



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA
PILOTO PARA TRATAMENTO
DE GASES DE EXAUSTÃO

JOSÉ ADRIANO KIELLING

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Química da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. Ricardo A. F. Machado

Co-Orientador: Prof. Dr. Humberto Jorge José

Florianópolis

2004

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA
PILOTO PARA TRATAMENTO
DE GASES DE EXAUSTÃO**

por

JOSÉ ADRIANO KIELLING

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de concentração **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos** e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Ricardo A. F. Machado
Orientador

Prof. Dr. Humberto Jorge José
Co-orientador

Prof. Dr. Agenor Furigo Junior
Coordenador

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Antonio Francisco Machado (Eng. Química - UFSC)

Prof. Dr. Humberto Jorge José (Eng. Química - UFSC)

Prof^ª. Dr^ª. Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira (Eng. Química - UFSC)

Prof. Dr. Laércio Ender (Eng. Química - FURB)

Florianópolis, 14 de outubro de 2004

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e tudo o que nela existe.

Em especial à minha mãe Carmen, meu pai João Adair (in memorium) e meu irmão João Adair Filho, por todo o seu carinho, amor e dedicação na minha educação, vida e formação.

Ao professor Ricardo pelo apoio e orientação no transcorrer deste trabalho e principalmente pela pessoa preocupada e interessada em ajudar seus alunos no crescimento pessoal e profissional.

Ao Professor Humberto e a Prof.(a) Regina pela orientação e apoio, imprescindíveis a este trabalho e também paciência para explicações e sugestões.

Ao Professor Laércio pela amizade, profissionalismo e conselhos ao longo de minha vida profissional.

A Márcia a pessoa que escolhi para viver e a Mariana pela inocência e amor.

Aos amigos e companheiros do LEMA e LCP: Karine, Sílvia, Emerson, Iris, Fernanda, Roseli, Renata e em especial aos grandes amigos Andréia, Murilo e Rennio pela ajuda, apoio e fundamentalmente amizade.

Ao funcionário Edevilson pela ajuda e importante apoio.

Aos amigos, Odnei, Rennan e Cíntia pelo importante incentivo e apoio.

Aos colegas do CPGENQ, pelo companheirismo.

Ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, seus professores e funcionários, pela colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	p . v
Lista de Tabelas.....	p. vii
Lista de Gráficos e Anexos.....	p . i x
Lista de Abreviaturas.....	p . x
Resumo.....	p . x i i
Abstract.....	p . x i v
1. Introdução.....	p . 1
1.1 Relevância.....	p . 1
1.2 Histórico.....	p . 1
1.3 Biofiltro.....	p . 4
1.4 Legislação.....	p . 1 1
1.4.1 Legislação Mundial.....	p . 1 2
1.4.2 Legislação Brasileira.....	p . 1 3
1.4.3 Legislação do Estado de Santa Catarina.....	p . 1 4
1.5 Defumação.....	p . 1 5
1.5.1 Defumação a Frio.....	p . 1 6
1.5.2 Defumação a Quente.....	p . 1 6
1.6 Trocadores de Calor.....	p . 1 7
1.6.1 Trocador de Calor de Contato Indireto.....	p . 1 8
1.6.2 Trocador de Calor de Contato Direto	p . 1 8
1.6.2.1 Trocador Tubular.....	p . 1 8
1.6.2.2 Trocador de Carcaça e Tubo.....	p . 1 9

1.6.2.3 Trocador de Calor em Serpentina.....	p . 1 9
1.7 Compostos Orgânicos Voláteis.....	p . 2 0
1.8 Objetivos.....	p . 2 2
1.8.1 Objetivos Gerais.....	p . 2 2
1.8.2 Objetivos Específicos.....	p . 2 2
2. Revisão de Literatura.....	p . 2 3
2.1 Definição.....	p . 2 3
2.2 Percepção.....	p . 2 3
2.3 Amostragens de Compostos Odorantes.....	p . 2 5
2.3.1 Amostragem sem Concentração de Compostos Odorantes.	p . 2 6
2.3.2 Amostragem por Absorção.....	p . 2 6
2.3.3 Amostragem por Adsorção	p . 2 7
2.4 Métodos de Análises dos Compostos Odorantes.....	p . 2 8
2.4.1 Medidas Físico-Químicas.....	p . 2 8
2.5 Processos Biológicos de Tratamento de Gases Odorantes.....	p . 2 9
2.5.1 Degradação de Substrato.....	p . 3 0
3. Materiais e Métodos.....	p . 3 1
4. Resultados.....	p . 3 7
4.1 Custos.....	p . 6 0
4.2 Discussão.....	p . 6 1
5. Conclusões.....	p . 6 9
5.1 Conclusões Gerais.....	p . 7 0
6. Referências Bibliográficas.....	p . 7 1
7. Sugestões.....	p . 7 9

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Queima de Combustíveis em Fornos.....	p . 2
Figura 02 – Revolução Industrial.....	p . 3
Figura 03 – Corte Longitudinal de Um Biofiltro Aberto.....	p . 7
Figura 04 – Biofiltro Fechado.....	p . 7
Figura 05 – Constituição dos Biofilmes Presentes nos Biofiltros.....	p . 1 0
Figura 06 – Fluxograma de Resolução de Problemas.....	p . 3 2
Figura 07 – Fluxograma Defumadores.....	p . 3 3
Figura 08 – Pontos de Coleta de Dados: Sistema de Tratamento de Gases de Defumadores.....	p . 3 4
Figura 09 – Planta do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.....	p . 4 2
Figura 10 – Planta Situação Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.....	p . 4 3
Figura 11 – Diagrama Tridimensional do sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.....	p . 4 4
Figura 12 – Diagrama do Exaustor do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.....	p . 4 5
Figura 13 - Diagrama do Trocador de Calor do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.....	p . 4 6
Figura 14 - Diagrama do Biofiltro do Sistema de Tratamento de Gases- Defumadores.....	p . 4 7

