

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE SUBSTÂNCIAS ODORÍFERAS A PARTIR DA EMISSÃO DE GASES DE UMA FÁBRICA DE PAPEL E CELULOSE

SILVIO DE OLIVEIRA

SECA – Consultoria em Clima e Meio Ambiente S/C Ltda.¹,

NEI RUBENS LIMA E JÚLIO C. D’ALESSANDRO ROSSI

ECOÁGUAS – Engenharia do Meio Ambiente Ltda².

RESUMO

A propagação de odor na atmosfera depende da relação entre a concentração da substância odorífera em suspensão, da frequência de exposição do receptor e o estado geral das condições meteorológicas. A compilação clássica de dados como médias anuais de concentrações máximas de um determinado gás incomodativo, a primeira e a segunda concentração mais elevada, não é suficiente para se estimar o impacto de odor emitido por uma fonte sobre os receptores no entorno da sua área de influência. Portanto o odor causado por gases emitidos por uma determinada indústria tende a originar problemas mais relacionados com a qualidade de vida dos receptores do que com a qualidade do ar. Apesar disso sabe-se que a detecção ou a percepção de odores no ar é diferente de pessoa para pessoa e através de um estudo numérico de avaliação de impacto de odor, pode revelar e quantificar a extensão deste tipo de problema considerando respostas da turbulência atmosférica em relação à difusão de gases. Com relação à percepção o nariz humano é provavelmente o aparelho mais perfeito para caracterizar e quantificar a intensidade de odor, uma vez que não é sensível a concentrações médias de gases e sim aos picos de concentrações, caracterizando uma função logarítmica da concentração de curtíssima duração. A flutuação da concentração de odor percebido por um determinado indivíduo, é função da sua localização em relação à fonte emissora e das condições micrometeorológicas que rege os picos das flutuações turbulentas no escoamento livre médio do ar em curtíssimos espaços de tempo. De um modo geral a quantificação da concentração numérica de odor tem sido realizada através de modelos gaussianos convencionais de dispersão atmosférica que são dimensionados para obter valores médios horários, desprezando a relação pico de concentração de curtíssima duração. O presente trabalho apresenta uma proposição de modelagem da simulação da dispersão atmosférica de odor que incorpora um fator de correção de tempo, os efeitos da turbulência da baixa atmosfera e o pico de concentração para uma dada taxa de emissão de massa de gás odorífero em termos de unidade de odor por metro cúbico, durante o processo de emissão e difusão em relação à fonte e o receptor. Nesse sentido os resultados se revelam como uma ferramenta de uma efetiva estratégia de controle de odor na atmosfera na área de operação de uma planta de papel e celulose.

¹ SECA – Consultoria em Clima e Meio Ambiente S/C Ltda. Av. Brig. Faria Lima 1811 cj. 517 – 01476-900 São Paulo SP., TELFAX 55 11 3031 5787 – silvoliv@uol.com.br www.seca-ambiental.com.br

² ECOÁGUAS – Engenharia do Meio Ambiente Ltda. Rua Dr. Lauro, 118 – sala 706 – centro – CEP 92500-000 Guaíba – RS. TELFAX: 55 51 491 1480 – nrlima@guaibanet.com.br - www.ecoaguas.com.br

1. INTRODUÇÃO

A propagação de odor na atmosfera depende da relação entre a concentração da substância odorífera em suspensão, da fonte de emissão, da frequência de exposição do receptor e o estado geral das condições meteorológicas. Em geral o odor causado por gases emitidos por uma determinada fonte industrial tende a originar problemas mais relacionados com a qualidade de vida dos receptores do que com a qualidade do ar. Apesar disso sabe-se que a detecção ou a percepção de odores no ar é diferente de pessoa para pessoa e portanto um estudo numérico de avaliação de impacto de odor, pode revelar e quantificar a extensão deste tipo de problema considerando respostas da turbulência atmosférica em relação à difusão de gases. O nariz humano é provavelmente o aparelho mais perfeito para identificar e caracterizar a intensidade de odor, uma vez que não é sensível a concentrações médias de gases e sim a uma função logarítmica da concentração de curtíssima duração. A flutuação da concentração de odor percebido por um determinado indivíduo, é função da sua localização em relação à fonte emissora e das condições micrometeorológicas que rege os picos de flutuações turbulentas no escoamento livre médio do ar em curtíssimos espaços de tempo.

Todos os fatores que causam incômodo por odor não são ainda conhecidos ou bem conhecidos. Apesar disso, sabe-se que a detecção ou a percepção de odores no ar difere de pessoa para pessoa e portanto um estudo numérico de avaliação de impacto de odor, pode revelar e quantificar a extensão deste tipo de problema considerando respostas da turbulência atmosférica em relação à difusão de gases, com diferentes opiniões de percepção por parte dos receptores humanos. Normalmente esse tipo de estudo não tem levado em consideração alguns indicadores reais bem como dados meteorológicos da camada limite planetária, dentro do sítio onde está ocorrendo a difusão da pluma de odor. Estudo é dirigido para emissões de Fábricas de Celulose e Papel, porém o exemplo que se utilizou para aplicação prática de um estudo de caso, foi o de uma Fábrica hipotética.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM DE ODOR

A maioria dos modelos matemáticos de dispersão não são desenvolvidos visando a avaliação de odores na atmosfera. Na realidade a dispersão de odores na atmosfera é diferente do fenômeno da dispersão de poluentes convencionais uma vez que a escala de transporte entre a difusão e a dispersão turbulenta no ar são diferentes. É possível haver difusão de odor na atmosfera sem existir imediatamente transporte pelo vento da molécula odorífera. Nesse caso existem algumas perguntas que necessitam ser respondidas:

- a) Qual é a distribuição da concentração de odor no nível do solo?
- b) Qual é a frequência de exposição destes níveis de concentração?

Para responder a essas questões é necessário entender alguns pontos sobre a percepção de odor no ar. Uma das principais características da função nasal humana é que a percepção da intensidade de odor segue uma função logarítmica da concentração de odor de um determinado gás, ver **Figura 1**.

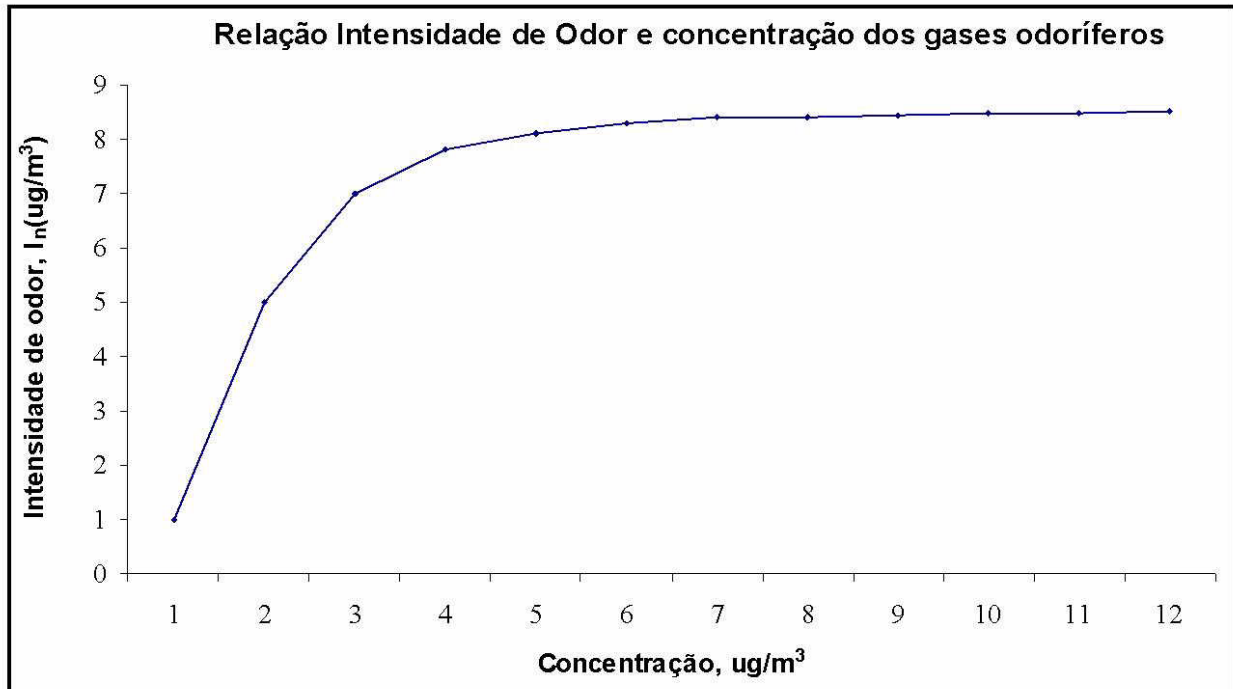


Figura 1 – Percepção de odor função da concentração, (¹)

A **Figura 1**, mostra que a função nasal é muito sensível na detecção do odor. Para um pequeno aumento na concentração a intensidade de odor aumenta rapidamente até atingir uma quase constante mesmo que a concentração continue se elevando.

