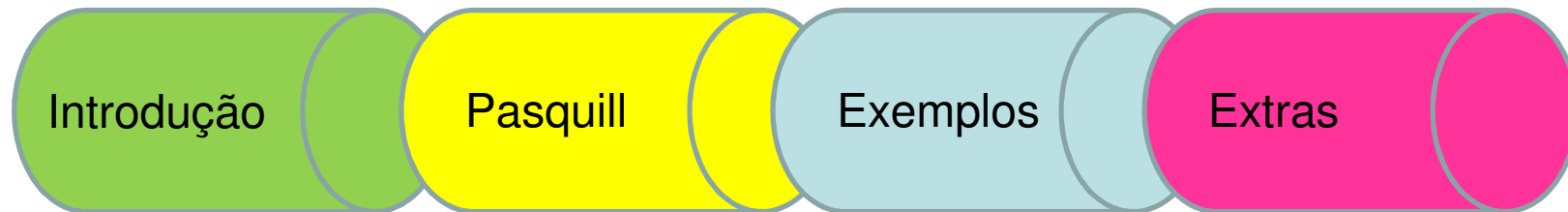
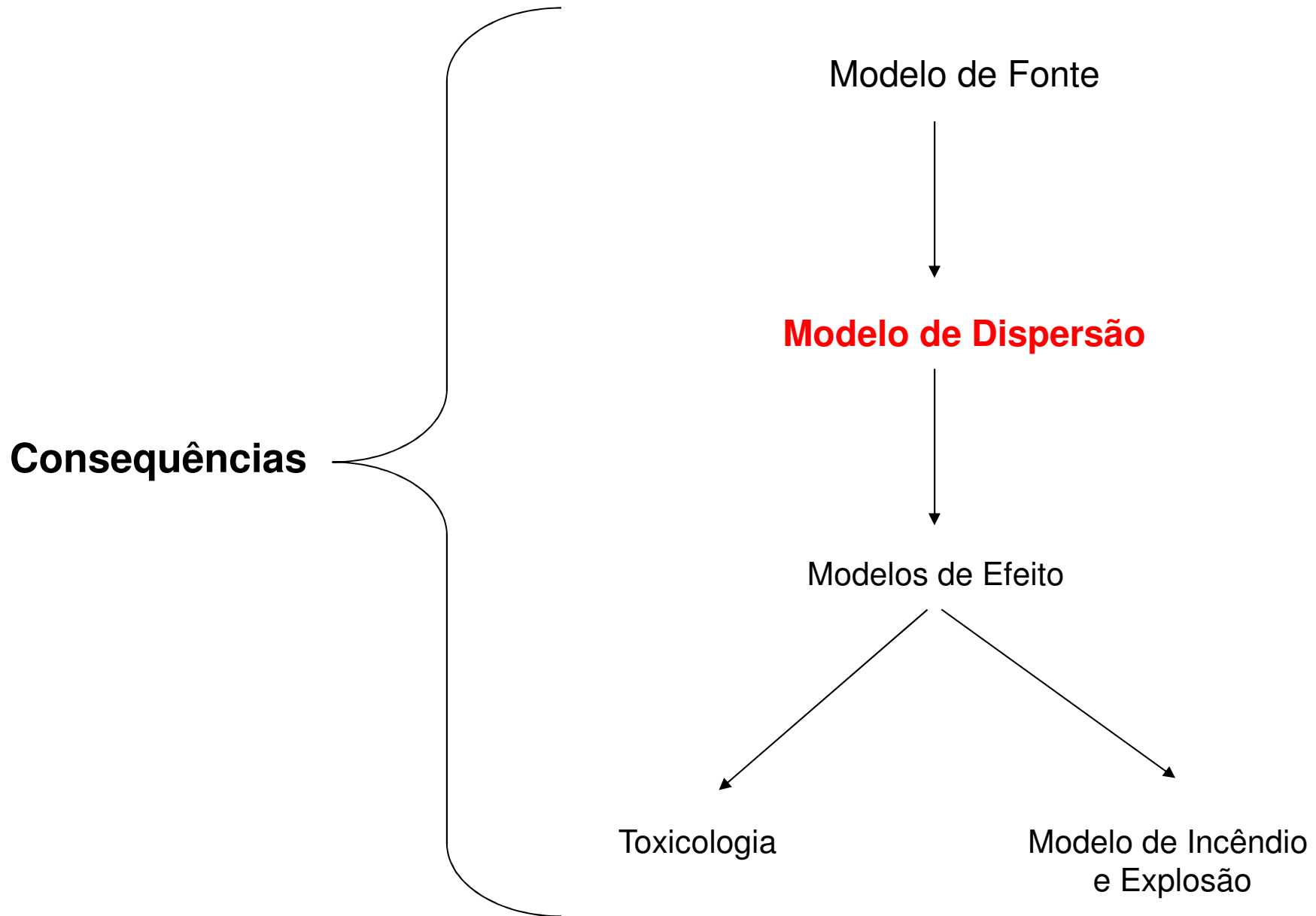


Modelos de Dispersão









R. Beira Rio

Via Um

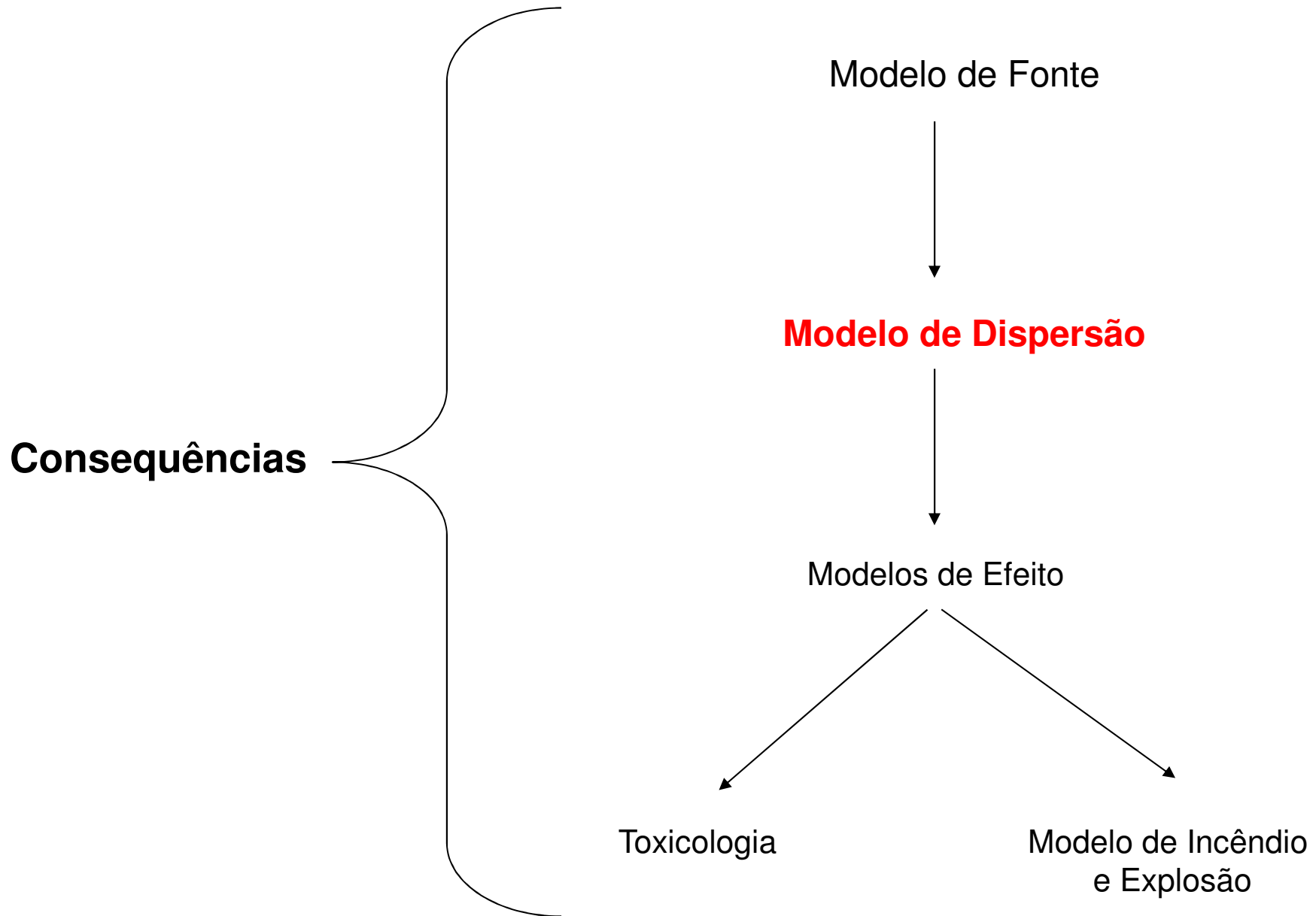
R. Um

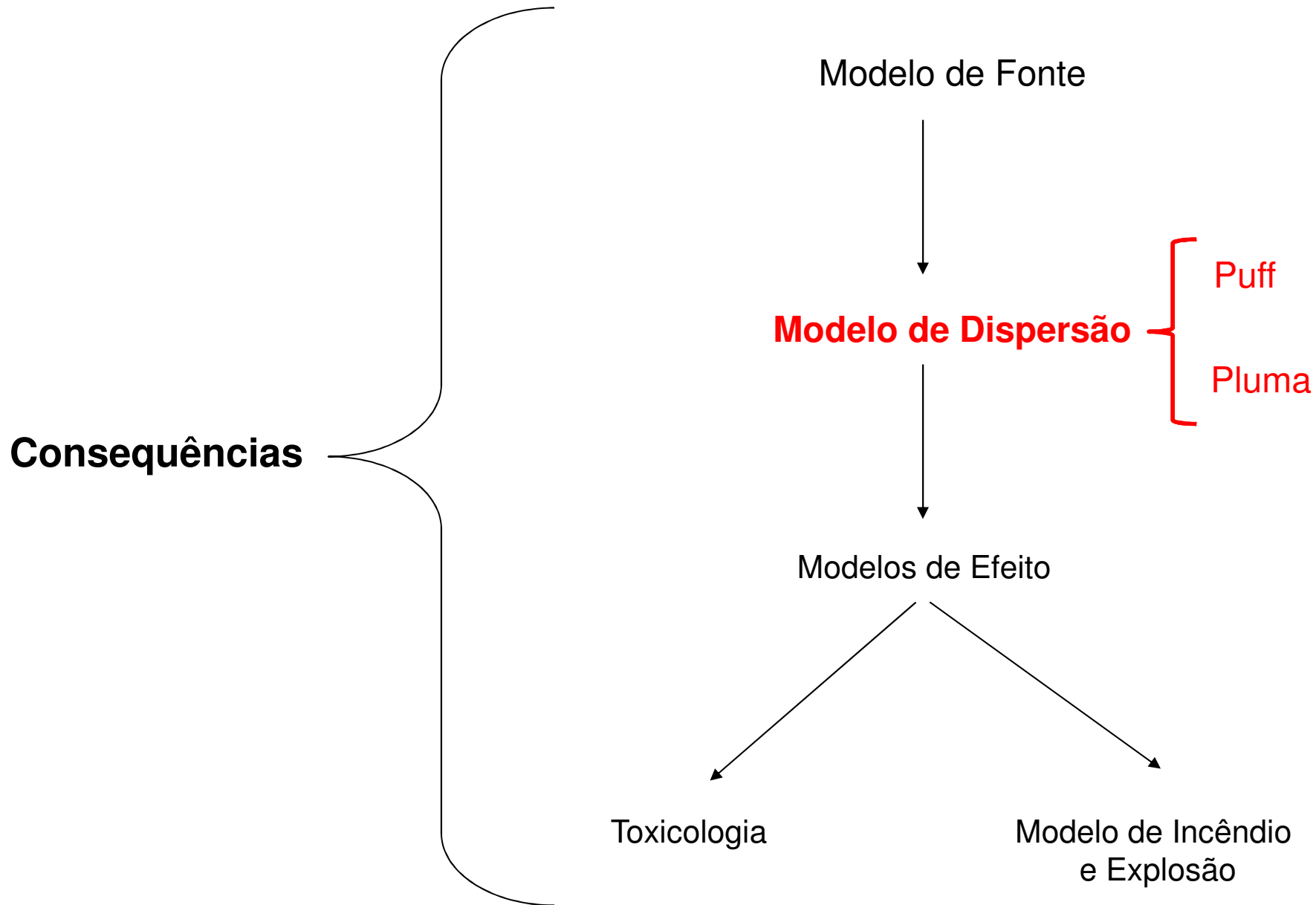
BR 101

Av. Brasil - Pista

01.07.608
Creche Municipal
Samora Machel

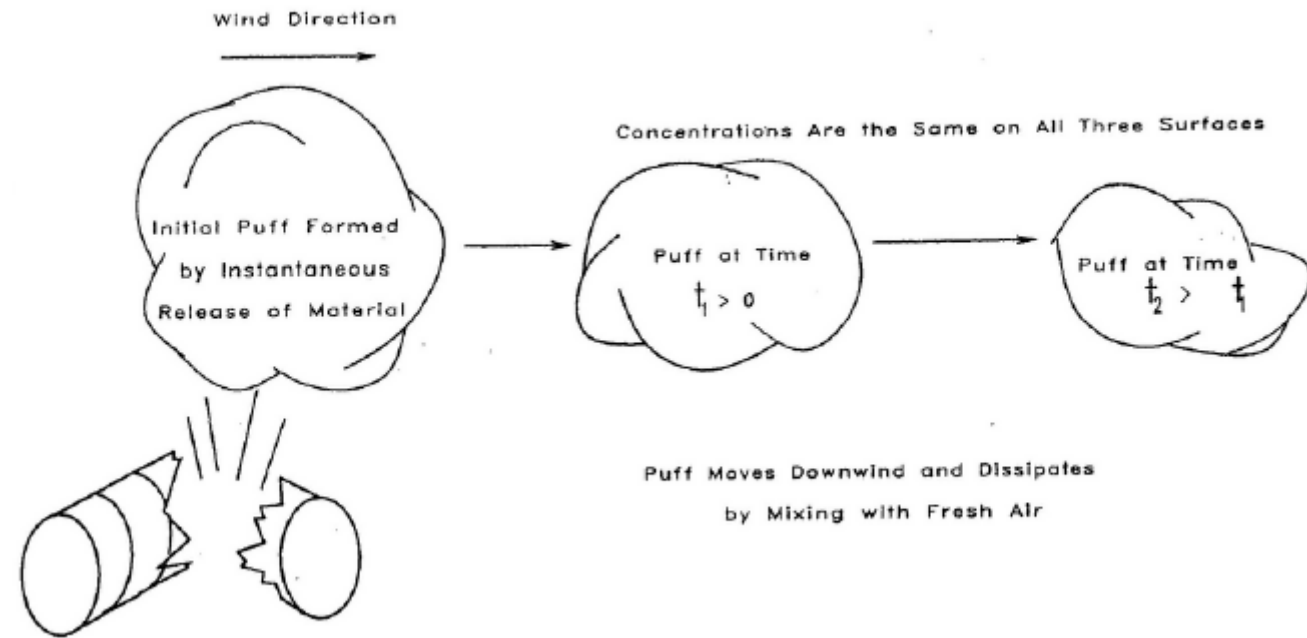
R. Leopoldo Bulhões





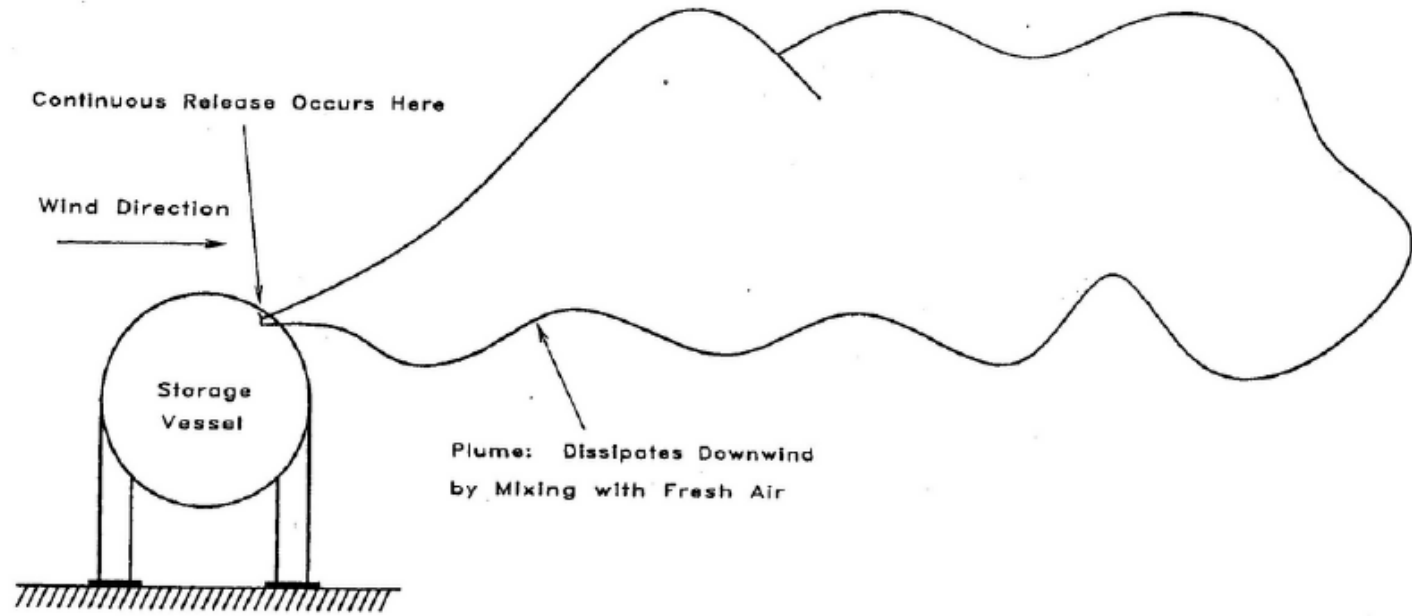
Modelos de Dispersão

Puff



Modelos de Dispersão

Pluma





Modelos de Dispersão

O que afeta a dispersão?

Velocidade do vento

- Com aumento da velocidade, a trajetória da pluma se torna mais longa e sua dispersão vertical mais compacta.
- Transporte mais rápido do material, assim como sua diluição (maior quantidade de ar).



O que afeta a dispersão?

Estabilidade atmosférica

- Relacionado com a dispersão vertical e a temperatura atmosférica ao longo do dia.
- Condições possíveis são afetadas pela predominância do empuxo em relação à turbulência atmosférica.
 - Instável
 - Neutro
 - Estável

Modelos de Dispersão

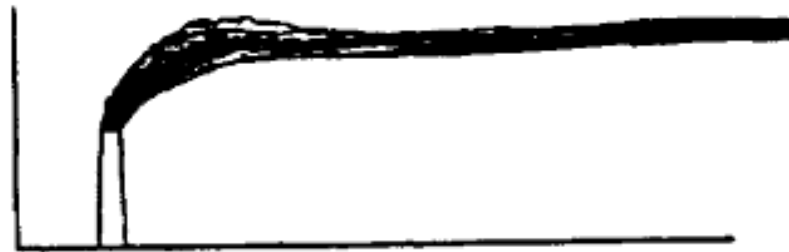
Instável



Unstable (Looping), Stability Classes A, B

Modelos de Dispersão

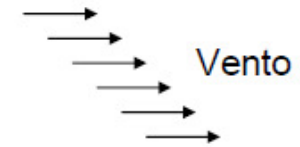
Estável



Stable (Fanning), Stability Classes E, F

Modelos de Dispersão

Neutra



Neutral (Coning), Stability Class D



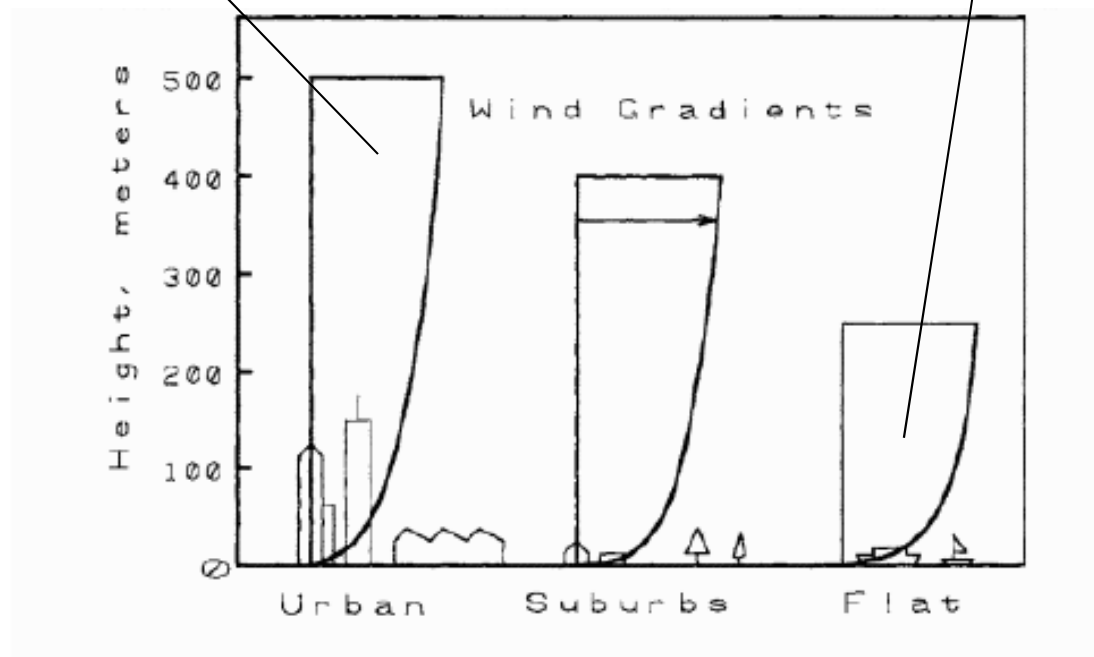
Stable Below, Neutral Aloft (Lofting)

Modelos de Dispersão

O que afeta a dispersão?

A velocidade máxima do vento só é atingida a grandes alturas.

A velocidade máxima do vento atingida mais próximo do solo.

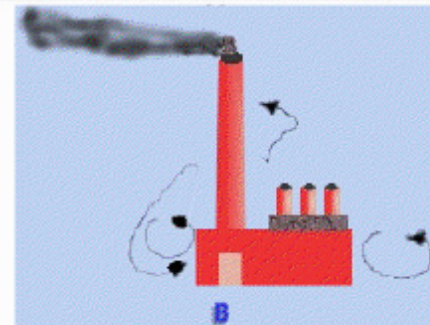
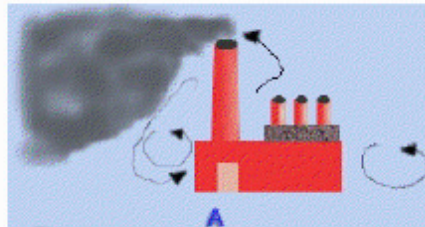


Modelos de Dispersão

O que afeta a dispersão?

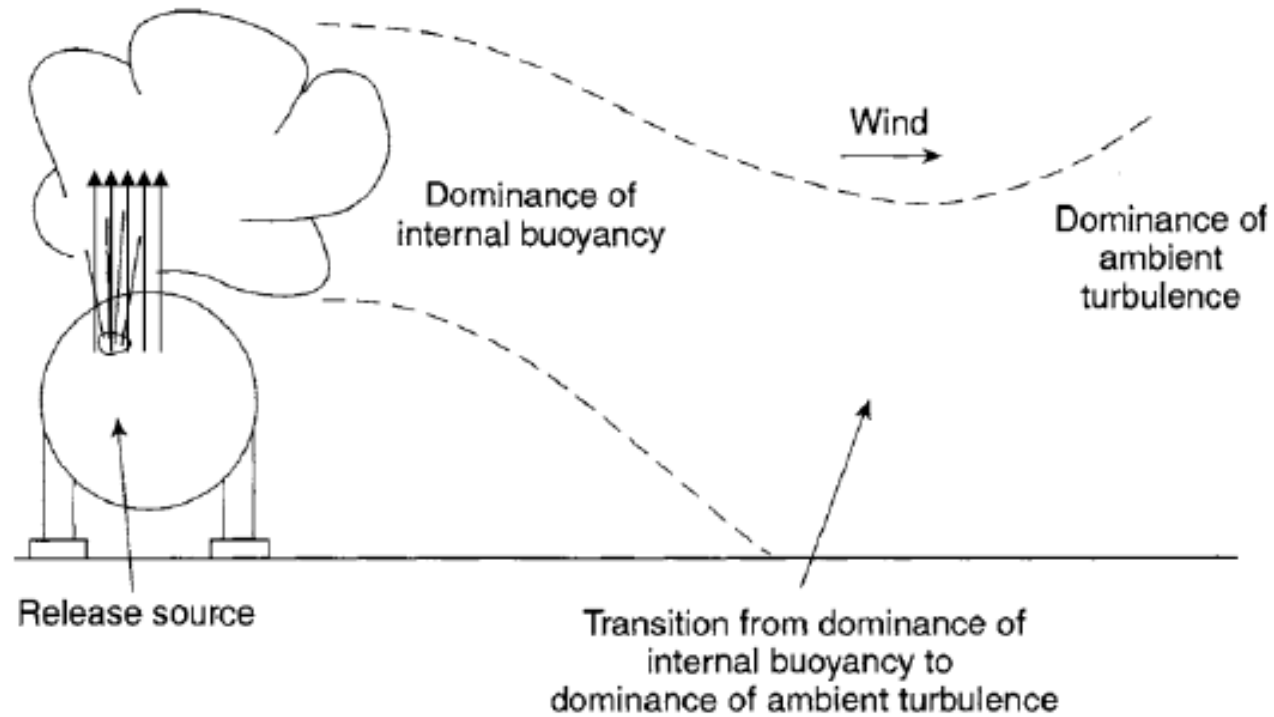
Altura da fonte de liberação

- As concentrações de vapor no solo são afetadas pela dispersão vertical da pluma e sua trajetória.
- Com o aumento da altura da fonte, a distância de contato da pluma com o solo também aumenta.



