

## **X-035 - AVALIAÇÃO DA TAXA DE EMISSÃO ODORANTE E DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES GASOSOS DE UMA FÁBRICA DE PROCESSAMENTO DE SUBPRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL**

**Magnun M. Vieira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Pesquisador do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/ENS/UFSC). Sócio-Diretor da Atmosphere Consultoria Ambiental.

**Henrique de Melo Lisboa**

Professor do ENS/UFSC. Eng. Civil pela UFSC (1980). Especialização em Hidrologia pela Escola de Hidrologia e Recursos Hidráulicos - Madrid (1981). Mestre em Meteorologia - USP (1986). DEA em Química da Poluição Atmosférica e Física do Meio-ambiente pela Université Paris VII (1993). Doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès (França, 1996).

**Waldir Nagel Schirmer**

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Adjunto do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO).

**Marlon Brancher**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Doutorando em Engenharia Ambiental no Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/ENS/UFSC). Sócio-Diretor da Atmosphere Consultoria Ambiental.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima. Centro Tecnológico (CTC). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr). Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88040-970 - Brasil - Tel.: (48) 3721-4993 - e-mail: mvieira@atmosphere.eng.br

### **RESUMO**

Na indústria alimentícia, os principais impactos ambientais relacionam-se, principalmente, à geração considerável de efluentes líquidos e gasosos, dada a própria natureza do processo. Nesse caso, um setor que merece destaque é o das graxarias. Trata-se de indústrias que processam subprodutos e resíduos de origem animal e cujo processo está fortemente associado à emissão de substâncias odorantes na atmosfera. O presente trabalho contempla a avaliação da eficiência do sistema de tratamento de efluentes gasosos de uma graxaria composto por um biofiltro e um lavador de gases. A avaliação dá-se por olfatometria de diluição dinâmica (ODD) para determinação da concentração odorante dos gases à montante e jusante do sistema de tratamento, de acordo com as normas VDI 3477/2004 e EN 13.725/2003. Os resultados apontaram uma taxa de emissão odorante bem superior ao Padrão Máximo de Emissão (PME) odorante estabelecido pela Resolução SEMA Nº 054/2006, do estado do Paraná (tomada como referência por ser a única no país a estabelecer limites baseados em procedimentos olfatométricos) e uma taxa de remoção odorante de apenas 75%. A introdução de ar externo no sistema de tratamento pode ter prejudicado o tratamento e resultou em um drástico aumento na taxa de emissão odorante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Graxaria, Odores, Olfatometria de Diluição Dinâmica, Poluição Atmosférica.

### **INTRODUÇÃO**

Os odores sempre fizeram parte de grande parte dos processos industriais (CARMO Jr. et al., 2010). Esses processos geralmente estão associados aos mais diversos tipos de atividade industrial, como indústrias petroquímicas, papel e celulose, agroindústrias, dejetos animais, etc. (BELLI FILHO; DE MELO LISBOA, 1998; CARMO Jr., 2005). No caso das graxarias, apesar dos inconvenientes que possam causar devido à emissão de odores, é importante ressaltar sua valiosa contribuição ao meio ambiente por proporcionarem um destino adequado a produtos potencialmente perigosos e incompatíveis com as técnicas normalmente utilizadas no tratamento de resíduos sólidos urbanos (BARROS; LICO, 2007).

O objetivo do presente trabalho é avaliar a taxa de emissão odorante e a eficiência do sistema de tratamento de efluentes gasosos de uma fábrica de processamento de subprodutos de origem animal, composto por um

lavador de gases e um biofiltro. Amostras foram coletadas na saída do biofiltro e em um ponto situado na tubulação de entrada do sistema de tratamento, à montante do lavador de gases, onde também foi realizada a medição de vazão do efluente gasoso proveniente da fábrica. As amostras foram analisadas através de olfatometria de diluição dinâmica (ODD) com um painel de jurados treinados para determinação da concentração odorante em UO.m<sup>-3</sup>. Os resultados foram comparados ao admitido pela Resolução SEMA N° 054/2006, do estado do Paraná, tomada como referência por ser a única legislação no país a estabelecer Padrões Máximos de Emissão (PME) odorante com base em procedimentos olfatométricos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Procedimento de amostragem