Figura 15 - Diagrama das Grelhas do Biofiltro do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.....	p . 4 8
Figura 16a – Foto do Sistema de Tratamento de Gases – Interno.....	p . 4 8
Figura 16b – Foto do Sistema de Tratamento de Gases – Externo.....	p . 4 9
Figura 17 – Foto do Sistema de Coleta de Gases de Exaustão.....	p . 5 7
Figura 18 - Gráfico do Cromatograma dos Gases de Entrada (branco) e Saída (verde) do Biofiltro.....	p . 5 8
Figura 19 - Gráfico Detalhado do Cromatograma dos Gases de Entrada (branco) e Saída (verde) do Biofiltro.....	p . 5 9

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.....	p. 14
Tabela 02 – Limiar Olfativo Para Uma Escala de Odores.....	p. 24
Tabela 03 – Soluções Adsorventes Para Compostos Odorantes.....	p. 26
Tabela 04 – Adsorventes e Suas Utilizações.....	p. 27
Tabela 05 – Medições e Sensores Realizados pelo analisador de Gases.....	p. 35
Tabela 06 – Análise dos Gases de Exaustão.....	p. 37
Tabela 07 – Dados de Dimensionamento do Trocador de Calor.....	p. 38
Tabela 08 – Dados de Perda de Carga no Biofiltro.....	p. 39
Tabela 09 – Cálculo de Volume do Biofiltro.....	p. 40
Tabela 10 – Dados do Sistema Piloto para CO (ppm).....	p. 49
Tabela 11 - Dados do Sistema Piloto para SO₂ (ppm).....	p. 51
Tabela 12 - Dados do Sistema Piloto para CxHy (ppm).....	p. 53
Tabela 13 – Dados de Temperatura Coletados no Trocador de Calor (°C)	p. 55
Tabela 14 – Custo do Sistema Piloto.....	p. 60
Tabela 15 – Dimensões do Trocador de Calor.....	p. 61
Tabela 16 – Valores de Eficiência do Sistema de Tratamento de Gases – Sistema Piloto.....	p. 62
Tabela 17 – Valores de Eficiência do Sistema de Tratamento de Gases – Sistema Piloto.....	p. 63
Tabela 18 – Análise do Condensado do Trocador de Calor.....	p. 63
Tabela 19 – Dimensionamento do Biofiltro.....	p. 65

Tabela 20 – Análise de Gases durante 0 dias, Antes e Depois do Biofiltro.... p. 6 6

Tabela 21 – Análise de Gases Após 30 (trinta) Dias, Antes e Depois do Biofiltro..... p. 6 6

Tabela 22 – Análise do Condensado ao Longo de 30 dias..... p. 6 7

LISTA DE GRÁFICOS E ANEXOS

Gráfico 01 – Teor de CO Antes e Depois do Biofiltro.....	p. 51
Gráfico 02 – Teor de SO₂ Antes e Depois do Biofiltro.....	p. 53
Gráfico 03 – Teor de CxHy Antes e Depois do Biofiltro.....	p. 54
Gráfico 04 – Temperaturas Antes e Depois do Trocador de Calor.....	p. 56
Gráfico 05: CO Antes e Depois do Biofiltro.....	p. 67
Gráfico 06: SO₂ Antes e Depois do Biofiltro.....	p. 68
Gráfico 07: CxHy Antes e Depois do Biofiltro.....	p. 68
Gráfico 08: DBO₅ em função do Tempo para o Condensado.....	p. 70
Gráfico 09: pH em função do Tempo para o Condensado.....	p. 70
Gráfico 10: DQO em função do Tempo para o Condensado.....	p. 71
Anexo 01 - Foto das Chaminés da Industria – Exaustão dos Defumadores..	p. 81
Anexo 02: Foto do Exaustor Projetado – Exaustão dos Defumadores.....	p. 82
Anexo 03: Foto do Trocador de Calor Sistema Piloto – Exaustão dos Defumadores.....	p. 83
Anexo 04: Foto do Biofiltro Sistema Piloto – Exaustão dos Defumadores.....	p. 84
Anexo 05: Foto da Grelha do Biofiltro Sistema Piloto – Exaustão dos Defumadores.....	p. 85

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AFNOR	Associação Francesa de Normatização
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
BAS	Biofiltro biológico
Cg	Concentração na fase gasosa
Cl'	Concentração na fase líquida superficial
Cl''	Concentração na fase líquida interior
CEN	Comunidade Européia de Normatização
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO ₂	gás carbônico (dióxido de carbono)
CO	monóxido de carbono
COV	Composto Orgânico Volátil
CV	Cavalo-Vapor
CxHy	Hidrocarbonetos
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EXT	Exaustor radial
FATMA	Fundação de amparo a Tecnologia e Meio Ambiente
IO	Intensidade Odorante
LEEA	Laboratório Experimental de Engenharia Ambiental
LPO	Limite de Percepção de Odor
MES	Padrão Máximo de Emissão
MIS	Padrão Máximo de Impacto
NO	monóxido de nitrogênio

NO₂ Dióxido de nitrogênio

PPGEA Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

PRONAR Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PVC Polivinilcloro

Tg Temperatura do gás

Tamb Temperatura Ambiente

TCO Trocador de Calor

ROM Ready Only Memory

RAM Random Access Memory

RPM Rotações por minuto

SO₂ Dióxido de enxofre

SSEP Sistema Piloto de Tratamento de Gases de Exaustão de Defumadores

OMS Organização Mundial de Saúde

O₂ Oxigênio

ppm Partes Por Milhão

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

USEPA Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

USDA Departamento de Agricultura dos Estados unidos

UO Unidade de odor

VOC's Compostos Orgânicos Voláteis

VDI Associação Alemã de Engenharia

VSG Velocidade Superficial de Gás

RESUMO

Odores provenientes de várias fontes proporcionam, sobre as pessoas e o seu bem estar, uma modificação de seu comportamento. Entre estes, destacam-se as fontes de emissões de chaminés de defumadores. Estas não têm, na maioria dos casos sistemas de tratamento de gases, enviando muitos compostos que causam maus odores e também muitos particulados diretamente a atmosfera.

