



DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO PARA O APRENDIZADO DA DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS USANDO O MODELO DE PLUMA GAUSSIANA

Adriano Lima - adrianulima@hotmail.com
Adrielle Rodrigues - adrielle_baia@yahoo.com.br
Daniel Martins - del_bm@hotmail.com
José Aleixo Porpino - aleixoporpino@hotmail.com
Kalwitalo Ibiapina - kalwitaloibiapina@gmail.com
Manoel Sena – mjssena@prof.iesam-pa.edu.br
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
Av. Gov. José Malcher, 1148
CEP 66055-260 – Belém - Pará

***Resumo:** Este trabalho ilustra o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a visualização do comportamento da dispersão de poluentes usando o modelo da Pluma Gaussiana. Foi dada ênfase ao aspecto da compreensão do fenômeno por parte do estudante, a partir da visualização do comportamento da pluma em diferentes condições de clima e para várias configurações de entrada de dados. O desenvolvimento do sistema priorizou o seu uso através da internet, com o uso da plataforma Adobe CS5, usando a linguagem de programação ActionScript. O programa pode ser usado pelos estudantes dos Cursos de Engenharia Ambiental e Química, nas disciplinas associadas à dispersão de poluentes na atmosfera.*

***Palavras-chave:** Pluma Gaussiana, Engenharia Ambiental, Engenharia Química, Dispersão*

1. INTRODUÇÃO

A dispersão de poluentes na atmosfera é um aspecto fundamental na implantação de plantas de produção, nas mais diferentes cadeias. Uma forma de calcular, durante o projeto, como serão distribuídos espacialmente os poluentes é necessária para que os sistemas tenham um impacto ambiental controlado.

Diversos modelos existem para estudar estes fenômenos. O modelo da Pluma Gaussiana (TURNER, 1994) é um dos mais confiáveis e mais usados. Normalmente, este modelo é estudado pelos estudantes de Engenharia Ambiental e Engenharia Química para tratar dos problemas de análise de dispersão de poluentes e para a realização de projetos. As suas vantagens em relação a outras técnicas são principalmente associadas ao fato dele ser um modelo com solução analítica. Desta forma, a sua implementação computacional pode ser feita com algoritmos de solução direta. Entretanto, a complexidade da equação torna um desafio a sua visualização e a compreensão adequada por parte dos alunos.

O modelo da Pluma Gaussiana é usado como ferramenta de análise e no projeto de chaminés em plantas industriais das mais diversas naturezas. Dentre os exemplos de aplicação, pode ser citado o trabalho de MITKIEWICZ (2002), que aplicou o modelo para a análise da dispersão de poluentes em um complexo siderúrgico. MALHEIROS et al (2009), por outro lado, usaram o modelo da Pluma Gaussiana para o estudo de dispersão de poluentes em uma usina termelétrica. CURBANI e RADAELI (2006), usaram este tipo de modelagem

Realização:



Organização:





para a análise da dispersão de agentes químicos. TAVARES (2009), usou o modelo, modificado por outros métodos, para analisar a poluição atmosférica causada por veículos automotores.

Para levar em consideração as diferentes condições do clima, são usadas as chamadas classes de Pasquill (TURNER, 1994). As classes de Pasquill são usadas tanto para a modelagem através de métodos analíticos, como o modelo da Pluma Gaussiana, como através de modelos numéricos como o método de volumes finitos (CEZANA, 2007).

Este trabalho tem como objetivo a descrição da construção de uma ferramenta capaz de auxiliar a compreensão do funcionamento do modelo, bem como a análise da sensibilidade do mesmo às variações de parâmetros. Desta forma, os estudantes poderão assimilar com mais eficácia os conceitos da teoria associada ao modelo, bem como as suas formas de aplicação.

2. METODOLOGIA

O modelo da Pluma Gaussiana é descrito pela equação (1). As variáveis envolvidas são mostradas na figura 1.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \left\{ e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right]} + e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right]} \right\} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2\right]} \quad (1)$$

Onde,

C – concentração.

x, y e z – coordenadas espaciais.