Um segundo aspecto importante da função nasal de percepção do odor é a capacidade de dar respostas rápidas e quase instantâneas. Entretanto a sensibilidade máxima é alcançada para curtos espaços de tempo de exposição. A **Figura 2** ilustra a variação da intensidade da percepção em função do tempo de exposição. Verifica-se que nos primeiros instantes a intensidade é elevada e em seguida decresce rapidamente.

¹ Page, T., (1996) -Odor Modeling for Control Impact Odor Study. Ecole Polytechnique, CP. 6090 Montreal Quebec Canada

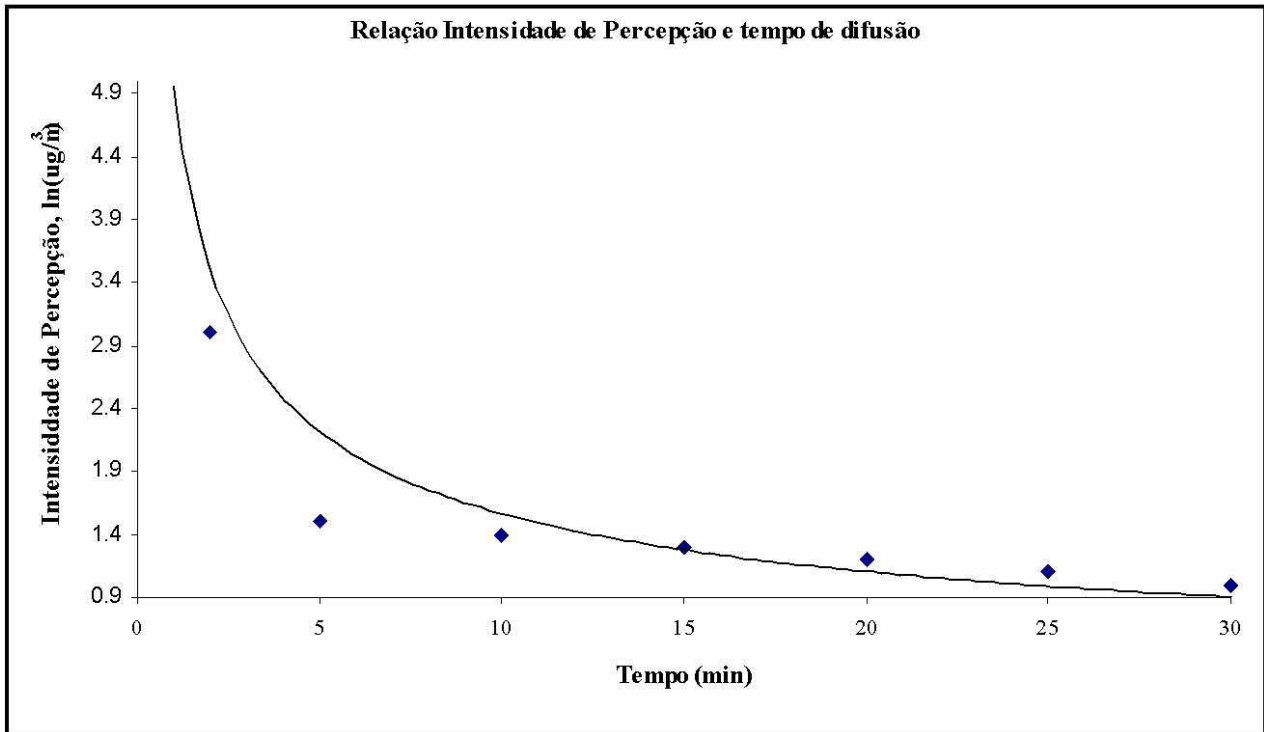


Figura 2 – Intensidade de percepção de odor, função do tempo de difusão

Portanto a função nasal alcança sua mais elevada sensibilidade para pequenas variações nas concentrações para baixas concentrações odoríferos em suspensão na atmosfera, em curtos intervalos de tempo. Devido a essas duas características humanas de percepção de odores, a função nasal é altamente sensível às flutuações das concentrações de gases odoríferos se difundindo na atmosfera.

3. MICROMETEOROLOGIA

Os problemas de difusão de odor se concentram na região da baixa atmosfera onde predominam os fenômenos micrometeorológicos de difusão e transporte de matéria e energia. Essa região onde predominam os fenômenos de turbulência é conhecida camada limite planetária (CLP), conforme mostram as **Figuras 3**(teórica) e **Figura 4**(real). Essa camada se estende da superfície até aproximadamente 2,5 km de altura sendo que os processos de difusão de odor se concentram dentro de uma subcamada chamada de camada limite superficial atmosférica (CLS) que se estende da superfície até 1000m (durante o dia) e 100 m (durante à noite). As duas figuras mostram as evoluções de trocas de calor que ocorrem dentro destas camadas com implicações diretas na difusão de odor. Observa-se ainda a evolução da turbulência térmica e mecânica responsáveis pelos processos de maior ou menor vibração molecular dos gases em suspensão na baixa atmosfera devido a contínua troca de energia.

Nessa camada adjacente à superfície a trajetória percorrida pelas moléculas de gases odoríferos é sempre afetada pela agitação das camadas de ar na baixa atmosfera. Isso provoca o que se chama de meandro horizontal na oscilação de plumas emitidas de chaminés, alterando as concentrações dos gases e partículas no ar que variam dependendo da estabilidade atmosférica e da distância da fonte, ver **Figura 4**. Para visualizar na prática o que efetivamente ocorre nessa camada Antti (1994)², utilizou um Radar de Laser (LIDAR), emitindo *flash lamps* à cada 9 segundos, onde a parte escura é a região de escoamento livre entre 900 e 2400 m de altura. Abaixo de 900 metros (parte branca) apresenta a concentração de moléculas sensíveis a incidência dos feixes de energia emitidos pelo LIDAR. Essas moléculas provocam o fenômeno de retroespalhamento de luz e são arrastadas pelo vento e pelas correntes convectivas ascendentes entre a superfície e o topo da camada de mistura.

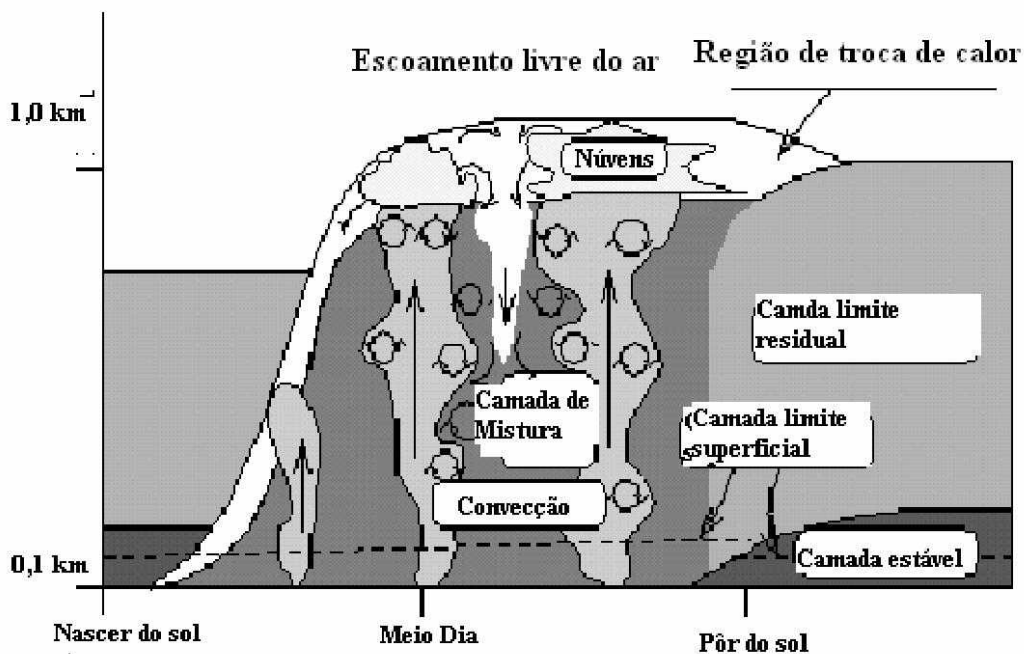


Figura 3 – Micrometeorologia – Descrição teórica da camada limite superficial atmosférica