Tendo como objetivo evitar que os odores presentes neste processo, continuem a poluir o ambiente, têm-se desenvolvido pesquisas no que se refere ao tratamento destes gases. Desta maneira, este trabalho tem como objetivo, avaliar e dimensionar equipamentos para minimizar as emissões provenientes do sistema de exaustão de gases de defumadores.

A parte experimental foi dividida em duas fases: na primeira, investigou-se as variáveis do problema, como vazão, temperatura, e concentração dos principais poluentes. Na segunda parte, desenvolveu-se um sistema piloto de tratamento de gases de exaustão que permite a minimização do problema, utilizando-se de um sistema piloto de tratamento de gases constituído de um trocador de calor e um biofiltro.

O sistema piloto foi avaliado, sendo a eficiência de desodorização medida através da análise de gases no decorrer do sistema proposto, utilizando um analisador de gases portátil e um cromatógrafo gasoso. Os resultados mostraram reduções consideráveis dos gases poluentes presentes bem como a redução significativa dos hidrocarbonetos. O período de monitoramento do biofiltro com leito de cavaco a 50% de umidade foi em torno de 720 horas, com velocidades superficiais de gás de 0,85 a 0,92m/s. O sistema composto pelo biofiltro com leito de cavaco a 50% de umidade e o

trocador de calor mostraram-se um método de tratamento de gases promissor para o problema inicial no sistema de gases de exaustão.

ABSTRACT

Odors proceeding from many sources provide, on the population and its welfare, a behavior modification. Among these odors, emissions from chimneys smokers' sources are distinguished. They do not have, in the majority of the cases systems of treatment of gases, sending many components, which cause bad odors, and also many particulates directly on the atmosphere.

As far as the objective is to prevent that the odors present in this process, continue to pollute the environment, has been developed research related to the treatment these gases. In this way, this work has as objective, to evaluate and to dimensioned equipment to minimize emissions proceeding from the system of the smokers exhaustion gases.

The experimental part was divided in two phases: in the first one, investigated the variables of the problem, as outflow, temperature, and concentration of the main pollutants. In the second part, was developed system of exhaustion gases treatment, which allows to minimized the problem, continued by a heat exchanger and a biofilter.

The system was evaluated, being the efficiency of deodorant measured through the analysis of gases in elapsing of the considered system, using a portable analyzer of gases and a gaseous chromatograph. The results had shown considerable reductions of the pollutant gases presented as well as the significant reduction of hydrocarbons. The period of observance of biofilter with firewood streambed 50% of humidity was around 720 hours, with superficial gas speeds of 0,85 by 0,92m/s. The system composed by biofilter with firewood streambed 50% of humidity and a heat exchanger revealed to be a promising method for gases treatment for the original problem in the exhaustion gases system.

1 INTRODUÇÃO

1.1. Relevância

Tendo em vista o grande volume de emissões tanto líquidas, sólidas como gasosas, que são lançadas ao ambiente sem o devido tratamento, principalmente de indústrias, que correspondem a grande maioria destas emissões, o meio ambiente sofre progressivas agressões e por conseqüência o ser humano torna-se vítima indireta desta agressão.

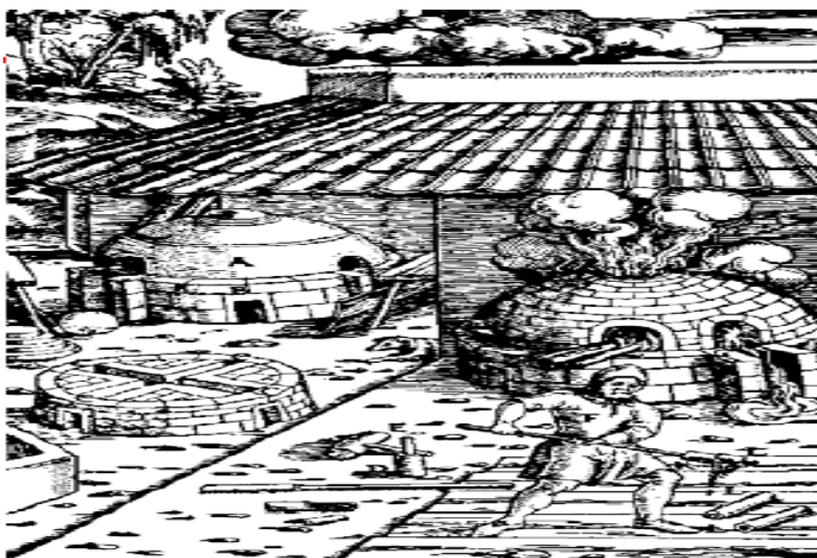
Deste modo, os órgãos ambientais, tanto a nível federal, estadual quanto municipal, intensificaram a fiscalização das indústrias com o intuito de modificar o quadro desfavorável presente. Com isso, as empresas aceleraram a implantação de equipamentos de controle de poluentes, entre eles o de controle ambiental e mais especificamente de controle de gases poluentes.