Q – vazão do poluente.

u – velocidade do vento.

σ_y – difusividade na direção y.

σ_z – difusividade na direção z.

h – altura efetiva da chaminé.

Como a equação (1) não possui a variável tempo, o sistema é considerado em regime permanente. Esta situação não é verificada na prática, mas a equação fornece uma boa aproximação para as condições médias, se as características de escoamento não se alteram de maneira drástica no intervalo de tempo considerado.

As difusividades são modeladas pelas equações 2 e 3. Os coeficientes destas equações foram definidos experimentalmente e dependem das condições de estabilidade do clima, definidas pelas classes de Pasquill (TURNER, 1994). Estas classes especificam seis condições de tempo, que são, estável, moderadamente estável, neutro, levemente instável, moderadamente instável e instável.

$$\sigma_z = ax^b \quad (2)$$

$$\sigma_y = 465,11628x \tan[0,017453293(c - d \ln x)] \quad (3)$$

A arquitetura adotada para a implementação das equações foi desenvolver uma interface usando a plataforma Adobe CS5, com o uso da linguagem de programação Actionscript (SHUPE, 2008, ROSENZWEIG, 2008). Esta decisão tornou possível que o



sistema fosse disponibilizado em um ambiente web desenvolvido usando a linguagem Javascript.

A interface gráfica com o usuário foi desenvolvida de maneira a tornar o uso do aplicativo bastante simples, mesmo para aqueles estudantes que não tenham conhecimento aprofundado da modelagem matemática usada no modelo.

Para tornar o uso do aplicativo ainda mais simples, foram desenvolvidos componentes específicos, não nativos da linguagem Actionscript. Um deles foi um *slider* multifuncional.

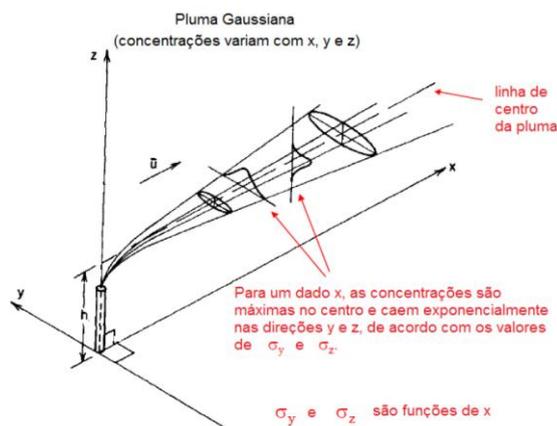


Figura 1 – Variáveis na modelagem da Pluma Gaussiana

3. RESULTADOS

A figura 2 mostra a interface da aplicação. Ela é dividida em duas grandes áreas onde é definido um mapa de cores. Elas compõem as vistas lateral e superior da pluma. A visualização pode ser modificada dinamicamente, pois cada uma das vistas representa um corte da outra. Este corte é representado por uma linha tracejada e é controlado de forma independente nas janelas. Isto proporciona uma grande série de possibilidades de visualização. O efeito alcançado é o de estar passeando por dentro da pluma. Isto permite uma grande melhoria na visualização do processo por parte dos estudantes.