Modelos de Dispersão

O que afeta a dispersão?



Empuxo:

$\rho_G > \rho_{ar} \rightarrow$ desce

$\rho_G < \rho_{ar} \rightarrow$ sobe

Note:

Qualquer gás, em concentração muito baixa, ao ser emitido e misturar-se com o ar pode ser considerado como tendo empuxo neutro.

Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

Encontrando um modelo básico:

Massa de material liberado: Q_m^*

Origem do sistema de coordenadas na fonte (0,0,0)

Espaço infinito em todas as direções (x,y,z)

A concentração é função apenas do tempo e da posição espacial:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j C) = 0$$

A concentração é função do tempo e da posição do receptor (assumindo vento e vazão de emissão constantes).

Ou seja:

-dado um certo ponto, a concentração varia ao longo do tempo.

-dado um certo instante de tempo, a concentração varia ao longo do espaço.

Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

Massa de material liberado: Q_m^*

Origem do sistema de coordenadas na fonte (0,0,0)

Espaço infinito em todas as direções (x,y,z)

A concentração é função apenas do tempo e da posição espacial:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j C) = 0$$

Velocidade do ar (vento) na direção j

$X_j = x_1, x_2, x_3$ ou melhor: x, y, z

Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j C) = 0$$

$X_j = x_1, x_2, x_3$ ou melhor: x, y, z

$U_j = u_1, u_2, u_3$ ou melhor: u_x, u_y, u_z

Definição:

Direção do vento: eixo x

Logo:

$u_x \neq 0$

$u_y = u_z = 0$



Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

Mas se usarmos a velocidade média do vento no modelo acima, quando este for usado para descrever a realidade, observa-se que a dispersão real é muito rápida! Surge então a necessidade de incorporar um componente adicional de velocidade, a “turbulência”:

$$u_j = \langle u_j \rangle + u'_j,$$

Velocidade média do vento

Flutuação estocástica resultante de turbulência

The diagram illustrates the decomposition of the velocity component u_j into its mean value $\langle u_j \rangle$ and its fluctuation u'_j . Two arrows originate from the terms in the equation: one points from $\langle u_j \rangle$ to the text 'Velocidade média do vento', and another points from u'_j to the text 'Flutuação estocástica resultante de turbulência'.

Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

Se a velocidade do ar ganhou uma parcela estocástica, a concentração do gás também deve ter:

$$C = \langle C \rangle + C'$$

Concentração média

Flutuação estocástica

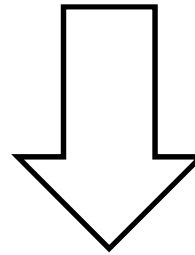
Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j C) = 0$$

$$C = \langle C \rangle + C'$$

$$u_j = \langle u_j \rangle + u'_j$$



$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\langle u_j \rangle \langle C \rangle) + \frac{\partial}{\partial x_j} \langle u'_j C' \rangle = 0.$$

Dedução:

$$u \cdot C$$

$$(\langle u \rangle + u') \cdot (\langle C \rangle + C')$$

$$\langle u \rangle \langle C \rangle + \langle u \rangle C' + u' \langle C \rangle + u' C'$$

Dedução:

$$u \cdot C$$

$$(\langle u \rangle + u') \cdot (\langle C \rangle + C')$$

$$\langle u \rangle \langle C \rangle + \langle u \rangle C' + u' \langle C \rangle + u' C'$$

$$\langle u \rangle \langle C \rangle + \langle u \rangle C' + u' \langle C \rangle + u' C'$$

0

0

Desprezíveis (em média são zero)
Explicação no próximo slide.

Dedução:

$\langle u' \rangle = 0$ (média da flutuação estocástica)

$\langle C' \rangle = 0$ (média da flutuação estocástica)

Assim,

$$\langle u \rangle \langle C' \rangle = 0$$

$$\langle C \rangle \langle u' \rangle = 0$$

Logo,

$$\langle u \rangle \langle C' \rangle = \langle \langle u \rangle C' \rangle = 0$$

$$\langle u' \rangle \langle C \rangle = \langle u' \langle C \rangle \rangle = 0$$

Desse modo,

$\langle u \rangle C'$ e $u' \langle C \rangle$ são em média Zero.

Dedução:

$\langle u' \rangle = 0$ (média da flutuação estocástica)

$\langle C' \rangle = 0$ (média da flutuação estocástica)

Assim,

$$\langle u \rangle \langle C' \rangle = 0$$

$$\langle C \rangle \langle u' \rangle = 0$$

Logo,

$$\langle u \rangle \langle C' \rangle = \langle \langle u \rangle C' \rangle = 0$$

$$\langle u' \rangle \langle C \rangle = \langle u' \langle C \rangle \rangle = 0$$

Exemplo no próximo slide.

Desse modo,

$\langle u \rangle C'$ e $u' \langle C \rangle$ são em média Zero.

Dedução:

$$\langle \langle u \rangle C' \rangle = \langle u \rangle \langle C' \rangle$$

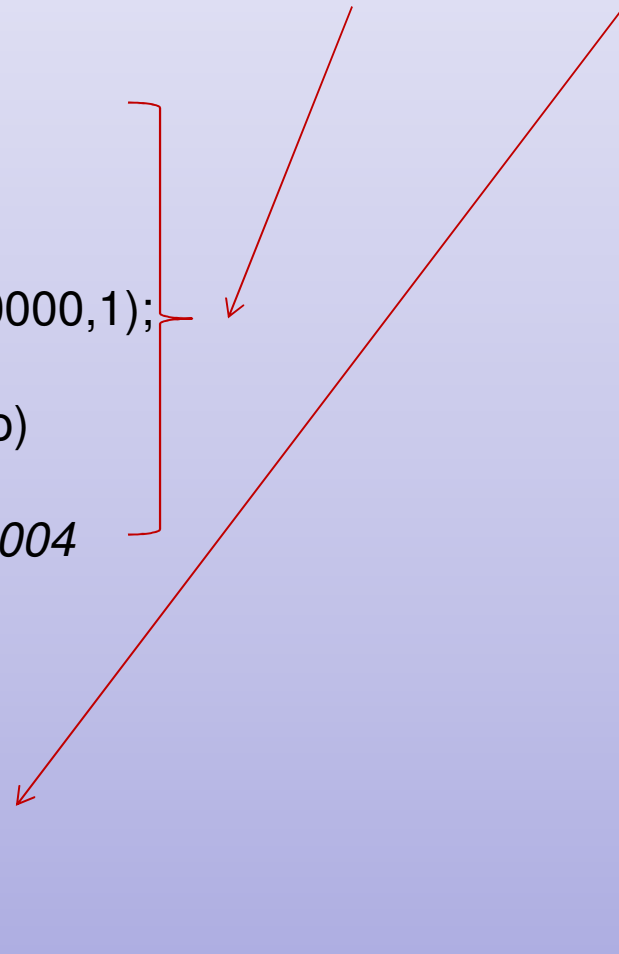
MATLAB:

```
umedio=5;  
a=-1; b=1;  
Clinha= a + (b-a).*rand(1000000,1);  
produto=umedio*Clinha;  
mediaproduto=mean(produto)
```

```
mediaproduto = 9.2117e-004
```

```
cmedio=mean(Clinha);  
umedio*cmedio
```

```
ans = 9.2117e-004
```



Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\langle u_j \rangle \langle C \rangle) + \frac{\partial}{\partial x_j} \langle u'_j C' \rangle = 0.$$

Usando o modelo de difusividade eddy

$$\langle u'_j C' \rangle = -K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\langle u_j \rangle \langle C \rangle) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)$$

Modelos de Dispersão

Encontrando um modelo básico:

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\langle u_j \rangle \langle C \rangle) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)$$

Para atmosfera incompressível,
esse termo não varia com a posição
(torna-se constante)

Modelo Geral:

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)$$

Pluma – Sem Vento

Caso 1: Liberação contínua estacionária e sem vento

PLUMA

- Condições para o caso:
 - Taxa de liberação constante, $Q_m = \text{constante}$
 - Sem vento, $\bar{u} = 0$
 - Estacionário, $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = 0$
 - Difusividade eddy constante, $K = K^*$

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)$$

Diagram illustrating the simplification of the general advection-diffusion equation for the case of a stationary plume without wind. Arrows point from the terms in the equation to their simplified values: $\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t}$ and $\langle u_j \rangle$ are both simplified to 0, and K_j is simplified to a constant value.

Modelo de dispersão:

$$\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} = 0$$

Pluma – Sem Vento

Caso 1: Liberação contínua estacionária e sem vento

PLUMA

- Condições para o caso:
 - Taxa de liberação constante, $Q_m = \text{constante}$
 - Sem vento, $\bar{\mathbf{u}} = 0$
 - Estacionário, $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = 0$
 - Difusividade *eddy* constante, $\mathbf{K} = K^*$

- Modelo de dispersão:

$$\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} = 0 \quad \xrightarrow{r^2 = x^2 + y^2 + z^2} \quad \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \right) = 0$$

- Condições de contorno:
 - $r = 0, -4\pi r^2 K^* \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} = Q_m$
 - $r \rightarrow \infty, \bar{C} \rightarrow 0$

- Solução por integração:

$$\int_{\bar{C}}^0 d\bar{C} = -\frac{Q_m}{4\pi K^*} \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} \quad \rightarrow \quad \bar{C}(r) = \frac{Q_m}{4\pi K^* r}$$

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi K^* \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

Note: não é função do tempo!

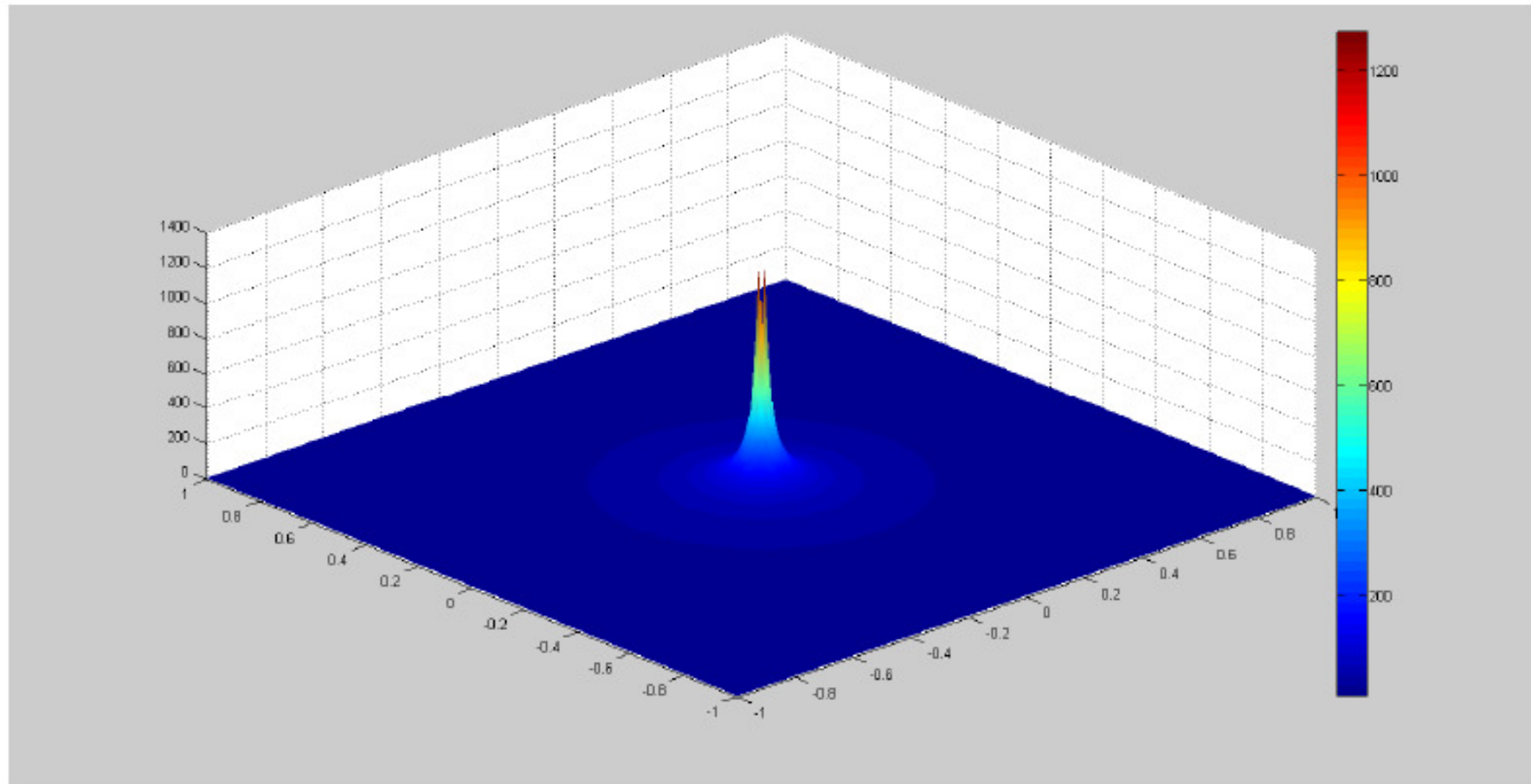
Modelo teórico

Usando o MATLAB para representar:

$$Q_m = 80 \text{ g/s}$$

$$K = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$$

Concentração: g / m³



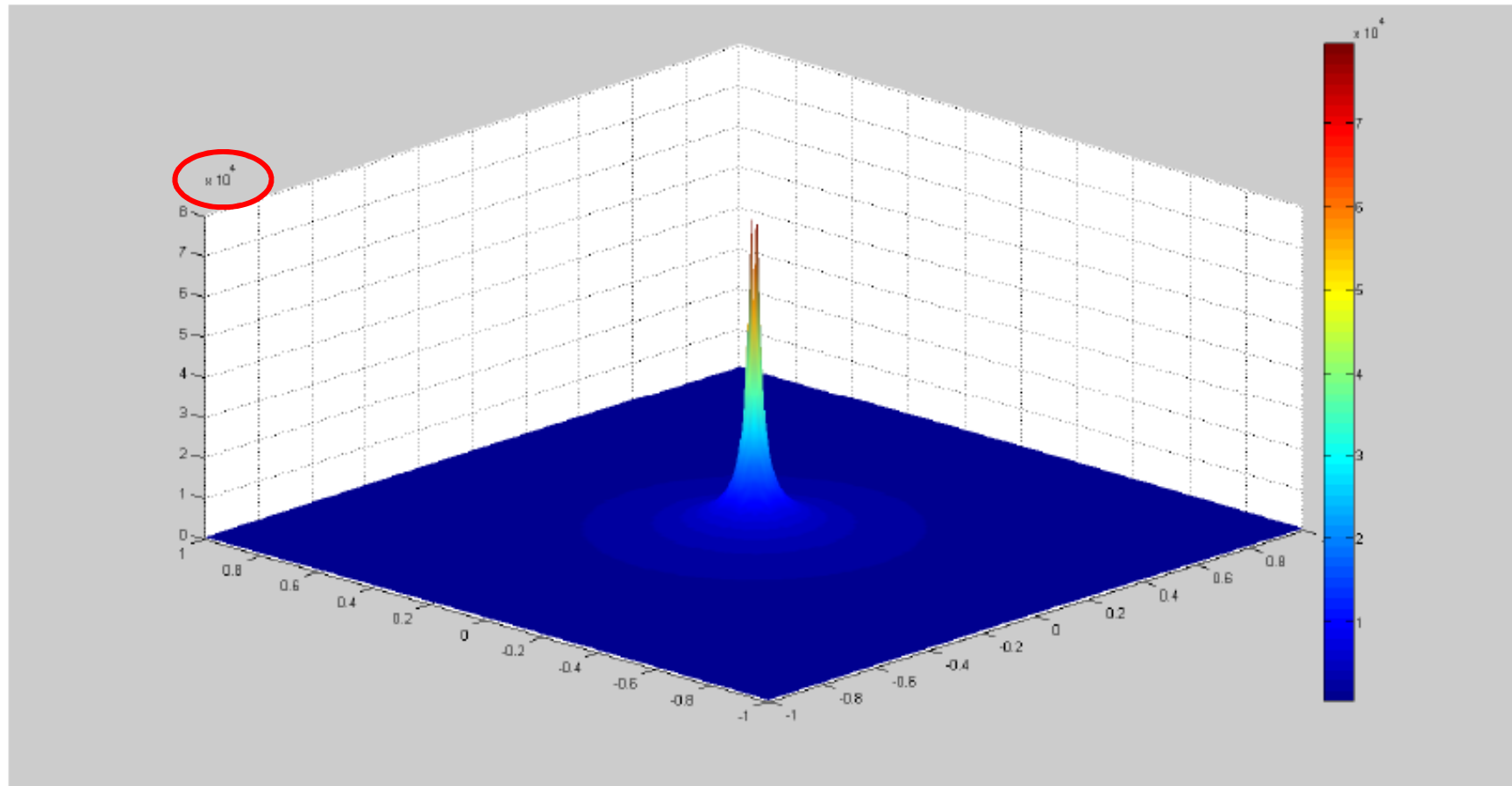
Modelo teórico

Usando o MATLAB para representar:

$$Q_m = 5000 \text{ g/s}$$

$$K = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$$

Concentração: g / m^3



O perfil de concentrações não muda. O que muda é o valor absoluto.

Puff – Sem Vento

Caso 2: Nuvem sem vento

PUFF

- Condições para o caso:
 - Liberação de nuvem, i.e., liberação instantânea de qtidade de massa fixa Q_m^*
 - Sem vento, $\bar{u} = 0$
 - Difusividade *eddy* constante, $K = K^*$

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)$$

Diagram illustrating the simplification of the general advection-diffusion equation. The term $\langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$ is crossed out and labeled with a '0'. The term K_j is labeled as 'Constante'.

Modelo de dispersão:

$$\frac{1}{K^*} \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2}$$

Puff – Sem Vento

Caso 2: Nuvem sem vento

PUFF

- Condições para o caso:
 - Liberação de nuvem, i.e., liberação instantânea de qtdde de massa fixa Q_m^*
 - Sem vento, $\bar{\mathbf{u}} = 0$
 - Difusividade *eddy* constante, $\mathbf{K} = K^*$

- Modelo de dispersão:

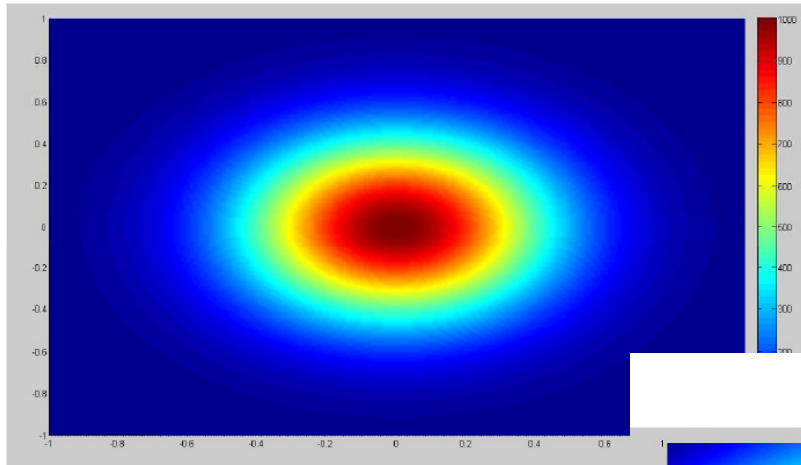
$$\frac{1}{K^*} \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2}$$

- Mesmas condições de contorno
 - Condição inicial: $\bar{C}(x, y, z) = 0$ em $t = 0$
- Solução:

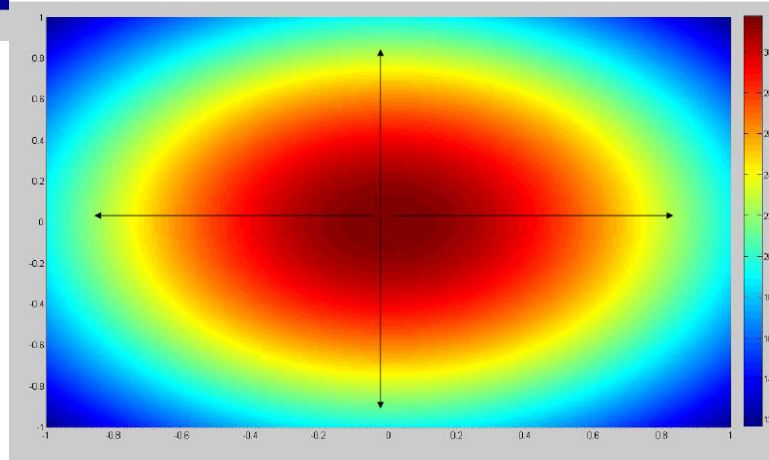
$$\bar{C}(r, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi K^* t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4K^* t}\right) \quad \text{Coord. Cilíndrica}$$

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi K^* t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{4K^* t}\right) \quad \text{Coord. Retangular}$$

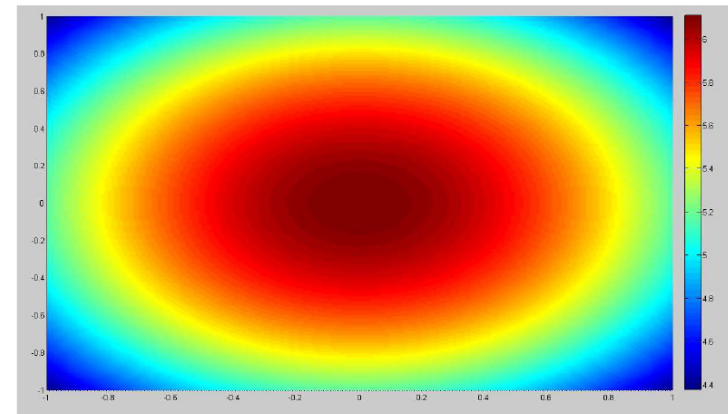
$Q_m=500; K=0.5; t=0.1;$



$Q_m=500; K=0.5; t=1;$



$Q_m=500; K=0.5; t=3;$



↑ Tempo
↓ Concentração

Pluma – com vento

Caso 4: Liberação contínua estacionária e com vento

PLUMA

- Condições para o caso:
 - Liberação contínua, Q_m , e difusividade *eddy* constante, $K = K^*$.
 - Mesmas condições de contorno.
 - Vento somente na direção x , $\bar{\mathbf{u}} = \bar{u}_x = u$

$$\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right).$$

Diagram illustrating the derivation of the dispersion model. The equation above is boxed. Arrows point from terms in the equation to the corresponding terms in the dispersion model below:

- The term $\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial t}$ is crossed out with a diagonal line and labeled with a '0' below it.
- The term $\langle u_j \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$ is labeled with 'Constante' above it.
- The term $K_j \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$ is labeled with 'Constante' above it.