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos especiais para gases odorantes, possuindo volume aproximado de 60 litros (marca DuPont, plástico Tedlar). Esse material é quimicamente inerte, sendo resistente à adsorção. A técnica utilizada para amostragem do efluente gasoso foi a amostragem direta. Neste caso, a amostra passa por uma bomba diafragma de pressão/vácuo (marca Cole-Parmer, modelo L-79200-30), que possui interior revestido de inox, para não adsorver odores (Figura 1). No caso de amostras com alta temperatura e/ou umidade, é usado um sistema de resfriamento da amostra para condensação da umidade excedente. O resfriamento do efluente gasoso se faz necessário uma vez que possíveis gotículas de água condensadas no interior do saco Tedlar podem absorver compostos odorantes, podendo assim diminuir a concentração odorante da amostra. No duto que leva ao sistema de tratamento foram observadas temperaturas muito elevadas durante a coleta das amostras, na faixa dos 100°C. Isso resultou na ocorrência de condensação e elevado acúmulo de água no interior dos sacos de amostragem, apesar da utilização da caixa fria. Essa água foi imediatamente drenada durante e após o enchimento dos sacos para garantir o menor tempo de contato do efluente com o meio líquido. Todas as amostras foram coletadas em condições operacionais normais do processo produtivo.

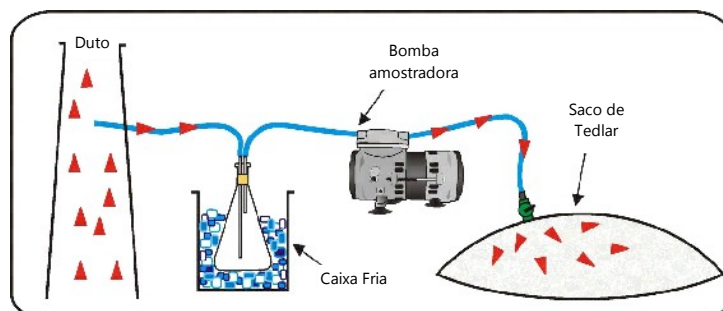


Figura 1: Sistema de coleta de amostra em campo (com bomba diafragma).

### Amostragem em fontes superficiais aplicada a biofiltros abertos

Em biofiltros abertos as emissões de odores ocorrem a partir de uma superfície sólida. Para avaliar a taxa de emissão odorante e investigar a homogeneidade do biofiltro foi utilizada uma campânula amostradora (Figura 2), adaptando-se procedimentos metodológicos da norma alemã VDI 3477/2004.

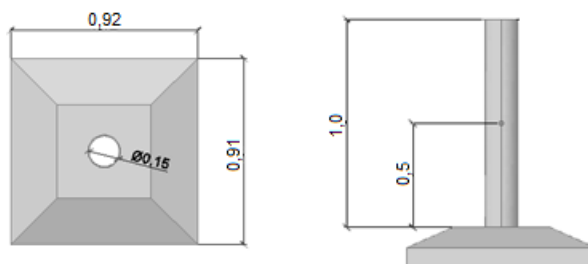


Figura 2: Desenho esquemático da campânula amostradora para biofiltros (dimensões cotadas em metro).

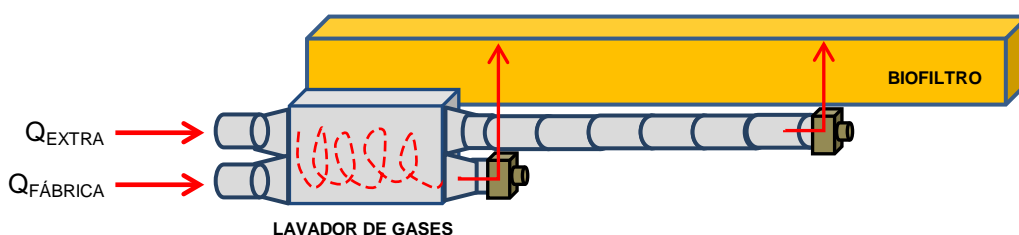
A partir da área superficial coberta pela campânula é possível retirar-se amostras de ar para análises olfatométricas. Ao mesmo tempo verificar a homogeneidade do leito filtrante do biofiltro, mediante a determinação da velocidade de emissão, o que permite detectar a existência de possíveis caminhos preferenciais dos gases de saída através do biofiltro.