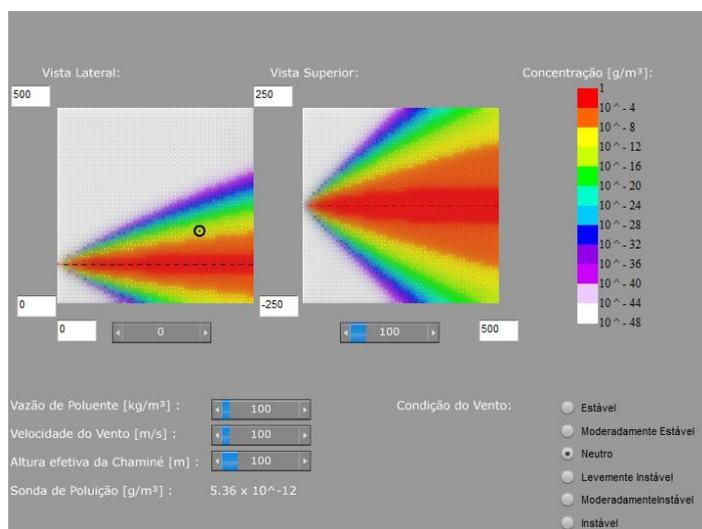


Figura 2 – Interface da aplicação



O programa também permite o uso de uma sonda de poluição, acessível através do clique do mouse sobre os mapas de cores. O valor da concentração do poluente é mostrado na parte inferior da interface. Com isso, o estudante pode verificar qual o valor exato da concentração em uma região específica.

Os dados de entrada podem ser entrados através de *sliders* desenvolvidos como novos componentes Actionscript pela própria equipe do projeto. Este novo tipo de *slider* permite a entrada de valores específicos através do teclado, bem como o ajuste dos valores para mais ou para menos com setas para a direita e para a esquerda. É possível ainda ao usuário ajustar dinamicamente os valores de incremento ou de decremento do slider. Este recurso permite ao estudante realizar análises de sensibilidade de maneira bastante intuitiva e rápida.

As condições do vento podem ser ajustadas através de comandos do tipo *radio button*. Estas opções são mutuamente excludentes e permitem selecionar os parâmetros do modelo de acordo com as classes de Pasquill.

A figura 2 mostra uma sequência de cortes de uma pluma na direção y.