² Antti K. Piironen Atmospheric Boundary Layer Studies .University of Wisconsin--Madison Space Science and Engineering Center 1225 West Dayton Street Madison, WI 53706, USA August 1, 1994

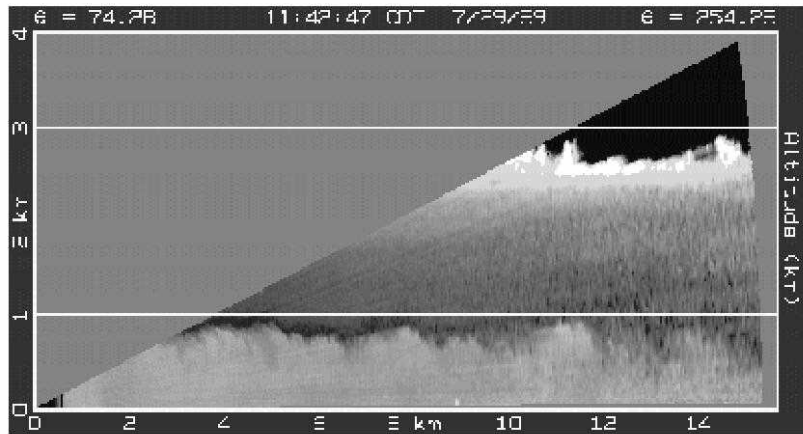


Figura 4 – Micrometeorologia – Descrição real da Camada limite superficial atmosférica vista através de um LIDAR.

3.1 Trajetória da pluma

Em decorrência da movimentação turbulenta do ar, a pluma de gases quando entra na atmosfera é conduzida pelo fenômeno da turbulência e dificilmente ela se propaga de forma. Ela tende a oscilar tanto horizontalmente para direita e para esquerda, como para cima e para baixo em torno da concentração média ao longo do seu centro. Essa oscilação é conhecida como “*meandro*”³; e devido a esse movimento a pluma difunde como eficiência os gases para toda área de influência à medida que se desloca na atmosfera, espalhando os gases e partículas no ar rapidamente, ver **Figura 5**.



Figura 5 – Meandro de pluma de fumaça emitida na camada limite superficial atmosférica.

³ Hanna, S.R., Lateral turbulence intensity and plume meandering during Stable Conditions. Journal of Clim. & Appl. Meteorology, 22, 1424-1430, 1983.

4. MODELO MATEMÁTICO

A ferramenta desenvolvida para quantificar se os odores na atmosfera livre são aceitáveis ou não, é o modelo matemático de dispersão. A USEPA tem desenvolvido e validado uma série de modelos (EPA, 1995)⁴ nas últimas três décadas. A maioria dos modelos para dispersão atmosférica de poluentes é válida para períodos médios entre 10 a 60 minutos. Portanto objetivo deles é prever o efeito toxicológico na saúde pública tomando como referência os padrões de qualidade do ar estabelecidos nas legislações vigentes. De um modo geral quando ocorre a emissão de gases odoríferos na atmosfera, estes são submetidos às escalas de movimentos turbulentos atmosféricos os quais são responsáveis pelos picos concentrações que incomodam mais em curtíssimo prazo do que à longo prazo sobre o receptor humano. Os modelos convencionais não calculam a concentração de difusão de gases para períodos de tempo segundos e minutos e sim para médias horárias. Considerando que a emissão de odor na atmosfera causa incômodos em curtos intervalos de tempo pergunta-se: qual seria o tipo de modelo matemático adequado para simular a dispersão de odores na atmosfera, de tal modo que incorpore os picos de concentrações máximas nas escalas de tempo em segundos e minutos, conforme mostra a **Figura 6**.

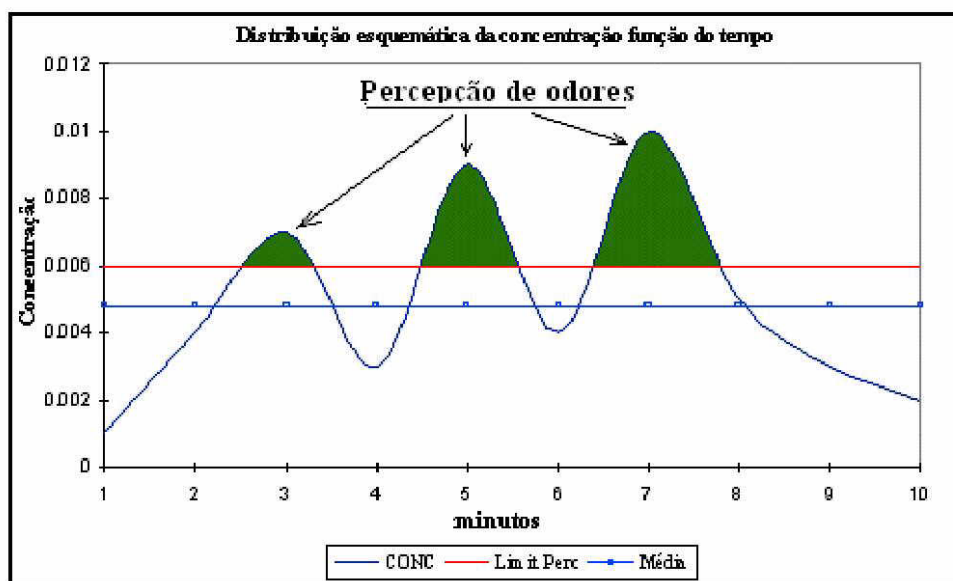


Figura 6 - Ilustração hipotética da distribuição concentrações de gases odoríferos em função de tempo.

⁴ *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models*; U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, 1995; EPA-454/B-95-003a.

O modelo matemático mais indicado seria o Gaussiano adaptado com fatores de correção de tempo. Trata-se de um modelo simples baseado na teoria de coeficientes de dispersão turbulenta. Esse modelo combinado com as condições micrometeorológicas e o fator de correção de tempo permitirá se incorporar os picos de concentrações de odor, e com isso se expressar a taxa de emissão do gás para a atmosfera em unidades de odor (U.O./s) por unidade de tempo e não em massa por unidade de tempo (g/s). Para se obter essa transformação de unidades utilizou-se o método desenvolvido de Sharon *et al.*,(1994)⁵ resumido pela fórmula (1) que representa a taxa adimensional entre a concentração do gás emitido em um volume de ar limpo relacionado com o limite de percepção de odor do mesmo gás. Com essa relação a concentração ficará expressa em unidades de odor por metro cúbico(U.O./m³) e que junto com vazão volumétrica a taxa de emissão ficará expressa também em (U.O./s).

$$Z = (1.U.O./m^3)(C/LP)(\mu g/m^3 / \mu g/m^3) \Rightarrow Z \cong n.d.(U.O./m^3) \quad (1)$$

Onde,

C = Concentração do gás na atmosfera;

LP = Concentração limite de percepção odorífera;

Z = número de diluições do gás na atmosfera para atingir o limite de percepção;

$U.O.$ = unidade de odor

Conhecendo o número de diluições necessárias do gás alcançar o limite de percepção na atmosfera e a vazão volumétrica do gás que está sendo emitido na atmosfera é possível se obter a taxa de emissão do gás em unidades de odor a partir da equação (1) resultando em (2):

$$Q_o \cong U.O./s \quad (2)$$

Onde,

Q_o = taxa de odor

A equação (2) será a taxa de emissão de entrada em um modelo matemático Gaussiano, que permitirá se obter resultados da simulação da concentração de odor por volume de ar e não a concentração em massa por volume de ar.