Modelo de dispersão:

$$\frac{u}{K^*} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2}$$

Pluma – com vento

Caso 4: Liberação contínua estacionária e com vento

PLUMA

- Condições para o caso:
 - Liberação contínua, Q_m , e difusividade *eddy* constante, $\mathbf{K} = K^*$.
 - Mesmas condições de contorno.
 - Vento somente na direção x , $\bar{\mathbf{u}} = \bar{\mathbf{u}}_x = u$
- Modelo de dispersão:

$$\frac{u}{K^*} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2}$$

- Solução:

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi K^* \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \exp\left(-\frac{u}{2K^*} (\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - x)\right)$$

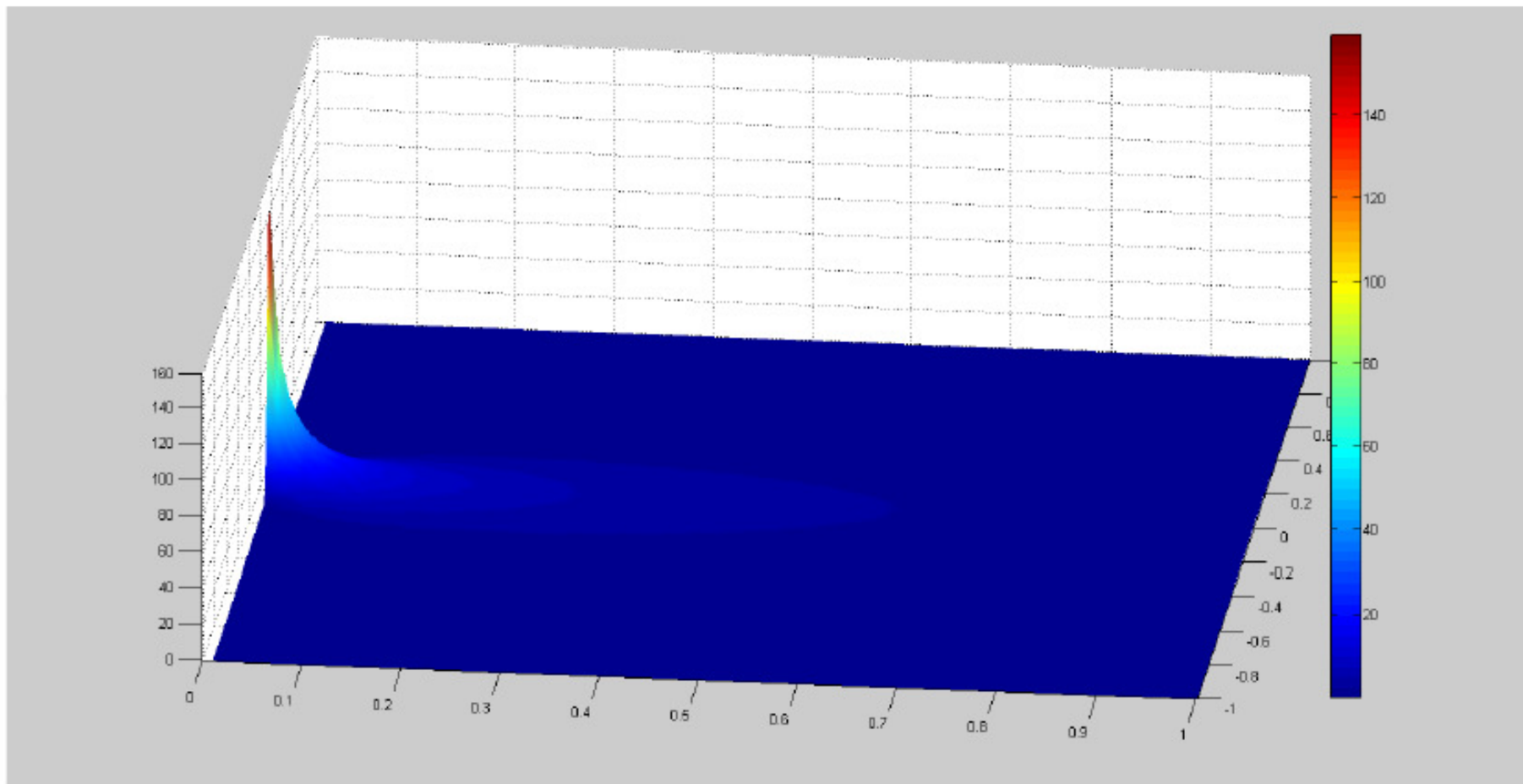
- Simplificação para pluma longa e fina ($y^2 + z^2 \ll x^2$ e $\sqrt{1+a} \approx 1+a/2$)

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi K^* x} \exp\left(-\frac{u}{4K^* x} (y^2 + z^2)\right)$$

Atenção: use X apenas positivo! Senão vai dar concentração negativa!

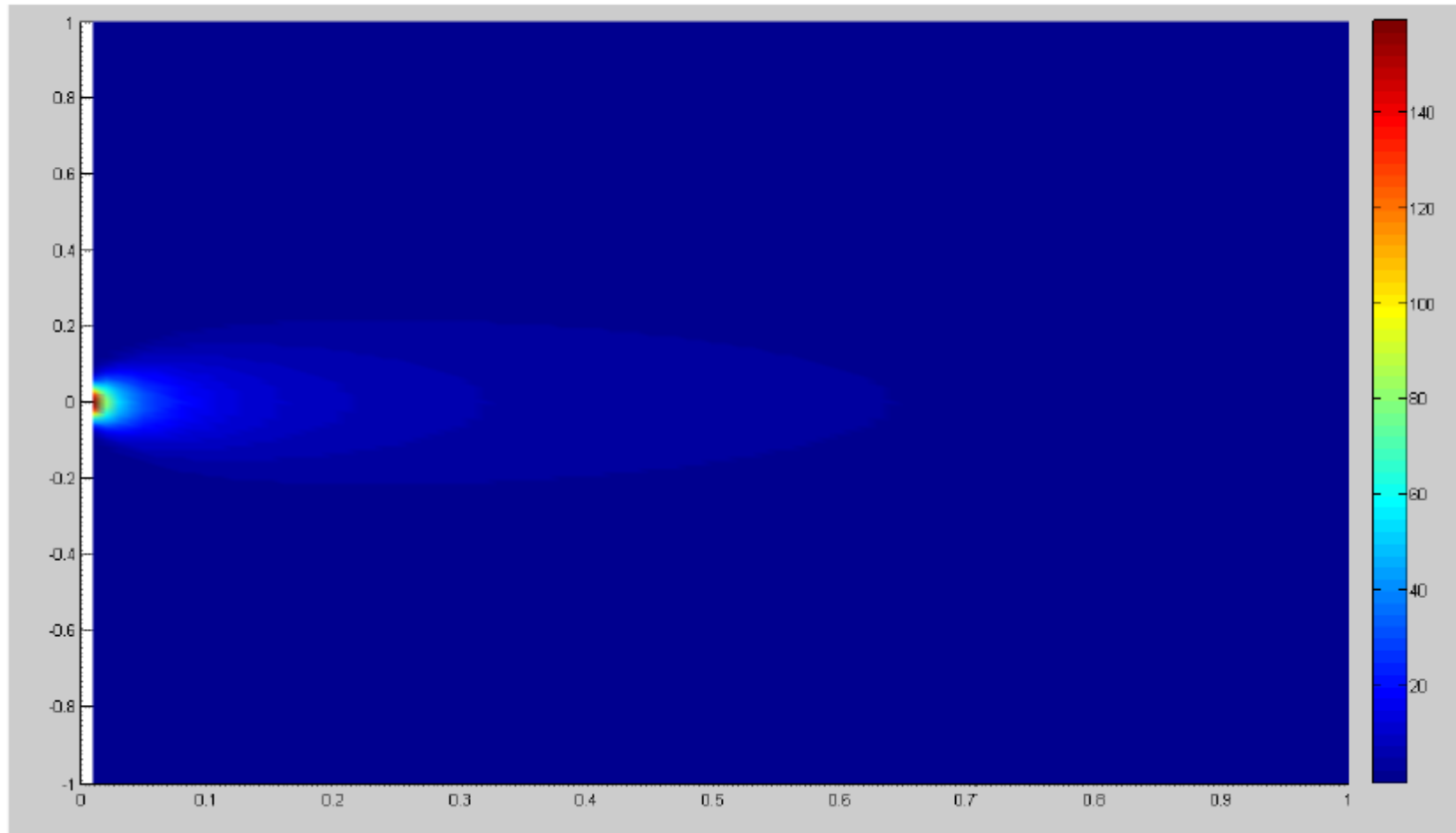
Modelo teórico

$Q_m=1$ $K=0.05$ $t=0.001$ $u=1$;



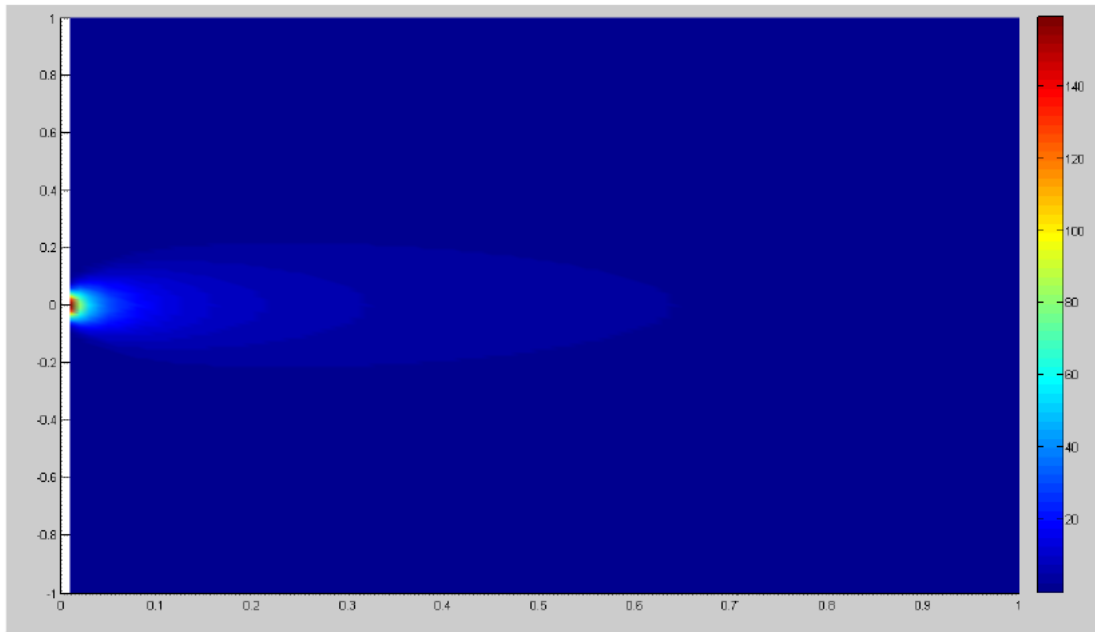
Modelo teórico

$Q_m=1; K=0.05; t=0.1; u=1;$



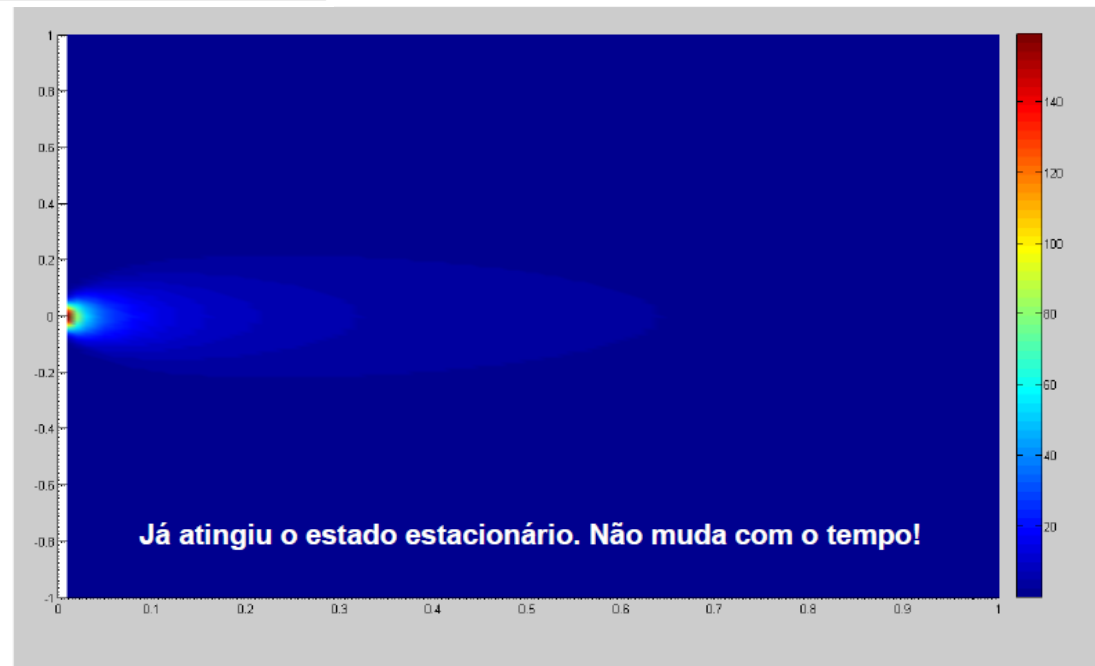
Modelo teórico

$Q_m=1$; $K=0.05$; $t=0.1$; $u=1$;



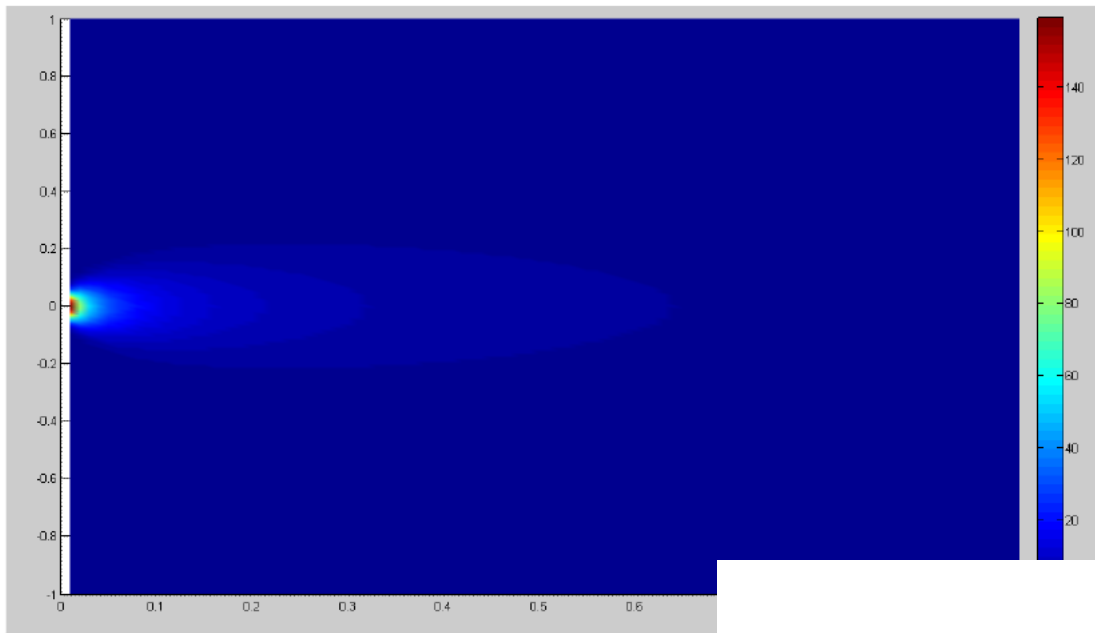
Estado estacionário!

$Q_m=1$; $K=0.05$; $t=1000$; $u=1$;



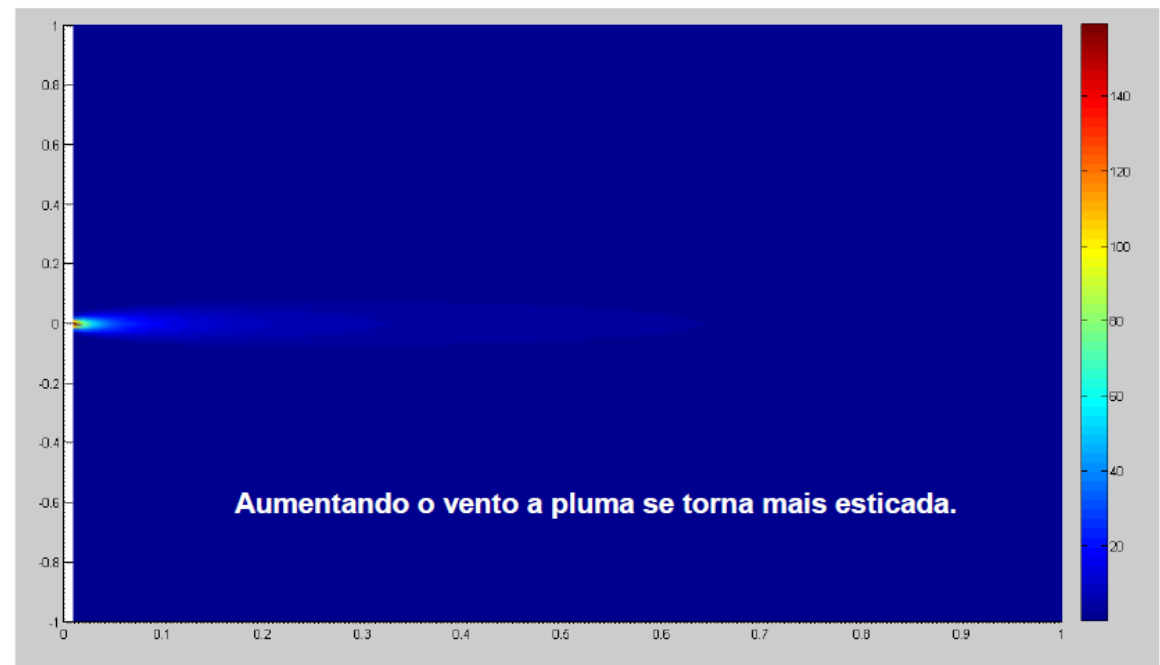
Modelo teórico

$Q_m=1$; $K=0.05$; $t=0.1$; $u=1$;



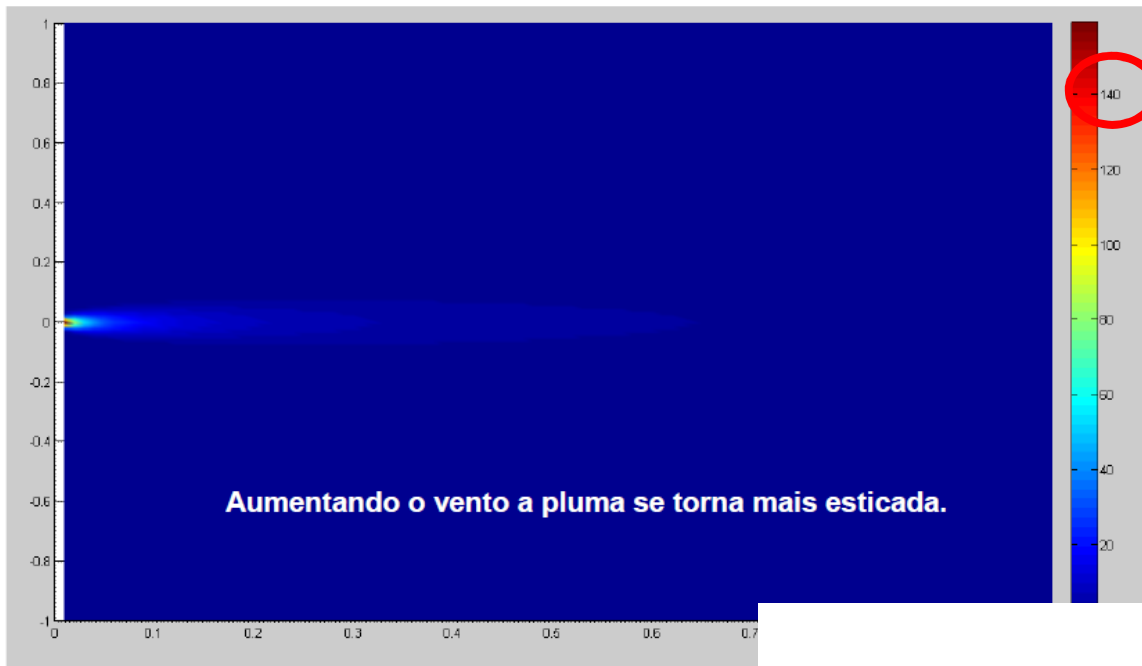
Aumentando o vento!

$Q_m=1$; $K=0.05$; $t=1$; $u=8$;



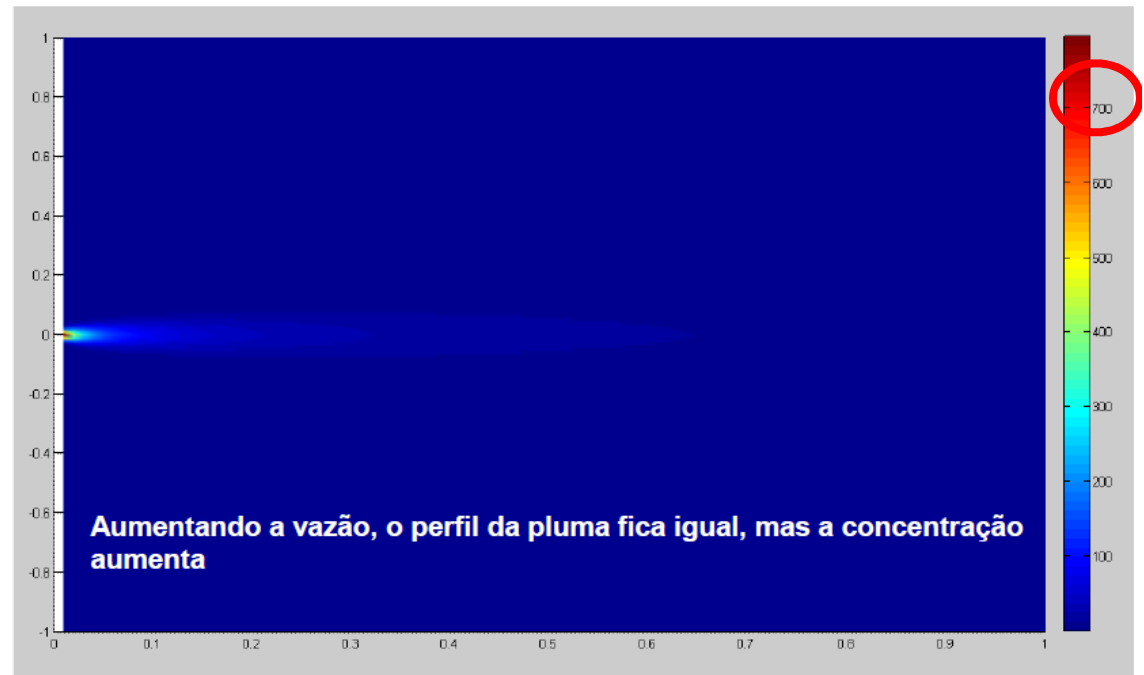
Modelo teórico

$Q_m=1$; $K=0.05$; $t=1$; $u=8$;



Aumentando a vazão!