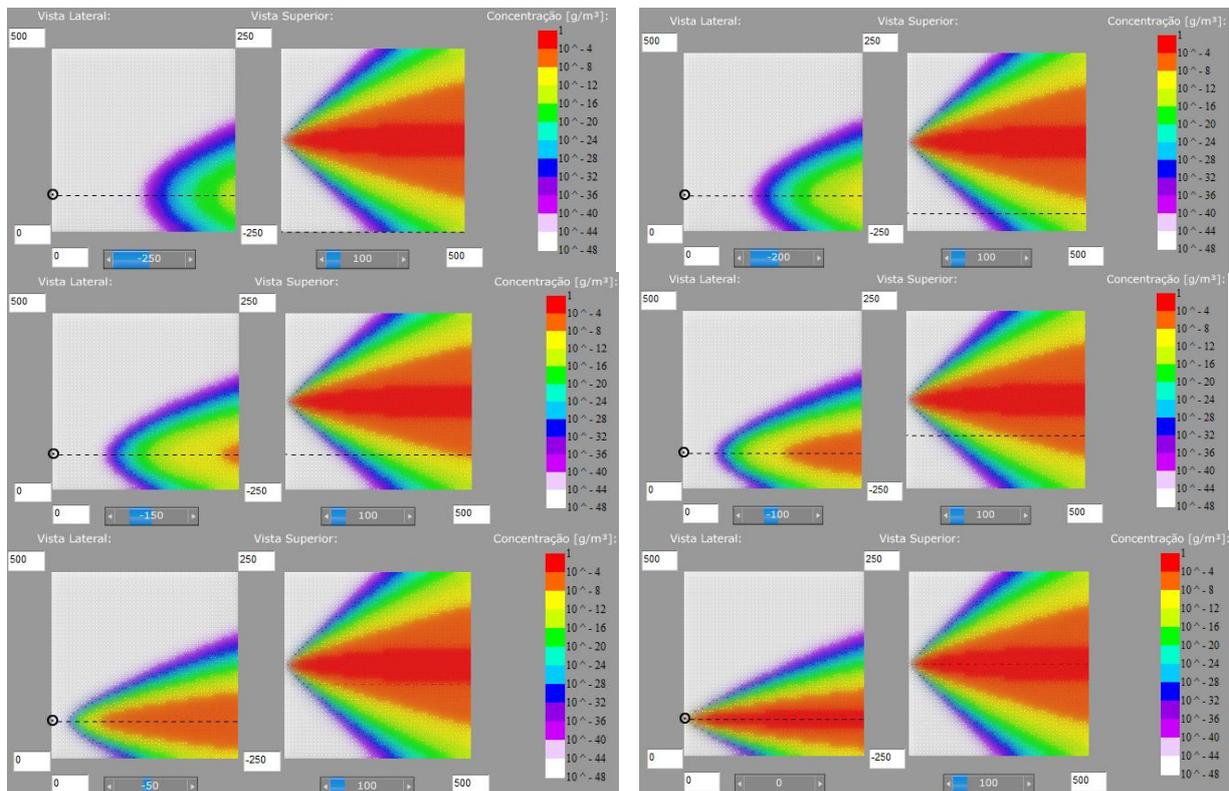


Figura 2 – Exemplo de um tipo de corte possível. Sequência de cortes de uma pluma na direção y

A figura 3 mostra uma configuração de pluma para cada uma das condições descritas pelas classes de Pasquill.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo da Pluma Gaussiana é bastante usado para iniciar os estudantes nos conceitos de dispersão atmosférica de poluentes e também para a realização de projetos de instalações industriais.



A aplicação desenvolvida neste trabalho possibilita aos estudantes, de uma maneira bastante fácil e rápida, configurar um sistema modelado através da Pluma Gaussiana. A aplicação permite realizar análises de sensibilidade do modelo aos parâmetros que são característicos do problema.

A possibilidade de cortar a pluma em vários planos faz com que uma compreensão maior do fenômeno seja possível.

A interface gráfica com o usuário foi projetada para proporcionar o máximo possível de facilidade de uso, de tal maneira que o estudante possa se concentrar no fenômeno modelado, e não nos detalhes de uso da ferramenta.

Como desenvolvimento a ser implementado, há a possibilidade do estudante gerar gráficos de concentração em determinadas linhas específicas, segundo uma determinada direção de interesse. Esta funcionalidade está implementada, mas ainda está na fase de ajustes e será disponibilizada em breve.

Foram feitos testes de uma versão em 3D do aplicativo. Um exemplo de aplicação da mesma é mostrado na figura 4. Esta versão tem algumas vantagens, por possibilitar uma percepção física mais imediata da distribuição de poluentes. Entretanto, ela coloca novos desafios a serem superados no que se refere ao controle da visualização da pluma. Estes aspectos serão objeto de trabalhos futuros.

