



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS ATRAVÉS DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL

Augusto Silva Sampaio¹; Carlos Henrique Portezani²

UEMS/CInAM – Caixa Postal 351, 79.804-970 – Dourados – MS, E-mail: augusto_samp@hotmail.com

¹Bolsista PETROBRAS/UEMS; ²Pesquisador CInAM/UEMS, Professor do curso de Engenharia Física/UEMS.

RESUMO

Problemas ambientais são de grande enfoque atualmente, principalmente os causados pela liberação excessiva de poluentes atmosféricos. O nível de concentração de um poluente atmosférico depende de fatores meteorológicos, topográficos e de edificação, além de como o mesmo é liberado na atmosfera e das interações físico-químicas que ocorrem nesta. A concentração do poluente pode ser estimada através de modelos de dispersão atmosférica, porém cada modelo apresenta características específicas devido ao método de descrição e tratamento dos fatores acima citados. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um modelo da dispersão de poluentes atmosféricos através de métodos numéricos aplicados a dinâmica dos fluidos computacional. Para isso partiu-se da equação de conservação de massa de um poluente atmosférico e obteve-se a equação indicial da concentração deste poluente sobre uma área geográfica, verificando neste processo a consistência e o erro local de truncamento da equação indicial obtida. Foram também estabelecidas equações ao modelo que podem descrever a mobilidade da fonte emissora de poluente. O modelo foi implementado em um ambiente de programação computacional de acesso livre (Scilab). Como resultado da pesquisa temos o desenvolvimento de uma equação de dispersão atmosférica de poluentes emitidos por fontes móveis e sua solução numérica, além de um programa computacional que pode ser caracterizado como o início da criação de uma ferramenta de auxílio ao controle da poluição atmosférica, contribuindo com atividades de gestão ambiental e manutenção da qualidade do ar atmosférico.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica, Modelos de Qualidade do Ar, Fontes Móveis.

INTRODUÇÃO

Problemas ambientais são de grande enfoque atualmente, principalmente os problemas causados pela liberação excessiva de poluentes atmosféricos. Segundo a CETESB (2002), é considerado poluente atmosférico toda substância contida no ar que o torne impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, à fauna e à flora, ou prejudicial às atividades normais de uma comunidade.

Sabendo que o nível de concentração de um poluente é resultado de processos de liberação por fontes de emissão, de interações físico-químicas que ocorrem na atmosfera, além da influência de fatores meteorológicos, topográficos e de edificações, é possível estimar o grau de exposição de seres humanos, animais, plantas e outros materiais aos poluentes situados em determinadas localizações espaciais, e até mesmo prever o impacto de uma maior ou menor dispersão de poluentes presentes na atmosfera.

Os detalhes dos fenômenos de dispersão de poluentes atmosféricos são numerosos e complexos, assim, geralmente, se faz uso de equações matemáticas para representá-los. A Equação (1) estabelece a conservação de massa para concentração de um poluente em escoamento no interior de um fluido, o qual neste caso será o ar (PORTEZANI, 2010 e SCHULZ, 2003).

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(u c)}{\partial x} + \frac{\partial(v c)}{\partial y} + \frac{\partial(w c)}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) + \dot{s}(x, y, z, t) + \dot{r}(x, y, z, t). \quad (1)$$

Na equação acima c é a concentração instantânea do poluente em um ponto de coordenadas cartesianas (x, y, z) ; t é o tempo de ocorrência do fenômeno; u , v , w são, respectivamente, as componentes da velocidade de escoamento do vento nas direções dos eixos cartesianos x , y e z ; D a difusividade molecular do poluente; $\dot{s}(x, y, z, t)$ e $\dot{r}(x, y, z, t)$ são, respectivamente, o termo de contribuição da fonte para geração do poluente e a taxa de remoção do poluente no ar.

Devido aos vários processos que interagem no regime de escoamento do ar na atmosfera, este não apresenta um regime de escoamento laminar, mas sim turbulento (PORTEZANI, 2010).