$Q_m=5$; $K=0.05$; $t=1$; $u=8$;



Puff – com vento

Caso 7: Nuvem com vento

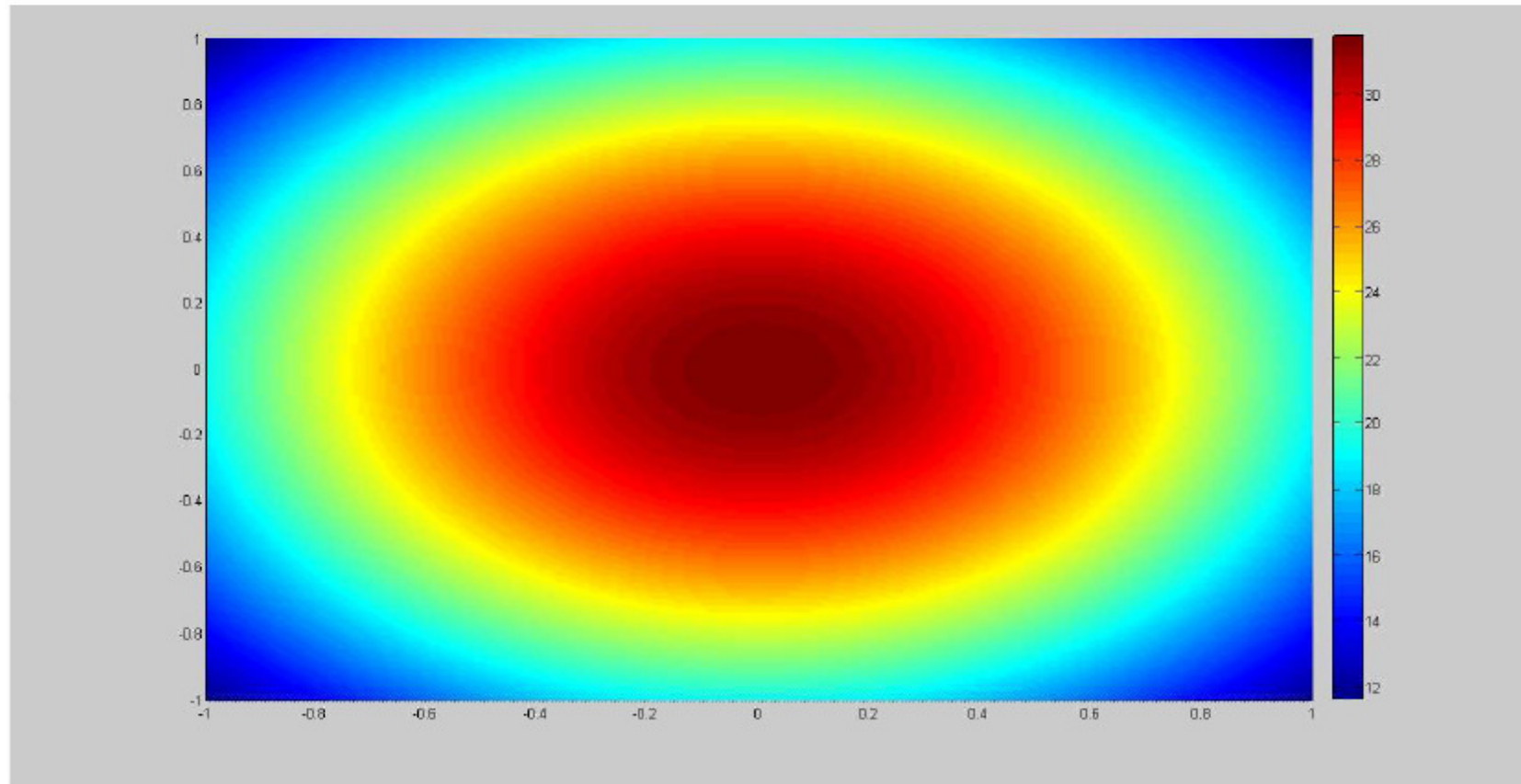
PUFF

- Condições para o caso:
 - Liberação instantânea, Q_m^* .
 - Vento somente na direção x , $\bar{\mathbf{u}} = \bar{\mathbf{u}}_x = u$.
 - Mesmas condições de contorno.
 - Cada coordenada possui diferentes difusividades eddy constantes (K_x , K_y e K_z).
- Solução idêntica ao caso 5 (Nuvem sem vento).
 - Propagação da nuvem ao longo do eixo x .
 - Transformação de coordenadas $x \rightarrow x - ut$.

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi t)^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x - ut)^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right]$$

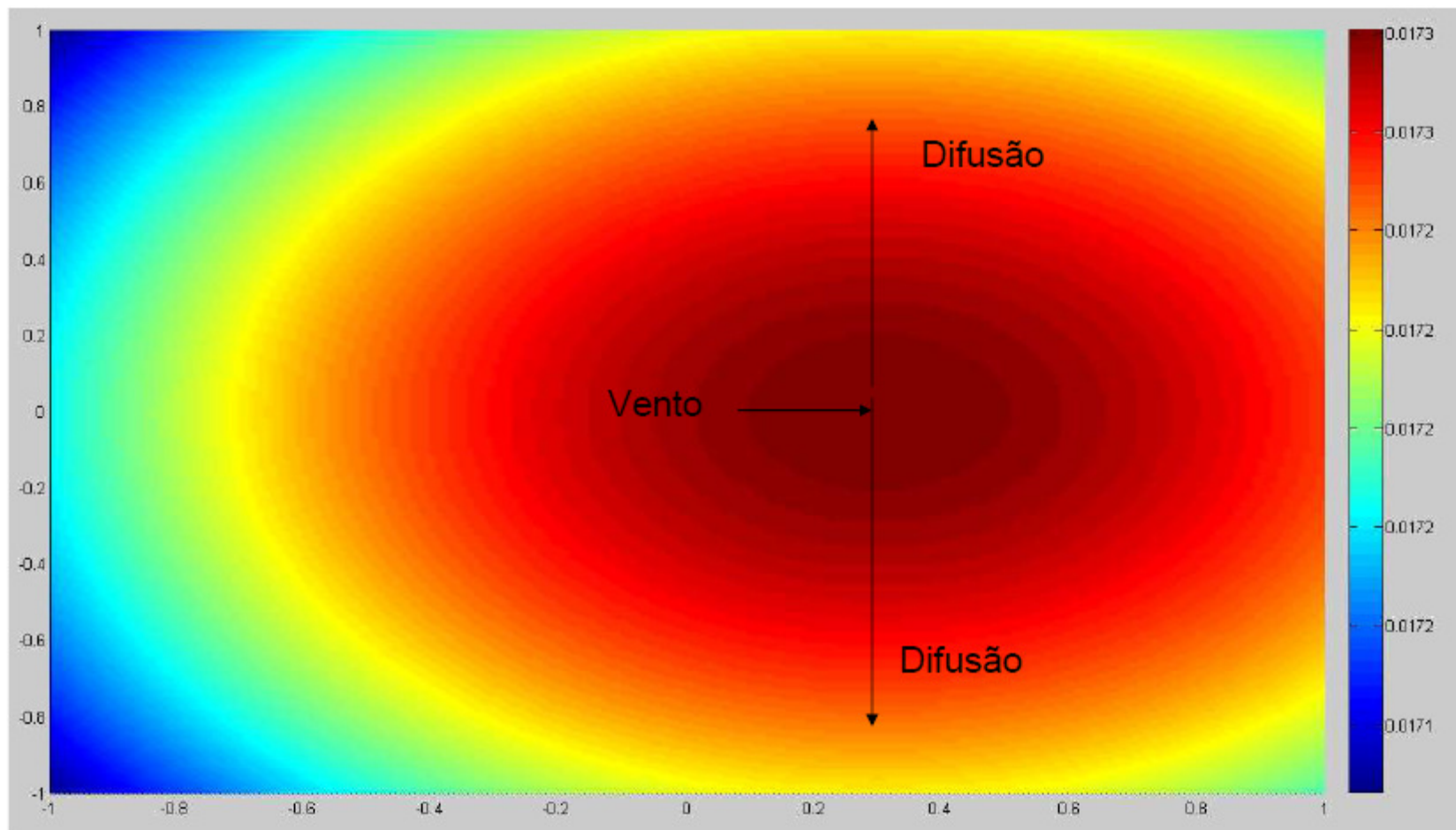
Modelo teórico

$Q_m=500g$; $K=0.5 \text{ m}^2/\text{s}$; $t=1\text{s}$; $u=0.002 \text{ m/s}$;

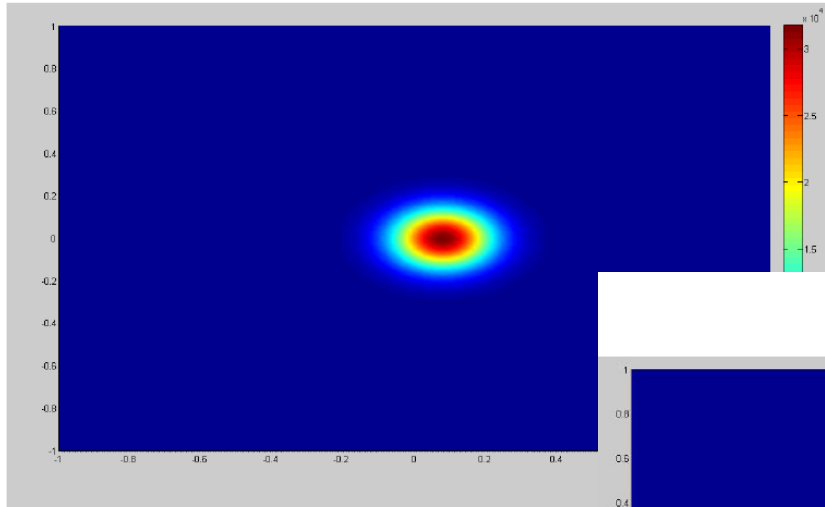


Modelo teórico

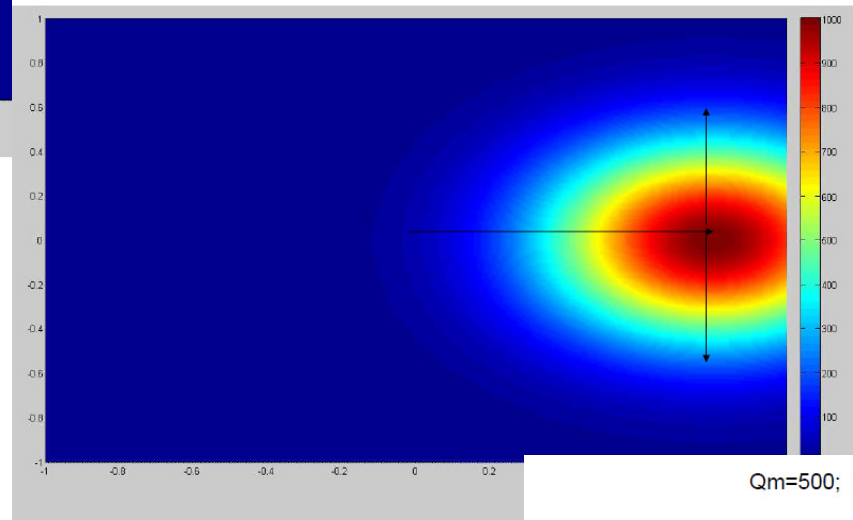
$Q_m=500g$; $K=0.5 \text{ m}^2/s$; $t=150s$; $u=0.002 \text{ m/s}$;



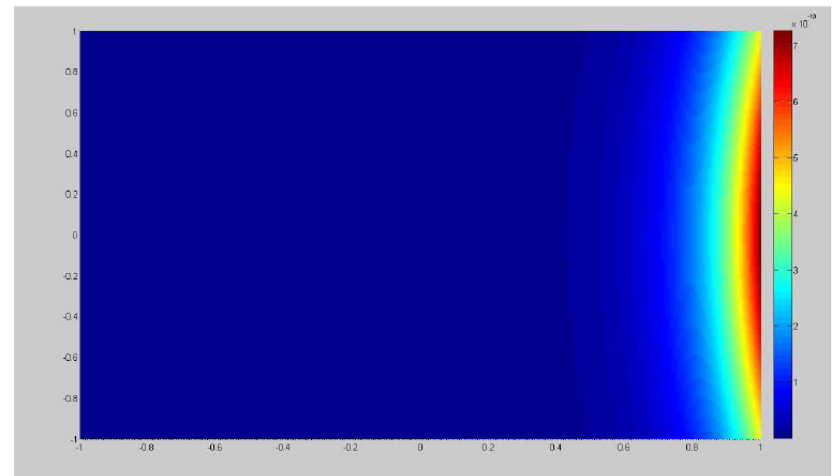
$Q_m=500$ $K=0.5$ $t=0.01$ $u=8$;



$Q_m=500$; $K=0.5$; $t=0.1$; $u=8$;

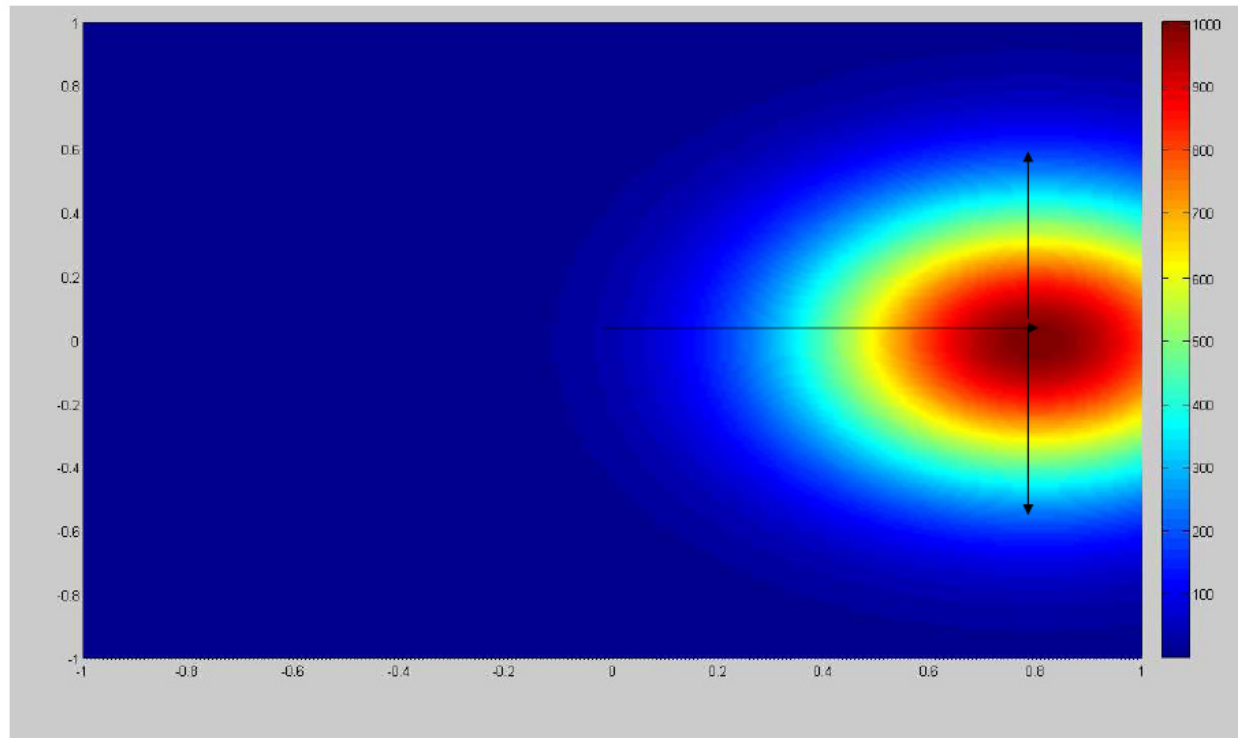


$Q_m=500$; $K=0.5$; $t=1$; $u=8$;



Funciona?

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi t)^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x - ut)^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right]$$



Funciona?

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi t)^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x - ut)^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right]$$

?

?

?



Modelos de Pasquill Gifford

A atmosfera muda constantemente!
Não tem um K único e constante!!

- Difusividade *eddy*, K , possui variação espacial e temporal.
- Dificuldade em encontrar correlações experimentais para as difusividades *eddy*.
- Uso de modelos de Pasquill-Gifford para obter os *coeficientes de dispersão*.

σ_α^2

É função da estabilidade da atmosfera

Por definição:

X: downwind
Y: crosswind
Z: vertical

Estabilidade da atmosfera:

Table 5-1 Atmospheric Stability Classes for Use with the Pasquill-Gifford Dispersion Model^{1,2}

Surface wind speed (m/s)	Daytime insolation ³			Nighttime conditions ⁴	
	Strong	Moderate	Slight	Thin overcast or >4/8 low cloud	
				>4/8 low cloud	≤3/8 cloudiness
<2	A	A-B	B	F ⁵	F ⁵
2-3	A-B	B	C	E	F
3-4	B	B-C	C	D ⁶	E
4-6	C	C-D	D ⁶	D ⁶	D ⁶
>6	C	D ⁶	D ⁶	D ⁶	D ⁶

Stability classes:

- A. extremely unstable
- B. moderately unstable
- C. slightly stable
- D. neutrally stable
- E. slightly stable
- F. moderately stable

Atenção: note que a velocidade do vento tem efeito oposto comparando dia e noite!

¹F. A. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion." *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.

²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review." *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.

³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.

⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.

⁵These values are filled in to complete the table.

⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.

Estabilidade da atmosfera:

Table 5-1
with the Pas

Surface
wind speed
(m/s)

- <2
- 2-3
- 3-4
- 4-6
- >6

Stability classes:

- A. extremely unstable
- B. moderately unstable
- C. slightly unstable
- D. neutrally stable
- E. slightly stable
- F. moderately stable



ons⁴

3/8
iness

5

6

6

ade do vento
o dia e noite!

¹F. A. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion." *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.

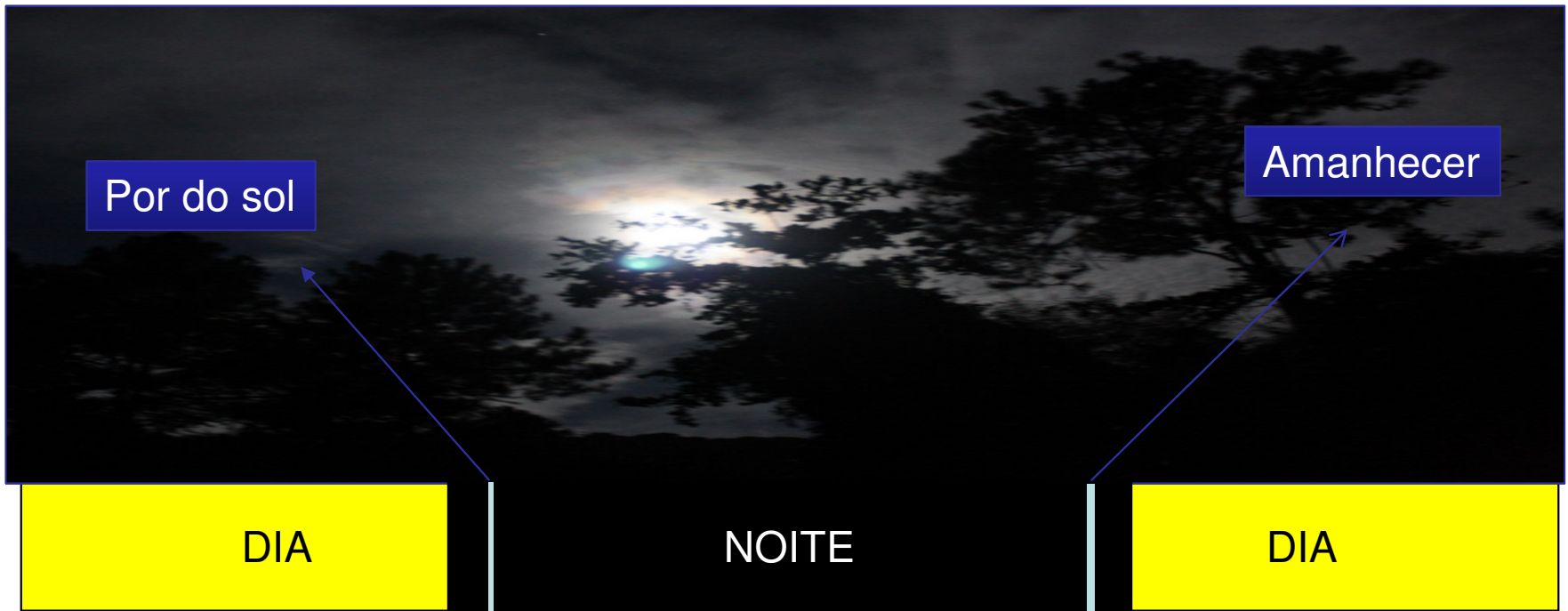
²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review." *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.

³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.

⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.

⁵These values are filled in to complete the table.

⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.



Por do sol

Amanhecer

DIA

NOITE

DIA

- Stability classes:
- A. extremely unstable
 - B. moderately unstable
 - C. slightly stable
 - D. neutrally stable
 - E. slightly stable
 - F. moderately stable

Atenção: note que a velocidade do vento em efeito oposto comparando dia e noite!

¹F. A. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion." *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.

²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review." *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.

³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.

⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.

⁵These values are filled in to complete the table.

⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.

Cuidado! Veja item 6!

Estabilidade da atmosfera:

D



¹W. S. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion," *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.

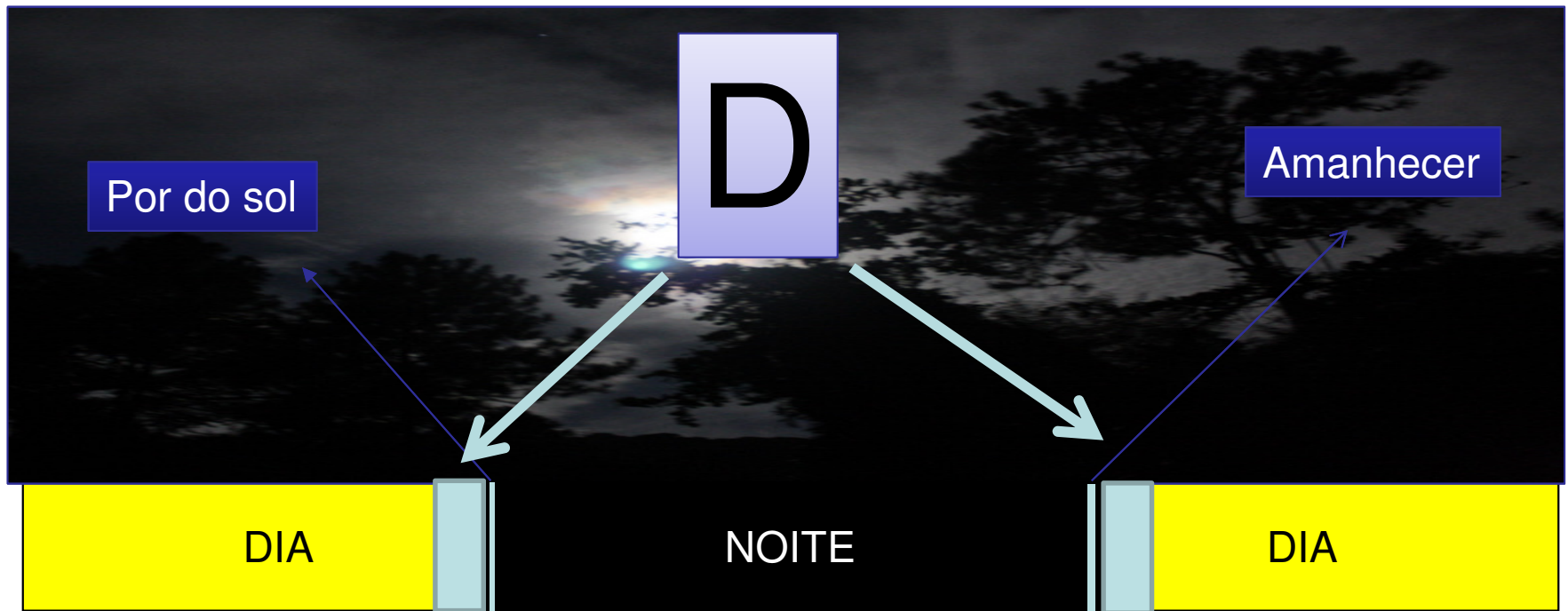
²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review," *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.

³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.

⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.

⁵These values are filled in to complete the table.

⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.



- Stability classes:
- A. extremely unstable
 - B. moderately unstable
 - C. slightly stable
 - D. neutrally stable
 - E. slightly stable
 - F. moderately stable

Atenção: note que a velocidade do vento em efeito oposto comparando dia e noite!

¹F. A. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion." *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.
²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review." *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.
³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.
⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.
⁵These values are filled in to complete the table.
⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.

Coeficiente de dispersão para **PLUMA**:

Table 5-2 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Plume Dispersion^{1,2} (the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

Atenção: assumo o coeficiente de X igual ao de Y

Coeficiente de dispersão para **PUFF**:

Table 5-3 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Puff Dispersion^{1,2}
(the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m) or σ_x (m)	σ_z (m)
A	$0.18x^{0.92}$	$0.60x^{0.75}$
B	$0.14x^{0.92}$	$0.53x^{0.73}$
C	$0.10x^{0.92}$	$0.34x^{0.71}$
D	$0.06x^{0.92}$	$0.15x^{0.70}$
E	$0.04x^{0.92}$	$0.10x^{0.65}$
F	$0.02x^{0.89}$	$0.05x^{0.61}$

A–F are defined in Table 5-1.

¹R. F. Griffiths. "Errors in the Use of the Briggs Parameterization for Atmospheric Dispersion Coefficients." *Atmospheric Environment* (1994), 28(17): 2861–2865.

²G. A. Briggs. *Diffusion Estimation for Small Emissions*. Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories, 1974).

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 11:

PUFF, fonte pontual localizada no chão, sistema de coordenadas na fonte, vento constante na direção X

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right] \right\}.$$

Dose Total:

$$D_{\text{tid}}(x, y, z) = \int_0^{\infty} \langle C \rangle(x, y, z, t) dt.$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 11:

PUFF, fonte pontual localizada no chão, sistema de coordenadas na fonte, vento constante na direção X

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right] \right\}.$$

Semelhante ao
Caso 7:

Caso 7: Nuvem com vento

PUFF

- Condições para o caso:
 - Liberação instantânea, Q_m^* .
 - Vento somente na direção x , $\bar{\mathbf{u}} = \bar{\mathbf{u}}_x = u$.
 - Mesmas condições de contorno.
 - Cada coordenada possui diferentes difusividades *eddy* constantes (K_x , K_y e K_z).
- Solução idêntica ao caso 5 (Nuvem sem vento).
 - Propagação da nuvem ao longo do eixo x .
 - Transformação de coordenadas $x \rightarrow x - ut$.