⁵ Sharon, S., et al.; MAP – An Effective Odor Control Strategy; Chemical Engineering Progress; Vol.9 pp. 47-54, September (1994).

4.1 Equação Gaussiana

Seja a equação de dispersão Gaussiana generalizada, para uma fonte pontual, considerando a emissão contínua de um gás para estimar os níveis de concentrações de odor na atmosfera:

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q_o}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y}\right\} \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z}\right\} \right] \quad (3)$$

Onde,

- $C_{(x,y,z)}$ = concentração do gás [U.O./m³];
 Q_o = vazão volumétrica de odor [U.O./s]
 u = velocidade média do vento [m/s];
 σ_y = coeficiente de dispersão transversal da pluma [m];
 σ_z = coeficiente de dispersão vertical da pluma [m];
 H = altura efetiva da chaminé [m];

Na equação (3) assume-se que a concentração máxima do gás é calculada no centro da pluma, e a distribuição da concentração é normal Gaussiana e perpendicular ao eixo central da pluma. O resultado da concentração final será obtido em unidades de odor por metro cúbico (U.O./m³) e não em micrograma por metro cúbico (µg/m³).

4.2 Fator de correção de tempo

A equação (3), foi desenvolvida para calcular concentrações médias de 1 hora, embora seus coeficientes de dispersão (σ_y, σ_z) tenham sido desenvolvidos para descrever a difusão turbulenta no ar para escalas de tempo de 10 minutos, isto porque foi assumido que nesse intervalo de tempo a turbulência atmosférica se mantém quase constante. Como os picos de concentrações de odor ocorrem em escalas de tempo menor que 10 minutos, é necessário se incorporar um fator de correção de tempo, que relaciona ao pico de concentração de odor em relação à concentração média do gás na atmosfera, que foi proposto por Turner (1994)⁶, representado pela fórmula (4):

$$C_{odor} = \left(C_{gaussiana} \right) \cdot \left(\frac{\tau_{gaussiana}}{\tau_{odor}} \right)^p \quad (4)$$

Onde,

- $C_{(odor)}$ = concentração de odor, [U.O.];
 $C_{(gaussiana)}$ = concentração obtida pelo coeficiente de difusão clássico;
 τ_{odor} = tempo médio para odor [min]
 $\tau_{gaussiana}$ = tempo médio para o modelo gaussiano [min];
 p = fator exponencial função da estabilidade atmosférica;

⁶ Turner, D. B., 1994 – Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An introduction to Dispersion Models. Second Edition. Lewis Publishers, London. Pp. 40.

Vários autores têm propostos diversos valores para o expoente p como: Turner sugeriu o intervalo de valores para p oscilando entre $-0,2$ e $-0,17$; Hoydysh *et al.*, (1994)⁷ $-0,17$ e $-0,19$. A simplicidade desta técnica é muito atrativa para obtenção dos picos de concentrações máximas de odor a partir dos valores médios horários calculados através da equação Gaussiana (3). A equação (4), apesar de ser um recurso prático para se extrapolar a concentração para diversas escalas de tempo, particularmente no caso de odores, ela despreza a evolução das flutuações da concentração em função da distância da fonte como por exemplo: próximo da fonte o valor final da concentração de odor tende a ser subestimado e mais distante é superestimado, além de estreitar a largura da área da região impactada pela pluma de odor.

4.3 Modelagem final e dados

Adotando as considerações acima e reunindo as equações (10), (2), (3) e (4), chega-se a um sistema de equações, que permite calcular a concentração de odor no nível do solo (em Unidades de odor por metro cúbico) para diversas escalas de tempo, condições meteorológicas, topografia e parâmetros de emissões, variando com a distância da fonte.

A seguir apresenta-se um estudo de caso de aplicação do modelo matemática, considerando um cenário hipotético, variando a concentração com a estabilidade atmosférica, à distância da fonte e escalas de tempo em

5. APLICAÇÃO DO MODELO

Para um estudo de caso, o cenário é uma Fábrica de Celulose e Papel, hipotética, que emite na atmosfera cerca de $0,0009$ ppm de H_2S , com uma vazão volumétrica de $2,47$ m³ por segundo, de uma chaminé de 20 m de altura um diâmetro de $1,5$ m. Obter a concentração, para 5 , 15 , 30 e 60 minutos em função das condições meteorológicas e distâncias da fonte, considerando como receptor uma escola a $3,0$ km, um hospital a $2,0$ km, e um bairro residencial a 8 km, ver **Figura 7**, variando as condições meteorológicas da região.

Na solução do problema serão adotadas, as equações de (1) a (4), uma grade polar uniforme de raio de 10 km, e as concentrações serão calculadas em oito direções radiais a cada 500 metros de distância da fonte.

A partir dos dados de emissão e vazão é necessário transformar os dados de entrada em unidades de odor ($U. O.$), transformando a unidade da emissão em ppm para $U. O.$ por metro cúbico, para calcular o número de diluições do gás odorífero e finalmente obter a taxa de emissão Q_o a partir da vazão volumétrica, usando o limite de percepção odorífera para o H_2S igual $0,0005$ ppm⁸:

Z (número de diluições de odor) = $(1 U.O./m^3) \times (1,0 \times 10^{-5} ppm) / (0,0005 ppm) \Rightarrow Z = 0,02 U.O./m^3$,
 Q_o (taxa de emissão em unidades de odor) = $(0,02 U.O./m^3) \times (2,47 m^3/s) \Rightarrow Q_o = 0,0495 U.O./s$. Na simulação matemática foram utilizadas 8760 horas de dados meteorológicos de direção e velocidade do vento, estabilidade atmosférica e altura da mistura.

⁷ Hoydysh, W., et al., 1994, "Studies of odor Dispersion Characteristics at a Wastewater Treatment Plant," presented at the Water Environment Federation odor and Emission Control Conference, Jacksonville, FL.

⁸ Agency Government of Japan, (2000); Environmental Emissions Standards - Specified of Offensive odor Substances - Regulation Standards - Environmental www.eanet.go.jp.

