



XIX COBREAP | Foz do Iguaçu

INOVAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

**CONGRESSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS**

21 a 25 agosto de 2017

Hotel Mabu Thermas Grand Resort
Foz do Iguaçu / PR / Brasil

ANÁLISE DA DEPRECIAÇÃO DE ÁREAS COM USO DA DISTRIBUIÇÃO GAUSSIANA

CARLOS AUGUSTO ARANTES



O Conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade dos seus autores.



Análise da depreciação de áreas com uso da distribuição Gaussiana

Resumo: Em avaliação de imóveis, tanto urbanos quanto rurais, por vezes encontramos situações depreciativas oriundas de condições pouco comuns. Essas condições especiais tendem a se tornar um entrave na avaliação e, por vezes, são consideradas por meio de codificação, com o emprego de variáveis booleanas (“sim” ou “não”). Isso ocorre em casos onde a variável a considerar é a variável “odor”. Por sua dificuldade no uso, temos casos em que o avaliador simplesmente, por falta de um modelo matemático que seja mais explicativo do resultado, tende a abandonar essa variável, desconsiderando-a, o que pode vir a resultar em vício no resultado final. Este trabalho pretende apresentar um modelo matemático a considerar na avaliação de bens urbanos ou rurais afetados pela presença de fonte de emanção de odor.

Palavras-chave: *avaliação, depreciação, Gauss, odor.*

I. Introdução

Existem metodologias para se calcular a depreciação de áreas do entorno ou até da própria área que venha a sofrer uma instituição de servidão ou desapropriação (parcial ou não). Temos o método do “antes e do depois”¹ (Moreira, 2001), do “1/3”² (Pellegrino, 1974), de “Philippe Westin”³ (*apud* Pellegrino, 1974), além da metodologia publicada por “Arantes e Saldanha”⁴ (2009) dentre outras. Existem também inúmeros trabalhos publicados sobre o tema em congresso brasileiro (COBREAP), mas em nenhuma instância foi considerada a variável propagação de cheiro, ou existência de odor.

É sabido que no entorno de áreas contaminadas (lixões, por exemplo), temos a emanção constante de odores, qual mais se intensifica frente a presença de altas temperaturas, umidade (causando fermentações diversas), direção e velocidade do vento. Essas emanções causam incômodos que, conforme a intensidade das mesmas, inviabilizam a permanência de seres humanos no local sem devidas proteções.

Não se discutirá nesse estudo o material particulado ou aerossol atmosférico constituído pelas partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera, nem os danos decorrentes, mas sim a influência da alteração na qualidade do ar sobre valor de um determinado bem pela situação que este bem está localizado.

Em inúmeros procedimentos avaliatórios é possível encontrar dificuldades diversas ou por falta de dados ou pela qualidade destes. Da mesma forma, temos algumas variáveis desejáveis no modelo que, por vezes, não conseguimos utilizar devido à falta de uma equação apropriada.

No caso específico pensou-se na questão do *quantum* um determinado bem sofreria de perda em seu valor monetário pela proximidade de uma fonte emissora de odor desagradável (aterro sanitário, “lixão”, ETE Estação de Tratamento de Esgoto, etc.).

Este estudo pretende desenvolver uma forma de promover a indenização por esses incômodos, a qual poderá ser utilizada para qualquer modelo seja servidão ou desapropriação que afete a circunvizinhança com emanções gasosas.

II. Prejuízo e Desvalorização do Imóvel

O entendimento dos tribunais é pacífico na questão da desvalorização de um bem afetado por externalidades que venham a causar desconforto, seja ele de qualquer tipo, senão vejamos:

TJ-SC - Apelação Cível AC 20120763460 SC 2012.076346-0 (Acórdão) (TJ-SC)

Data de publicação: 06/11/2013

Ementa: Civil - Coisas - Direito de Vizinhança - Uso Anormal de Propriedade - Estação de Tratamento de Efluentes - Emissão de Odores Intoleráveis - Danos Materiais (Desvalorização Imobiliária) e Moraes (Prejuízo à Saúde e Constrangimento Familiar) - Sentença

¹ MOREIRA A.L. Princípios de Engenharia de Avaliações. Ed. Pini. 5ª Ed. Pág 292

² PELLEGRINO J.C. Avaliação de Faixas de Servidão de Passagem. Anais do I Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações. São Paulo/SP. 1974

³ VASCONCELOS Filho, Phillippe Westin, Indenização nas servidões.

⁴ ARANTES C.A., SALDANHA M.S., Avaliações de Imóveis Rurais - Norma NBR 14.653-3 – ABNT – Comentada. Ed. Leud. 2009, 1ª Ed.

Procedente em Parte (Concessão de Danos Materiais) ...

TJ-SP - Apelação APL 9086063652006826 SP 9086063-65.2006.8.26.0000 (TJ-SP)

Data de publicação: 27/04/2012

Ementa: Responsabilidade Civil do Município Instalação de aterro controlado (depósito de lixo) em terreno vizinho à propriedade do autor Desvalorização do imóvel que se mostra evidente, devendo o seu grau ser aferido em liquidação de sentença Dano moral configurado Autor e familiares que tiveram que conviver por muito tempo com o odor insuportável do aterro, com os resíduos de lixo que eram trazidos a sua propriedade pelo vento e pela chuva, além de sofrerem a insegurança de o lençol freático da região ser contaminado pelo lixo enterrado, possibilidade aventada em laudo pericial - Recursos oficial e voluntários improvidos.