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi t)^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x - ut)^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right]$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 12:

Pluma, fonte continua, avaliação no estado estacionário, fonte localizada no chão, sistema de coordenadas na fonte, vento constante na direção X

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right].$$

Dose Total:

$$D_{\text{tid}}(x, y, z) = \int_0^{\infty} \langle C \rangle(x, y, z, t) dt.$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 12:

Pluma, fonte continua, avaliação no estado estacionário, fonte localizada no chão, sistema de coordenadas na fonte, vento constante na direção X

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Semelhante ao Caso 9:

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi x \sqrt{K_x K_y}} \times \exp \left[-\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right]$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 13:

Pluma, fonte contínua, avaliação no estado estacionário, fonte localizada em uma altura H_r do chão, sistema de coordenadas no chão na posição da fonte, vento constante na direção X

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z - H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z + H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

The maximum ground-level concentration along the x axis $\langle C \rangle_{\max}$ is found using

$$\langle C \rangle_{\max} = \frac{2Q_m}{e\pi u H_r^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right)$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 13:

Pluma, fonte contínua, avaliação no estado estacionário, fonte localizada em uma altura H_r do chão, sistema de coordenadas no chão na posição da fonte, vento constante na direção X



The m

using

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 13:

Pluma, fonte contínua, avaliação no estado estacionário, fonte localizada em uma altura H_r do chão, sistema de coordenadas no chão na posição da fonte, vento constante na direção X

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z - H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z + H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Semelhante ao
Caso 10:

Caso 10: Liberação pontual contínua e estacionária com fonte a uma altura H_r do solo

- Condições para o caso:
 - Liberação contínua, Q_m .
 - Vento somente na direção x , $\bar{u} = \bar{u}_x = u$
 - Mesmas condições de contorno.
 - Cada coordenada possui diferentes difusividades eddy constantes (K_x , K_y e K_z).

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi x \sqrt{K_y K_z}} \exp\left(-\frac{uy^2}{4K_y x}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{u}{4K_z x}(z - H_r)^2\right) + \exp\left(-\frac{u}{4K_z x}(z + H_r)^2\right) \right]$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 13

The distance downwind at which the maximum ground-level concentration occurs is found from

$$\sigma_z = \frac{H_r}{\sqrt{2}}$$

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 14:

Sistemas de coordenadas acompanha o Puff, fonte a uma altura H_r em relação ao solo:

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z - H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z + H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

(a dependência com o tempo é dada através dos valores dos coeficientes de dispersão, que variam conforme a nuvem se move; equação não serve para o caso em que $u = 0$)

Modelos de Pasquill Gifford

Caso 15:

Puff, fonte a uma altura H_r em relação ao solo, sistema de coordenadas na Posição da fonte (mas no solo):

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z - H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z + H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - ut}{\sigma_x}\right)^2\right]$$

where t is the time since the release of the puff.

Modelo para liberações com Momento e Empuxo gerado por diferença de temperatura (muito usado para chaminés)





$$\Delta H_r = \frac{\bar{u}_s d}{\bar{u}} \left[1.5 + 2.68 \times 10^{-3} P d \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \right],$$

where

ΔH_r is the correction to the release height H_r ,

\bar{u}_s is the stack gas exit velocity (in m/s),

d is the inside stack diameter (in m),

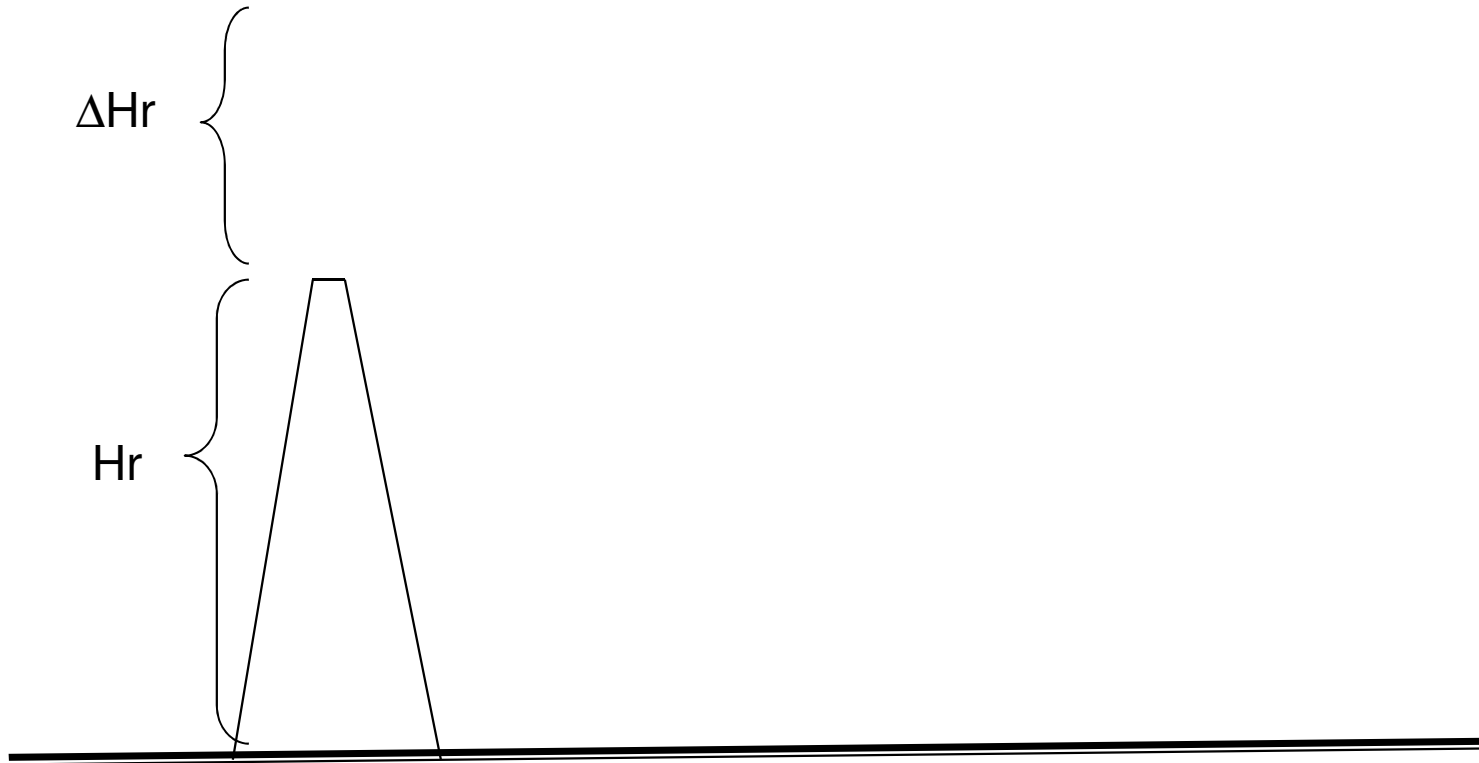
\bar{u} is the wind speed (in m/s),

P is the atmospheric pressure (in mb),

T_s is the stack gas temperature (in K), and

T_a is the air temperature (in K).

Adicione esse valor a altura da fonte de emissão.



Modelos de Pasquill Gifford

Limitações:

-empuxo e momento nulos

Atenção: os modelos de Pasquill também são de empuxo neutro! A única diferença é o coeficiente de difusão.

-distância de 100 m até 10 km da fonte

-concentração média! É possível que a concentração instantânea seja o dobro da calculada.

Example 5-2

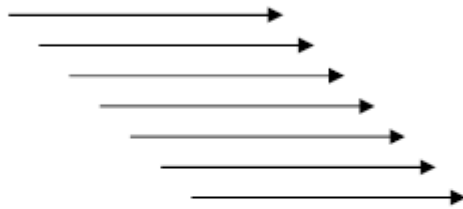
Chlorine is used in a particular chemical process. A source model study indicates that for a particular accident scenario 1.0 kg of chlorine will be released instantaneously. The release will occur at ground level. A residential area is 500 m away from the chlorine source. Determine

- a. The time required for the center of the cloud to reach the residential area. Assume a wind speed of 2 m/s.
- b. The maximum concentration of chlorine in the residential area. Compare this with an ERPG-1 for chlorine of 1.0 ppm. What stability conditions and wind speed produces the maximum concentration?
- c. Determine the distance the cloud must travel to disperse the cloud to a maximum concentration below the ERPG-1. Use the conditions of part b.
- d. Determine the size of the cloud, based on the ERPG-1, at a point 5 km directly downwind on the ground. Assume the conditions of part b.

Assume in all cases that the chlorine cloud released is neutrally buoyant (which might not be a valid assumption).

- a. The time required for the center of the cloud to reach the residential area. Assume a wind speed of 2 m/s.

vento: 2 m/s



Ou seja: a cada 1 segundo, o ar se desloca 2 metros.

Irá demorar 250 segundos para se deslocar 500 metros (distancia até as casas).

$$t = 250s = 4,2 \text{ min}$$

- b. The maximum concentration occurs at the center of the cloud directly downwind from the release. The concentration is given by Equation

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right] \right\}.$$

Downwind: $y = 0, z = 0$

Repare que podemos escrever x em função do tempo, sabendo a velocidade do vento:

$$x = ut$$

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right] \right]$$

0

1

Assim,

$$C(ut, 0, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z}$$

The stability conditions are selected to maximize $\langle C \rangle$ in Equation 5-41.

Use a Tabela achando a classe que minimiza a difusão!

$$\sigma_x = \sigma_y = 0.02x^{0.89} = (0.02)(500 \text{ m})^{0.89} = 5.0 \text{ m},$$

$$\sigma_z = 0.05x^{0.61} = (0.05)(500 \text{ m})^{0.61} = 2.2 \text{ m}.$$

Table 5-3 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Puff Dispersion^{1,2} (the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m) or σ_x (m)	σ_z (m)
A	$0.18x^{0.92}$	$0.60x^{0.75}$
B	$0.14x^{0.92}$	$0.53x^{0.73}$
C	$0.10x^{0.92}$	$0.34x^{0.71}$
D	$0.06x^{0.92}$	$0.15x^{0.70}$
E	$0.04x^{0.92}$	$0.10x^{0.65}$
F	$0.02x^{0.89}$	$0.05x^{0.61}$

A-F are defined in Table 5-1.

¹R. F. Griffiths. "Errors in the Use of the Briggs Parameterization for Atmospheric Dispersion Coefficients." *Atmospheric Environment* (1994), 28(17): 2861-2865.

²G. A. Briggs. *Diffusion Estimation for Small Emissions*. Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories, 1974).

From Equation

$$C = \frac{1.0 \text{ kg}}{\sqrt{2}(3.14)^{3/2}(5.0 \text{ m})^2(2.2 \text{ m})} = 2.31 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 = 2310 \text{ mg/m}^3.$$

This is converted to ppm using Equation 2-6. Assuming a pressure of 1 atm and a temperature of 298 K, the concentration in ppm is 798 ppm. This is much higher than the ERPG-1 of 1.0 ppm. Any individuals within the immediate residential area and any personnel within the plant will be excessively exposed if they are outside and downwind from the source.

- c. From Table 2-7 the ERPG-1 of 1.0 ppm is 3.0 mg/m^3 or $3.0 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$. The concentration at the center of the cloud is given by Equation 5-41. Substituting the known values, we obtain

$$3.0 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3 = \frac{1.0 \text{ kg}}{\sqrt{2}(3.14)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z}$$

$$\sigma_y^2 \sigma_z = 4.24 \times 10^4 \text{ m}^3.$$

The distance downwind is solved using the equations provided in Table 5-3. Thus for F stability

$$\sigma_y^2 \sigma_z = (0.02x^{0.89})^2(0.05x^{0.61}) = 4.24 \times 10^4 \text{ m}^3.$$

$$X = 8 \text{ km}$$

d. The downwind centerline concentration is given by Equation

$$(C)(x, 0, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2\right].$$

The time required for the center of the plume to arrive is

$$t = \frac{x}{u} = \frac{5000 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 2500 \text{ s.}$$

O instante que estou avaliando é $t = 2500 \text{ s}$

Então: $u t = 2 * 2500 = 5000$

Estabilidade:

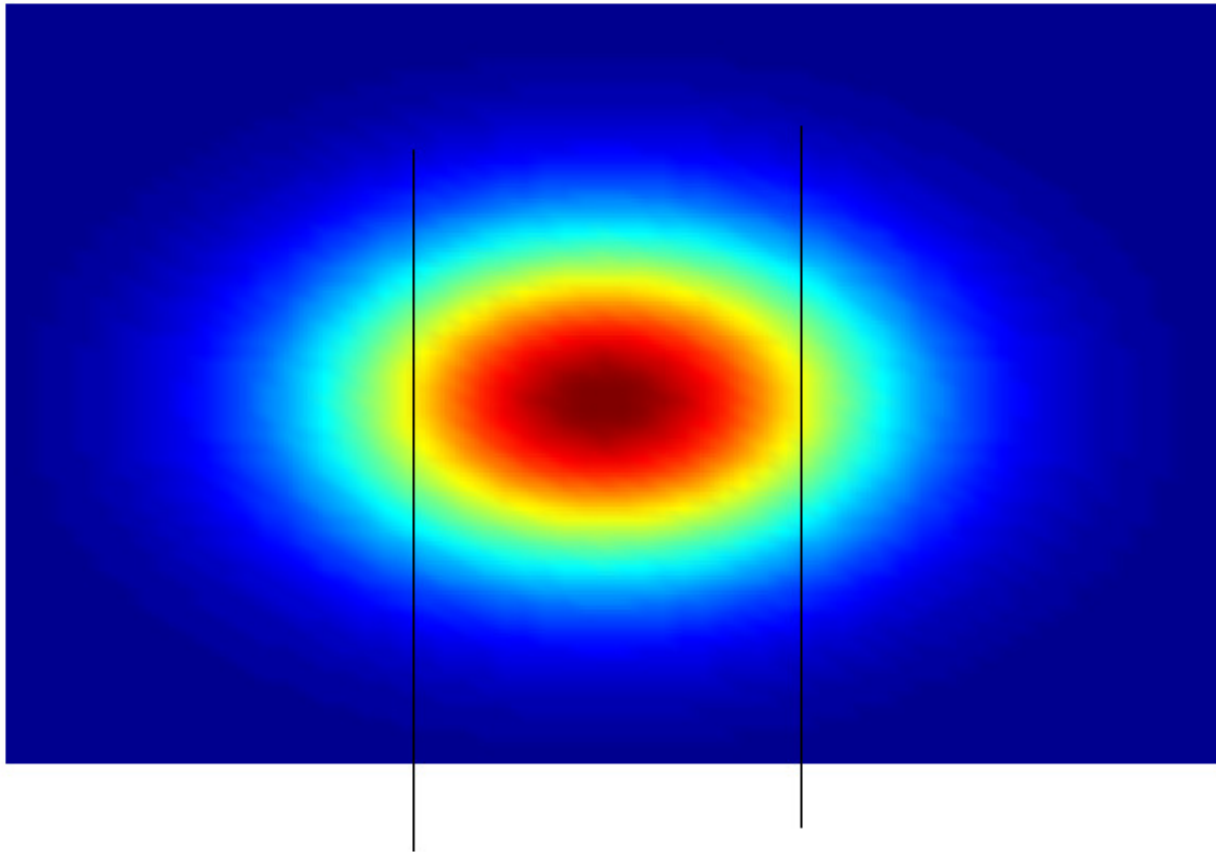
$$\sigma_x = \sigma_y = 0.02x^{0.89} = 39.2 \text{ m,}$$

$$\sigma_z = 0.05x^{0.61} = 9.0 \text{ m.}$$

Substituting the numbers provided gives

$$3.0 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3 = \frac{1.0 \text{ kg}}{\sqrt{2\pi^{3/2}}(39.2 \text{ m})^2(9.0 \text{ m})} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - 5000}{39.2 \text{ m}}\right)^2\right],$$

Neste instante, a concentração 3 e-006 kg/m³ ocorre em dois locais:



Esses locais são:

```
%Equacao:
```

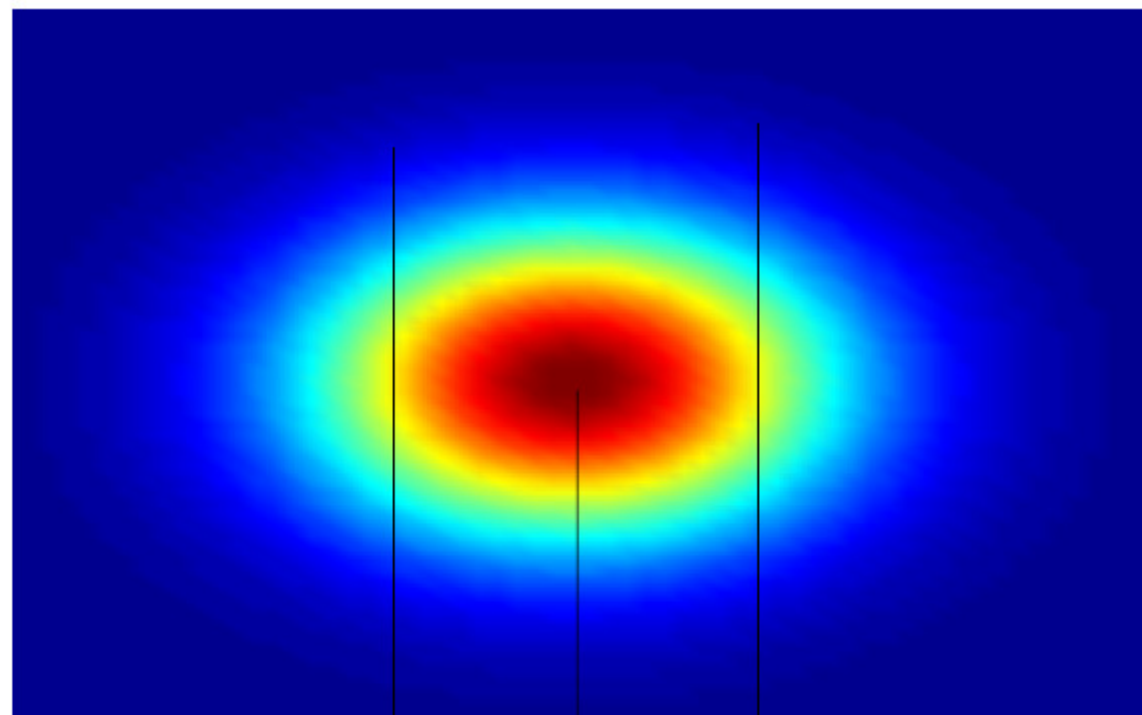
```
%exp ( -0.5 * ( ((x-5000)/39.2)^2 ) ) - 3.267055349e-1
```

```
fzero( 'exp ( -0.5 * ( ((x-5000)/39.2)^2 ) ) - 3.267055349e-1', 5000)
```

```
%ans = 4.9414e+003
```

```
fzero( 'exp ( -0.5 * ( ((x-5000)/39.2)^2 ) ) - 3.267055349e-1', 6000)
```

```
%ans = 5.0586e+003
```



4941

5058

5000

Ou seja: u t



59

59


Exemplo:

(5-7.) A storage tank containing acrolein (ERPG-1 = 0.1 ppm) is located 1500 m from a residential area. Estimate the amount of acrolein that must be instantaneously released at ground level to produce a concentration at the boundary of the residential area equal to the ERPG-1.

Solução:

- liberação instantânea (puff)
 - fonte no solo
 - com vento
- Assim, Caso 11

Concentração alcança 0.1 ppm a 1500m da fonte


$$0.1 \text{ ppm} = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ g/m}^3$$

Assumindo estabilidade F e vento 2m/s (pior cenário),
calcule a difusão...

Table 5-3 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Puff Dispersion^{1,2}
(the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m) or σ_x (m)	σ_z (m)
A	$0.18x^{0.92}$	$0.60x^{0.75}$
B	$0.14x^{0.92}$	$0.53x^{0.73}$
C	$0.10x^{0.92}$	$0.34x^{0.71}$
D	$0.06x^{0.92}$	$0.15x^{0.70}$
E	$0.04x^{0.92}$	$0.10x^{0.65}$
F	$0.02x^{0.89}$	$0.05x^{0.61}$

A–F are defined in Table 5-1.

¹R. F. Griffiths, "Errors in the Use of the Briggs Parameterization for Atmospheric Dispersion Coefficients." *Atmospheric Environment* (1994), 28(17): 2861–2865.

²G. A. Briggs, *Diffusion Estimation for Small Emissions*, Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories, 1974).

Usando a equação principal do Caso 11:

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right] \right\}.$$

Calculo Qm sabendo:

a concentração C

as difusões,

a posição x (=1500), y (=0) e z (=0)

Conheço a velocidade do vento (u). O "t" é o tempo para o vento percorrer 1500 m, ou seja 750 s.

Exemplo:

5-3) A burning dump emits an estimated 3 g/s of oxides of nitrogen. What is the average concentration of oxides of nitrogen from this source directly downwind at a distance of 3 km on an overcast night with a wind speed of 7 m/s? Assume that this dump is a point ground-level source.

Características:

- A emissão é em forma de pluma
- Tem vento
- Fonte no solo

Logo: Caso 12

Solução:

$$x = 3000 \text{ m}$$

$$u = 7 \text{ m/s}$$

Overcast (nublado): assumo estabilidade D

Assumindo área rural...

Table 5-2 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Plume Dispersion^{1,2} (the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$

Vamos usar a equação deste caso:

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right].$$

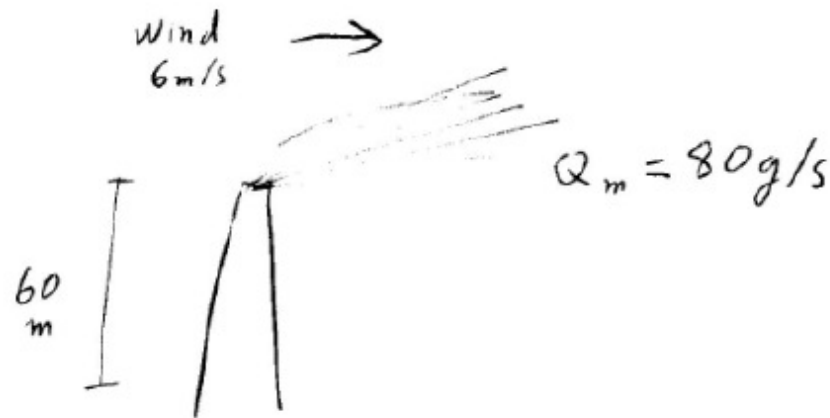
Na downwind $y=0, z=0$

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u}$$

EXEMPLO:

On an overcast day a stack with an effective height of 60 m is releasing sulfur dioxide at the rate of 80 g/s. The wind speed is 6 m/s. The stack is located in a rural area. Determine

- The mean concentration of SO_2 on the ground 500 m downwind.
- The mean concentration on the ground 500 m downwind and 50 m crosswind.
- The location and value of the maximum mean concentration on ground level directly downwind.



- fonte contínua
 - PLUMA
 - $H_n = 60 \text{ m}$
 - vento
- } CASO 13

Solution

- a. This is a continuous release. The ground concentration directly downwind is given by Equation

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Encontrando a estabilidade da atmosfera na tabela:

Table 5-1 Atmospheric Stability Classes for Use with the Pasquill-Gifford Dispersion Model^{1,2}

Surface wind speed (m/s)	Daytime insolation ³			Nighttime conditions ⁴	
	Strong	Moderate	Slight	Thin overcast or >4/8 low cloud	≤3/8 cloudiness
<2	A	A-B	B	F ⁵	F ⁵
2-3	A-B	B	C	E	F
3-4	B	B-C	C	D ⁶	E
4-6	C	C-D	D ⁶	D ⁶	D ⁶
>6	C	D ⁶	D ⁶	D ⁶	D ⁶

Stability classes:

- A. extremely unstable
- B. moderately unstable
- C. slightly stable
- D. neutrally stable
- E. slightly stable
- F. moderately stable

¹F. A. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion," *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.

²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review," *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.

³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.

⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.

⁵These values are filled in to complete the table.

⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.

Coeficiente de dispersão para pluma:

Table 5-2 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Plume Dispersion^{1,2} (the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

O valor de x corresponde a posição desejada (500 m downwind)

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2} \\ &= (0.08)(500 \text{ m})[1 + (0.0001)(500 \text{ m})]^{-1/2} = 39.0 \text{ m},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2} \\ &= (0.06)(500 \text{ m})[1 + (0.0015)(500 \text{ m})]^{-1/2} = 22.7 \text{ m}.\end{aligned}$$

Agora é só aplicar a equação na posição desejada:

$$\begin{aligned} (C)(x, y, z) &= \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\ &\times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z - H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z + H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}. \end{aligned}$$

$$(C)(500 \text{ m}, 0, 0) = 1.45 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3.$$

b. The mean concentration on the ground 500 m downwind and 50 m crosswind.