No caso acima, segundo Portezani (2010) a equação que estabelece a concentração média de um poluente sob o regime de dispersão turbulenta da atmosfera, a qual se apresenta com um caso específico da equação da conservação de massa para concentração de um poluente em escoamento no ar, é dada pela Equação (2) a seguir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) + \dot{s}(x, y, z, t) + \dot{r}(x, y, z, t). \end{aligned} \quad (2)$$

A variável \bar{c} é a concentração média do poluente em um ponto de coordenadas cartesianas (x, y, z) ; t é o tempo de ocorrência do fenômeno; $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ são as componentes da velocidade média de escoamento do vento nas direções dos eixos cartesianos x, y e z ; K_{xx}, K_{yy} e K_{zz} são os coeficientes de dispersão turbulenta segundo os eixos cartesianos, os quais segundo Hanna (1982) e Zannetti (1990) podem ser expressos por:

$$K_{xx} = \frac{\sigma_x}{2t}; \quad (3)$$

$$K_{yy} = \frac{\sigma_y}{2t}; \quad (4)$$

$$K_{zz} = \frac{\sigma_z}{2t}. \quad (5)$$

Nas Equações (3), (4) e (5) t é o tempo de ocorrência do fenômeno e σ_x, σ_y e σ_z são, respectivamente, os coeficientes de dispersão atmosférica nas direções dos eixos cartesianos x, y e z . Entretanto, devido a uma simetria física da atmosfera nos eixos x e y , fenômenos atmosféricos que ocorrem na direção x terão o mesmo tratamento dos que ocorrem na direção y , logo σ_x e σ_y podem ser considerados iguais.

Uma definição para os valores dos coeficientes de dispersão σ_y e σ_z é apresentada através das Equações (6), (7) e (8), além das Tabelas 1, 2 e 3, sendo tal definição descrita em US EPA (1995) e derivada dos trabalhos de Gifford (1961), Pasquill (1961), Turner (1964) e da formulação de Briggs para obtenção dos coeficientes de McElroy-Pooler. Deste modo, temos:

$$\sigma_y = 465,11628 x \tan(TH); \quad (6)$$

na qual:

$$TH = 0,017453293 [c - d \ln x]. \quad (7)$$

Nas Equações (6) e (7) a coordenada x é dada em quilômetros e representa a distância no eixo x entre o ponto onde se deseja a concentração do poluente (receptor) e a origem situada na localização da fonte emissora, o valor da tangente da variável auxiliar TH deve ser obtido em radianos e os coeficientes c e d dependem da classe de estabilidade atmosférica, sendo estes apresentados na Tabela 1. O valor obtido de σ_y pela Equação (6) será dado em metros.

Tabela 1. Valores dos coeficientes c e d utilizados para calcular o coeficiente de dispersão de Pasquill-Gifford σ_y de acordo com a classe de estabilidade atmosférica para regiões de características rurais (US EPA, 1995).

Classe de estabilidade atmosférica	Valor do coeficiente c	Valor do coeficiente d
A	24,1670	2,53340
B	18,3330	1,80960
C	12,5000	1,08570
D	8,3330	0,72382
E	6,2500	0,54287
F	4,1667	0,36191

O valor de σ_z para regiões de características rurais é fornecido pela Equação (8) a seguir:

$$\sigma_z = a x^b ; \quad (8)$$

na qual, x é dado em quilômetros, σ_z é obtido em metros e os valores dos coeficientes a e b dependem da coordenada x bem como da classe de estabilidade atmosférica, sendo estes apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos coeficientes a e b utilizados para calcular o coeficiente de dispersão de Pasquill-Gifford σ_z de acordo com a classe de estabilidade atmosférica e a coordenada x para regiões de características rurais (US EPA, 1995).