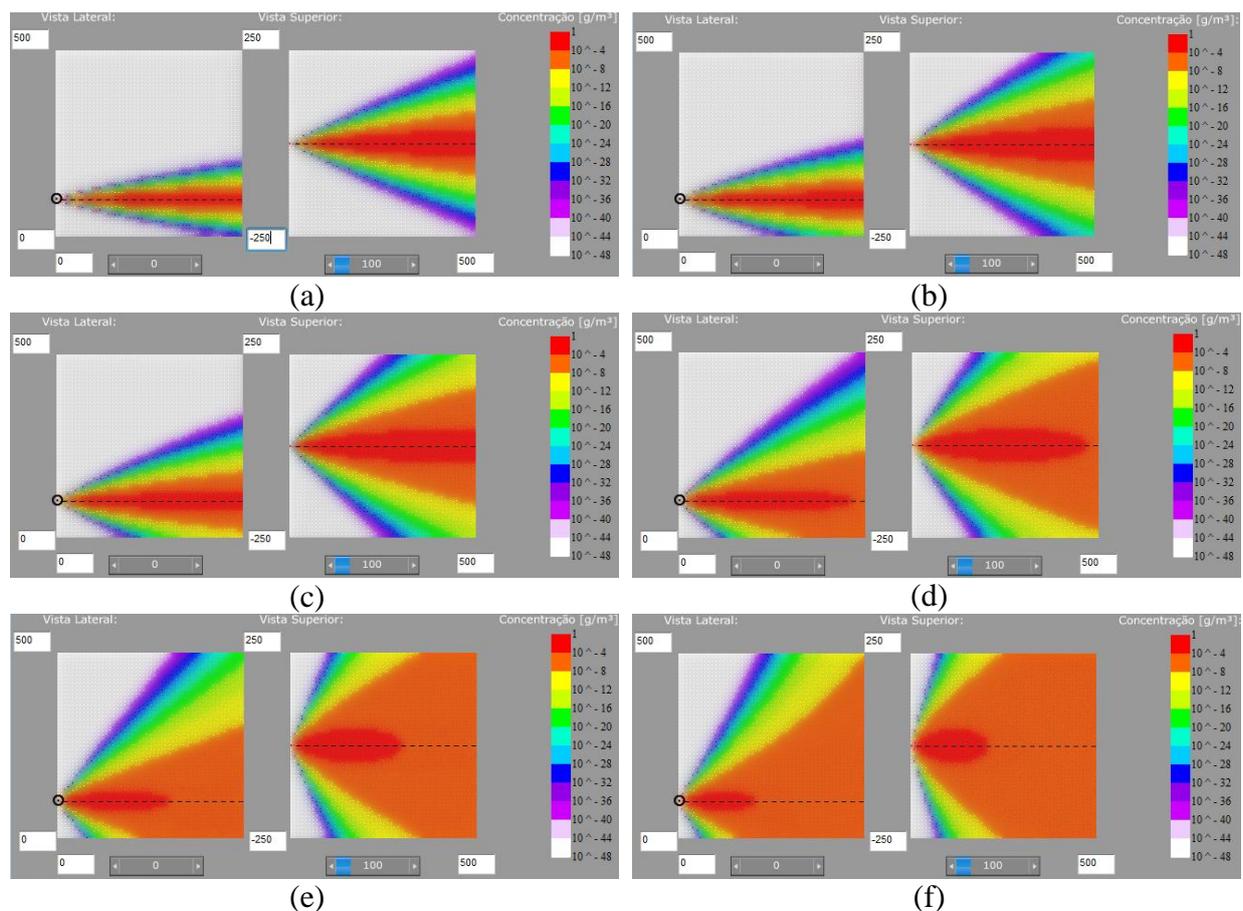


Figura 3 – Simulação de diversas condições de vento. (a) estável, (b) moderadamente estável, (c) neutro, (d) levemente instável, (e) moderadamente instável e (f) instável.