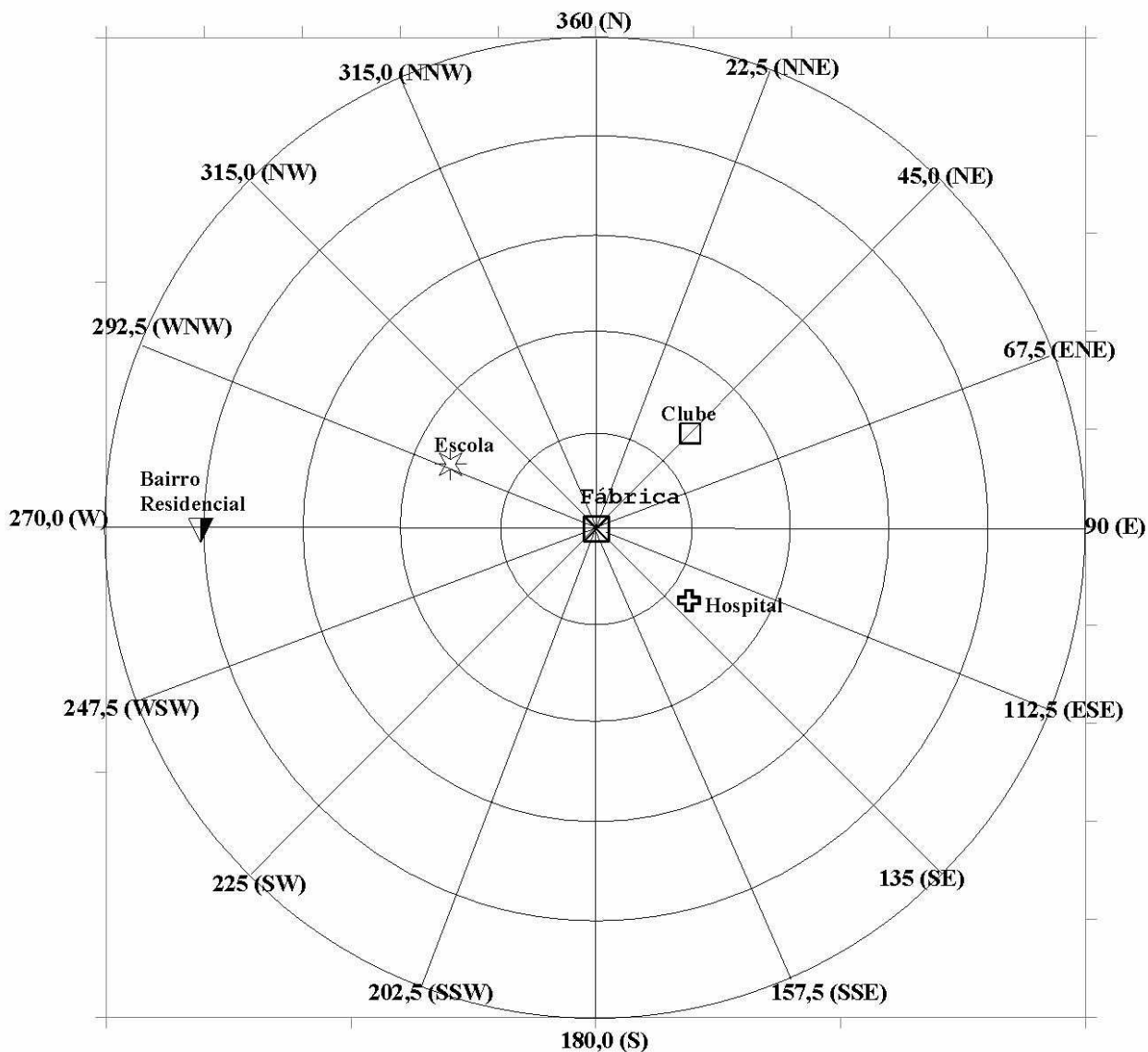


Figura 7. Grade polar e os receptores discretos e a localização da fonte em região hipotética.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação são apresentados na **Figuras (8 e 9)**. A **Figura 7**, mostra que quando a pluma entra na atmosfera o incômodo entre 0 a 15 minutos a concentração oscila entre 3,5 e 2 vezes acima do LPO, que é de $1,0 \text{ U.O./m}^3$. Na **Figura 8**, elaborou-se o gráfico para o intervalo de tempo entre 0 e 15, mas variando com a distância, onde se verifica a concentração se mantém acima do LPO, pelo menos até 4,0 km de distância da fonte. A partir dessa distância o incômodo se situa abaixo do LPO, decrescendo rapidamente com a distância.

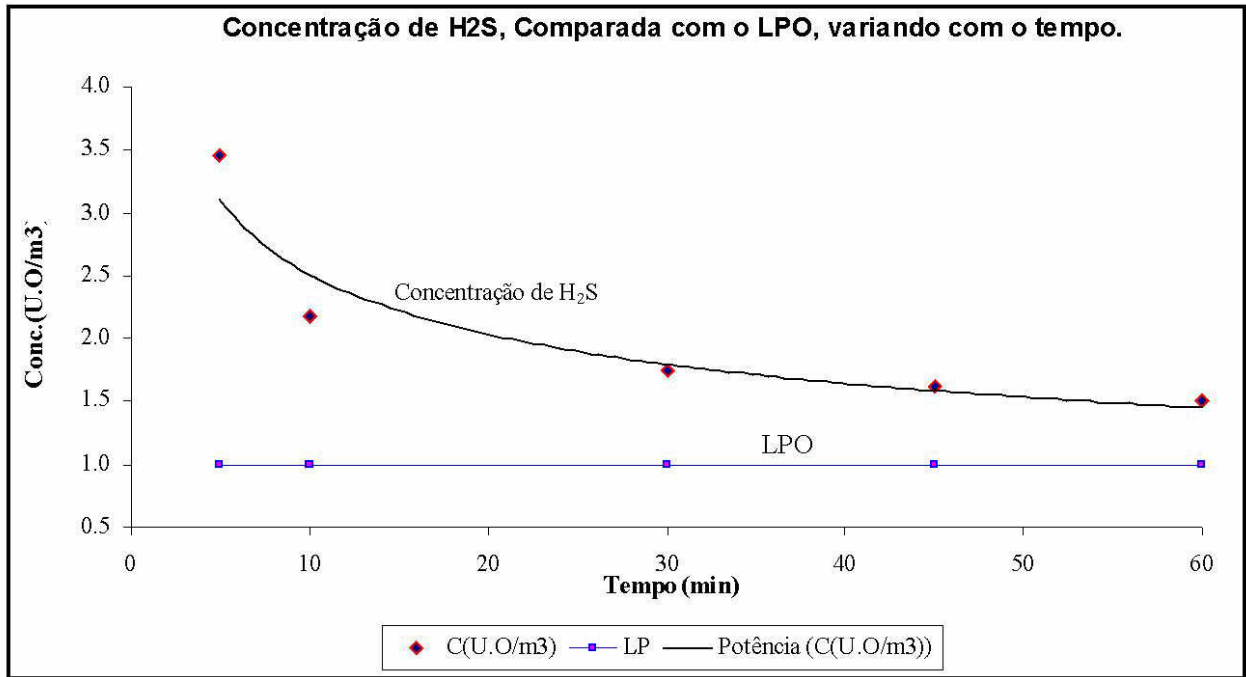


Figura 8. Resultados da simulação concentração variando com o tempo

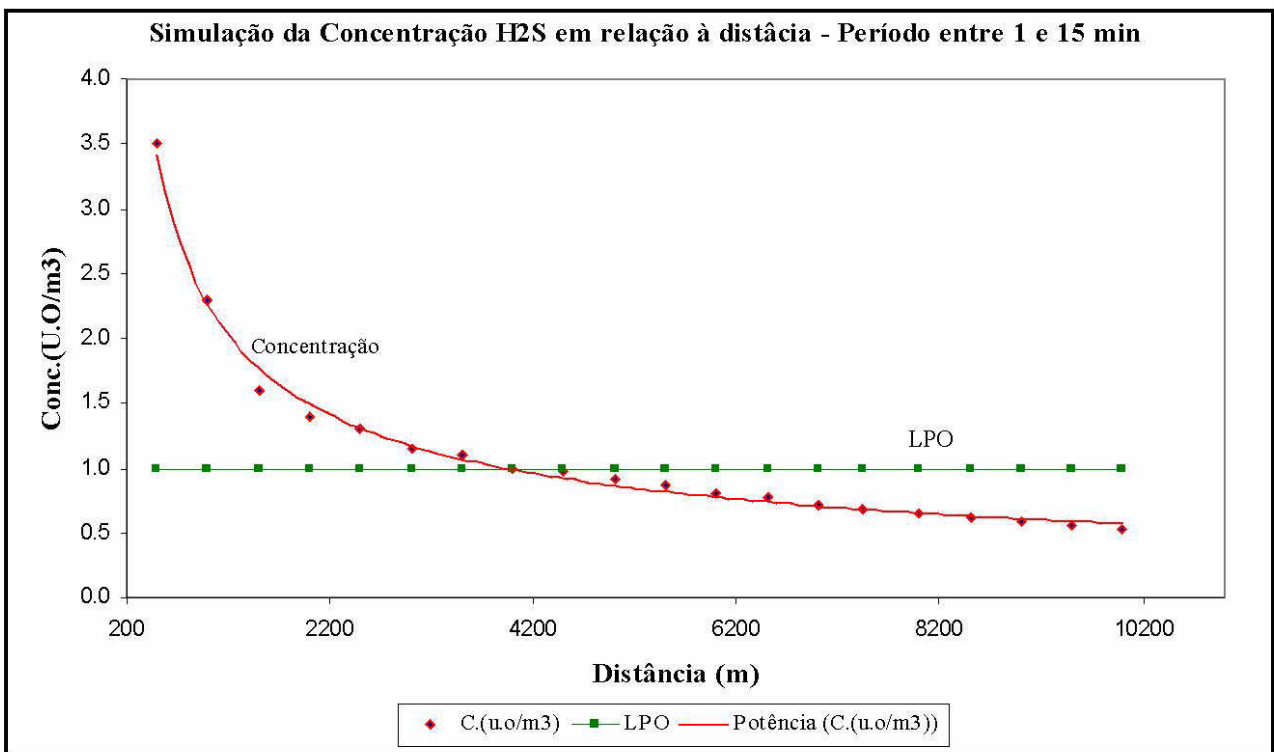


Figura 9. Resultados da simulação concentração variando com a distância.