Entre os equipamentos implantados para o controle destes poluentes destaca-se a construção de Filtros Biológicos (BAS), acoplados a trocadores de calor (TCO). Sendo que estes possuem uma elevada eficiência na retenção de odores e sólidos que por ventura estiverem presentes nos gases submetidos a este tratamento.

1.2. Histórico

Na antiguidade (era pré-industrial) produzia-se, a partir da queima de combustíveis, principalmente lenha, galhos de árvores, carvão e coque, para produção

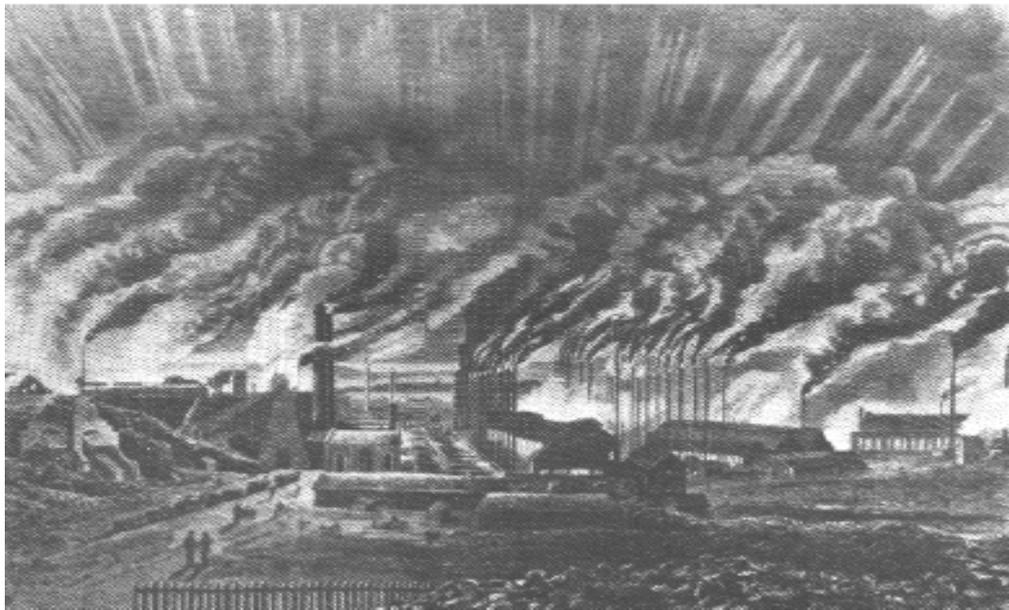
de calor, assim transformando estes produtos em matérias-primas utilizáveis e conforto (Figura 01), mas assim causando poluição com a produção de elementos gasosos nocivos ao meio ambiente e ao ser humano.



Fonte: Martin, 1991 apud Belli Filho et al, 2001

Figura 01: Queima de Combustíveis em Fornos.

De acordo com BAILEY, 1986, 1990, tem-se início assim o ciclo de consumo de matérias-primas disponíveis, este agravando com o início da revolução industrial em 1784 com a invenção da máquina a vapor de WATT, ocasionando um enorme impulso no desenvolvimento industrial da humanidade, mas com conseqüente maior agressão ao meio ambiente (Figura 02). Já no ano de 1848, na Inglaterra a agência de saúde tornou responsável pelos níveis de cinzas e fumaça lançados ao meio ambiente. Segundo AFNOR, 1990, os principais avanços no controle de poluentes ocorreram no século XIX, no mundo ocidental, com a adoção de controles de emissão de poluentes como ciclone, lavadores de gases e filtros de tecidos.



Fonte: Martin, 1991 apud Belli Filho et al, 2001

Figura 02: Revolução Industrial.

Os biofiltros biológicos (BAS) são processos de tratamento de esgotos (gasosos e líquidos), baseados na percolação de efluentes através de superfícies nas quais ocorrem fenômenos biológicos de crescimento bacteriano e consumo da matéria orgânica, datam do fim do século XIX as primeiras unidades surgidas na Inglaterra.

Os BAS originaram-se dos filtros intermitentes de areia, já que, havia sido reconhecido que o mecanismo de ação desses filtros intermitentes era de origem biológica e que dependia da aeração. A fim de reduzir a área por eles ocupada, surgiu a necessidade de aumentar sua profundidade, ao mesmo tempo melhorando a ventilação e empregando para isto granulação mais grosseira que a encontrada em solos arenosos naturais.

As unidades operavam como leitos de contato: vários tanques impermeáveis cheios de material granuloso eram construídos uns ao lado dos outros; cada um deles era cheio de uma a duas vezes por dia com esgoto, permanecendo assim por 2 horas, e, em seguida, era aberta uma descarga de fundo, que provocava o lançamento do efluente tratado biologicamente. O tanque permanecia então, vazio, era exposto à ventilação, até chegar novamente a hora do enchimento (ALEM SOBRINHO, 2000).

Segundo uma estimativa da Organização Mundial de Saúde (OMS), ocorrem de 2,7 a 3,0 milhões de mortes prematuras anuais causadas pela poluição do ar ou seja 5 a 6% da mortalidade global (OMS, 1997).

Também, segundo a OMS, os principais poluentes primários lançados na atmosfera por emissões gasosas são: NO_X, SO₂, CO, VOC's e Particulados.

1.3. Biofiltro

O equipamento usado na biofiltração dos gases é chamado de biofiltro. Este consiste de um reator de material orgânico, povoado de microorganismos, através dos quais os gases odoríferos atravessam uma camada filtrante por fluxo ascendente ou descendente (BELLI FILHO et al, 2001). O mecanismo da biofiltração inclui uma combinação de adsorção, absorção e degradação microbiana. A umidade do meio filtrante fornece condições físicas e químicas apropriadas para a transferência dos contaminantes do ar na fase líquida e a biodegradação dos contaminantes na camada do biofilme (PHILIPS, 1997).