Para medição da velocidade do fluxo no orifício da campânula utilizou-se um anemômetro a fio quente (marca DWYER, modelo 471-2). Este aparelho fornece dados de velocidade e temperatura através de um sensor de fio quente, fixado em uma haste, que o torna ideal para medição na saída de dutos e difusores. Desta forma, pode-se determinar a taxa de emissão específica (emissão odorante por unidade de área) para a área a ser analisada. Este procedimento é representado na Figura 3.



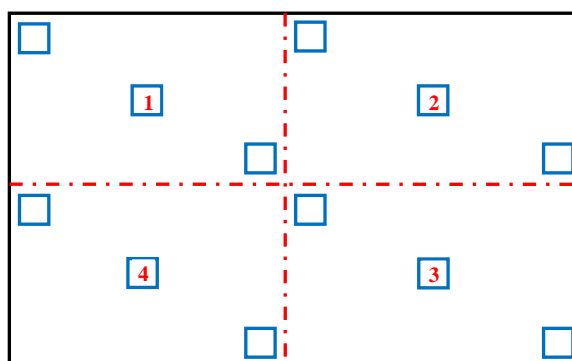
**Figura 3: Campânula amostradora para biofiltros sendo utilizada.**

No processo industrial da graxaria, a geração do efluente gasoso odorante deriva do processamento térmico de vísceras, penas e sangue de aves em digestores encamisados com vapor saturado e temperaturas na faixa de 130°C. O sistema de tratamento é composto por um lavador de gases de fluxo horizontal e um biofiltro aberto, com área superficial de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>. O efluente gasoso, após tratamento, é lançado na atmosfera, através da superfície do biofiltro. Já o efluente líquido da lavagem dos gases é direcionado para o sistema de tratamento de efluentes líquidos da empresa. Na entrada do lavador de gases foi verificada a existência de uma tubulação de 800 mm pela qual é introduzido ar externo no sistema de tratamento de efluentes gasosos da empresa ( $Q_{EXTRA}$ ). Considerando que esse efluente é misturado ao efluente gasoso proveniente da fábrica ( $Q_{FÁBRICA}$ ) e lançado na atmosfera através da superfície do biofiltro, foi verificada a necessidade de medição de vazão também nesse ponto. A Figura 4 apresenta de forma esquemática a configuração do acoplamento lavador de gases - biofiltro com destaque para os pontos de entrada e o sentido do efluente gasoso.



**Figura 4: Desenho esquemático do acoplamento lavador de gases - biofiltro.**

Para determinar os pontos de amostragem e verificar a homogeneidade do substrato, composto de cavaco de madeira, o biofiltro foi dividido em 4 sub-áreas. Em cada uma dessas 4 sub-áreas foi medida a velocidade e a temperatura do fluxo na campânula amostradora em 3 pontos distintos, utilizando um anemômetro a fio quente. Portanto, ao todo, 12 pontos foram avaliados sobre a superfície do leito filtrante do biofiltro. Para fins de amostragem, foram escolhidos os pontos de velocidade mediana (coincidentemente todos os pontos localizavam-se no centro de cada uma dessas subáreas) – Figura 5.



**Figura 5: Esquema das medições para escolha dos pontos de amostragem.**

Para avaliar a taxa de emissão e a eficiência do biofiltro em termos de redução da concentração odorante, 7 (sete) amostras foram coletadas em sacos Tedlar, sendo 3 (três) sacos no duto de entrada (montante) e 4 (quatro) na saída, sobre o biofiltro (jusante). Todas as amostras coletadas foram encaminhadas à unidade de olfatometria do LCQAr, onde foi realizada a determinação da concentração.