Classe de estabilidade atmosférica	Coordenada x (km)	Valor do coeficiente a	Valor do coeficiente b
A*	< 0,10	122,800	0,94470
	0,10 a 0,15	158,080	1,05420
	0,16 a 0,20	170,220	1,09320
	0,21 a 0,25	179,520	1,12620
	0,26 a 0,30	217,410	1,26440
	0,31 a 0,40	258,890	1,40940
	0,41 a 0,50	346,750	1,72830
	0,51 a 3,11	453,850	2,11660
	> 3,11	**	**
B*	< 0,20	90,673	0,93198
	0,21 a 0,40	98,483	0,98332

	> 0,40	109,300	1,09710
C*	qualquer	61,141	0,91465
	< 0,30	34,459	0,86974
	0,31 a 1,00	32,093	0,81066
D	1,01 a 3,00	32,093	0,64403
	3,01 a 10,00	33,504	0,60486
	10,01 a 30,00	36,650	0,56589
	> 30,00	44,053	0,51179
	< 0,10	24,260	0,83660
	0,10 a 0,30	23,331	0,81956
	0,31 a 1,00	21,628	0,75660
	1,01 a 2,00	21,628	0,63077
E	2,01 a 4,00	22,534	0,57154
	4,01 a 10,00	24,703	0,50527
	10,01 a 20,00	26,970	0,46713
	20,01 a 40,00	35,420	0,37615
	> 40,00	47,618	0,29592
	< 0,20	15,209	0,81558
	0,21 a 0,70	14,457	0,78407
	0,71 a 1,00	13,953	0,68465
	1,01 a 2,00	13,953	0,63227
F	2,01 a 3,00	14,823	0,54503
	3,01 a 7,00	16,187	0,46490
	7,01 a 15,00	17,836	0,41507
	15,01 a 30,00	22,651	0,32681
	30,01 a 60,00	27,074	0,27436
	> 60,00	34,219	0,21716

* Se o valor calculado de σ_z exceder 5000 m, σ_z é ajustado para 5000 m. ** σ_z é igual a 5000 m.

A Tabela 3 fornece as equações para cálculo dos coeficientes de dispersão σ_y e σ_z para regiões de características urbanas, sendo estes conhecidos como coeficientes de dispersão de McElroy-Pooler, segundo US EPA (1995).

Tabela 3. Equações para cálculo dos coeficientes de dispersão de McElroy-Pooler σ_y e σ_z de acordo com a classe de estabilidade atmosférica para regiões de características urbanas (US EPA, 1995).

Classe de estabilidade atmosférica	σ_y (em metros)*	σ_z (em metros)*
A	$0,32 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,24 x (1 + 0,001 x)^{0,5}$
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	$0,11 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,08 x (1 + 0,0015 x)^{-0,5}$
F	$0,11 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,08 x (1 + 0,0015 x)^{-0,5}$

* Sendo a coordenada x dada em metros.

A condição de estabilidade atmosférica pode ser estabelecida pelo método proposto por Pasquill (Tabela 4), o qual faz a quantificação da estabilidade em seis classes denotadas por letras do alfabeto, sendo estas: A – extremamente instável; B – instável; C – levemente instável; D – neutra; E – levemente estável e F – estável.

Tabela 4. Classificação da estabilidade atmosférica pelo método de Pasquill (US EPA, 2000).

Velocidade superficial do vento a 10 metros (m/s)	Dia			Noite	
	Radiação solar incidente			Cobertura de nuvens	
	Forte	Moderada	Leve	Pouco nublado ou $\geq 4/8$ de nuvens baixas	$\leq 3/8$ de nuvens
< 2	A	A – B	B	–	–
2 a < 3	A – B	B	C	E	F
3 a < 5	B	B – C	C	D	E
5 a < 6	C	C – D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D

O período noturno refere-se ao período entre uma hora antes do pôr do sol até uma hora após o nascer do sol do dia posterior (TURNER, 1994; US EPA, 2000).

Os meteorologistas dividem o céu em oito seções, a fim de avaliar o grau de cobertura por nuvens. Se quatro ou mais seções têm nuvens, considera-se céu nublado, se são três ou menos se considera claro (LORA, 2002).

A classificação D (neutra) deve ser utilizada independentemente da velocidade do vento para condições totalmente nubladas durante o dia ou à noite (US EPA, 2000).

