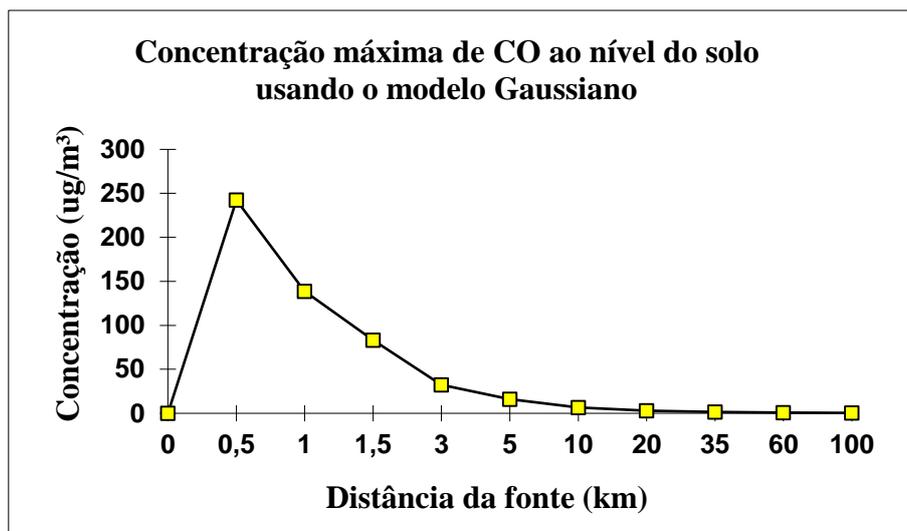


Gráfico 3: Concentração máxima de CO ao nível do solo

De acordo com a Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/90, o padrão primário (em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) para PTS é de 240, para CO é de 40000 para um tempo de amostragem de 1 hora e de 10000 para um tempo de amostragem de 8 horas, e para o NO_2 é de 320 para 1 hora de amostragem.

Analisando o Gráfico 1 e o Gráfico 2, e considerando que a pressão atmosférica onde se localiza o frigorífico é de 1 atm, pode-se observar que as concentrações de PTS e CO nas distâncias escolhidas, estão dentro dos limites aceitáveis definidos pela Resolução CONAMA

n° 03 de 28/06/90. Porém, analisando o Gráfico 3, observa-se que para o NO₂, nas distâncias da fonte entre 400 e 600 metros, as concentrações extrapolaram o valor do padrão primário estipulados na referida resolução, assim sendo, podem afetar a saúde da população nessas distâncias.

5. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Como o padrão primário para o NO₂, nas distâncias entre 400 e 600 metros, foi ultrapassado, a população, nessas regiões, de acordo com a FEPAM (2016), pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas, podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.

Sendo assim, deve-se tomar algumas providências. Para uma remoção mais eficiente do NO₂, o frigorífico pode optar por um lavador de gases, ou então por um conversor catalítico industrial para converter o NO₂ em um composto menos poluente ou não poluente. Em últimos casos, não havendo recursos financeiros para esse investimento nem outras alternativas viáveis, deve-se evacuar as pessoas de grupos sensíveis para áreas mais distantes do frigorífico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO JR. J. A. de; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

CETESB. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>. Acesso em: 13 de abr. de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 03 de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>. Acesso em: 22 mar. 2017.

CURBANI, F.; RADAELI, L. A.; **Aplicação da modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera para avaliação de situações de emergência relacionadas as emissões de agentes**

químicos. Monografia de Pós-Graduação. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, 2006.

FEPAM: Qualidade ambiental. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqar.asp>. Acesso em: 13 de abr. 2017.

FRANCO, N.J.N.; **Aplicações de um modelo de trajetórias na simulação de transportes de radionuclídeos na atmosfera.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

LUCON, O. dos S.; **Modelo Horus inventário de emissões de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis em indústrias no estado de São Paulo.** 2003. Tese (Pós-Graduação em Energia). Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003

MELO, H.L.; **Controle da poluição atmosférica.** Universidade Federal de educação e tecnologia de Santa Catarina, 2005.

VIANELO, R.L.; ALVES, A.R.; **Meteorologia básica e aplicações.** Ed. UFV, 1991.