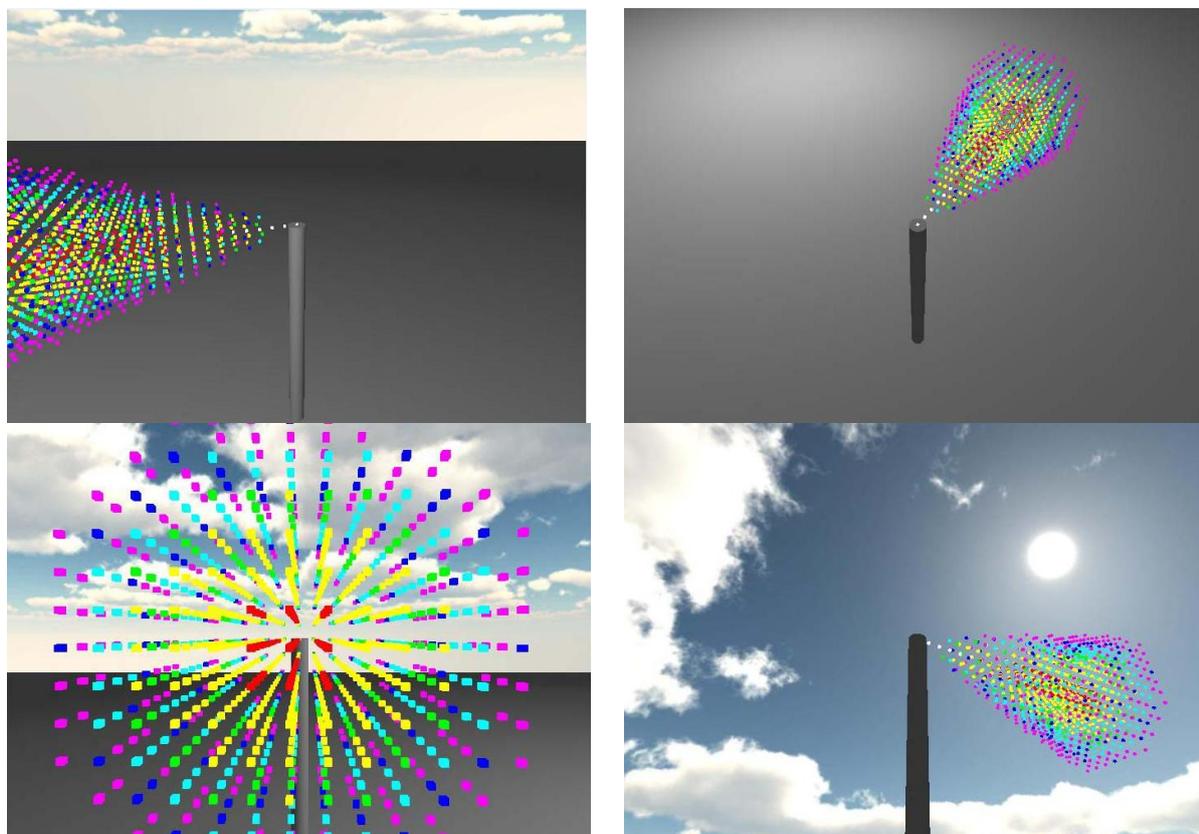


Figura 4 – Visualização 3D da Pluma Gaussiana

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CURBANI, F., RADAELI, L. A., CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO ESPÍRITO SANTO. Aplicação da modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera para avaliação de situações de emergência relacionadas a emissões acidentais de agentes químicos, 2006, 87p. Monografia (Especialização).

TURNER, D.B., Workbook of atmospheric dispersion estimates. 2^a ed. Lewis Publishers, 1994.

CEZANA, F. C., UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Simulação numérica da dispersão de poluentes ao redor de um obstáculo isolado sob diferentes condições de estabilidade. 2007, 139p. Dissertação (Mestrado).

MITKIEWICZ, G. F. M., MELO, G. C. B., Dispersão atmosférica de poluentes em um complexo industrial siderúrgico. Anais: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancún, México, 2002.

MALHEIROS, A. L., NOCKO, H. R., Grauer, A., Estudo da dispersão atmosférica de poluentes, utilizando o modelo ISCST 3 (Industrial Source Complex) para a usina termelétrica de Agudos do Sul. Curitiba, Relatório Técnico, 2009.



ROSENZWEIG, G.. Actionscript 3.0 Game Programming University. Que, 2008.

SHUPE, R., Learning Actionscript 3.0. O'Reilly, 2008.

TAVARES, F. V. F., CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NUCLEAR. Estudo do processo de dispersão de emissões veiculares em uma microregião de Belo Horizonte utilizando simulação numérica, 2009, 153 p., Dissertação (mestrado).

DEVELOPMENT OF A VISUALIZATION TOOL FOR LEARNING THE USE OF THE GAUSSIAN PLUME MODEL IN THE DISPERSION OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS

***Abstract:** This study illustrates the development of a software tool for visualizing the behavior of the dispersion of pollutants using the Gaussian Plume model. Emphasis was placed on the aspect of understanding the phenomenon from the analysis of the behaviour of the plume in different weather conditions and for various configurations of data entry. The development of the software prioritized its use over the internet by means of the Adobe CS5 platform, using the programming language ActionScript. The program can be used by Environmental and Chemical Engineering students in the disciplines associated with the dispersion of pollutants in the atmosphere.*

***Key-words:** Gaussian Plume, Environmental Engineering, Chemical Engineering, dispersion*