Para a Tabela 4, a radiação solar incidente forte corresponde a um ângulo de elevação solar de 60 graus ou mais acima do horizonte e a radiação leve corresponde a um ângulo de elevação solar entre 15 e 35 graus (ZANNETTI, 1990).

A radiação solar incidente também pode ser classificada através da medida direta desta, como se pode observar através da Tabela 5.

Tabela 5. Classificação da radiação solar incidente segundo valor medido (SEINFELD; PANDIS, 1997).

Valor medido (W/m^2)	Radiação solar incidente
> 700	Forte
350 a ≤ 700	Moderada
< 350	Leve

Dentre as aplicações relacionadas aos modelos de dispersão atmosférica de poluentes podemos destacar a análise da qualidade do ar, identificação de liberações acidentais de poluentes, avaliação de possíveis fontes poluidoras e áreas de risco ou impróprias à saúde e segurança, sendo os modelos capazes de até mesmo estabelecer o impacto de uma fonte poluidora antes de esta vir a existir.

Existem diversos modelos de dispersão de poluentes atmosféricos, porém cada modelo apresenta características específicas, devido ao método de descrição e resolução utilizado para os fenômenos de dispersão atmosférica, bem como os métodos utilizados nas implementações computacionais de tais modelos, visto que, geralmente, os modelos mais refinados apresentam um considerável número de cálculos envolvidos.

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos provenientes de fontes emissoras utilizando técnicas computacionais e numéricas da Dinâmica dos Fluidos Computacional (FORTURNA, 2000), e realizar a implementação do modelo desenvolvido em um ambiente de programação computacional de acesso livre.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada um estudo sobre a equação que representa a descrição do fenômeno físico da conservação de massa para concentração de um poluente em escoamento no interior de um fluido, ou seja, a Equação (1).

Na sequência os estudos foram centralizados no fenômeno de dispersão de poluentes atmosféricos, principalmente na equação que estabelece a concentração de um poluente sobre o regime de dispersão turbulenta da atmosfera, Equação (2). Para fins de cálculos a componente da velocidade de escoamento do vento foi considerada não nula somente na direção do eixo x.

Nesta etapa do trabalho foram utilizadas as considerações apresentadas pelas Equações (3), (4) e (5), as quais relacionam os coeficientes de dispersão turbulenta em termos dos coeficientes de dispersão atmosférica e do tempo decorrido do fenômeno de dispersão.

Utilizando-se a equação da conservação de massa resultante dos procedimentos descritos acima, foram aplicadas técnicas de diferenças finitas e o método de Euler explícito para obter uma solução numérica. Tal solução da equação foi definida como uma equação indicial da concentração média de um poluente atmosférico sobre uma área geográfica, sendo esta área discretizada em uma malha de elementos cúbicos e finitos, também indiciais, contidos em um sistema tridimensional de orientação com eixos cartesianos. Logo, a equação indicial obtida para a concentração média é válida para cada elemento da área geográfica.

Foi realizada a verificação da consistência da solução encontrada e obtido seu erro local de truncamento, utilizando para isso expansões em série de Taylor aplicadas à equação indicial.

Finalmente, foram estabelecidas as equações que regem o movimento tridimensional das fontes emissoras móveis que se encontram no interior da área geográfica analisada.

Com todo o processo de modelagem concluído, foi utilizado o ambiente de programação computacional Scilab para implementar computacionalmente o modelo idealizado, aplicando-se nesta etapa as considerações já descritas para a determinação dos coeficientes de dispersão atmosférica, classe de estabilidade e radiação solar.

O computador utilizado na implementação computacional do modelo, bem como nas futuras execuções das simulações computacionais de eventos de dispersão pelo modelo, caracteriza-se como um equipamento que possua velocidade de processamento e capacidade de memória compatíveis com o processo de criação e execução do programa computacional desenvolvido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui obtidos podem ser divididos em duas partes, sendo a primeira delas caracterizada pela Equação (9), a qual descreve o modelo proposto para a dispersão de poluentes atmosférico, pela solução numérica de tal equação, ou seja, a Equação (10), de forma indicial que estabelece concentração média de um poluente atmosférico sobre uma área geográfica e pela Equação (11) que estabelece o erro local de truncamento da solução numérica.