As **Figuras 10 a 14** (no apêndice), apresentam a distribuição espacial da difusão da pluma de odor dentro da área de influência variando com as distâncias radiais e tempo. Verifica-se no minuto inicial toda área de influência é impactada sobre todos os receptores indiscriminadamente. Em seguida à medida que o tempo vai passando a concentração máxima vai decrescendo e diminuindo a área de influência de impacto de odor. A **Figura 14**, apresenta as isoconcentrações 7 horas (450 minutos) depois, onde nesse caso todas as concentrações são menores que $1,0 \text{ U.O./m}^3$, portanto a concentração do gás está presente mas o incômodo praticamente desapareceu. Isso ocorre devido a influência da turbulência atmosféricas e a variabilidade das condições meteorológicas.

7. CONCLUSÃO

Conforme se verificou o tratamento para estudos de dispersão de odor na atmosfera não pode ser igual dos gases convencionais definidos pela Resolução CONAMA 3/90. A difusão e transporte de odor na baixa atmosfera é influenciada pelo fenômeno da turbulência responsável direto pela formação dos picos de incômodo de odor em pequenos períodos de tempo e a curtas distância. Dada a peculiaridade do assunto mostrou-se que na aplicação de modelo matemático Gaussiano, para simular a concentração de odor deverão ser incorporados, fator de correção de tempo e a definição de uma unidade que leve em consideração o número de diluição de um gás odorífero por metro cúbico quando este entra em uma atmosfera limpa. Após a incorporação dos diversos elementos na equação de difusão simulou-se um caso hipotético e apresentou-se os resultados variando a concentração em unidade de odor por metro cúbico variando com a distância e tempo.

Na questão da sensibilidade do odor em intervalos de tempo curtos ou a curtas distâncias, vai depender também da capacidade sensorial alfatométrica de cada pessoa. Para se checar essa relação de cada indivíduo na detecção do pico de odor, seria necessária a realização de uma complementação realizando-se um teste de campo definindo como ponto de observação a mesma modalidade de receptor discreto como por exemplo: escola, hospital, bairro residencial e clube; onde os observadores anotariam além do grau de intensidade de odor as condições meteorológicas visuais dentro de uma escala de tempo definida de acordo com os tempos usados na modelagem matemática.

8. BIBLIOGRAFIA

- 1 Page, T., (1996) -Odor Modeling for Control Impact Odor Study. Ecole Polytechnique , CP. 6090 Montreal Quebec Canada
- 2 Antti K. Piironen Atmospheric Boundary Layer Studies .University of Wisconsin--Madison Space Science and Engineering Center 1225 West Dayton Street Madison, WI 53706, USA August 1, 1994
- 3 Hanna, S.R., Lateral turbulence intensity and plume meandering during Stable Conditions. Journal of Clim. & Appl. Meteorology, 22, 1424-1430, 1983.
- 4 *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models*; U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, 1995; EPA-454/B-95-003a
- 5 Sharon, S., et al.,; MAP – An Effective Odor Control Strategy; Chemical Engineering Progress; Vol.9 pp. 47-54, September (1994).
- 6 Turner, D. B., 1994 – Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An introduction to Dispersion Models. Second Edition. Lewis Publishers, London. Pp. 40.
- 7 Hoydysh, W., et al., 1994, “Studies of odor Dispersion Characteristics at a Wastewater Treatment Plant, “presented at the Water Environment Fderation odor and Emission Control Conference, Jacksonville, FL.,
- 8 Agency Government of Japan, (2000); Environmental Emissions Standards - Specified of Offensive odor Substances - Regulation Standards – Environmental www.eanet.go.jp .

APÊNDICE – FIGURAS 9, 10 e 11.

Simulação Matemática de Odor - Isoconcentrações de H₂S

Concentração máxima (1 minuto) = 3,46 U.O./m³

Limite de Percepção (1 minuto) = 1,0 U.O./m³

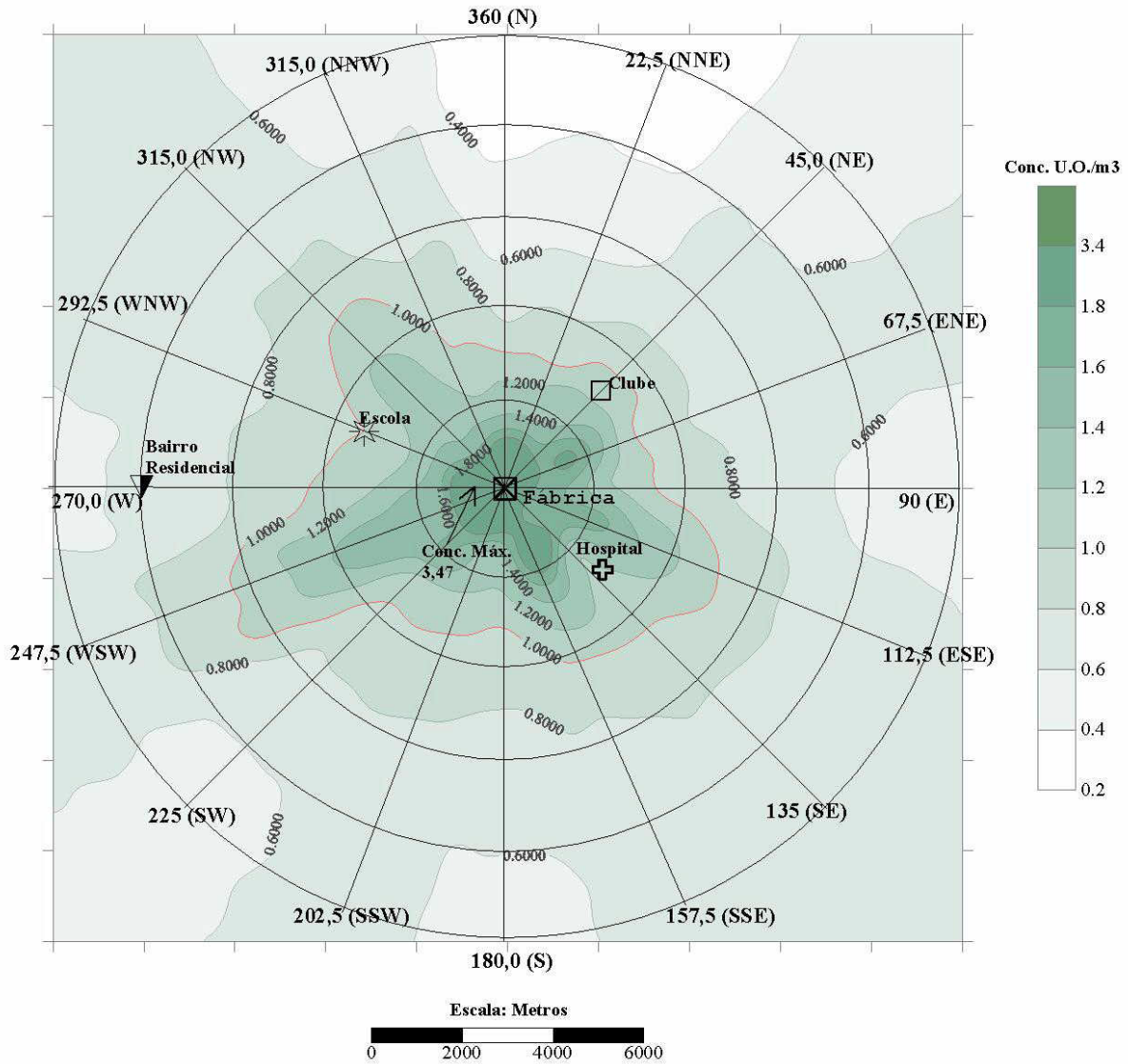


Figura 10 – Isoconcentrações de H₂S, se difundindo na atmosfera durante o intervalo de *tempo de 1 minuto*.