Basta entrar com os valores de X e Y corretos:

$$\begin{aligned}\langle C \rangle(500 \text{ m}, 50 \text{ m}, 0) &= \langle C \rangle(500 \text{ m}, 0, 0) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\ &= (1.45 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{50 \text{ m}}{39 \text{ m}}\right)^2\right] \\ &= 6.37 \times 10^{-5} \text{ g/m}^3.\end{aligned}$$

c. The location of the maximum concentration is found from Equation

$$\sigma_z = \frac{H_r}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_z = \frac{H_r}{\sqrt{2}} = \frac{60 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 42.4 \text{ m.}$$

Vamos na tabela achar o X correspondente:

X = 1200 m

Table 5-2 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Plume Dispersion^{1,2} (the downwind distance *x* has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

Com o valor de X, entre na tabela e ache o coeficiente de difusão em Y (=88):

Table 5-2 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Plume Dispersion^{1,2} (the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

X = 1200 m



Tendo os coeficientes de difusão em X e em Z, use a equação:

$$\langle C \rangle_{\max} = \frac{2Q_m}{e\pi u H_r^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y} \right)$$

$$\begin{aligned} \langle C \rangle_{\max} &= \frac{2Q_m}{e\pi u H_r^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y} \right) \\ &= \frac{(2)(80 \text{ g/s})}{(2.72)(3.14)(6 \text{ m/s})(60 \text{ m})^2} \left(\frac{42.4 \text{ m}}{88 \text{ m}} \right) \\ &= 4.18 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3. \end{aligned}$$

Exemplo:

(5-4.) A trash incinerator has an effective stack height of 100 m. On a sunny day with a 2 m/s wind the concentration of sulfur dioxide 200 m directly downwind is measured at $5.0 \times 10^{-5} \text{ g/m}^3$. Estimate the mass release rate (in g/s) of sulfur dioxide from this stack. Also estimate the maximum sulfur dioxide concentration expected on the ground and its location downwind from the stack.

Solução:

Fonte continua (pluma)
Fonte a 100 m de altura
Com vento
Então... Caso 13

Vento: 2 m/s
Dia de Sol
Então... Estabilidade Classe A

Concentração de 5.10^{-5} g/m^3 a 200 m na downwind

Assumindo área rural, calculo a difusão:

Table 5-2 Recommended Equations for Pasquill-Gifford Dispersion Coefficients for Plume Dispersion^{1,2} (the downwind distance x has units of meters)

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
D	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

Assumindo que a concentração na downwind esteja sendo medida no solo, temos: $y=0$, $z=0$.

Uso a equação deste caso para achar Q_m :

$$\begin{aligned} \langle C \rangle(x, y, z) = & \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \\ & \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z - H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z + H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}. \end{aligned}$$

A concentração máxima no solo é dada pela equação apresentada no caso:

The maximum ground-level concentration along the x axis $(C)_{\max}$ is found using

Concentração máxima no solo

$$(C)_{\max} = \frac{2Q_m}{e\pi u H_r^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y} \right)$$

Assim como a posição na downwind onde essa concentração ocorre:

The distance downwind at which the maximum ground-level concentration occurs is found from

Posição onde a concentração no solo é máxima.

$$\sigma_z = \frac{H_r}{\sqrt{2}}$$

(5-53)

Ver a equação deste termo!

Exemplo:

- 5-6. An air sampling station is located at an azimuth of 203° from a cement plant at a distance of 1500 m. The cement plant releases fine particulates (less than $15 \mu\text{m}$ diameter) at the rate of 750 lb/hr from a 30-m stack. What is the concentration of particulates at the air sampling station when the wind is from 30° at 3 m/s on a clear day in the late fall at 4:00 P.M.?

Solução:

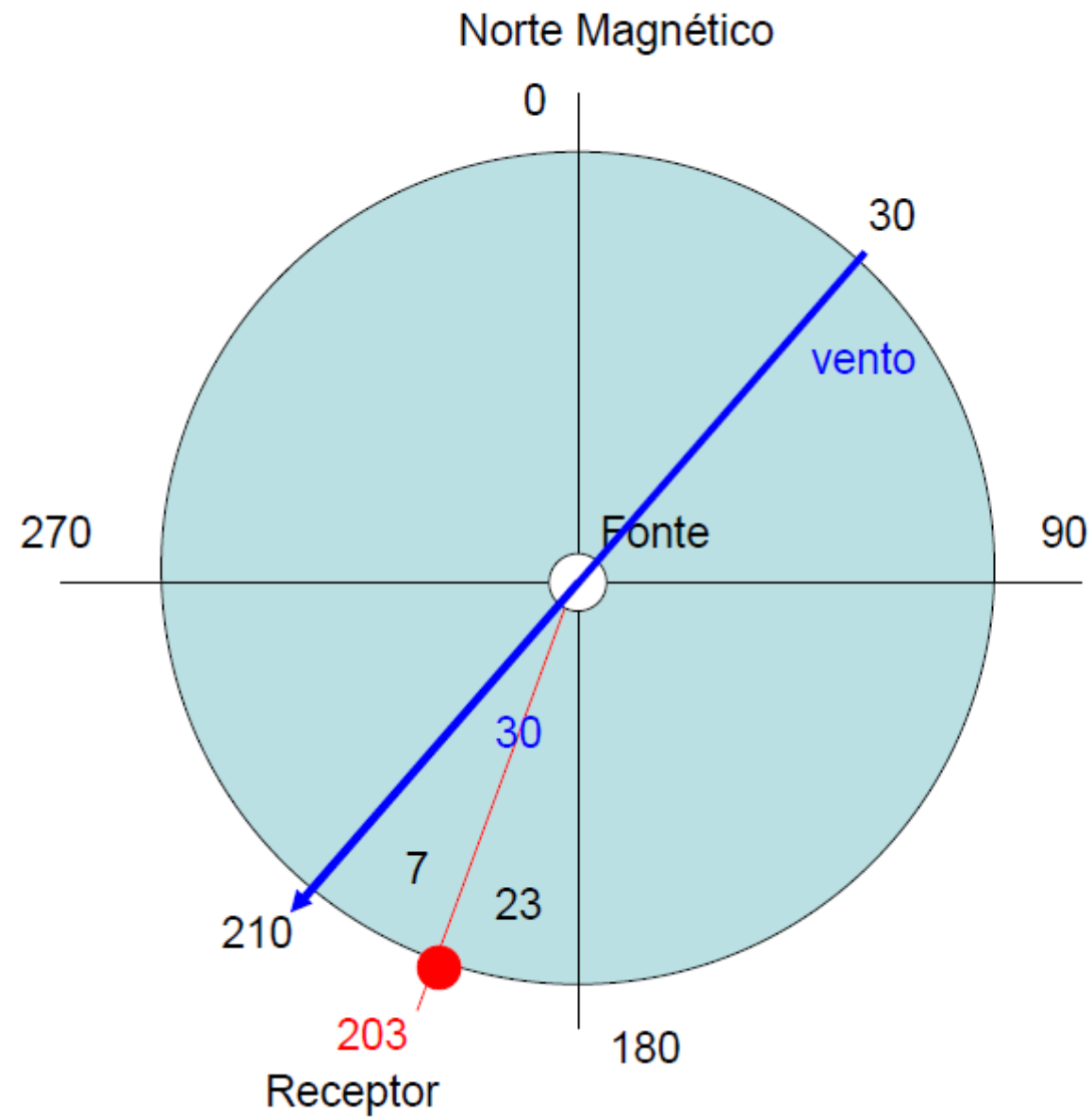
Liberação contínua (pluma)

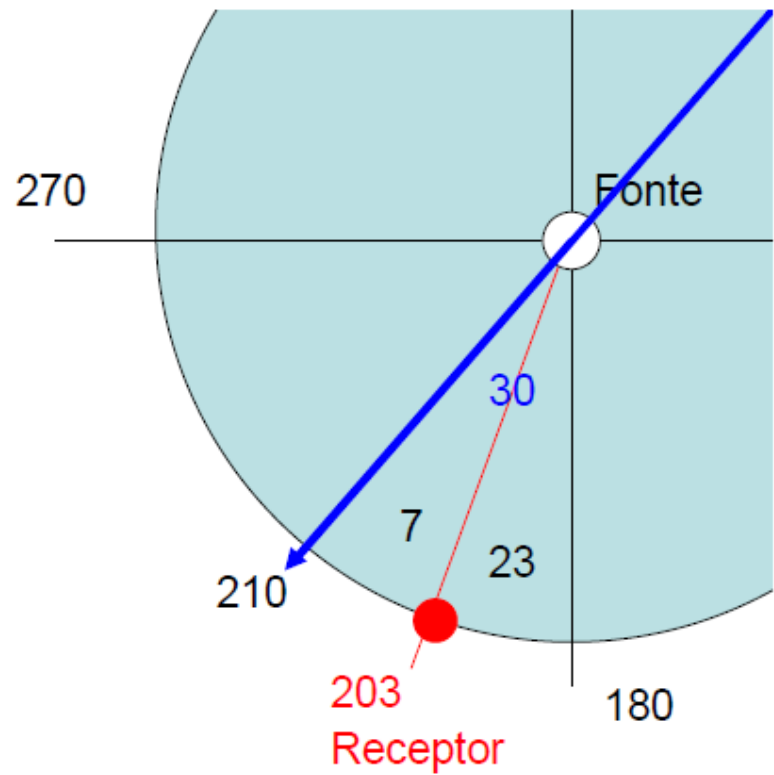
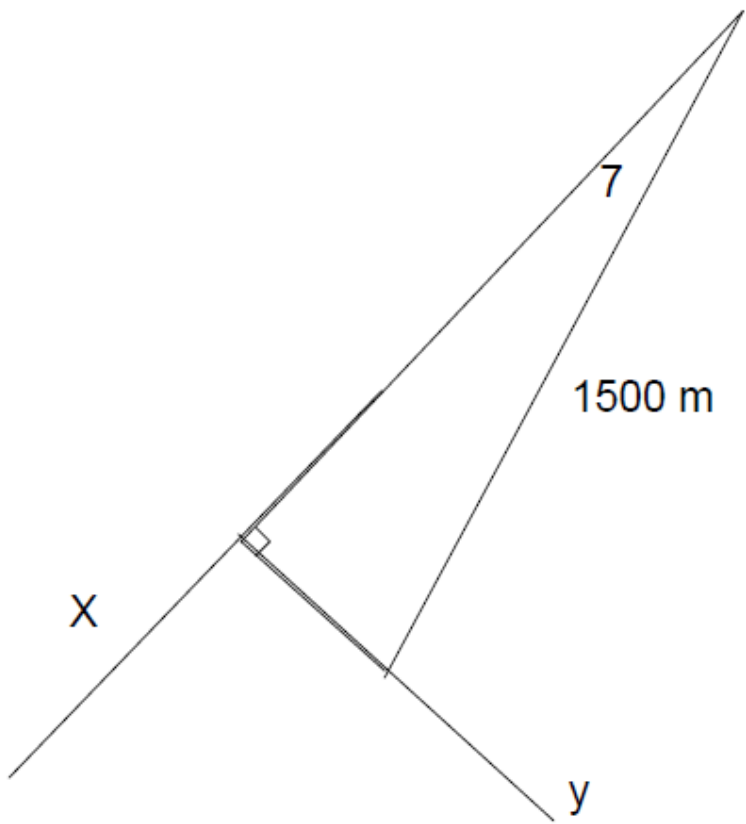
Fonte a 30m do chão

Com vento

Então... Caso 13

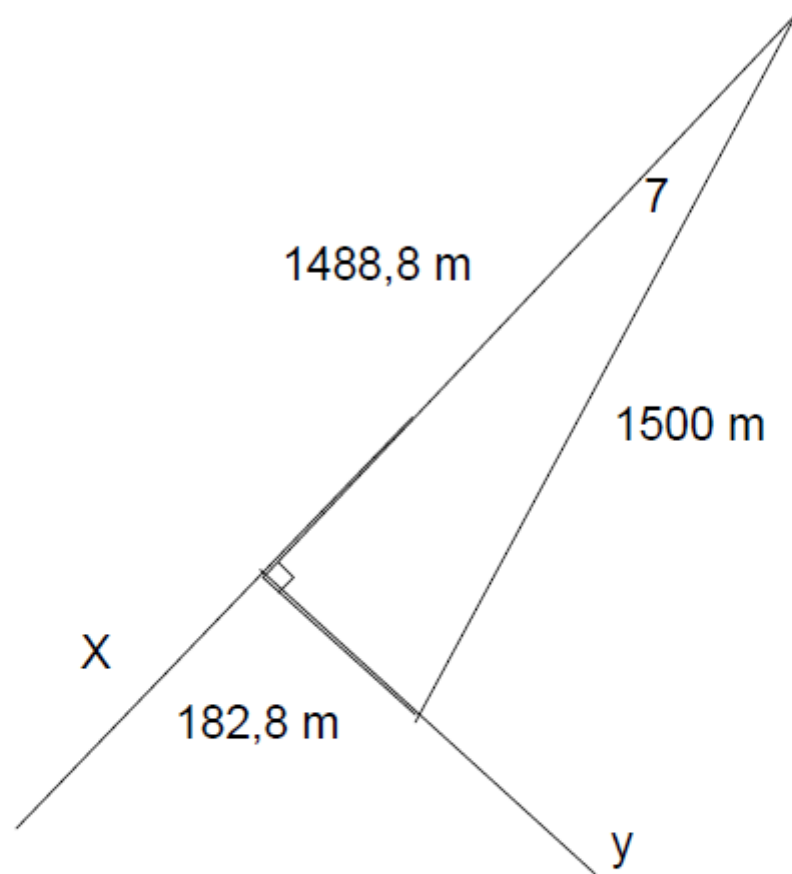
Onde quero calcular a concentração?





$$\text{sen}(7) = \text{CO} / 1500$$

$$\text{cos}(7) = \text{CA} / 1500$$

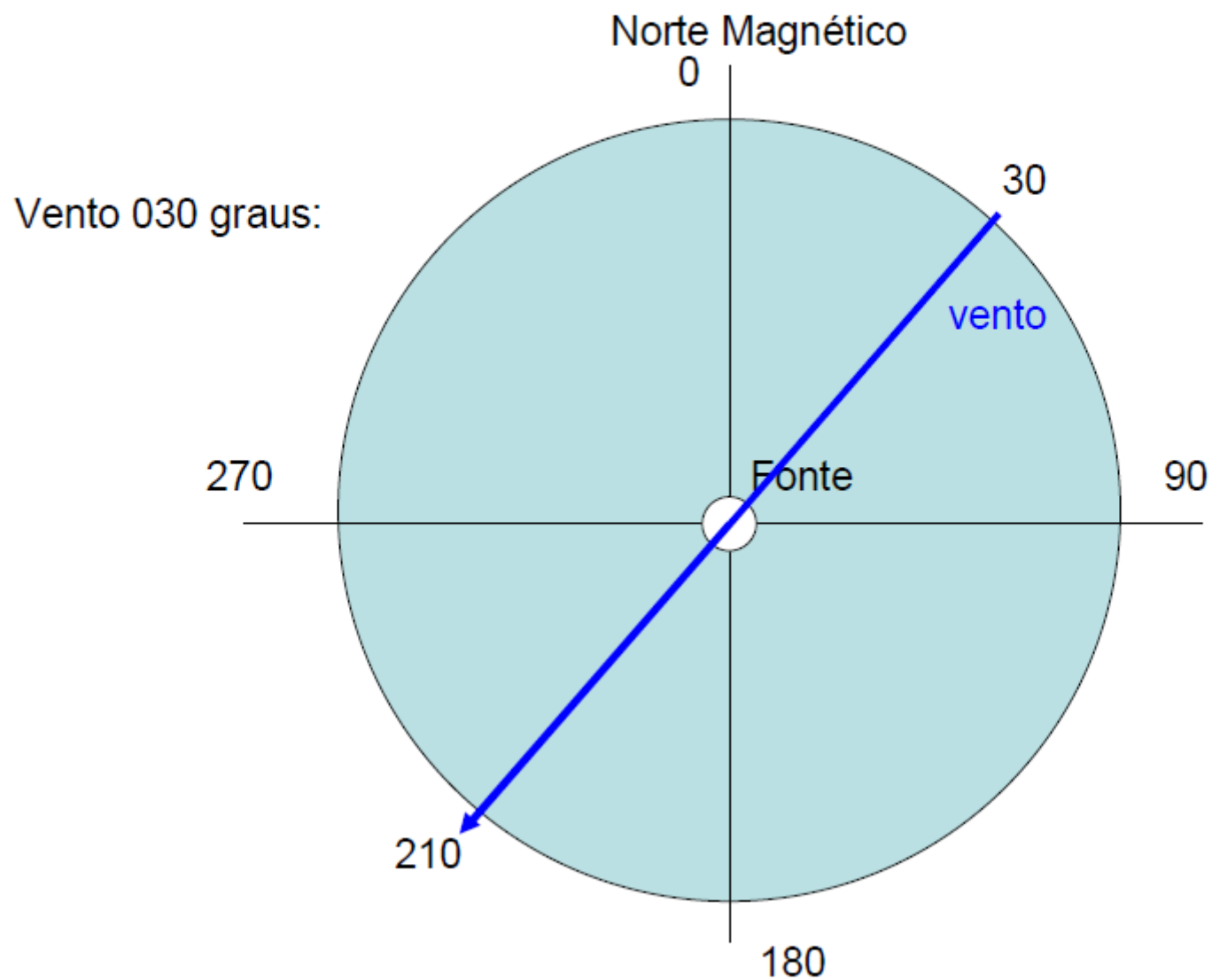


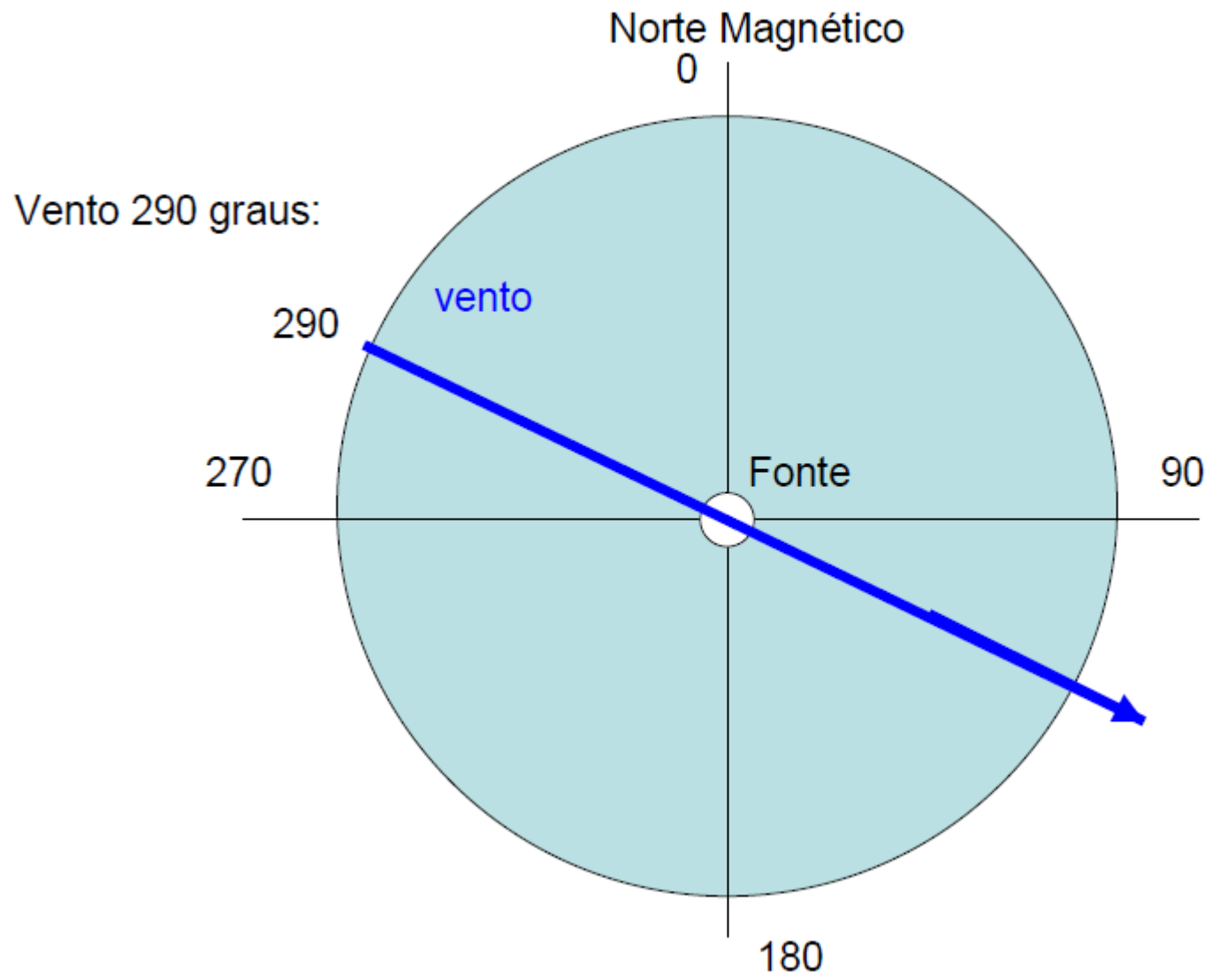
Posição: $x = 1488,8 \text{ m}$
 $y = 182,8 \text{ m}$
 $z = 0$ (medindo no solo)

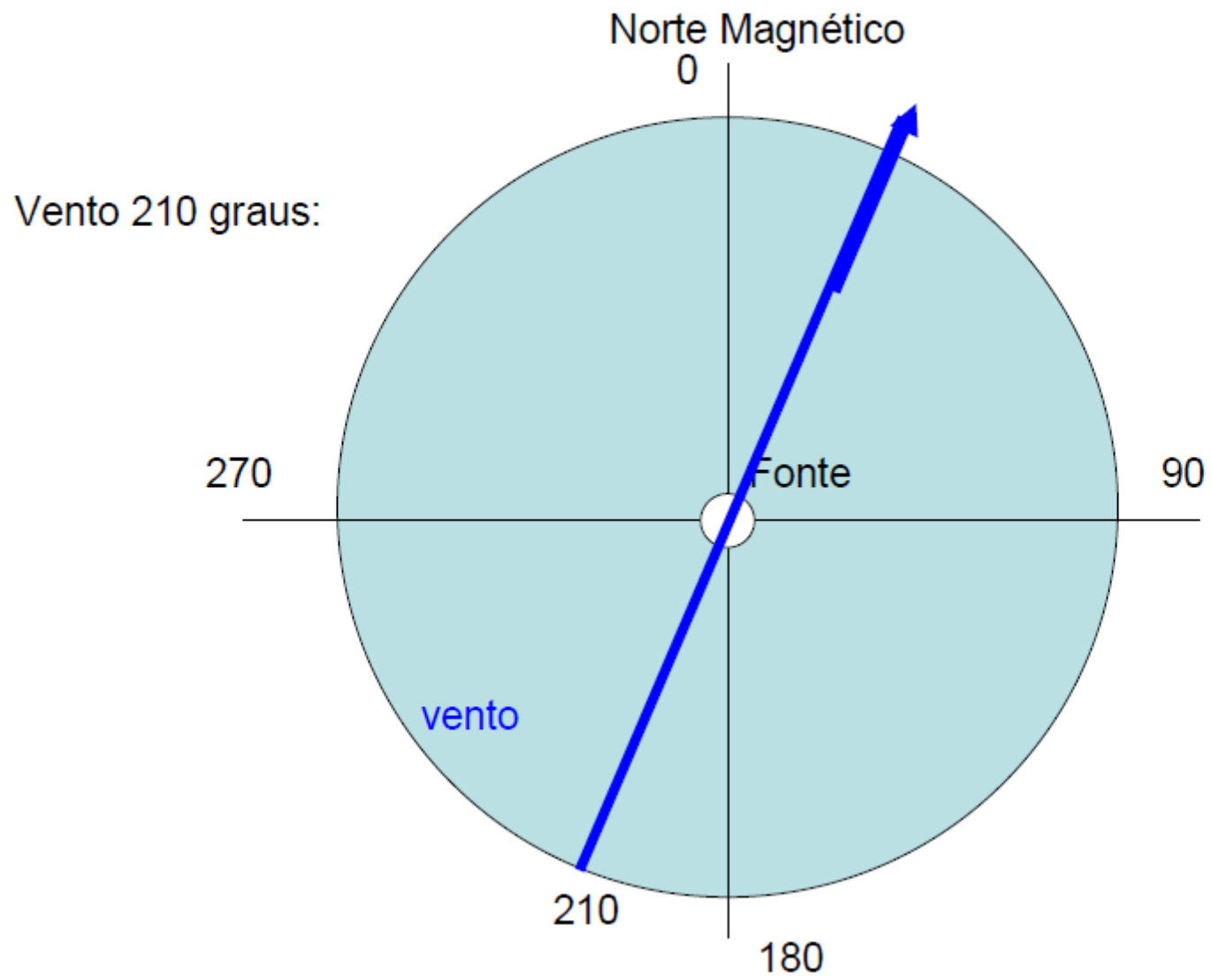
Continue a partir daqui...