Enquanto o ar contaminado passa através do meio filtrante, os compostos odorantes são absorvidos/adsorvidos no meio e oxidados pelos microorganismos

eliminando ou reduzindo o odor presente na corrente gasosa, sob certas condições ambientais controladas de umidade, pH, nutrientes e temperatura (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2000). Em consequência deste metabolismo o dióxido de carbono e a água são liberados, e os microrganismos no biofilme desenvolvem-se e são regenerados (TRG, 2002).

Segundo Le Cloirec et al. (1991), os materiais utilizados como meios filtrantes devem apresentar as seguintes características:

- Ser ricos em microrganismos;
- Apresentar uma superfície específica elevada a fim de favorecer a transferência de matéria gás/líquido/sólido ao crescimento do biofilme;
- Contribuir com os elementos necessários a vida dos microrganismos (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre...);
- Possuir boa retenção de água;
- Permitir o fenômeno de adsorção: transferência gás/sólido e líquido/sólido (biofilme);
- Dispor de um comportamento hidrodinâmico adaptado, sem passagens preferenciais, nem perdas de cargas elevadas;
- Representar um investimento de baixo custo.

Os materiais suportes mais utilizados, são compostos das mais variadas origens: lixo doméstico, dejetos vegetais, cascas de árvores, palhas, turfa, lodos de estações de tratamento de esgotos urbanos ou industriais e poliestireno. Para RAMIREZ-LOPEZ et

al., (2000) a desempenho de um biofiltro depende das características químicas, físicas e biológicas do material filtrante.

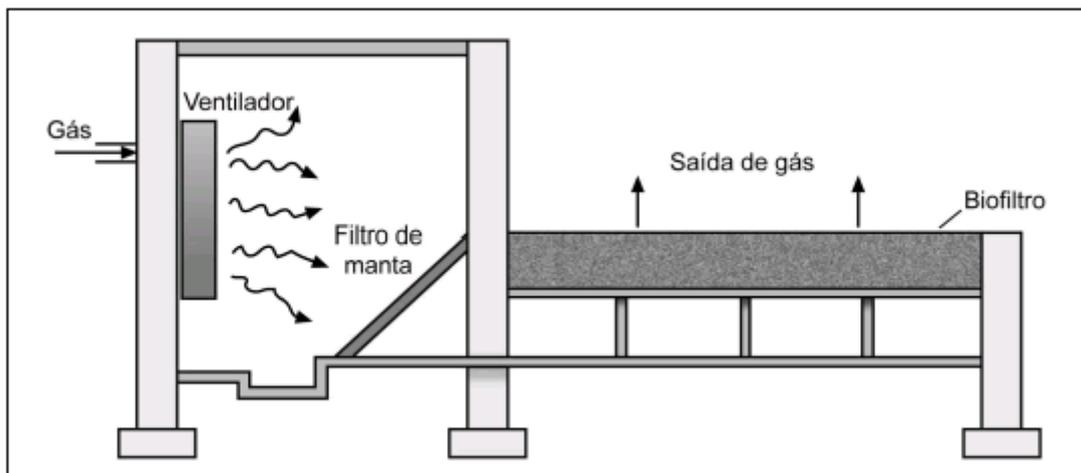
Os biofiltros apresentam-se em duas configurações: biofiltro aberto e biofiltro fechado. Os biofiltros de leitos de solo (aberto) ou composto orgânico, consistem, tipicamente, de uma determinada área de solo escavada que possui uma rede de distribuição de tubulações perfuradas, localizadas no fundo para aeração, circundadas com brita e com enchimento de solo ou composto. Segundo BOHN (1992) o leito deve ter mais de 1 metro de profundidade. O fluxo de gás odorante atravessa as tubulações e sai pelos diversos buracos laterais para ser distribuído através do leito. Já os biofiltros fechados, possuem um domo superior a mais que os abertos.

Segundo BURROWES et al (2001 apud ZHANG et al., 2002), os biofiltros fechados são, geralmente, mais caros para construir, operar e manter do que os biofiltros abertos.

De outro modo, os biofiltros fechados podem promover uma remoção mais efetiva dos compostos odorantes do que os biofiltros abertos, pois permitem um controle mais eficiente dos parâmetros operacionais do sistema: tais como temperatura e umidade do meio filtrante.

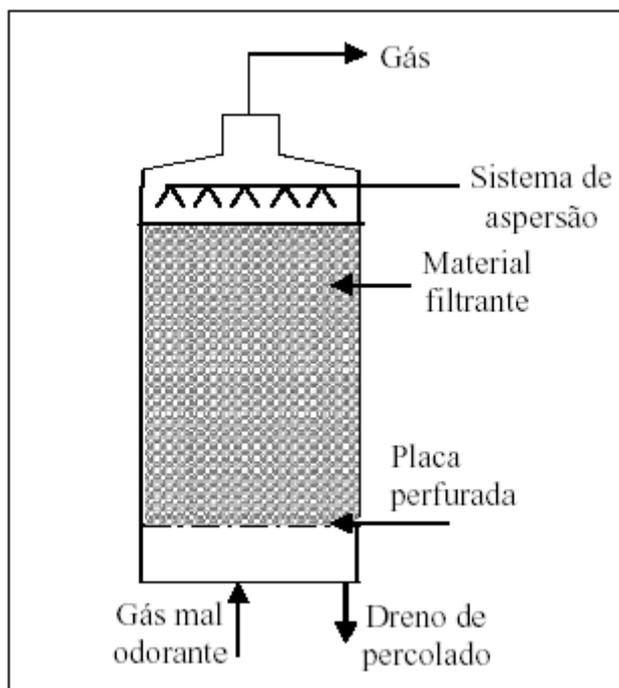
Assim, a implantação de um sistema de depuração de gases, através do uso de biofiltro fechado é menos usados que de biofiltros abertos, basicamente pelo custo de implantação, já que estes ocupam grandes áreas. Por outro lado os biofiltros abertos são mais baratos, mas demandam áreas de implantação muito maiores.