TJ-RS - Apelação Cível AC 70051107084 RS (TJ-RS)

Data de publicação: 30/08/2013

Ementa: apelação cível. Responsabilidade civil objetiva. Danos patrimoniais e extrapatrimoniais. Usina de tratamento de resíduos sólidos (lixo orgânico). Desvalorização do imóvel do autor. Danos patrimoniais comprovados. Mau cheiro. Danos extrapatrimoniais configurados.

TJ-SP - Inteiro Teor. Apelação: APL 42455020098260160 SP 0004245-50.2009.8.26.0160

Data de publicação: 26/11/2014

Decisão: de esgoto - obra que desvaloriza o remanescente, por se tratar de estabelecimento que exala odores... fétidos - desvalorização indenizável (...) Recurso parcialmente provido” (Apelação nº 315.939-5/2-00, 7

Vizinho de lixão deve ser indenizado por transtornos

<http://www.conjur.com.br/2012-mai-11/municipio-indenizar-vizinho-lixao-causa-mau-cheiro>

Porém o que se pode observar nessas decisões é que os valores indenizatórios têm caráter pouco técnico, sem fundamentação matemática onde se pudesse observar as bases de aferição dos valores.

Com base nesses fundamentos é que se procurou desenvolver uma forma de cálculo da possível desvalorização do bem pela presença da variável “odor”. Evidente que este modelo se presta tanto a imóveis urbanos como rurais.

III. DISPERSÃO DE POLUENTES

Seinfeld (Seinfeld, 1975, *apud* Wily & Sons, 1986) apresentou o seguinte esquema de Poluição do Ar⁵:

Fontes Emissoras → Poluentes → Atmosfera → Mistura com ar, transformações físicas e químicas
→ Receptores

⁵ SEINFELD J. H., Atmos. Chem. and Phys. of Air Pollution. Editado por John Wiley & Sons (1986).

De seu entendimento linear temos que as fontes emissoras impactarão os receptores pela emanção de poluentes através da atmosfera.

O odor é uma forma de poluição tendo em vista o desconforto causado ao bem estar de uma população.

III.1. FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A DISPERSÃO DOS POLUENTES

Segundo o Instituto Astronômico e Geofísico da USP⁶ temos que:

Os poluentes do ar são perigosos quando as condições atmosféricas não contribuem para sua diluição. Veremos agora fatores que podem afetar a dispersão desses poluentes.

A velocidade do vento: O vento pode contribuir na mistura dos poluentes com o ar limpo, causando assim a sua diluição. Mas quando o vento está calmo, a diluição se torna um processo muito lento. Assim como o vento depende das condições meteorológicas ele também depende dos obstáculos que irá encontrar na superfície da Terra, ou seja, construções, prédios, etc, podem contribuir na diminuição da velocidade do mesmo. Desse modo, em áreas urbanas há uma diminuição da diluição dos poluentes do ar pelo vento, pois este encontra impedimentos em seu caminho.

Estabilidade Atmosférica: A estabilidade atmosférica afeta o movimento vertical do ar. Convecção e turbulência são aumentadas quando o ar é instável e inibido quando o ar é estável. A estabilidade do ar traz influências na taxa com a qual os poluentes são misturados no ar limpo. Uma parcela de poluentes do ar emitida quando o ar está instável é melhor misturada do que quando há estabilidade. A estabilidade inibi o transporte dos poluentes no ar.

A profundidade de mistura é a distância vertical entre a superfície da Terra e a altitude das correntes de convecção. Quando a mistura em profundidade é grande (muitos quilômetros, por exemplo), observamos uma grande quantidade de ar limpo misturada com poucas quantidades de poluentes. Nós podemos, algumas vezes, estimar a estabilidade do ar observando uma pluma que surge de uma chaminé. Se a fumaça entra em uma camada de ar instável, a pluma fica ondulada. Em geral, esta pluma indica que os poluentes estão sendo misturados, ou seja, diluídos. Por outro lado, se a pluma de fumaça fica suspensa e vagarosamente sobe, significa que as condições são estáveis.

Inversão de Temperatura: Em condições normais, existe um gradiente de diminuição de temperatura do ar com o aumento da altitude (o ar é mais frio em lugares mais altos). Ao longo do dia, o ar frio tende a descer (por que é mais denso) e o ar quente tende a subir (pois é menos denso), criando correntes de convecção que renovam o ar junto ao solo. Em algumas ocasiões e locais (especialmente junto a encostas de montanhas ou em vales) ocorre uma inversão: uma camada de ar frio se interpõe entre duas

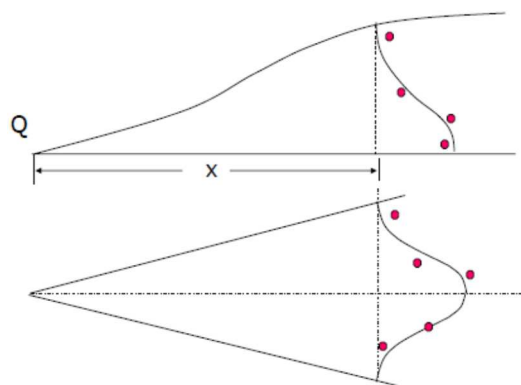
⁶ Processos atmosféricos da poluição ambiental. Disponível em <http://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/poluicao.htm>. Acesso em 15.01.2016

camadas de ar quente, evitando que as correntes de convecção se formem. Dessa forma, o ar junto ao solo fica estagnado e não sofre renovação. Se houver uma cidade nessa região, haverá acúmulo de poluentes no ar, em concentrações que podem levar a efeitos danosos. Um exemplo de cidade brasileira que sofre com a inversão térmica é São Paulo.