#### **Determinação da velocidade e vazão dos gases**

Os procedimentos de amostragem, bem como a determinação da velocidade e vazão nas chaminés seguiram as normas NBR 11.966, NBR 11.967 e NBR 10.701. Estas correspondem, respectivamente, às metodologias de determinação de velocidade e vazão em dutos, determinação da umidade em dutos e determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias (ABNT, 1989<sup>a-c</sup>). A medição de vazão do efluente gasoso proveniente da fábrica foi realizada utilizando um tubo de Pitot do tipo “S”, juntamente com um termopar do tipo K ligado a um termômetro digital (IOP Therm 45), assim como um piezômetro para medição da pressão do efluente gasoso. No caso da tubulação de entrada de ar externo, como esta não apresentava as dimensões mínimas exigidas pela ABNT para medição de vazão com tubo de Pitot em seções circulares, foram realizadas medições de velocidade e temperatura do fluxo gasoso ao longo da seção transversal da tubulação utilizando um termoanemômetro a fio quente.

#### **Procedimento de análise laboratorial via olfatometria dinâmica**

Para detecção do limite de percepção olfativo ( $k_{50}$ ) foi utilizado um olfatômetro de diluição dinâmica da marca ODOTECH, modelo Odile, versão 3500 e um grupo de jurados treinados. O Olfatômetro Odile é composto por sistema de ar puro; unidade de pressurização; unidade de diluição; mesa olfatométrica com seis baias (ou boxes); e software de operação em computador – Figura 6. As diluições são realizadas de maneira decrescente e logarítmica. O software faz a análise contínua dos resultados, trabalhando com a média logarítmica de cada um dos jurados e depois com a média dos todos os jurados. Cada baia é provida de um painel para votação e três saídas de ar, das quais apenas uma sai a mistura de ar odorante com ar puro. As outras duas saídas recebem somente ar puro. A amostra diluída é apresentada de maneira aleatória aos jurados, e ocorre em diversas ordens de diluição.



**Figura 6: Componentes do sistema do olfatômetro Odile.**

No momento da votação o jurado tem 15 segundos para cheirar as três saídas. Percebendo algum tipo de odor, deverá apertar o botão correspondente, abaixo do tubo de saída do odor, e o voto será registrado pelo software. Caso não perceba nenhum odor, deverá apertar o botão “Nenhum odor”. O resultado da análise é dado na forma de concentração, em unidades de odor por metro cúbico:  $\text{UO.m}^{-3}$ . Significa dizer que a concentração da amostra representa o número de vezes que esta deve ser diluída para que seja atingido o seu limiar de detecção (quando existe apenas 50% de probabilidade deste odor ser percebido). Os resultados do Limite de Percepção de Odor serão apresentados pela norma EN 13.725 (da Comunidade Europeia). Anteriormente às análises das amostras, é realizada a análise de um branco laboratorial, que representa a concentração odorante de fundo do sistema de ar puro e do próprio olfatômetro. O valor do branco laboratorial serve para verificar e atestar que o olfatômetro e o sistema como um todo está isento de contaminação, sendo que seu valor deve ser o menor possível deve ser baixo, a fim de minimizar uma possível interferência no resultado das análises.

### **Determinação da taxa de emissão odorante e eficiência do sistema tratamento**

No cálculo da concentração odorante total emitida pela superfície do biofiltro será efetuada a ponderação apresentada na Equação 1. Nesta, é levado em conta que as regiões do biofiltro que possuem maior fluxo consequentemente contribuem mais perante a emissão total do biofiltro.

$$C_t = \frac{C_1 \times v_1 + C_2 \times v_2 + \dots + C_n \times v_n}{n \times v_m} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:  $C_t$  = concentração odorante média do biofiltro ( $\text{UO.m}^{-3}$ );  $C_1$  = concentração odorante no ponto número 1;  $v_1$  = velocidade no ponto número 1;  $n$  = número de pontos avaliados;  $v_m$  = velocidade média entre os pontos de coleta.