A Figura 03 apresenta um corte longitudinal de um biofiltro aberto e a Figura 04 um biofiltro fechado.



Fonte: Martin, 1991 apud Belli Filho et al, 2001

Figura 03 - Corte Longitudinal de Um Biofiltro Aberto.



Fonte: WEF 1995.

Figura 04 - Biofiltro Fechado.

Os biofiltros têm sido efetivos na redução das concentrações de amônia, sulfeto de hidrogênio, metil-mercaptanas, dimetil disulfeto (EASTER e OKANACK 2000).

DESHUSSES e JONSON (2000) relatam que o processo de biofiltração é adequado para tratamento de gases mal odorantes utilizando altas vazões e baixas concentrações de poluentes biodegradáveis.

Segundo COX e DESHUSES, (2000b), os biofiltros requerem baixas manutenções e são, particularmente, efetivos no tratamento de odores e compostos voláteis que são facilmente degradados, e no tratamento de compostos que não geram subprodutos ácidos.

O fracasso de um sistema de biofiltração pode ser originado, principalmente, pela acidificação do meio. A acidificação do material filtrante tem um impacto negativo na performance do biofiltro: a vida do meio filtrante é encurtada, ocorrem problemas de corrosão do material de construção e o mais importante, muitos microrganismos benéficos ao sistema não sobrevivem ou não desempenham seu papel em condições ácidas (YANG et al, 2002).

A escala de temperatura para biofiltração varia e 15 a 40°C (LE CLOIREC et al, 1991), com a temperatura ótima entre 30 e 40°C (LESON e WINER, 1991, apud ZHANG et al, 2002). A queda da temperatura para menos de 10°C, causa uma perda parcial na eficiência do biofiltro (LE CLOIREC et al, 1991).

A manutenção de microrganismos num sistema de tratamento biológico de efluentes líquidos é de extrema importância e a manutenção de uma taxa de umidade ótima é, certamente, o parâmetro operacional mais importante no estudo de um biofiltro (PETERSEN et al., 1995 apud LE CLOIREC et al., 1998). O excesso de umidade pode causar compactação do meio filtrante, resultando em baixa porosidade, alta perda de

carga e vazão de ar comprometida. Por outro, a falta de umidade acarretará em uma atividade microbiana insuficiente, reduzindo a eficiência de remoção dos odores (ZHANG et al., 2002).

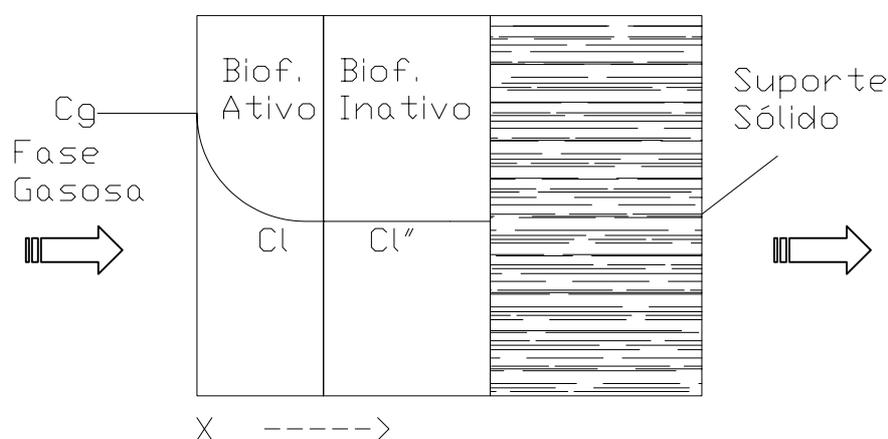
Um parâmetro limitante ao funcionamento do biofiltro é a concentração dos poluentes. A concentração elevada poderá proporcionar efeitos tóxicos sobre a biomassa. Lê CLOIREC et al., (2001), relata que em estudos realizados com biofiltros foram encontradas concentrações de poluentes abaixo de 5g/m^3 (5000 ppm) de ar. Segundo BELLI FILHO et al., (2001) para um bom funcionamento de um biofiltro é necessário, ao dimensionamento do mesmo, a fixação de uma concentração de 1g/m^3 (1000 ppm) de ar como concentração limitante para compostos orgânicos voláteis.

Um outro agravante no processo operacional do biofiltro é a acumulação excessiva de biomassa entupindo os espaços vazios do meio filtrante (ERGAS et al., 1994 apud VAN GROENESTIJN, 2001). Devido à cumulação dessa biomassa, a eficácia na redução dos compostos odorantes pode diminuir com o tempo, reduzindo a eficiência do biofiltro (ALONSO et al., 1997 apud ZHANG et al., 2002), o que para SCHIMIDT et al., (2000), limita a vida do meio filtrante em um período de 3 a 5 anos. Autores estudados por YANG et al (2002), relataram que um biofiltro adequadamente projetado e operado apresenta uma eficiência de remoção de contaminantes maior que 99%, não só para H_2S (sulfeto de hidrogênio), como também para mercaptanas. CARVALHO (2001), operando um biofiltro com uma coluna de meio filtrante preenchida com turfa, chegou a obter eficiência de remoção de 81 % para o H_2S , 95% para a amônia e 53% para CO (monóxido de carbono).