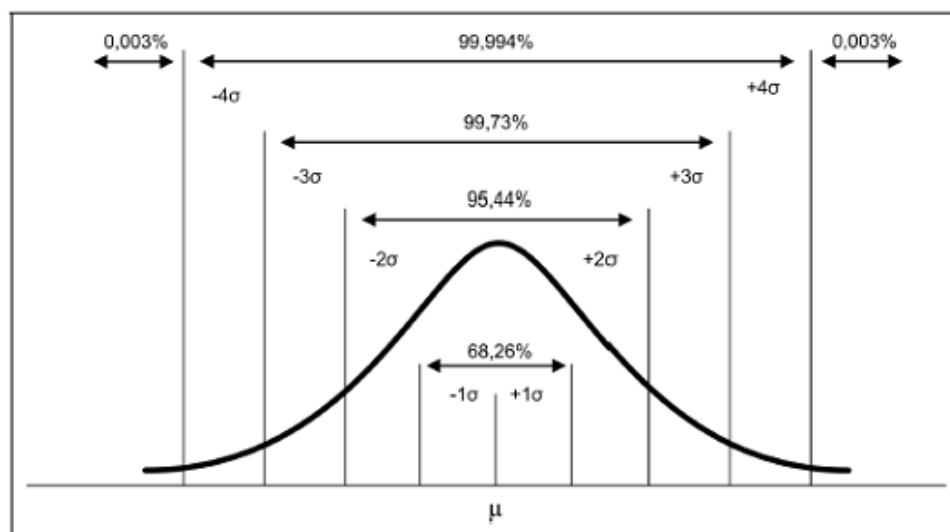
IV. Do modelo a considerar

Analisando-se a necessidade dos cálculos entendeu-se por bem utilizar um modelo matemático consagrado onde as variáveis de importância pudessem ser consideradas.

Entendendo que a pluma se concentra e distribui conforme desenho a seguir, formando uma campana (Q=ponto de origem da emissão):



Onde observamos a distribuição Gaussiana da seguinte forma:



Distribuição Gaussiana ou normal⁷.

A primeira área central está a menos de um desvio padrão (σ) da média. Em uma distribuição normal, isto representa cerca de 68,26% do conjunto, enquanto dois desvios padrões desde a média representam 95,44%, e três desvios padrões cobrem cerca de 99,73%. Este fato é conhecido como regra 68-95-99.7, ou a regra empírica, ou a regra dos 3-sigas.

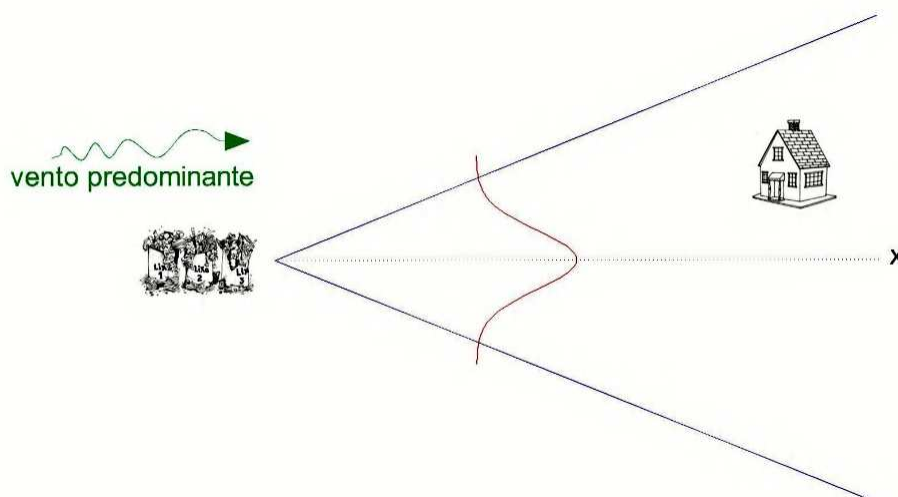
A equação da curva Normal é especificada usando 2 parâmetros: a média (μ), e

⁷ <<http://www.portaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal>>. Acesso em 19.08.2015.

o desvio padrão (σ).

Consoante **Moraes**⁸ (2004): “O modelo Gaussiano é baseado em uma fórmula simples que descreve um campo de concentrações tri-dimensional gerado por uma fonte pontual elevada sob condições meteorológicas constantes. As condições de emissão também são consideradas como sendo constantes neste tipo de modelo”.

Representando a situação de um imóvel dentro da pluma, teremos:



Considerou-se então o uso do Modelo Gaussiano (pluma gaussiana) conforme equação de Pasquill & Gifford, para cálculo das concentrações com alturas variáveis:

$$C(x, y, z) = \frac{Qs}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \times \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Sendo:

x, y, z = as coordenadas cartesianas ou espaciais do ponto onde se deseja estimar a concentração do contaminante (m).

C(x,y,z) = concentração das emissões para um receptor localizado a **x** metros na direção de propagação dos ventos, **y** metros transversal à linha central da pluma e **z** metros acima do solo (g/m³)

Qs = taxa de emissão de poluente (g/s) ou vazão mássica de emissão⁹ (vazão de lançamento do gás). No caso de odor usaremos **Qs=1**.