Dica sobre direção do vento:

Em geral é informada como FROM XXX° ou seja DE XXX °



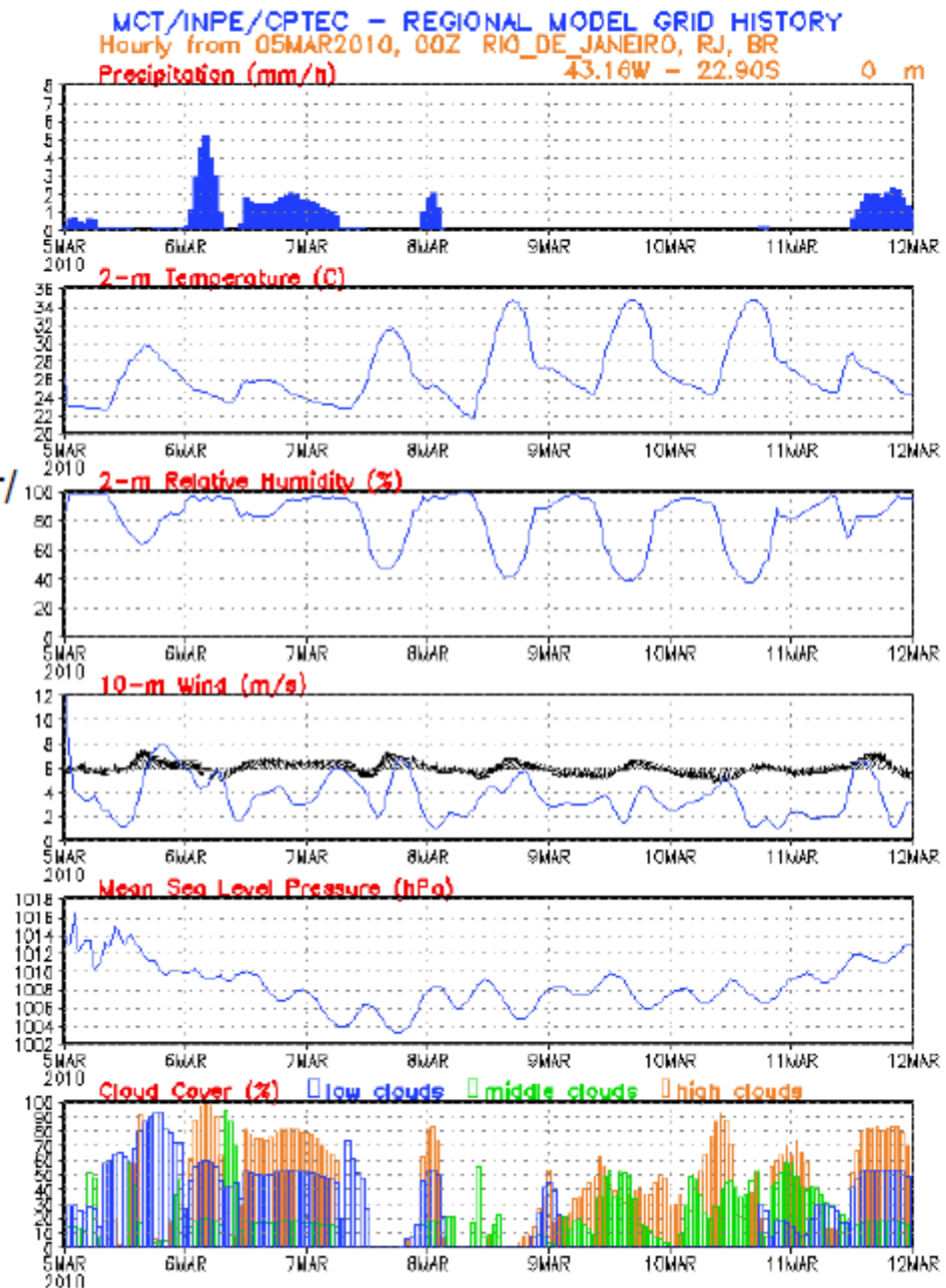




Estimativa de vento e nuvens:

<http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/>

Meteogramas Regionais



Vento típico da região:

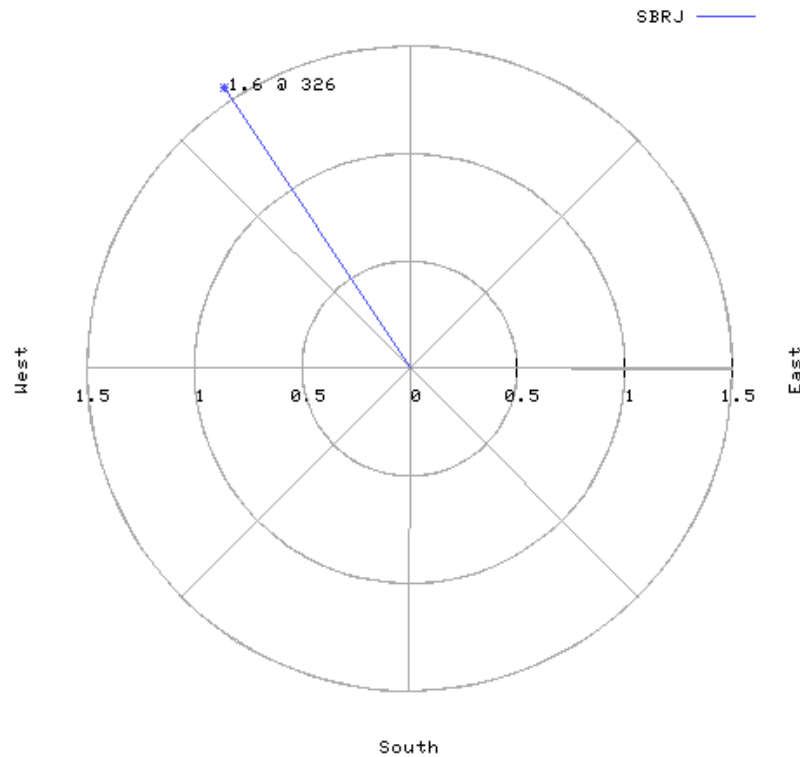
<http://weather.gladstonefamily.net/site/SBRJ>

Wind Vector

The wind vector is the average wind over the relevant period. Note that if the wind blows North for half the time at 2 knots, and then blows South for the other half of the wind and South wind will cancel out.

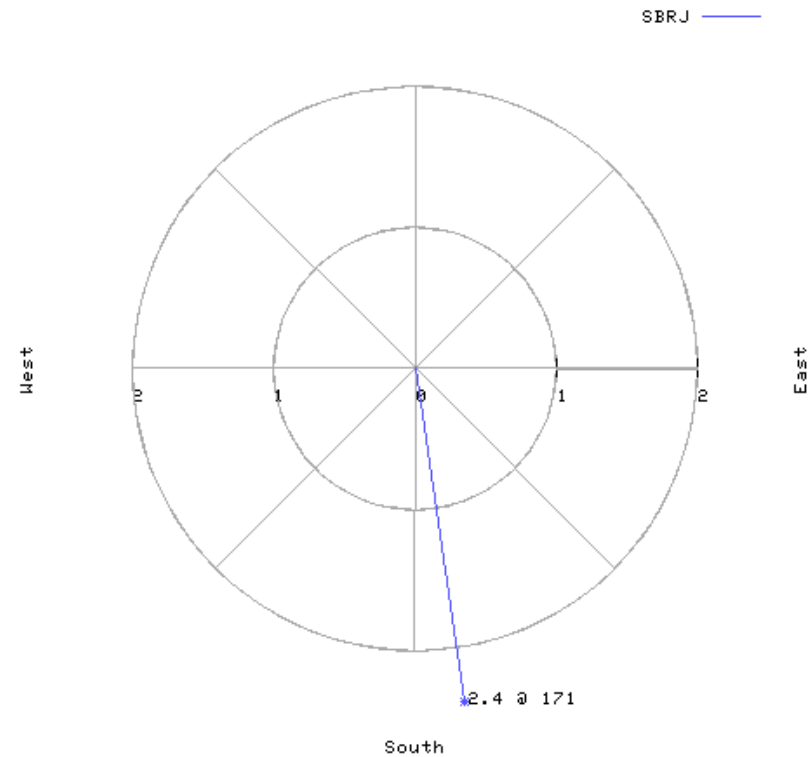
Today

Wind vector for SBRJ for 1 days from 2011-Aug-30 UTC
Radius is speed in knots.



Last 7 days

Wind vector for SBRJ for 7 days from 2011-Aug-24 UTC
Radius is speed in knots.



Vento atual:

Códigos em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_aer%C3%B3dromos_por_c%C3%B3digo_ICAO:_S



SANTOS DUMONT (SBRJ) RIO DE JANEIRO/RJ | FIR: SBCW

Meteorologia

METAR
2015092315 - METAR SBRJ 231500Z 14005KT 4500 HZ NSC 27/23 Q1011=
TAF
2015092315 - TAF SBRJ 230830Z 2312/2324 16005KT 4000 BR BKN010TX29/2317Z
TN21/2324ZBECMG 2313/2315 5000 HZ SCT010BECMG 2315/2317 17015KT 7000 NSW
FEW012BECMG 2321/2323 15005KT RMK PHI=



Nascer/Por do Sol (Horário UTC)

Localidade	Data	Dia da Semana		
SBRJ	23/09/2015	Quarta-Feira	08:40	20:49

Suplementos AIP (6)

SUPLEMENTOS AIP

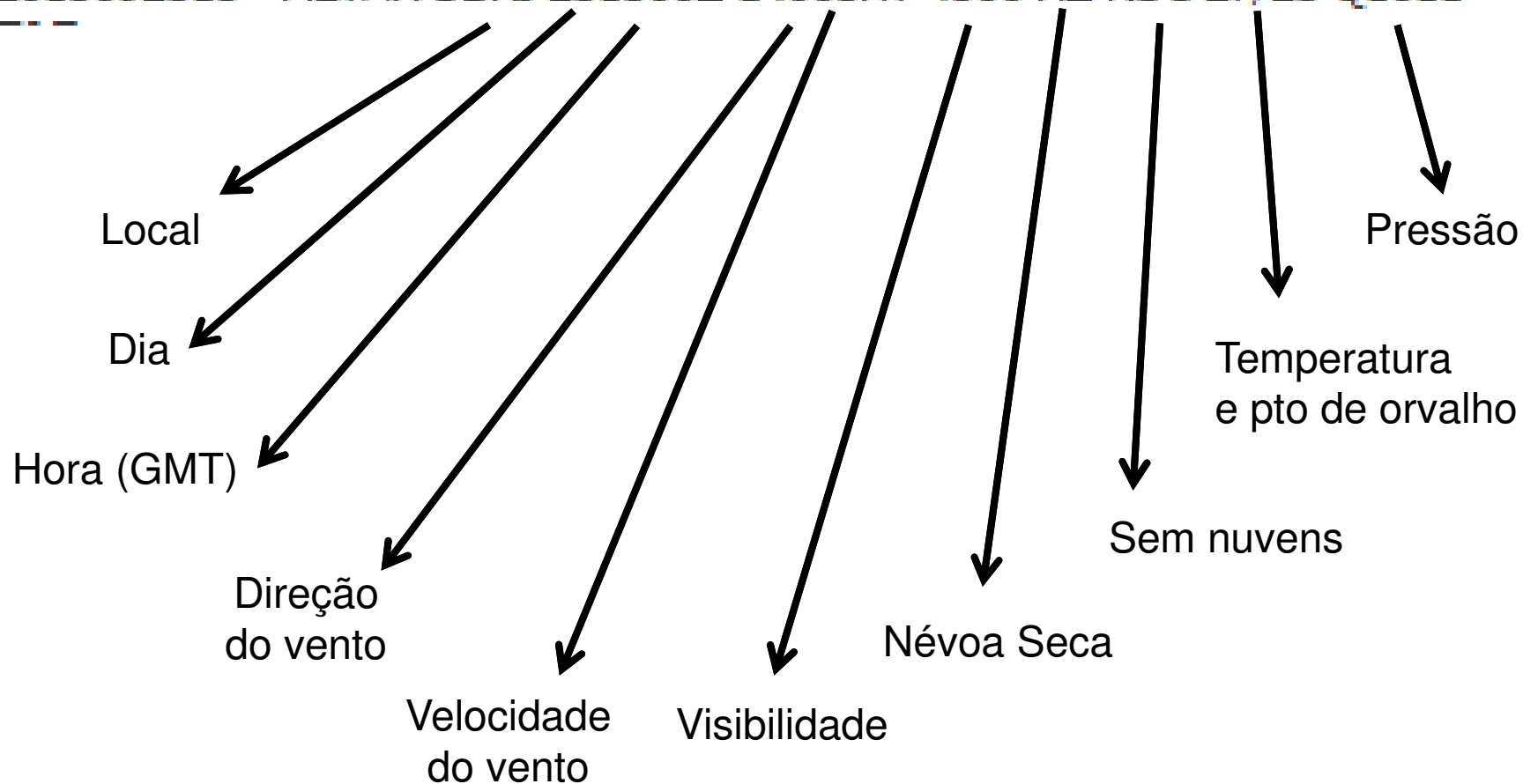
11/2015/RWY | AMDT 08.01.2015
- PISTA 02L/20R FECHADA DEVIDO MOVIMENTO DE AERONAVE NA FAIXA DE PISTA.
PERÍODO: DE 08 JANEIRO 2015, 0000 UTC ATÉ 25 DE FEVEREIRO DE 2016, 0200 UTC

69/2015/HORÁRIO DE SERVIÇO TORRE | AMDT 14.05.2015
HORÁRIO DE SERVIÇO TORRE RIO FREQUÊNCIA 118.70MHZ MODIFICADO PARA 0900-0200.
PERÍODO: DE 28 DE MAIO DE 2015, 0000 UTC ATÉ 18 DE OUTUBRO DE 2015, 0200 UTC.

Meteorologia

METAR

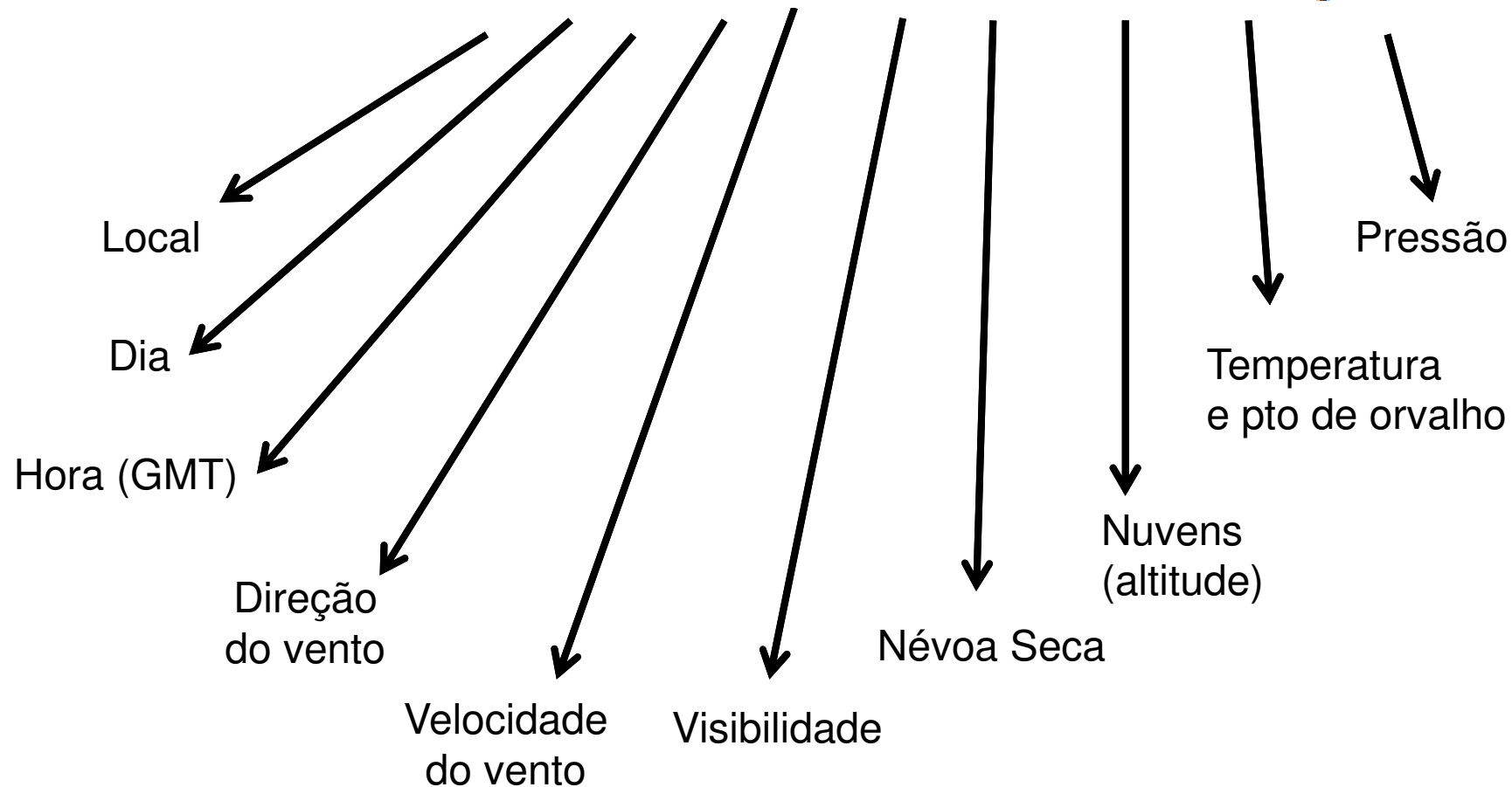
2015092315 - METAR SBRJ 231500Z 14005KT 4500 HZ NSC 27/23 Q1011=



Meteorologia

METAR

2015092315 - METAR SBGL 231500Z 08003KT 4500 HZ FEW020 28/20 Q1011=



Dispersão de Gases Densos

Definição de gases densos

- Densidade maior que a densidade do ambiente ao qual o gás é disperso.
 - Diferença entre os pesos moleculares.
 - Efeitos térmicos associados na liberação e dispersão do gás.

Dispersão de gases densos

- Nuvem com dimensões simétricas tende a seguir em direção ao solo devido ao efeito da gravidade.
 - Aumento do diâmetro e diminuição da altura.
 - Diluição considerável pela intrusão de ar atmosférico na nuvem pelas interfaces horizontal e vertical.
 - Após suficiente diluição, dispersão usando modelos para empuxo neutro.

Dispersão de Gases Densos

Referência Complementar:

Pag 141

GUIDELINES FOR
Chemical Process
Quantitative
Risk Analysis

SECOND EDITION



CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY
of the
AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS
3 Park Avenue
New York, New York 10016-5991

Dispersão de Gases Densos

2º Passo: definir se é puff ou pluma

É Puff ou Pluma?

$$\frac{uR_d}{x}$$



vento

where

R_d is the release duration (time) and
 x is the downwind distance in dimensional space (length)

Dispersão de Gases Densos

2º Passo: definir se é puff ou pluma

É Puff ou Pluma?

- Critério para determinar se liberação se comporta como contínua ou instantânea:

$$\frac{uR_d}{x} \begin{cases} \geq 2.5 & \text{Liberação Contínua} \\ \leq 0.6 & \text{Liberação Instantânea} \end{cases}$$

- R_d , tempo de liberação
- x , distância total de liberação
- Caso o valor de $\frac{uR_d}{x}$ esteja entre valores acima, deve-se calcular pelas duas abordagens e usar o valor com maior concentração.

Dispersão de Gases Densos

3º Passo: definir se o modelo de gás denso se aplica:

Sendo Pluma:

- Dimensão característica:

$$D_c = \left(\frac{q_0}{u} \right)^{1/2}$$

- D_c , dimensão característica para liberação contínua
- q_0 , fluxo volumétrico inicial
- u , velocidade do vento a 10 m de altura
- Verificar abordagem para liberação densa:

$$\left(\frac{g_0 q_0}{u^3 D_c} \right)^{1/3} \geq 0.15$$

Dispersão de Gases Densos

3º Passo: definir se o modelo de gás denso se aplica:

- Dimensão característica:

$$D_i = V_0^{1/3}$$

- D_i , dimensão característica para liberação instantânea
- V_0 , volume inicial de material liberado

Sendo Puff:

- Verificar abordagem para liberação densa:

$$\frac{\sqrt{g_0 V_0}}{u D_i} \geq 0.20$$

Dispersão de Gases Densos

4º Passo: ajuste a concentração procurada em função da temperatura:

Adjust the concentration for a nonisothermal release. The Britter-MacQuaid model provides an adjustment to the concentration to account for nonisothermal release of the vapor. If the original concentration is C^* , then the effective concentration is given by

$$C = \frac{C^*}{C^* + (1 - C^*)(T_a/T_o)}$$

where T_a is the ambient temperature and T_o is the source temperature, both in absolute temperature.

Dispersão de Gases Densos

5º Passo: calcule os dados necessários para entrar no gráfico e obter X

Gráfico de Pluma:

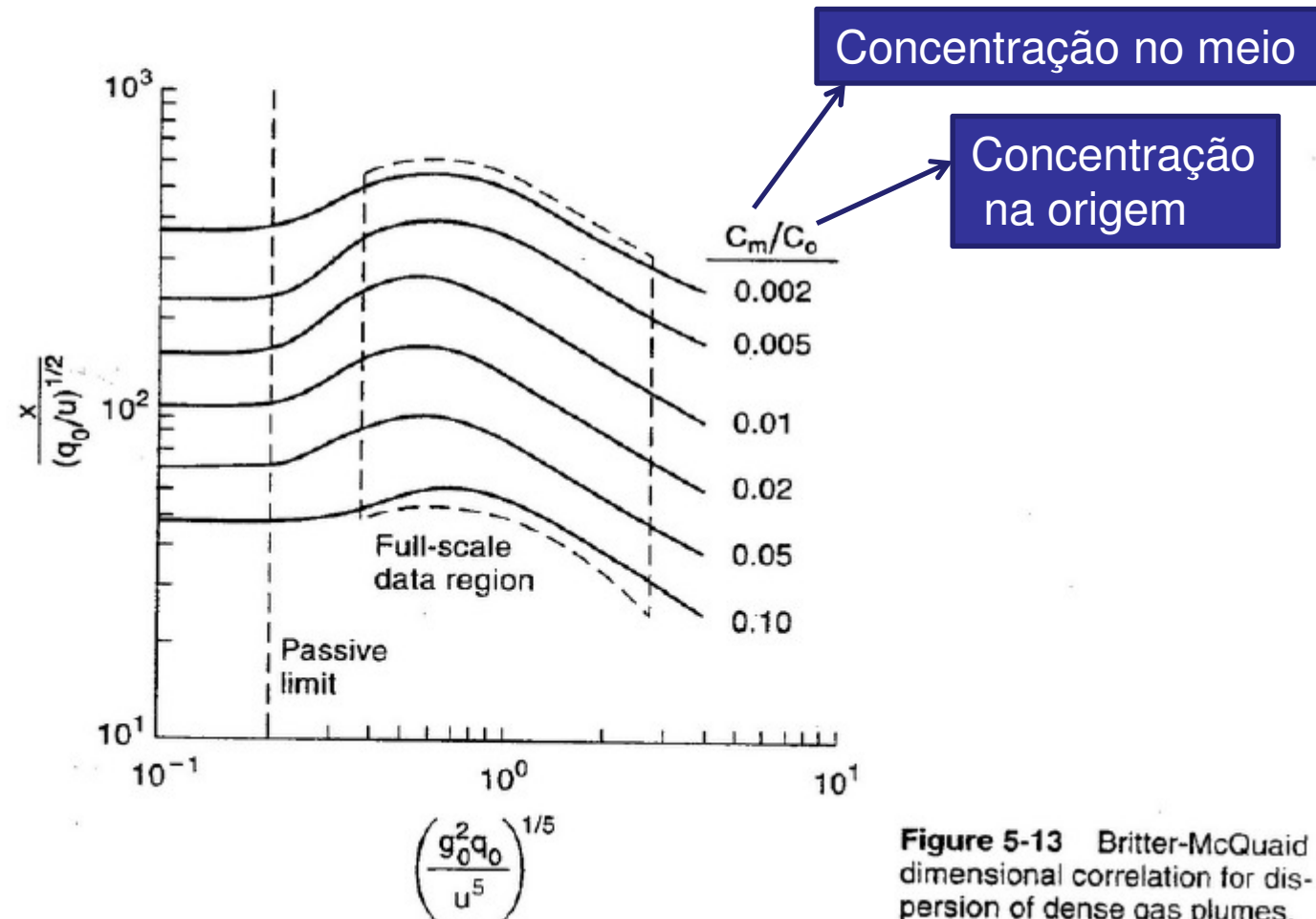


Figure 5-13 Britter-McQuaid dimensional correlation for dispersion of dense gas plumes.