Os Filtros Biológicos funcionam sem inundação, agindo pela percolação dos efluentes e estando permanentemente expostos à renovação do ar. Os materiais de

construção mais empregados são pedras resistentes as intempéries, escória britada, pedaços de lava e peças cerâmicas ou de plástico, cavaco verde entre outros. Também já têm sido empregados o coque e a hulha; em pequenas instalações têm encontrado aplicação ripas de madeira empilhadas em cruz. O material mais usado é a pedra britada. Os pedaços de lava tem a vantagem de ter um peso específico aparente muito baixo.

Os biofilmes são constituídos de duas áreas distintas (Figura 05), onde C_g é a concentração de poluentes na fase gasosa, C_l é a concentração de poluentes na parte superior do biofilme, C_l'' é a concentração de poluentes na parte inferior do biofilme, esta inativa na degradação dos poluentes. Esta dificuldade em percolação dos poluentes causa uma diminuição no fluxo de gás presente, ocasionando perdas de carga.



Fonte: Belli, Filho, P. , 1996.

Figura 05: Constituição dos Biofilmes Presentes nos Biofiltros.

Após algum tempo do início do funcionamento, os fragmentos se recobrem de películas mucilaginosas (limo) povoadas por bactérias, principalmente, no interior das quais se processam os fenômenos de depuração (purificação).

Desta maneira, a atividade microbiana se verifica na superfície revestida (área molhada) dos fragmentos. A película ativa aderente às pedras não tem mais que 2 a 3 milímetros de espessura. Como o oxigênio não consegue penetrar mais profundamente, sendo que o principal mecanismo do processo é atribuído a adsorção. Esta é mantida pela ação de microrganismos que dependem, para sobreviver, de aeração contínua. As pedras com superfície áspera aceleram o início do funcionamento biológico.

O tempo de percolação varia segundo a taxa de aplicação e está situado entre 20 e 60 segundos, este, é determinado por uma antiga recomendação prática inglesa, que manda juntar ao afluente uma solução concentrada de sal. O tempo de percolação é então considerado aquele que é necessário para que seja encontrada no efluente metade da quantidade do sal adicionado (COX, 2000).

O nome dado - Filtro Biológico - é altamente impróprio. Na verdade a denominação filtro é incorretamente empregada, pois o processo não envolve qualquer fenômeno de peneiramento ou filtração; passa-se uma oxidação biológica, mas o termo tal como usado já é consagrado (DE MELLO LISBOA, 1996).

1.4 Legislação

Segundo McGINLEY e McGINLEY (2001), nos anos 70 e 80, nos Estados Unidos e por toda a Europa, havia um aumento significativo no interesse público voltado para os odores provenientes de indústrias, agricultura e estações de tratamento de águas residuárias. Durante estes anos, os governos em muitos destes países, executaram padrões e regulamentações para os odores. Alguns exemplos destes padrões incluem: Estados Unidos – ASTM D-1391(1978) e ASTM E679-91 (1991), Alemanha

– VDI 3881 (1980, revisada em 1989), França AFNOR-X-43-101 (1981, revisada em 1986), Países Baixos – NVN 2820 (1987).

1.4.1 Legislação Mundial

Northrhine-Westphalia, o estado mais populoso e industrializado da Alemanha, desenvolveu e aplicou uma nova regulamentação, para o modelo adotada MIS (Model Industry System), usando medidas para avaliar o desconforto e fazer inspeções no nível de campo. As Normas sobre o Odor no Ar Ambiente estabelecem uma concentração de impacto do odor de 1 (uma unidade olfativa) UO/m³, a concentração limite de impacto limita a percentagem de tempo, para o qual a concentração mais alta de impacto é tolerada (desconforto insignificativo). Essa Norma tem sido estudada como uma possibilidade de se tornar a Lei Federal na Alemanha (FRECHEN, 2001).

O padrão das emissões é estabelecido em relação a 150 substâncias que podem causar odor desagradável, e que nenhum odor será considerado como muito desagradável antes de alcançar os padrões estabelecidos.

No Reino Unido, o órgão da Ação de Proteção do Meio Ambiente (EPA) contempla o aspecto legal dos odores desagradáveis e, em geral, são estabelecidos os padrões de emissão com referência aos odores. Não está contemplada a concentração de impacto dos odores ou o percentual de tempo, apenas retrata de modo geral as situações relativas aos incômodos odorantes.

Nos Estados Unidos não existe regulamentação Federal para os odores. Elas são de competência do Estado e às vezes dos governos locais. Os odores não devem causar incômodos, mas esses são definidos de várias maneiras. Considera-se incômodo algo

que interfere na qualidade de vida das pessoas, na avaliação econômica das propriedades ou no desenvolvimento das atividades.

FRECHEN (2001), sugere que as regulamentações e as políticas para evitarem as emissões dos maus odores poderão ser aquelas que promovam uma redução nas emissões, associadas ao “Padrão Máximo de Impacto”. A metodologia proposta é a do questionário sobre os incômodos ou pelo menos pelo monitoramento de campo, como descritas no VDI Guideline 3940 (VDI 3940, 1993, da Alemanha), após a realização das medidas.

1.4.2 Legislação brasileira

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, da Política Nacional do Meio Ambiente, cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e lhe confere competências para estabelecer padrões e métodos ambientais, dentre os quais os padrões da qualidade do ar. A Resolução CONAMA, nº 03, de 28.06.90, em conformidade com o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, fixa os padrões nacionais de qualidade do ar para os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio, porém não estabelece padrões em relação ao lançamento de substâncias odoríferas na atmosfera.