H = a altura efetiva de lançamento (m).

U = a velocidade média do vento na direção do escoamento (x) e medida no topo do ponto de emissão (m/s).

σ_y e σ_z = são os desvios médios da distribuição de concentração nas direções y e z. Representam os coeficientes de difusão nas direções transversal (y) e vertical (z) (m).

y = distância do receptor à linha central da pluma na direção transversal (m)

z = distância do receptor à linha central da pluma na direção vertical (m)

Não se considera neste modelo o tempo de amostragem visto que o que se pretende identificar é a presença do odor e não a concentração de poluentes

⁸ **MORAES**, M.R., Ferramenta para a previsão de vento e dispersão de poluentes na micro-escala atmosférica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

⁹ **MORAES**, M.R., op.cit. 2004.

na atmosfera. Portanto, havendo existência de odor, há que se entender a existência de um percentual de depreciação do bem.

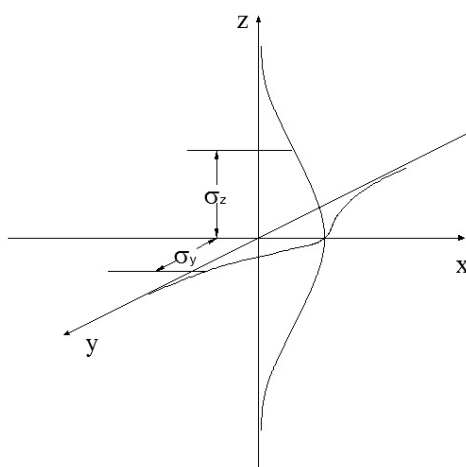
Gifford apud Kerr¹⁰ (2006) comenta ainda a existência de uma série de proposições de fórmulas de interpolação para valores de σ_y e σ_z , baseadas em funções de potências:

$$\sigma_z = cx^d$$

$$\sigma_y = ax^b$$

Kerr (*op. cit.*) afirma que, “para a Pluma Gaussiana, os principais elementos a serem determinados são os coeficientes de dispersão σ_i ($i=y, z$) adequados ao local em estudo”.

Sendo somente um ponto no solo, chaminé, ou outra fonte de emissão, temos como modelagem da emissão o seguinte:



A equação utilizada para conhecimento das concentrações a nível do solo é a seguinte:

$$C(x, y, 0) = \frac{Qs}{\pi U \sigma_y \sigma_z} \times \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Martins et al¹¹ (2015) sobre o modelo de dispersão Gaussiana afirmam:

O Modelo de Dispersão Gaussiana baseia-se nas condições da atmosfera para proceder com suas simulações, onde uma fonte tende a apresentar a dispersão de seus poluentes em uma forma de curva similar à Curva Normal usada em estatística. Estatisticamente a distribuição normal é caracterizada por apresentar o valor máximo dos intervalos dos dados em sua linha central até que tais valores diminuam em direção às bordas. Segundo Tavares (2009), a borda de uma pluma apresenta concentrações em cerca de 10% do valor central e o Desvio Padrão (σ) mede a dispersão da concentração do poluente em torno da média (μ).

¹⁰ **KERR**, Américo Sansigolo. Modelamento da difusão atmosférica de poluentes. Curso de Física da Poluição do Ar. 2º Semestre/2006. Departamento de Física Aplicada. Departamento de Física da USP.

¹¹ **MARTINS**, Eduardo Monteiro. **FORTES**, Júlio Domingos Nunes. **LESSA**, Ricardo de Araujo. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: avaliação de modelos de Dispersão de poluentes emitidos por veículos. Revista Internacional de Ciências. v.5 - n.1 - jan./jun. 2015.

Portanto, temos que, a concentração de determinado poluente (no caso, o odor) em determinado ponto, é identificada pelo Modelo Gaussiano, sendo o ponto mais próximo da fonte emissora (origem) onde estariam mais concentrados tais odores e o inverso no ponto mais distante. Com essa lógica poderíamos identificar a desvalorização que um imóvel sofreria por sua proximidade ao ponto de origem da emissão, em comparação com outros dados amostrais situados em distâncias diversas, afetados ou não pela pluma. Como variáveis a considerar: direção e intensidade dos ventos, insolação, distância do ponto de origem da emissão (coordenadas “x”, “y”), altura da origem da emissão (coordenada “z”), altura do ponto receptor (coordenada “z”) e categorias de estabilidade.

A movimentação do ar é uma variável de alta importância a considerar, tanto pelo movimento médio do ar carregando os odores quanto pela difusão turbulenta no espaço tridimensional. Evidente que o que se pretende identificar não é a concentração do poluente (no caso o odor), como já dito, mas a existência deste afetando o valor do imóvel avaliando, portanto, é plenamente aceitável a utilização de valores médios em certas escalas de tempo para muitos parâmetros (BRAGA *et al.*, 2005¹²).

Os valores dos coeficientes de dispersão σ_y e σ_z são representados pelas equações seguintes além das tabelas 1, 2 e 3, conforme descrito pela US EPA (1995) derivada dos trabalhos de Gifford (1961), Pasquill (1961), Pasquill (1961), Turner (1964) e da formulação de Biggs para obtenção dos coeficientes de McElroy-Pooler (Sampaio & Portezani¹³, 2014), conforme observado a seguir

$$\sigma_y = 465,11628x \cdot \tan(TH)$$

O valor de σ_y é dado em metros.