Dispersão de Gases Densos

5º Passo: calcule os dados necessários para entrar no gráfico e obter X

Gráfico de Puff:

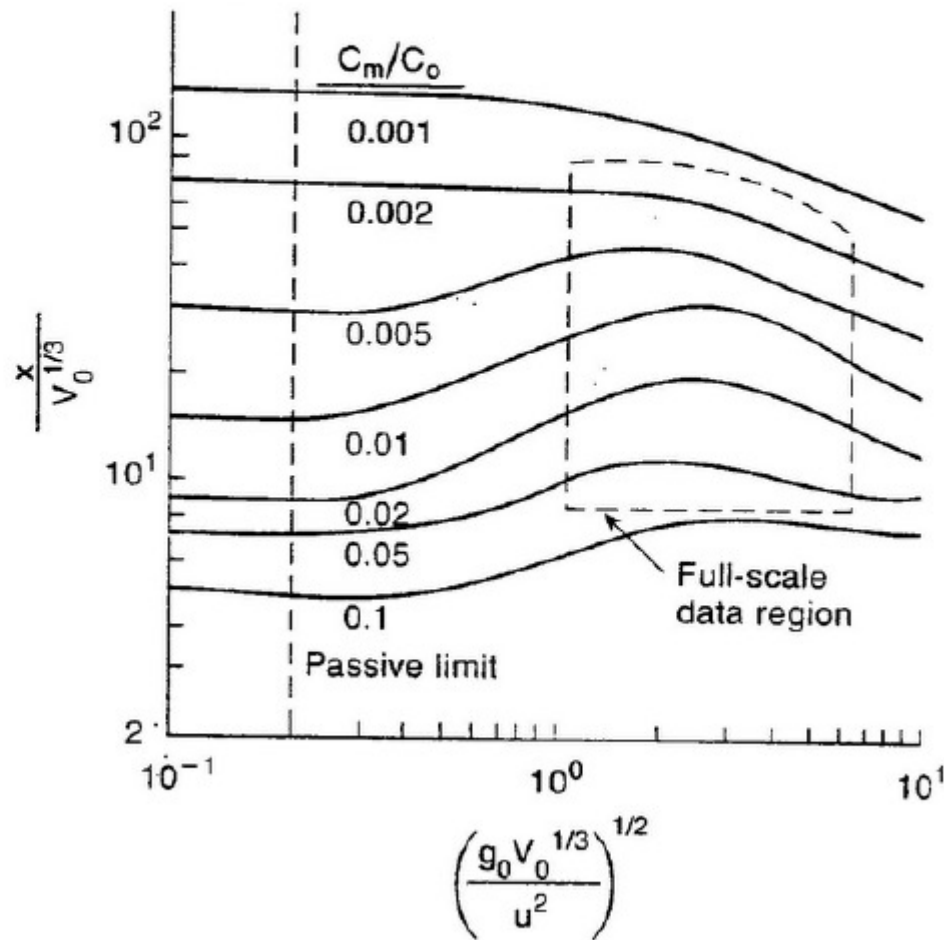


Figure 5-14 Britten-McQuaid dimensional correlation for dispersion of dense gas puffs.

Dispersão de Gases Densos

Exemplo:

Qual a distância para obter a concentração de 5%?

Compute the distance downwind from the following liquefied natural gas (LNG) release to obtain a concentration equal to the lower flammability limit (LFL) of 5% vapor concentration by volume. Assume ambient conditions of 298 K and 1 atm. The following data are available:

Spill rate of liquid: $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$,

Spill duration (R_d): 174 s,

Wind speed at 10 m above ground (u): 10.9 m/s,

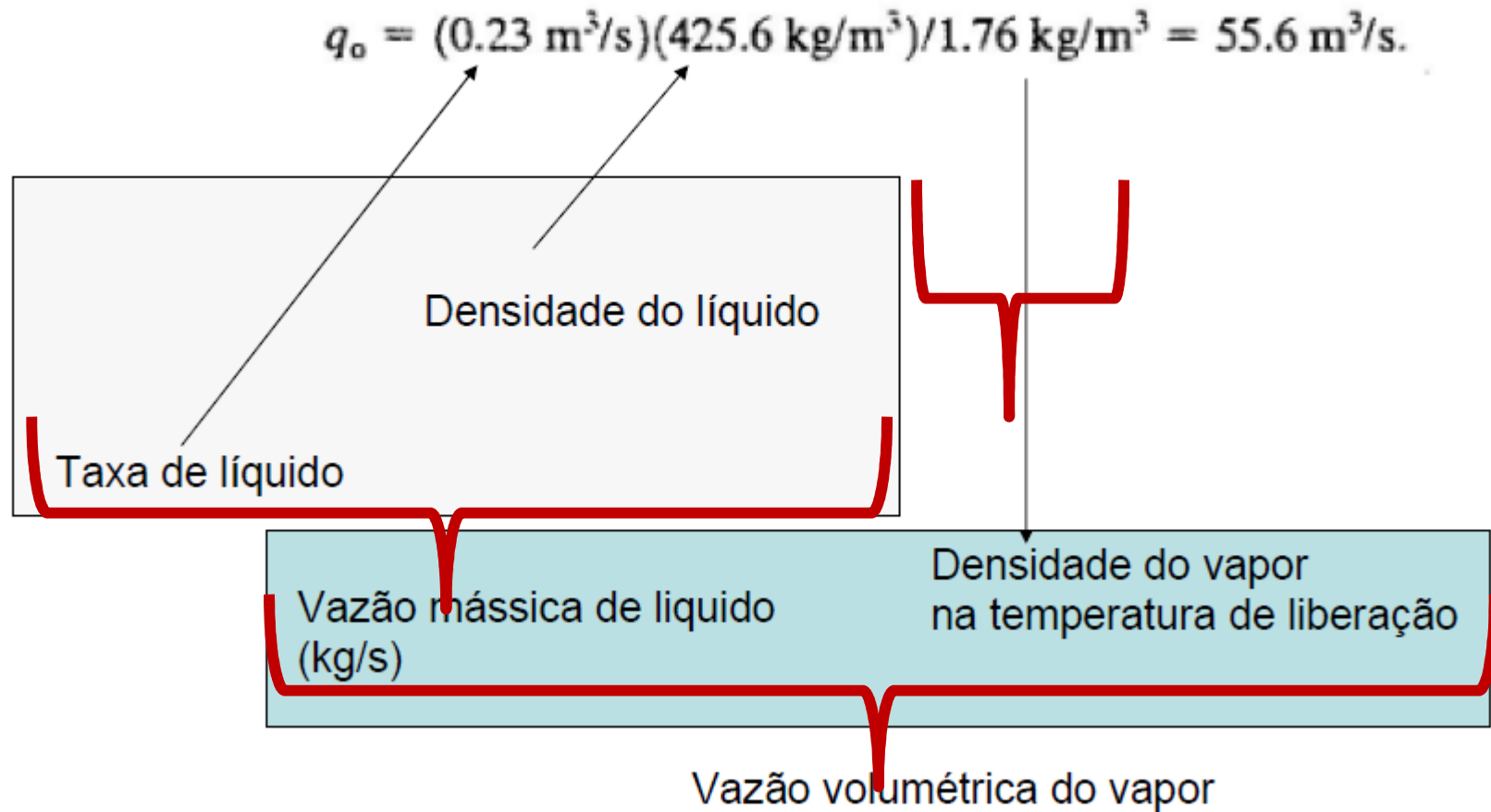
LNG density: $425.6 \text{ kg}/\text{m}^3$,

LNG vapor density at boiling point of -162°C : $1.76 \text{ kg}/\text{m}^3$.

→ Vaza líquido

← Densidade do líquido

Passando de vazão de líquido escapando para vazão de gás:



Calculando g0:

$$g_0 = g \left(\frac{\rho_o - \rho_a}{\rho_a} \right) = (9.8 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1.76 - 1.22}{1.22} \right) = 4.34 \text{ m/s}^2.$$

Gravidade

Densidade do vapor

Densidade do ar

É pluma ou puff?

$$\frac{\mu R_d}{x} = \frac{(10.9 \text{ m/s})(174 \text{ s})}{x} \geq 2.5,$$

$$x \leq 758 \text{ m.}$$

Assumo que é uma pluma. A distância que estou procurando terá que ser menor que 758m. Se no final achar algo maior, terei de voltar e tratar como puff.

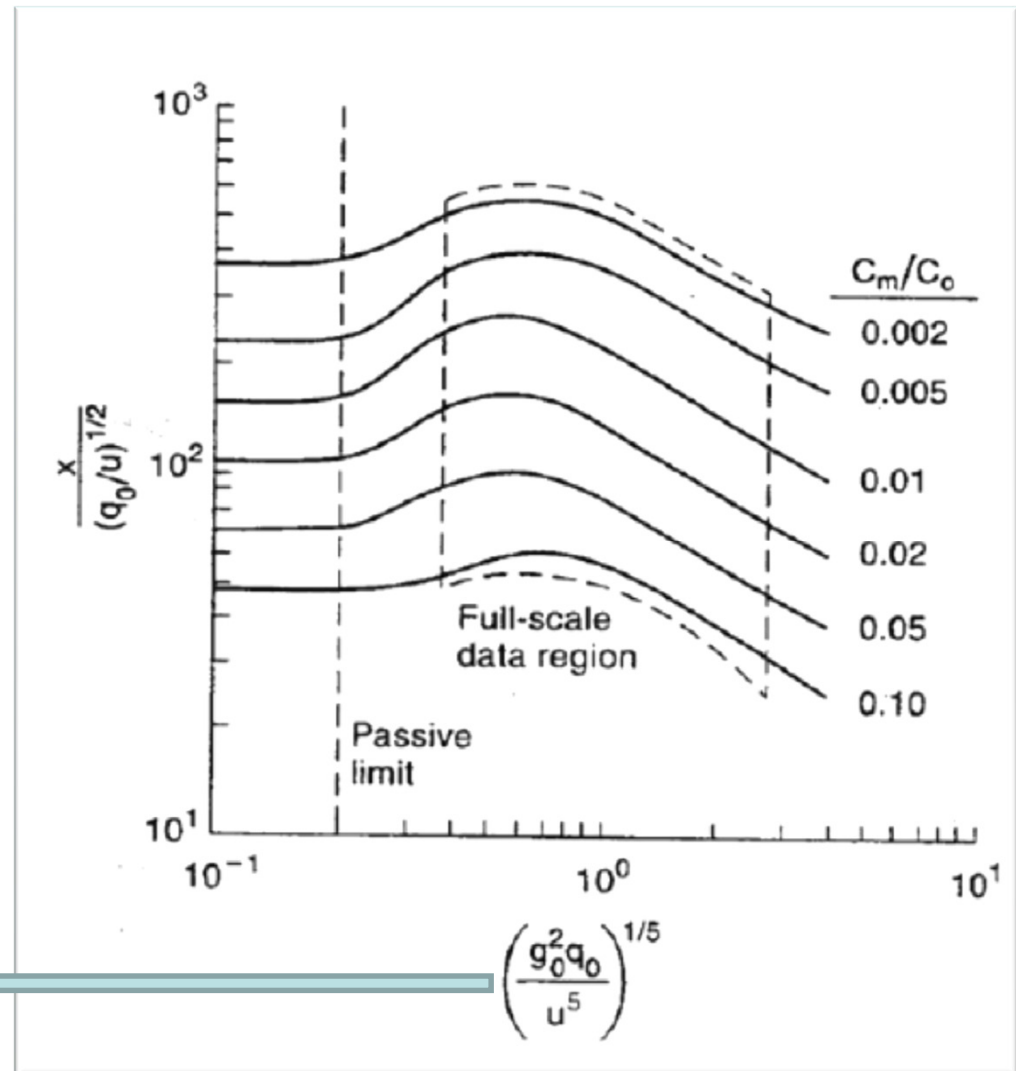
Mas preciso mesmo usar modelo de gás denso?

$$D_c = \left(\frac{q_o}{u} \right)^{1/2} = \left(\frac{55.6 \text{ m}^3/\text{s}}{10.9 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 2.26 \text{ m},$$

$$\left(\frac{g_o q_o}{u^3 D_c} \right)^{1/3} = \left[\frac{4.34 \text{ m/s}^2 (55.6 \text{ m}^3/\text{s})}{(10.9 \text{ m/s})^3 (2.26 \text{ m})} \right]^{1/3} = 0.44 \geq 0.15,$$

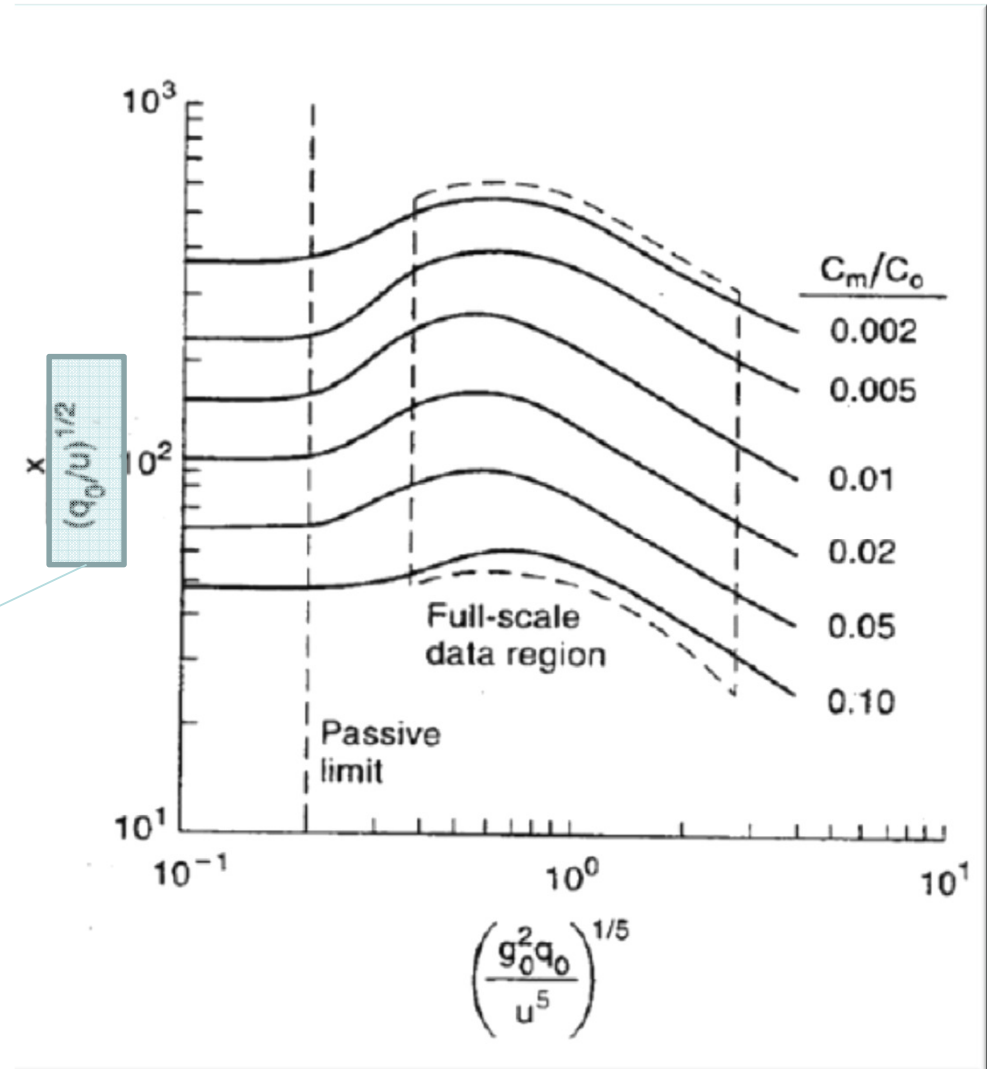
Aplicando o gráfico de pluma

$$\left(\frac{g_0^2 q_0}{u^5}\right)^{1/5} = \left[\frac{(4.34 \text{ m/s}^2)^2 (55.6 \text{ m}^3/\text{s})}{(10.9 \text{ m/s})^5}\right]^{1/5} = 0.369$$

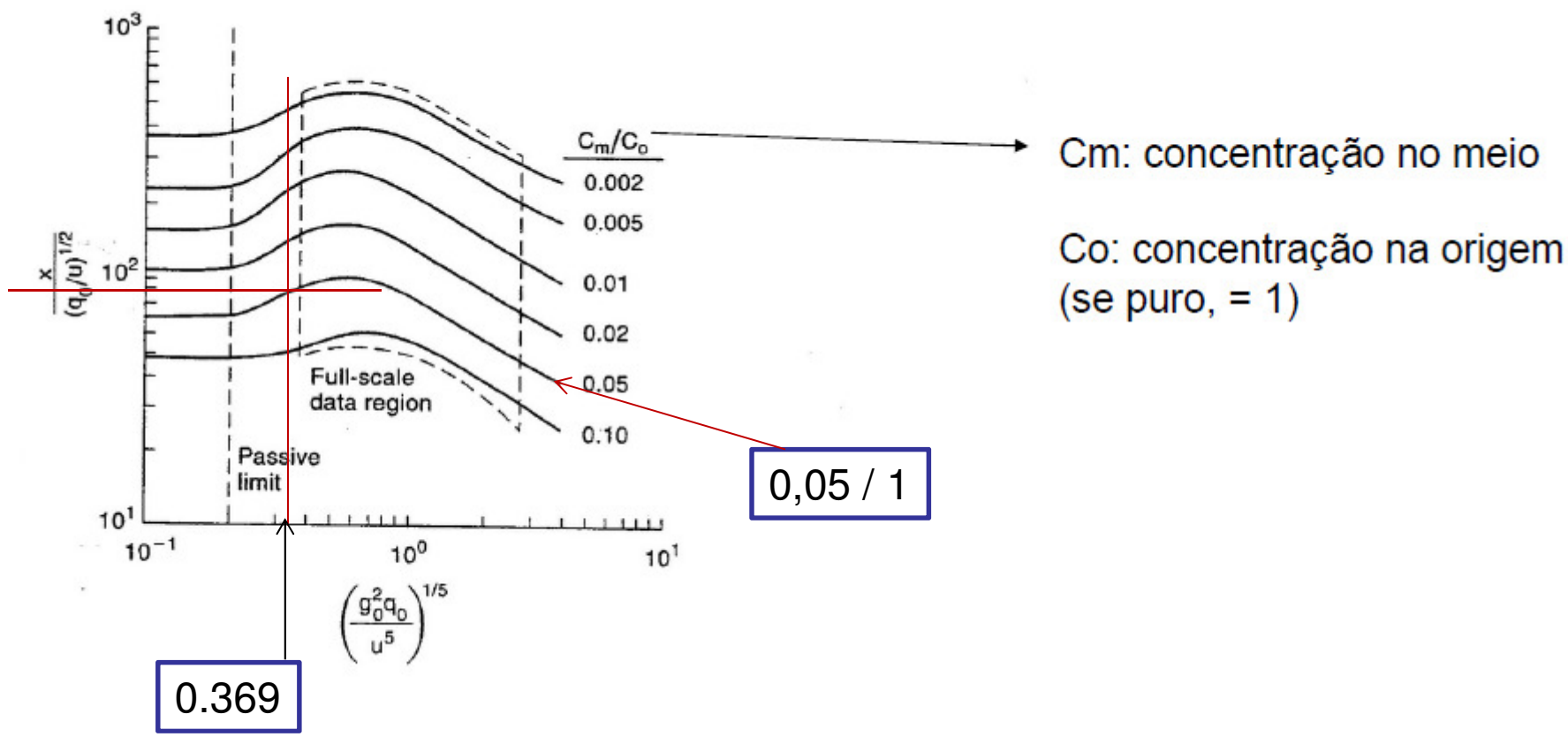


Aplicando o gráfico de pluma

$$\left(\frac{q_0}{u}\right)^{1/2} = \left(\frac{55.6 \text{ m}^3/\text{s}}{10.9 \text{ m/s}}\right)^{1/2} = 2.26 \text{ m}$$



Aplicando o gráfico de pluma



Logo:
Eixo Y = 80

Obtendo a distância usando o eixo Y

$$\frac{x}{\left(\frac{q_0}{u}\right)^{1/2}} = 80$$

Resposta:

$$X = 285 \text{ m}$$

(menor que 758 m)

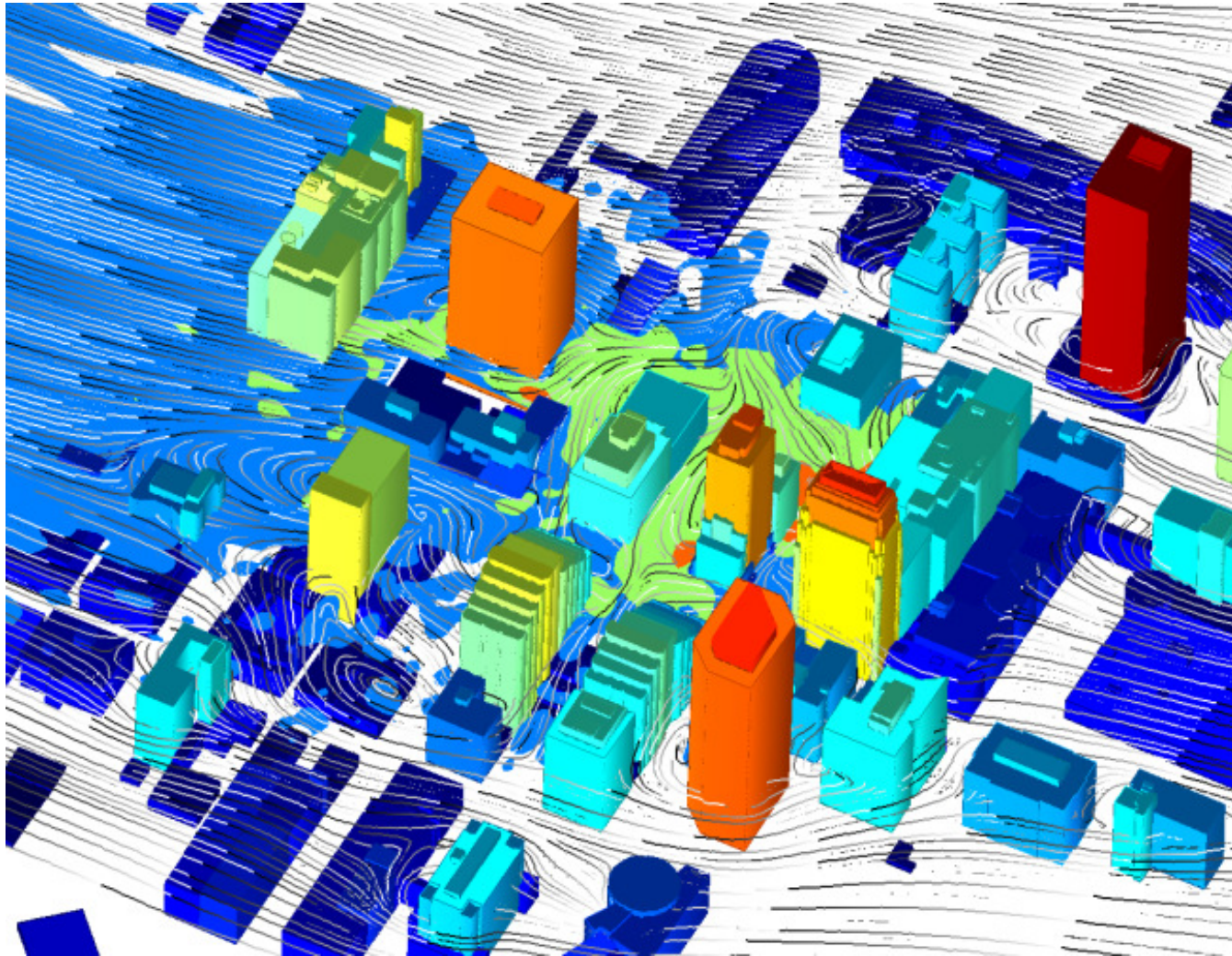
Dispersão de Gases Densos

Limitações:

Os modelos para gases densos foram baseados em dados experimentais obtidos em campo aberto!

Fonte localizada no nível do solo.

CFD



http://eer.cmc.ec.gc.ca/index_e.php?page=s_software/spi/screenshots/screenshots_e.html