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = \left[\frac{\sigma_x}{t} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} - \bar{u} \right] \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \frac{1}{2t} \left[\sigma_x^2 \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + \sigma_y^2 \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} + \sigma_z^2 \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial z^2} \right] + \dot{s}(x, y, z, t) + \dot{r}(x, y, z, t). \quad (9)$$

Na equação acima \bar{c} é a concentração média do poluente em um ponto de coordenadas cartesianas (x, y, z) ; t é o tempo de ocorrência do fenômeno; \bar{u} é a componente da velocidade média de escoamento do vento na direção do eixo cartesiano x ; σ_x e σ_z são os coeficientes de dispersão atmosférica.

$$\begin{aligned}
\frac{\bar{c}_{i,j,k}^{P+1} - \bar{c}_{i,j,k}^P}{\Delta t} &= \left[\frac{\sigma_{x_i}}{p \Delta t} \cdot \left(\frac{\sigma_{x_{i+1}} - \sigma_{x_{i-1}}}{2 \Delta x} \right) - \bar{u} \right] \cdot \left(\frac{\bar{c}_{i+1,j,k}^P - \bar{c}_{i-1,j,k}^P}{2 \Delta x} \right) \\
&+ \frac{1}{2t} \left[\sigma_{x_i}^2 \left(\frac{\bar{c}_{i+1,j,k}^P - 2 \bar{c}_{i,j,k}^P + \bar{c}_{i-1,j,k}^P}{\Delta x^2} \right) + \sigma_{y_i}^2 \left(\frac{\bar{c}_{i,j+1,k}^P - 2 \bar{c}_{i,j,k}^P + \bar{c}_{i,j-1,k}^P}{\Delta y^2} \right) \right. \\
&+ \left. \sigma_{z_i}^2 \left(\frac{\bar{c}_{i,j,k+1}^P - 2 \bar{c}_{i,j,k}^P + \bar{c}_{i,j,k-1}^P}{\Delta z^2} \right) \right] + \dot{s}(x, y, z, t) + \dot{r}(x, y, z, t) \\
&+ O[\Delta t, (\Delta x)^2, (\Delta y)^2, (\Delta z)^2]. \tag{10}
\end{aligned}$$

Na equação acima $\bar{c}_{i,j,k}^{P+1}$ é a concentração média do poluente na célula de índices i, j, k da malha de elementos cúbicos e finitos no instante de tempo $p+1$; $\bar{c}_{i,j,k}^P$ é a concentração média do poluente na célula i, j, k em um instante de tempo p ; \bar{u} é a componente da velocidade média de escoamento do vento no eixo x , $O[\Delta t, (\Delta x)^2, (\Delta y)^2, (\Delta z)^2]$ é o erro local de truncamento em primeira ordem para o tempo, e segunda ordem para as dimensões x, y e z da célula analisada, sendo este dado por:

$$\begin{aligned}
O[\Delta t, (\Delta x)^2, (\Delta y)^2, (\Delta z)^2] &= \\
&= -\frac{\Delta t \partial^2 c}{2 \partial t^2} + \frac{\sigma_x}{p \Delta t} \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} \frac{\Delta x^2}{6} \frac{\partial^3 \bar{c}}{\partial x^3} + \frac{\sigma_x}{p \Delta t} \frac{\Delta x^2}{6} \frac{\partial^3 \sigma_y}{\partial x^3} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \\
&+ \frac{\sigma_x}{p \Delta t} \frac{\Delta x^2}{6} \frac{\partial^3 \sigma_y}{\partial x^3} \frac{\Delta x^2}{6} \frac{\partial^3 \bar{c}}{\partial x^3} - \bar{u} \frac{\Delta x^2}{6} \frac{\partial^3 \bar{c}}{\partial x^3} + \frac{\sigma_x^2}{2 p \Delta t} \frac{\Delta x^2}{12} \frac{\partial^4 \bar{c}}{\partial x^4} + \frac{\sigma_x^2}{2 p \Delta t} \frac{\Delta y^2}{12} \frac{\partial^4 \bar{c}}{\partial y^4} \\
&+ \frac{\sigma_z^2}{2 p \Delta t} \frac{\Delta z^2}{12} \frac{\partial^4 \bar{c}}{\partial z^4}. \tag{11}
\end{aligned}$$