Para determinar a taxa de emissão odorante ( $T$ ), em Unidades de Odor por hora ( $\text{UO.h}^{-1}$ ), multiplica-se o valor da concentração odorante média de saída do biofiltro ( $C_t$ ), calculado através da Equação 1, pela vazão volumétrica total ( $Q_T$ ) dos gases que alimentam o sistema ( $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ), conforme a Equação 2. É importante salientar que a correção da vazão foi realizada para a condição normal de temperatura e pressão (CNTP), a qual corresponde a  $0^\circ\text{C}$  e  $760 \text{ mmHg}$ .

$$T = C_t \times Q_T \quad \text{Equação 2}$$

A eficiência na redução da concentração odorante ( $\eta$ ) pode ser calculada através da seguinte equação:

$$\eta = \frac{100 \times (A - B)}{A} [\%] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:  $\eta$  = Eficiência do sistema de tratamento (%); A = Concentração odorante média na entrada do sistema de tratamento; B = Concentração odorante média na saída do biofiltro ( $C_t$ ).

## RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas análises olfatométricas realizadas para determinação da concentração odorante de cada uma das amostras coletadas. Os resultados apresentados foram calculados de acordo com a norma europeia EN 13.725 (CEN, 2003). Pode-se observar que todas as análises foram realizadas dentro do período máximo recomendado pela norma, de 30 horas após a coleta, sendo que o tempo máximo decorrido entre amostragem e análise foi de aproximadamente 24 horas. A análise do branco laboratorial, realizada anteriormente à análise das amostras, apresentou o valor de 9 UO.m<sup>-3</sup>, o que atesta as boas condições do procedimento analítico.

**Tabela 1: Concentração odorante obtida através de olfatometria dinâmica.**

Ponto	Amostra	Intervalo entre coleta e análise	Concentração odorante [UO.m <sup>-3</sup> ]	Concentração odorante média [UO.m <sup>-3</sup> ]
Entrada	E1	25h30	155.182	149.038
	E2	25h13	124.594	
	E3	25h29	167.337	
Saída	S1	23h47	18.586	37.446 <sup>1</sup>
	S2	23h10	37.250	
	S3	23h27	44.083	
	S4	23h47	36.503	

A Tabela 2 apresenta os resultados encontrados para velocidade média e temperatura nos 4 pontos de coleta sobre o biofiltro.

**Tabela 2 – Temperaturas e velocidades médias nos pontos de coleta na saída do biofiltro.**

Ponto	Temperatura [°C]	Velocidade média [m.s <sup>-1</sup> ]	Velocidade média ponderada [m.s <sup>-1</sup> ]
1	49,2 ± 1	0,95 ± 0,2	2,63
2	66,2 ± 1	2,36 ± 0,3	
3	70,5 ± 1	3,32 ± 0,3	
4	70,1 ± 1	3,88 ± 0,3	

É importante observar, através da Tabela 2, a possível existência de caminhos preferenciais entre os 4 pontos de coleta. Isto pode ser verificado através da diferença de velocidade entre os pontos analisados. Também, é possível observar uma tendência de elevação da temperatura do efluente gasoso com o aumento da velocidade. Utilizando a Equação 1 para o cálculo da concentração odorante total gerada pela superfície do biofiltro, encontrou-se uma concentração ( $C_t$ ) de:

$$C_t = \frac{18.586 \times 0,95 + 37.250 \times 2,36 + 44.083 \times 3,32 + 36.503 \times 3,88}{4 \times 2,63}$$

$$C_t = 37.446 \text{ UO. m}^{-3}$$

Para o cálculo da taxa de emissão odorante foi considerada a concentração odorante média, calculada através da Equação 1, e a vazão total ( $Q_T$ ) de entrada do sistema de tratamento de efluentes gasosos da empresa,

<sup>1</sup> Concentração média ponderada calculada conforme a Equação 1.



composta pela vazão do efluente gasoso proveniente da fábrica e a vazão de ar introduzida artificialmente no sistema na entrada do sistema de tratamento. A vazão calculada na tubulação de entrada do sistema de tratamento foi de  $599 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$ , cujo valor representa a vazão volumétrica em base seca (corrigida para a condição normal, de  $0^\circ\text{C}$  e  $760 \text{ mmHg}$  de pressão). No caso da tubulação de entrada de ar externo, os valores de temperatura e velocidade do fluente gasoso medidos com o termoanemômetro a fio quente resultaram em uma vazão de ar de  $19.567 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$ . Desta forma, a taxa de emissão odorante foi determinada utilizando-se a Equação 3:

$$T = C_b \times (Q_{FÁBRICA} + Q_{EXTRA}) = 37.446 \times (599 + 19.567) \\ T \cong 755 \times 10^6 \text{ UO}.\text{h}^{-1}$$

Considerando somente a vazão e a concentração odorante média do efluente gasoso proveniente da fábrica, supondo que o efluente gasoso fosse diretamente lançado na atmosfera, ou seja, na ausência do sistema de tratamento, a taxa de emissão odorante seria de aproximadamente de  $89 \times 10^6 \text{ UO}.\text{h}^{-1}$ . Portanto, inferior à vazão do atual sistema.