Simulação Matemática de Odor - Isoconcentrações de H₂S
Concentração máxima (30 minutos) = 1,75 U.O/m³
Limite de Percepção (1 minuto) = 1,0 U.O/m³

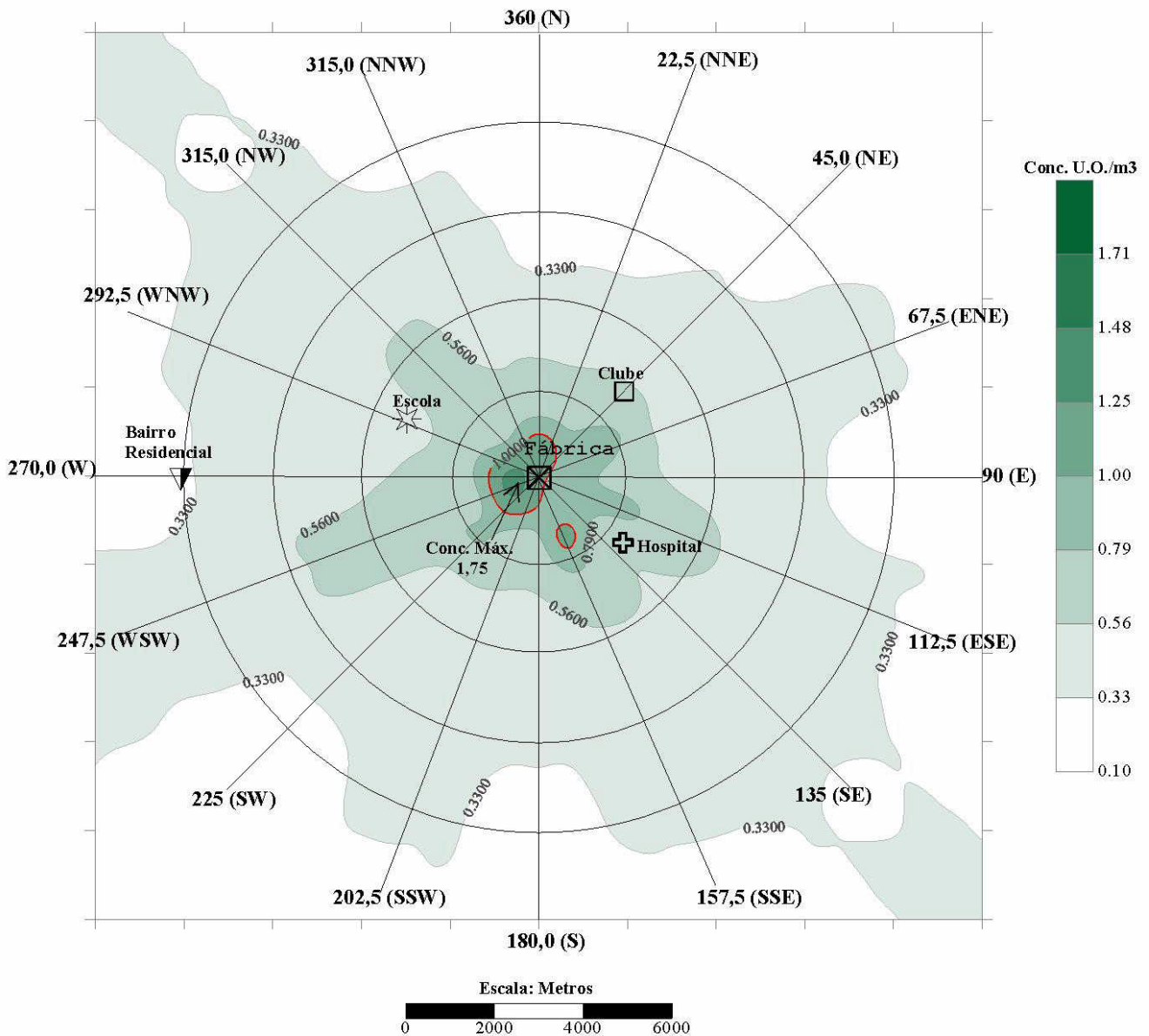


Figura 11 – Isoconcentrações de H₂S, se difundindo na atmosfera durante o intervalo *de tempo de 30* minutos.

Simulação Matemática de Odor - Isoconcentrações de H₂S
Concentração máxima (45 minutos) = 1,62 U.O./m³
Limite de Percepção (1 minuto) = 1,0 U.O./m³

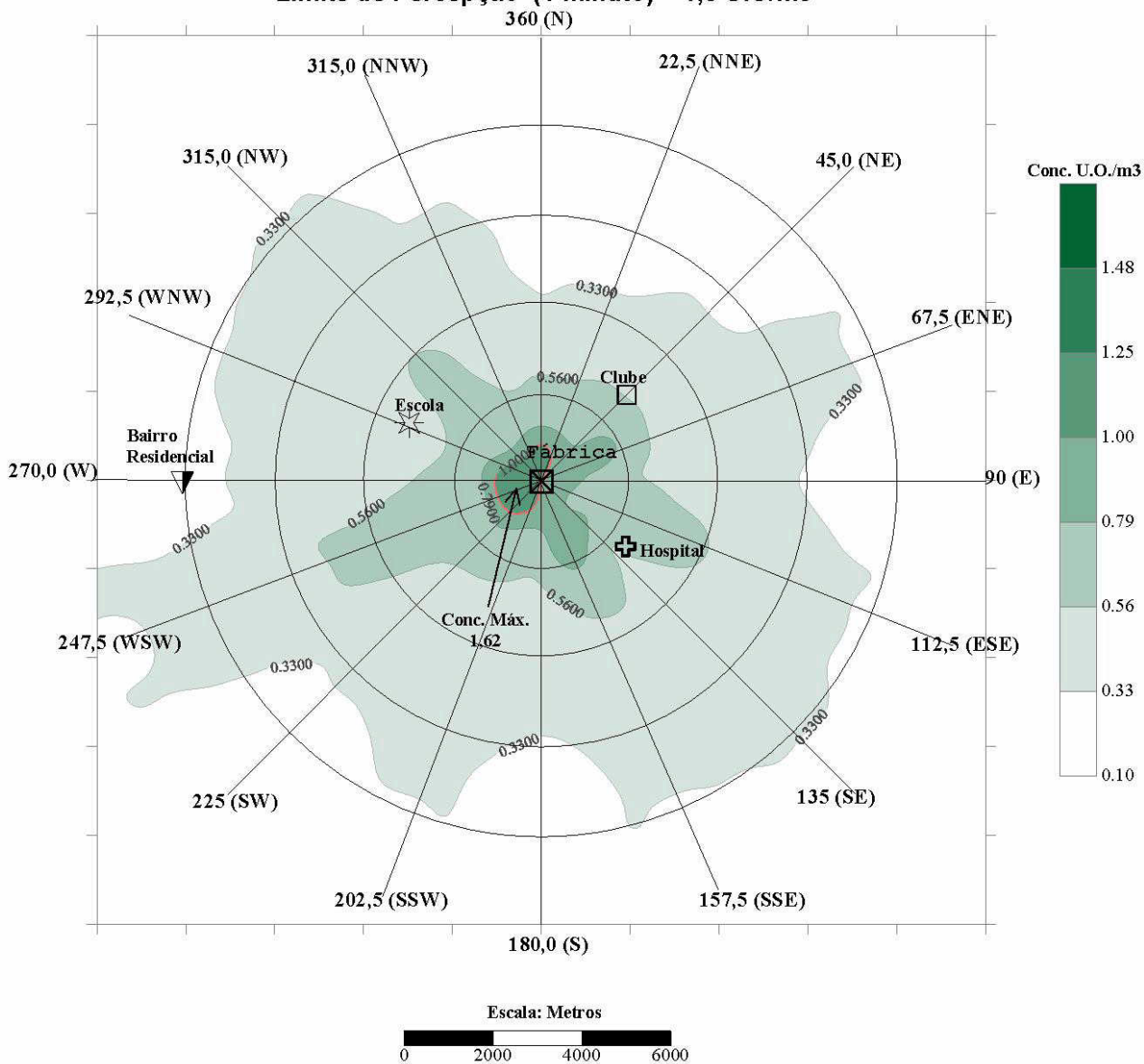


Figura 12 – Isoconcentrações de H₂S, se difundindo na atmosfera durante o intervalo *de tempo de 45* minutos.