Como a segunda parte dos resultados deste trabalho temos a implementação computacional do modelo de dispersão desenvolvido no ambiente de programação Scilab, ou seja, a implementação da Equação (10) juntamente com as considerações para a determinação dos coeficientes de dispersão atmosférica. A Figura 1 ilustra as etapas de funcionamento do programa computacional desenvolvido.

No programa desenvolvido a fonte emissora foi estabelecida como pontual, porém móvel com taxa de emissão do poluente dependente do tempo, sendo o deslocamento da fonte caracterizado como um movimento uniformemente variado. As Equações (12), (13), (14) e (15) descrevem os fatos acima.

$$\dot{s}(x, y, z) = q(t) \delta(x - x_f) \delta(y - y_f) \delta(z - z_f); \tag{12}$$

sendo:

$$\delta(x - x_f) = 0 \text{ para } x = x_f \text{ e } 1 \text{ para } x \neq x_f;$$

$$\delta(y - y_f) = 0 \text{ para } y = y_f \text{ e } 1 \text{ para } y \neq y_f;$$

$$\delta(z - z_f) = 0 \text{ para } z = z_f \text{ e } 1 \text{ para } z \neq z_f.$$

$$x_f = x_{0f} + u_{0f} t + \frac{1}{2} a_{xf} t^2; \quad (13)$$

$$y_f = y_{0f} + v_{0f} t + \frac{1}{2} a_{yf} t^2; \quad (14)$$

$$z_f = z_{0f} + w_{0f} t + \frac{1}{2} a_{zf} t^2. \quad (15)$$

Nas equações anteriores x_f , y_f e z_f são as coordenadas da localização final do deslocamento da fonte, x_{0f} , y_{0f} e z_{0f} são as coordenadas da localização inicial da fonte; u_{0f} , v_{0f} e w_{0f} as componentes da velocidade inicial da fonte nos eixos x , y e z , respectivamente, a_{xf} , a_{yf} e a_{zf} são as componentes da aceleração da fonte nos eixos x , y , z , respectivamente e $q(t)$ é a taxa de emissão do poluente, a qual pode variar com o tempo.