Onde:

$$TH = 0,017453293 \times (c - d \times \ln_x)$$

Sabendo que nas equações acima a coordenada “x” é fornecida em quilômetros, representando a distância no eixo “x” entre o ponto onde se está estimando a concentração e o ponto de origem da emissão. Pode-se efetuar o cálculo de distância entre coordenadas com a seguinte fórmula:

$$Distância = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Onde:

x_1 = coordenada “x” do ponto de emissão

x_2 = coordenada “x” do ponto de recepção

y_1 = coordenada “y” do ponto de emissão

y_2 = coordenada “y” do ponto de recepção

Para o cálculo da variável auxiliar TH (em radianos), deve-se considerar os coeficientes “c” e “d” dependentes da classe de estabilidade atmosférica, conforme tabela 1 a seguir:

¹² BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J., MIERZWA, J.C., BARROS, M., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., NEUSA, J., EIGER, S. Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável. 2ª Edição. Pearson Prentice Hall. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2005.

¹³ SAMPAIO, Augusto Silva. PORTEZANI, Carlos Henrique. Modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos através da dinâmica dos fluidos computacionais. 8º ENEPE / UFGD. 56º EPEX UEMS. 2014.

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	2,5334
B	18,3330	1,8096
C	12,5000	1,0857
D	8,3330	0,7238
E	6,2500	0,5429
F	4,1667	0,3619

O valor de σ_z (em metros) para áreas rurais é dado pela seguinte equação:

$$\sigma_z = a \cdot x^b$$

Os valores dos coeficientes "a" e "b", dependentes da coordenada "x", como também da estabilidade atmosférica, são apresentados na tabela 2, como vemos:

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"	Valor do coeficiente "a"	Valor do coeficiente "b"
A	< 0,10	122,8000	0,94470
	0,10 a 0,15	158,0800	1,05420
	0,16 a 0,20	170,2200	1,09320
	0,21 a 0,25	179,5200	1,12620
	0,26 a 0,30	217,4100	1,26440
	0,31 a 0,40	258,8900	1,40940
	0,41 a 0,50	346,7500	1,72830
	0,51 a 3,11	453,8500	2,11660
	> 3,11	**	**
B	<0,20	90,6730	0,93198
	0,21 a 0,40	98,4830	0,98332
	> 0,40	109,3000	1,09710
C	Qualquer	61,1410	0,91465
D	<0,30	34,4590	0,86974
	0,31 a 1,00	32,0930	0,81066
	1,01 a 3,00	32,0930	0,64403
	3,01 a 10,00	33,5040	0,60486
	10,01 a 30	36,6500	0,56589
	>30,00	44,0530	0,51179
E	<0,10	24,2600	0,83660
	0,10 a 0,30	23,3310	0,81956
	0,31 a 1,00	21,6280	0,75660
	1,01 a 2,00	21,6280	0,63077
	2,01 a 4,00	22,5340	0,57154
	4,01 a 10,00	24,7030	0,50527
	10,01 a 20,00	26,9700	0,46713

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"	Valor do coeficiente "a"	Valor do coeficiente "b"
	20,01 a 40,00	35,4200	0,37615
	> 40,00	47,6180	0,29592
F	<0,20	15,2090	0,81558
	0,21 a 0,70	14,4570	0,78407
	0,71 a 1,00	13,9530	0,68465
	1,01 a 2,00	13,9530	0,63227
	2,01 a 3,00	14,8230	0,54503
	3,01 a 7,00	16,1870	0,46490
	7,01 a 15,00	17,8360	0,41507
	15,01 a 30,00	22,6510	0,32681
	30,01 a 60,00	27,0740	0,27436
	>60,00	34,2190	0,21716

* Se o valor calculado de σ_z exceder 5.000m, σ_z é ajustado para 5.000m.

** σ_z é igual a 5.000m

A tabela 3 fornece as equações para cálculo dos coeficientes de dispersão σ_{ze} σ_z para regiões de características **urbanas**, sendo estes conhecidos como coeficientes de dispersão de McWloy-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	$0,32x(1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,24x(1+0,001x)^{0,5}$
B	$0,32x(1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,24x(1+0,001x)^{0,5}$
C	$0,22x(1+0,0004x)^{-0,5}$	0,20x
D	$0,16x(1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,14x(1+0,0003x)^{-0,5}$
E	$0,11x(1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,08x(1+0,0015x)^{-0,5}$
F	$0,11x(1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,08x(1+0,0015x)^{-0,5}$

Como identificação das Categorias de Estabilidade Atmosférica, temos:

Categorias de Estabilidade de Pasquill-Gifford (Seinfeld e Pandis, 1998 e Schnelle e Dey, 2000).

A	extremamente instável	C	levemente instável	E	levemente estável
B	moderadamente instável	D	neutra	F	moderadamente estável

Sendo:

Velocidade Superficial do Vento (medido a 10 m de Altura)	Insolação Durante o Dia			Nebulosidade Durante a Noite	
(m/s)	Forte	Moderado	Leve	Pouco nublado ou $\geq 4/8$ de nuvens baixas	$\leq 3/8$ de nuvens
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

* O nível de nebulosidade é definido como a fração do céu acima do horizonte aparente que está coberto por nuvens.