Simulação Matemática de Odor - Isoconcentrações de H₂S
Concentração máxima (60 minutos) = 1,53 U.O/m³
Limite de Percepção (1 minuto) = 1,0 U.O/m³

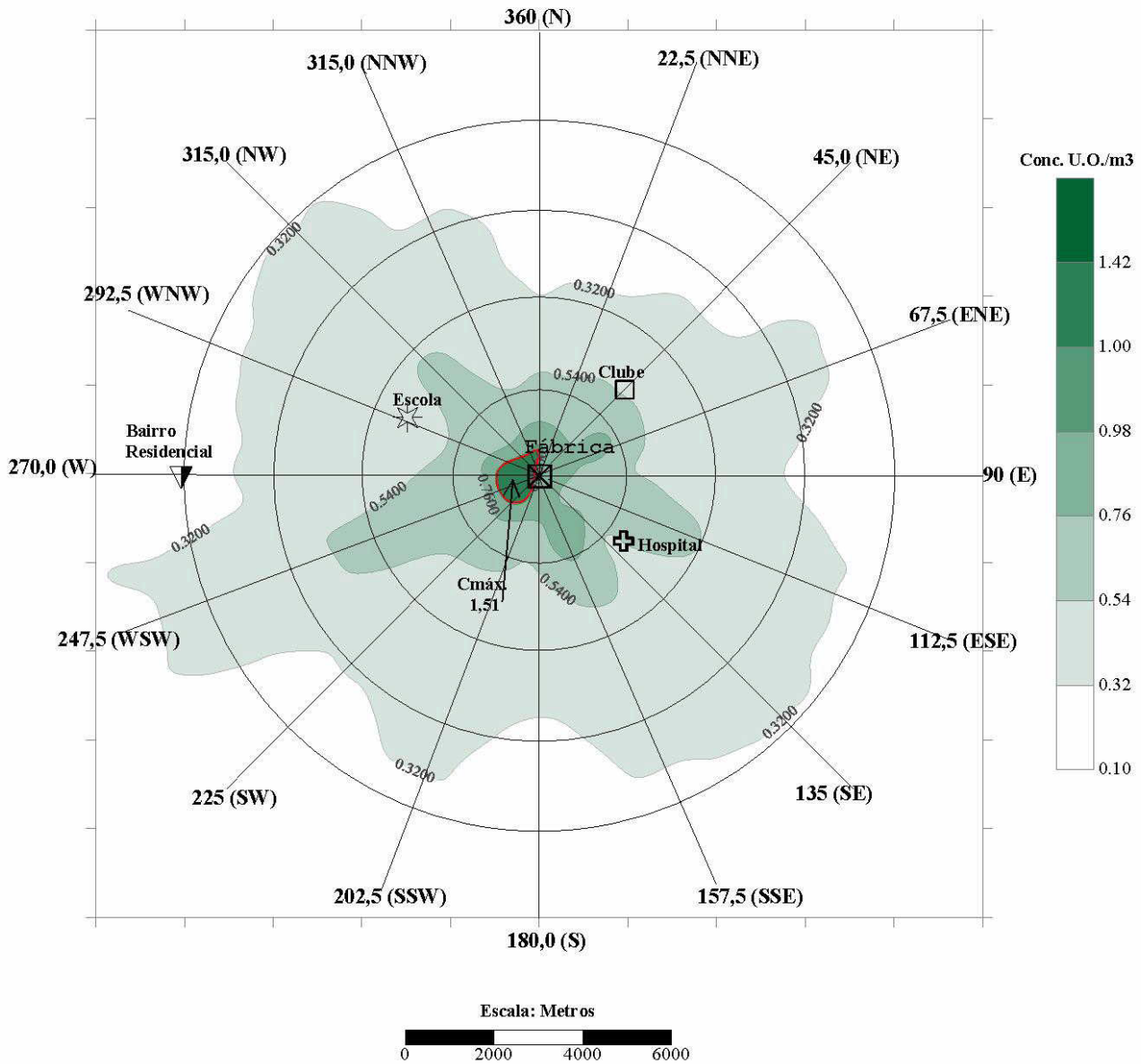


Figura 13 – Isoconcentrações de H₂S, se difundindo na atmosfera durante o intervalo *de tempo de 60* minutos.

Simulação Matemática de Odor - Isoconcentrações de H₂S
Concentração máxima (7h) = 1,0 U.O/m³
Limite de Percepção (1 minuto) = 1,0 U.O/m³

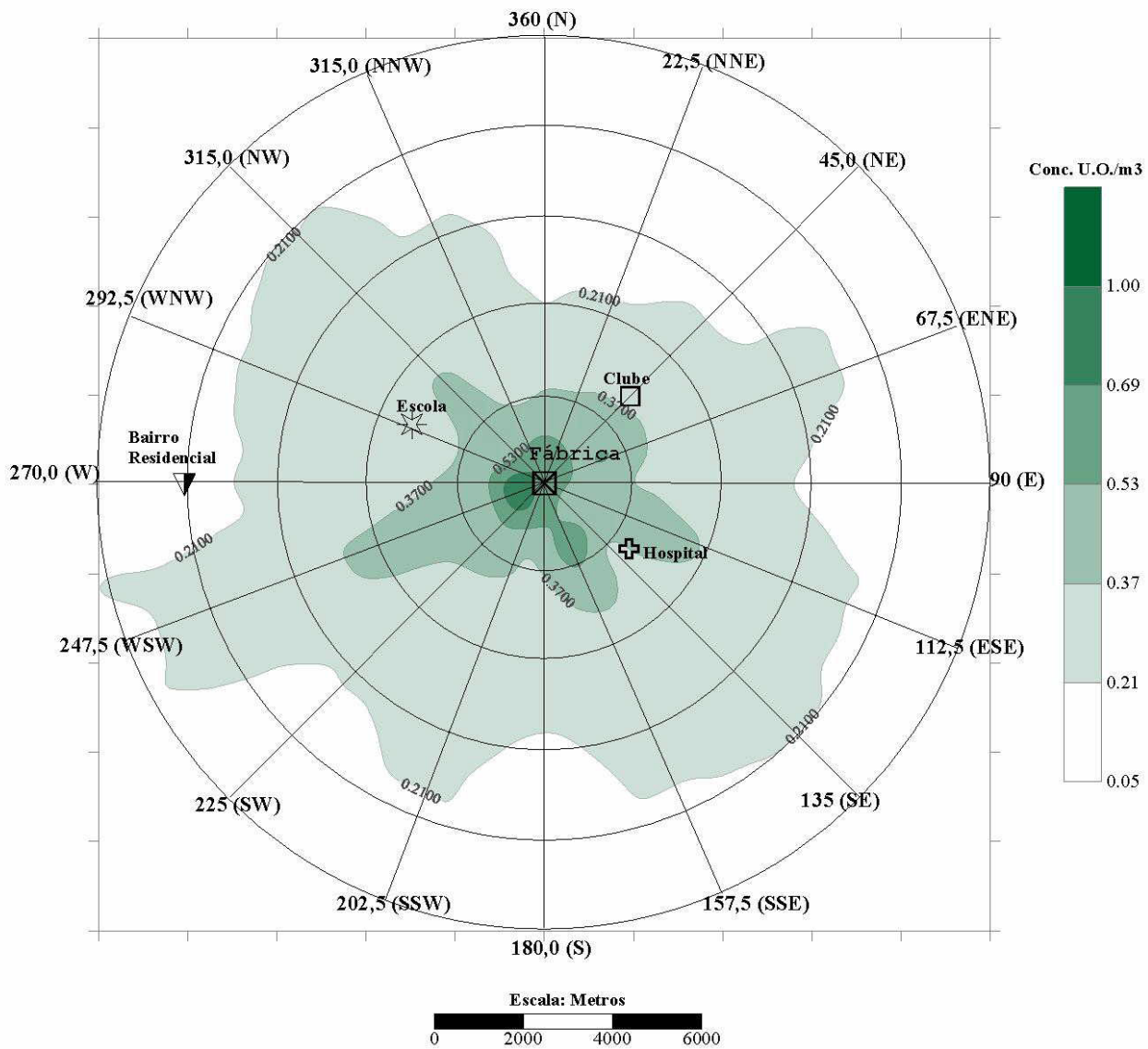


Figura 14 – Isoconcentrações de H₂S, se difundindo na atmosfera durante o intervalo *de tempo de* 450 minutos.