O cálculo da eficiência é prejudicado devido à diluição do efluente gasoso proveniente da fábrica no interior do lavador de gases, impossibilitando a determinação da real concentração de entrada no sistema de tratamento. Na hipótese de autorizada a diluição pelo órgão ambiental, a determinação da eficiência do sistema de tratamento pode ser efetuada considerando as concentrações médias do efluente gasoso proveniente da fábrica e das amostras gasosas coletadas na saída do biofiltro utilizando a Equação 3:

$$\eta = \frac{100 \times (149.038 - 37.446)}{149.038} \approx 75\%$$

Os resultados indicam uma redução de aproximadamente 75%. Porém, conforme destacado a eficiência apresentada não leva em conta a diluição do efluente gasoso devido à introdução artificial de ar na entrada do sistema de tratamento de efluentes gasosos da empresa.

## CONCLUSÕES

O valor da eficiência e da taxa de emissão odorante na saída do sistema de tratamento de efluentes gasosos foi de aproximadamente 75% e  $755 \times 10^6 \text{ UO}.\text{h}^{-1}$ , respectivamente. A introdução de ar externo no sistema de tratamento, apesar de promover uma redução na temperatura do efluente gasoso e contribuir para a manutenção de condições aeróbias no biofiltro, aumenta drasticamente a taxa de emissão odorante e pode prejudicar o processo de lavagem por reduzir a umidade relativa dos gases. Além disso, o dispositivo promove a diluição do efluente gasoso e representa custo energético para a empresa. Levando-se em conta apenas os resultados obtidos nesta campanha de amostragem e comparando-os literalmente com os limites estabelecidos pela resolução SEMA Nº 054/2006, utilizada como referência, a graxaria avaliada não atenderia tanto o limite de  $5 \times 10^6 \text{ UO}.\text{h}^{-1}$ , quanto a eficiência mínima de 85% de remoção de odor. As amostragens foram pontuais e descrevem somente o verificado *in loco*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11966 (MB-3080) (1989<sup>a</sup>): Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade e vazão. Método de ensaio. Rio de Janeiro.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11967 (MB-3081) (1989<sup>b</sup>): Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da umidade. Método de ensaio. Rio de Janeiro.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10701 (1989<sup>c</sup>): Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molecular em base seca. Método de ensaio. Rio de Janeiro.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Practice E679-04: Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series of Limits. 2011.

5. BARROS, F. D.; LICO, E. A. Graxarias e a geração de odores. Revista Nacional da Carne: bovinos, aves e suínos - TecnoCarne 2007, São Paulo, SP: Dipermar, v. 31, n. 366, p. 122-130, ago. 2007.
6. BELLI FILHO, P.; DE MELO LISBOA, H. Avaliação de emissões odorantes. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v.03; n.3/4, p.101-106, 1998.
7. CARMO Jr., G. N. R. Otimização e aplicação de metodologias para análises olfatométricas integradas ao saneamento ambiental. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.
8. CARMO Jr., G. N. R.; BELLI FILHO, P.; DE MELO LISBOA, H.; SCHIRMER, W. N.; LACEY, M. E. Q. Odor assessment tools and odor emissions in industrial processes. Acta Scientiarum – Technology. v. 32, n.03, p.287-293, 2010.
9. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN: 13.725 Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (english version). European Standard. Brussels, 2003.
10. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ (SEMA). Resolução SEMA Nº 054, de dezembro de 2006: Estabelece padrões de emissões atmosféricas.
11. VDI 3477, Biological Waste Gas Purification – Biofilters, 2004.