Notas:

1. Insolação é a taxa de radiação solar incidente por unidade de superfície terrestre.
2. Forte insolação corresponde a $I > 700 \text{ Wm}^{-2}$, insolação Moderada corresponde a $350 \leq I \leq 700 \text{ Wm}^{-2}$ e Leve insolação corresponde a $I < 350 \text{ Wm}^{-2}$.
3. Para A-B, B-C, etc. tome a média dos valores de A e B para as variáveis que dependem desta classificação.
4. Noite refere-se ao período de 1 hora antes do pôr do sol até uma hora antes do alvorecer
5. Indiferente à velocidade do vento, a categoria neutra D deve ser assumida para condições encobertas durante o dia ou noite e para quaisquer condições de céu durante a hora precedendo ou seguinte à noite.

Como classificação da radiação solar incidente segundo valor medido (Seinfeld; Pandis; 1997, apud Sampaio & Portezani, 2014, *op. cit.*) temos:

Valor Medido (W/m^2)	Radiação solar incidente
> 700	Forte
$350 \leq 700$	Moderada
< 350	Leve

Briggs (*op. cit.*), com base em Pasquill (*op. cit.*), apresentou uma tabela diferenciando áreas urbanas e áreas rurais com equações próprias, à saber:

Parâmetros para dispersão em **ambientes urbanos** (distâncias de 100 a 1.000m) - Formulação de Briggs

Classe de Pasquill	σ_y (em metros)	σ_z (em metros)
A-B	$0,32x(1+0,0004x)^{-0,5}$	0,5
C	$0,22x(1+0,0004x)^{-0,5}$	
D	$0,16x(1+0,0004x)^{-0,5}$	-0,5
E-F	$0,11x(1+0,0004x)^{-0,5}$	-0,5

Parâmetros para dispersão em **ambientes rurais** (distâncias de 100 a 1.000m) - Formulação de Briggs

Classe de Pasquill	σ_y (em metros)	σ_z (em metros)
A	$0,22x(1+0,0001x)^{-0,5}$	
B	$0,16x(1+0,0001x)^{-0,5}$	
C	$0,11x(1+0,0001x)^{-0,5}$	-0,5
D	$0,08x(1+0,0001x)^{-0,5}$	-0,5
E	$0,06x(1+0,0001x)^{-0,5}$	-1
F	$0,04x(1+0,0001x)^{-0,5}$	-1

V. Condições para uso do modelo

Como condições pré-estabelecidas para uso deste modelo temos:

- ✓ A substância ou odor vertido é conservativo (T=Zero), ou seja, a fonte de emissão é “fixa”.
- ✓ O regime é estacionário
- ✓ O eixo “x” está ligado a direção do vento.
- ✓ O fluxo é paralelo ao terreno.
- ✓ A velocidade é uniforme (intensidade e direção constantes em um intervalo de tempo) na dimensão vertical.
- ✓ A pluma é completamente desenvolvida na dimensão vertical.
- ✓ A dispersão turbulenta é muito menor que o transporte convectivo.
- ✓ Os coeficientes de dispersão vertical e transversal (nas outras direções que não a predominante do vento) são constantes.
- ✓ O terreno é genericamente homogêneo em sua característica.
- ✓ Não há perda de material poluente.
- ✓ Distância da emissão até o ponto receptor menor que 10 quilômetros.
- ✓ E a condição específica para modelagem em avaliação de imóveis é que $Q_s=1$.

VI. Aplicação do Modelo

Passos:

- a) Vistoria ao local e identificação da presença do odor, de forma natural ou com uso de “nariz eletrônico”.
- b) Coleta de coordenadas (x,y,z) do ponto de emissão e do ponto onde se pretende avaliar (mensurar).
- c) Coleta dos dados amostrais identificando distância do ponto de emissão e presença da variável “odor”, com devida coleta de coordenadas (x,y,z) – no caso de uso do modelo comparativo.
- d) Tabulação dos dados.
- e) Aplicação do modelo
- f) Identificação dos percentuais de concentração.
- g) Conclusões.

Vamos tomar por exemplo a seguinte situação: Um imóvel rural localizado nas coordenadas 217.625,711m, 7.482.553,878m, distando 450m do marco zero de emissão (Coordenadas: 217.251,140m, 7.482.304,487m). Supondo a velocidade do vento (**u**) em 3,0m/seg, com altura (**H**) de emissão do solo a 1,0m, e **Q_s**=1, Classe de Pasquill “**D**”, onde pretende-se calcular a distribuição das concentrações no modelo e para o imóvel afetado. Pois bem, aplicando as fórmulas:

$$C(x, y, z) = \frac{Q_s}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \times \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

$$\text{Distância} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b$$

$$\sigma_y = 465,11628x \cdot \tan(TH)$$

$$TH = 0,017453293 \times (c - d \times \ln_x)$$

Utilizando as tabelas seguinte, temos como valores:

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"
D	8,3330	0,7238

Para Classe de estabilidade
atmosférica "D"

Coordenada x (km)	a	b
<0,30	34,4590	0,86974
0,31 a 1,00	32,0930	0,81066

Desenvolvendo em Excel®, teremos:

		Coordenadas (m)			Coordenadas (km)					Distribuição das Concentrações			
Pontos	Distâncias (m)	x	y	z (m)	x	y	σz (m)	TH (rad)	σy (m)	C(x,y,z)	Pontual	Sentido do aumento da dispersão	Acumulado
0	0	217.251,140	7.482.304,487	425,0	217,251	7.482,304	3.714,0869	0,077459	7.842,72	2,30E-09	0,0000%		100,00%
1	100,0	217.334,378	7.482.359,907	426,0	217,334	7.482,360	3.715,3245	0,077454	7.845,23	-2,02E-01	7,5689%		100,00%
2	200,0	217.417,616	7.482.415,327	428,0	217,418	7.482,415	3.716,5621	0,077450	7.847,74	-2,02E-01	7,5637%		49,98%
3	300,0	217.500,854	7.482.470,748	431,0	217,501	7.482,471	3.717,7996	0,077445	7.850,25	-2,02E-01	7,5582%		16,65%
4	400,0	217.584,092	7.482.526,168	430,0	217,584	7.482,526	2.520,1775	0,077440	7.852,77	-2,96E-01	11,0595%		5,46%
5	500,0	217.667,330	7.482.581,589	428,0	217,667	7.482,582	2.520,9591	0,077435	7.855,28	-2,96E-01	11,0543%		1,35%
6	600,0	217.750,568	7.482.637,009	425,0	217,751	7.482,637	2.521,7405	0,077430	7.857,79	-2,96E-01	11,0498%		0,27%
7	700,0	217.833,806	7.482.692,429	424,0	217,834	7.482,692	2.522,5220	0,077425	7.860,30	-2,95E-01	11,0439%		0,04%
8	800,0	217.917,044	7.482.747,849	423,0	217,917	7.482,748	2.523,3033	0,077421	7.862,81	-2,95E-01	11,0379%		0,01%
9	900,0	218.000,282	7.482.803,269	420,0	218,000	7.482,803	2.524,0846	0,077416	7.865,32	-2,95E-01	11,0334%		0,00%
10	1.000,0	218.083,520	7.482.858,689	415,0	218,084	7.482,859	2.524,8659	0,077411	7.867,83	-2,95E-01	11,0304%	0,00%	
Soma										-2,67E+00	100,000%		

Sentido do aumento da dispersão



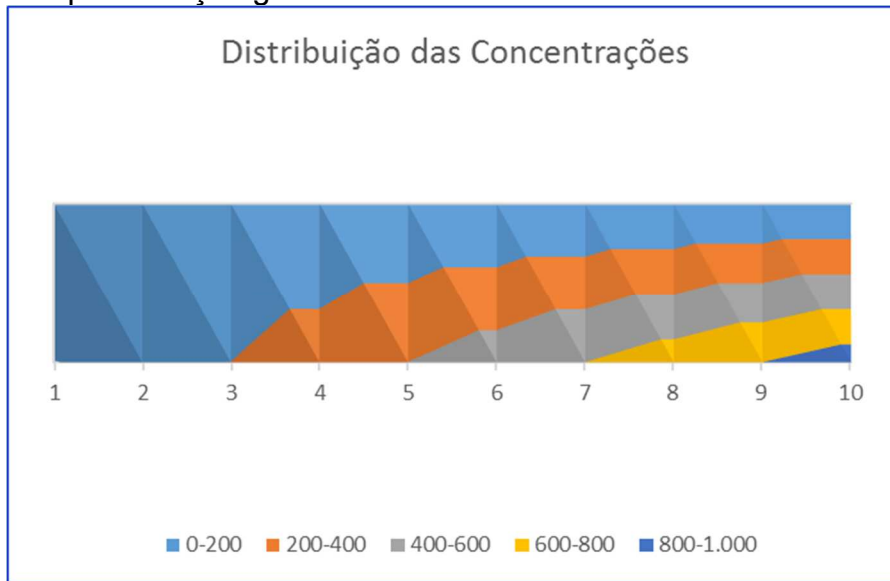
Avaliando

450	217.625,711	7.482.553,878
-----	-------------	---------------

O resultado no modelo nos prediz o seguinte:

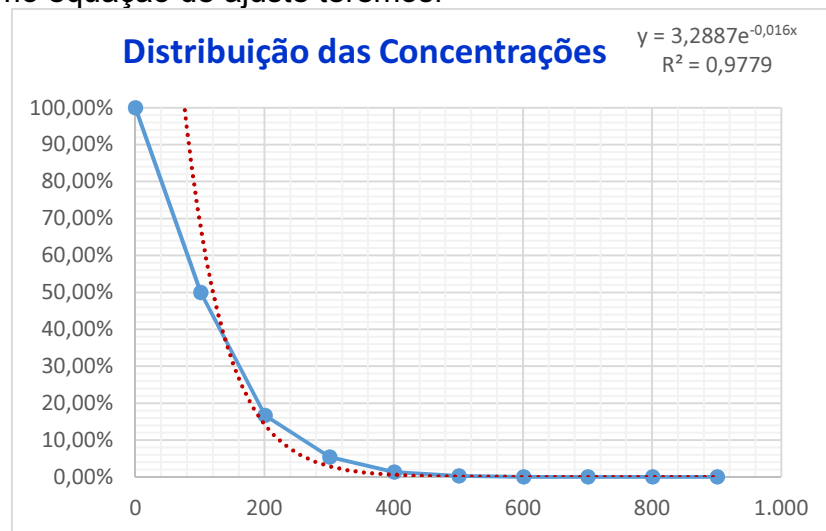
Localização	Concentração
No local da emissão	100,00%
> 0 até 100 m	100,00%
> 100 até 200 m	49,98%
> 200 até 300 m	16,65%
> 300 até 400 m	5,46%
> 400 até 500 m	1,35%
> 500 até 600 m	0,27%
> 600 até 700 m	0,04%
> 700 até 800 m	0,01%
> 800 até 900 m	0,0008%
> 900 até 1000 m	0,0001%

Em representação gráfica teremos:

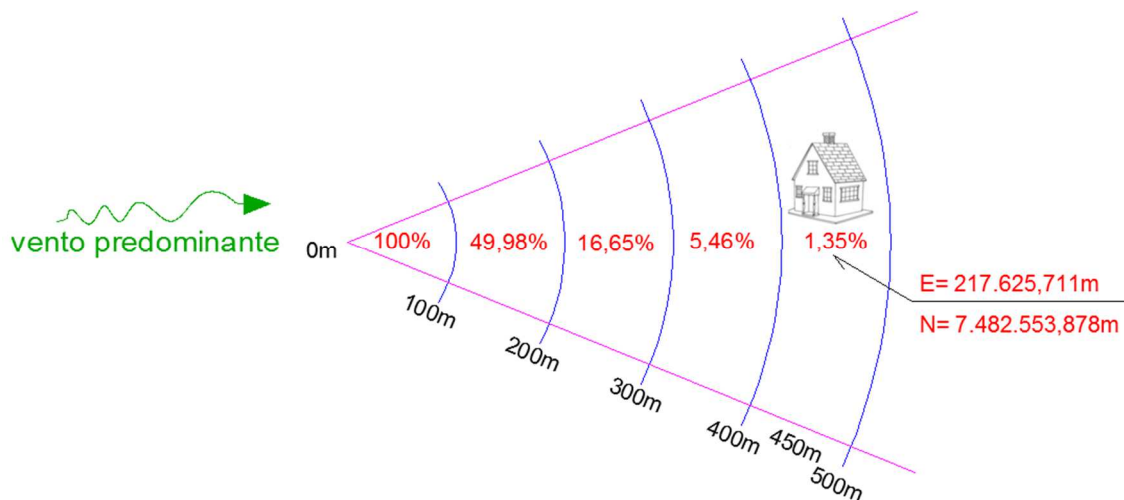


Onde podemos identificar a maior concentração no marco Zero (local de emissão, na cor azul clara) e o decaimento da concentração ao se distanciar desse ponto até o ponto “10” distância de 800 a 1.000 m do marco zero). As faixas de diferentes colorações demonstram a distribuições das concentrações.

Como equação de ajuste teremos:



Em desenho da sobreposição da pluma com localização do imóvel avaliando, em visão superior, podemos identificar o modelo da seguinte forma:



VII. Conclusões

A distribuição gaussiana é uma modelagem consagrada para cálculo de dispersão com o viés ambiental. A adaptação para este uso nos apresenta extremamente viável além de ser lógica, resultando em mais uma ferramenta de auxílio ao engenheiro ou arquiteto avaliador.

O estudo pode ser utilizado como variável (ou fator) de um modelo onde seriam comparados os dados amostrais e o imóvel avaliando conforme grau de afetação. Entendendo que, quanto maior o grau de afetação maior a depreciação que o imóvel avaliando sofreria. Da mesma, em ações indenizatórias, pode ser utilizada para cálculo do *quantum* indenizatório ocasionado pela depreciação do bem pela maior ou menor distância do ponto de emissão, ajustado pelos percentuais de concentração das emissões.

VIII. Bibliografia

- ✓ **Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J., Mierzwa, J.C., Barros, M., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Neusa, J., Eiger, S.** Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio do desenvolvimento sustentável. 2ª Edição. Pearson Prentice Hall. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2005.
- ✓ **Briggs, Gary A.; Hosker Jr., Rayford P.** (1982). Handbook on Atmospheric Diffusion, Office of Health and Environmental Research, Office of Energy Research, Technical Information Center, U.S. Department of Energy.
- ✓ **Gifford, Franklin A. Jr** (1959). Statistical properties of a fluctuating plume dispersion model, Advances in Geophysics.
- ✓ **Gifford, Franklin A. Jr** (1961). Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion, Nuclear Safety.
- ✓ **Gifford, Franklin A. Jr** (1968). Meteorology and atomic energy, US Atomic Energy Commission, Office of Information Services, David H. Slade -editor.
- ✓ **Gifford, Franklin A. Jr** (1976), Turbulent Diffusion-Typing Scheme: A Review, Nuclear Safety.
- ✓ **Kerr, Américo Sansigolo.** Modelamento da difusão atmosférica de poluentes. Curso de Física da Poluição do Ar. 2º Semestre/2006. Departamento de Física Aplicada. Departamento de Física da USP.
- ✓ **Martins, Eduardo Monteiro. Fortes, Júlio Domingos Nunes. Lessa, Ricardo de Araujo.** Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: avaliação

de modelos de Dispersão de poluentes emitidos por veículos. Revista Internacional de Ciências· v.5 - n.1 · jan./jun. 2015.

- ✓ **Moraes**, M.R., Ferramenta para a previsão de vento e dispersão de poluentes na micro-escala atmosférica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- ✓ **Pasquill**, F. (1961). The Estimation of the Dispersion of Windborne Material, Meteorol. Mag.
- ✓ **Sampaio**, Augusto Silva. **Portezani**, Carlos Henrique. Modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos através da dinâmica dos fluidos computacionais. 8º ENEPE / UFGD. 56º EPEX UEMS. 2014.
- ✓ **Seinfeld**, J. H., Atmos. Chem. and Phys. of Air Pollution. Editado por John Wiley & Sons (1986).
- ✓ <<http://www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal>>. Acesso em 19.08.2015.
- ✓ <<http://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/poluicao.htm>>. Acesso em 15.01.2016