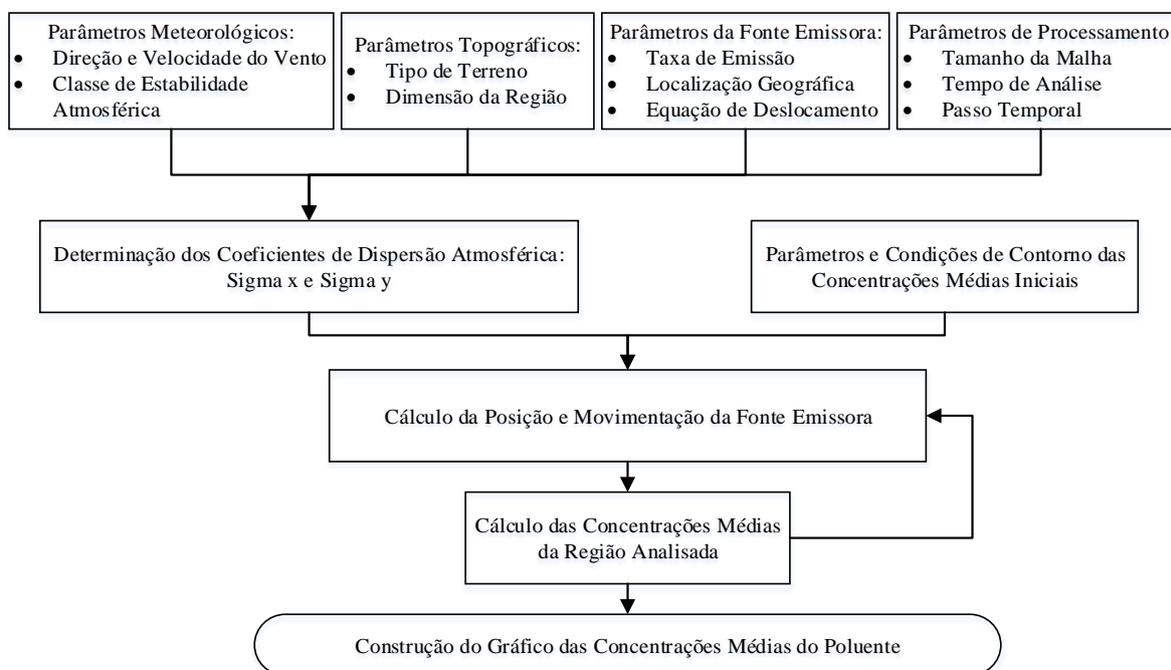


Figura 1. Diagrama em blocos da implementação computacional do modelo de dispersão.

CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido possui limitações, sendo estas impostas nas representações dos fatores meteorológicos, topográficos e de edificações, os quais podem alterar a forma de descrição do regime de escoamento do vento e os coeficientes de dispersão atmosféricos. Entretanto, tais limitações podem em um futuro próximo ser superadas através da criação de um pré-processador meteorológico e de outro de terreno, os quais estabelecerão a disposição da malha de cálculo, juntamente com o perfil de escoamento do vento e dos coeficientes de dispersão.

Os resultados deste trabalho serão utilizados em pesquisas futuras para refinar o processo de modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos provenientes de fontes móveis, visto que até o presente momento, não foram feitas simulações de eventos dispersivos utilizando-se o modelo criado.

A implementação computacional do modelo resultou em um programa computacional, o qual pode ser caracterizado como o início do desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio ao controle da poluição atmosférica, contribuindo com atividades de gestão ambiental e manutenção da qualidade do ar atmosférico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Formação de Recursos Humanos PFRH-PB 210 da PETROBRAS/UEMS pela bolsa concedida e pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

CETESB. 2002. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo**. Brasil, São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento.

FORTURNA, A. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 432 p.

GIFFORD, F. A. Jr. **Nuclear Safety: Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion.**, 1961, v. 2, p.47-57.

HANNA, S. R. **Review of atmospheric diffusion models for regulatory applications**. Technical Note n. 177. World Meteorological Organization, 1982. 51 p.

LORA, E. E. S. **Modelos de dispersão dos poluentes na atmosfera**. Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. Cap. 10, p. 255-272.

PASQUILL, F. **The estimation of the dispersion of windborne material**. Meteorological

Magazine, 1961, v. 90, n. 1063, p. 33-49.

PORTEZANI, C. H. 2010. **Desenvolvimento de método e aplicativo para utilização de modelos na avaliação contínua de concentrações de poluentes atmosféricos.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 319 p.

SCHULZ, H. E. **O essencial em fenômenos de transporte.** São Carlos. EESC-USP, 2003. 398 p.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Micrometeorology. Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change.** New York, NY: John Wiley & Sons, 1997. Cap.16, p. 841-879.

TURNER, D. B., **A diffusion model for an urban area.** Journal of Applied Meteorology, 1964, v. 3, p. 83-91.

TURNER D. B. **Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling.** 2. ed. CRC Press LLC, 1994. 192 p.

US EPA. 1995. **User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models.** Volume II - Description of model algorithms. EPA-454/B-95-003b. Research Triangle Park, NC: United States Environmental Protection Agency, 105 p.

US EPA. 2000. **Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications.** EPA-454/R-99-005. Research Triangle Park, NC: United States Environmental Protection Agency.

ZANNETTI, P. **Air pollution modeling: theories, computational methods and available software.** New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1990. 454 p.