Partindo-se da premissa que é impossível um processo de combustão, seja completo em processos reais, conseqüentemente, além de CO₂ e H₂O, são formados e emitidos ao ambiente, vários poluentes atmosféricos. São lançados, ao ambiente,

normalmente os seguintes poluentes, em processos envolvendo combustão: SO₂, CO e NO entre outros produtos.

Desta feita, a legislação brasileira, estabelece os parâmetros para poluentes Tabela 01, editada em 1990, na qual o padrão primário é o valor inicialmente atingido, e o secundário é o que deve-se atingir após o primeiro.

Tabela 01 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

Poluentes	Padrão Primário (µg/m ³)	Padrão Secundário (µg/m ³)
Partículas Totais em Suspensão	240	150
SO ₂	365	100
CO	40.000	40.000
O ₃	160	160
Fumaça	150	100
Partículas Inaláveis	150	150
NO ₂	320	190

Fonte: Ribeiro A.P.R.A., 2002 (modificado).

1.4.3 Legislação do Estado de Santa Catarina

O órgão ambiental do estado de Santa Catarina – FATMA, através do Decreto nº 14.250, de 05 de junho de 1981, estabelece na Seção III – Da proteção atmosférica, Subseção III – Dos Padrões de emissão, no Art. 31; que fica proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora.

Fica estabelecido ainda o Limite de Percepção de Odor (LPO) para algumas substâncias. Nos casos para os quais não foram estabelecidos padrões de emissão deverão ser adotados sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível.

1.5 Defumação

Os produtos que sofrem o processo de defumação tem boa aceitação e estão prontos para consumo, isto é, não necessitam de um preparo adicional. De acordo com GEROMEL (1989), a defumação é um processo mais indicado para produtos que possuem em sua composição teores de gordura muito altos, bem como altos teores de água, pois as gotículas de gordura auxiliam a retenção dos compostos da fumaça, não só os aromáticos, como também os que contribuem para a conservação dos produtos.

O princípio da defumação consiste em expor o produto fresco ou ligeiramente salgado à ação do calor e da fumaça, produzido por um fogo lento de uma mistura de lenha, gravetos ou serragem.

O processo de combustão e conseqüente formação das substâncias desejáveis na defumação são afetados por vários fatores, tais como: estrutura da madeira, espessura, profundidade da câmara de cinzas que se formam e o arraste de fumaça pelo ar aquecido. As madeiras resinosas como as de pinho não devem ser empregadas, pois contêm treberentina, deixam a superfície do produto negra e transmitem um sabor desagradável.

Na lenha, pedaços grandes de madeira são fontes de calor, entretanto a serragem fornece a fumaça, assim no processo de defumação prefere-se o uso de serragem úmida,

assim a produção de fumaça é intensa. Madeiras duras como o jatobá, massaranduba, peroba e mistura de eucalipto com peroba são adequadas para defumar.

Com relação à temperatura da fumaça, os métodos de defumação classificam-se em: defumação a frio (temperatura até 40°C); e, defumação a quente (temperatura entre 50 e 120°C).

1.5.1 Defumação a Frio

Este processo ocorre em temperaturas moderadas, em torno de 40°C, evitando assim o cozimento do produto. É submetido a uma pré-salga seca. Durante a cura o produto se desidrata, permitindo que o mesmo fique firme, o que a tornará o efeito da fumaça mais forte. A seguir o excesso de sal é retirado com lavagem por água doce. Feito isso, o produto é enxugado e posto a secar ao vento, sendo, então, submetido propriamente à defumação.

A temperatura da fumaça deve ser controlada ao redor de 15 a 30°C, acima dessa faixa, o produto pode começar a deteriorar. Em contra partida, abaixo dessa faixa a secagem do produto leva bem mais tempo. A defumação se faz à noite, reservando-se o dia para as operações de resfriamento e secagem.

1.5.2 Defumação a Quente

Na defumação a quente o produto é exposto a temperaturas acima de 50°C, ocorrendo desnaturação enzimática e uma breve estabilização. Isso resultará em um produto com tempo maior de preservação, podendo ser consumido sem nenhum

cozimento prévio. Neste processo utiliza-se normalmente uma salga úmida e menor tempo de imersão.

A defumação a quente deve ser realizada em três fases: a primeira com uma temperatura de 60°C, por 1 hora e 30 minutos, usando-se geralmente o carvão como fonte de calor; na segunda com temperaturas de 100°C, por 1 hora e 30 minutos, quando se pode adicionar a fonte de calor, folhas secas de eucalipto, goiabeira e outras árvores frutíferas e um pouco de serragem não resinosa; a terceira fase deve ser iniciada quando a carne estiver com a coloração próxima a de cura. No início dessa terceira fase, o defumador deve ser limpo e receber nova carga de serragem fina e o produto fica exposto à fumaça por tempo suficiente para adquirir a cor desejada do produto 2 a 16 horas.

O período de exposição do produto a fumaça na estufa varia conforme o tipo, peso, teor de umidade entre outros fatores com a temperatura que varia de 65 a 120°C.

1.6 Trocadores de Calor

Os trocadores de calor (TCO) tornaram-se equipamento de grande importância econômica e de processo nas indústrias na transmissão de calor, freqüentemente estamos interessados em transferir energia térmica de um sistema para a vizinhança ou entre partes de um sistema. Podemos assim classificar os trocadores de calor em diversas maneiras: quanto ao modo de troca de calor, quanto ao número de fluidos, tipo de construção, etc. De uma forma mais básica, duas classificações são as de maior interesse: aquela que divide os trocadores entre aqueles que utilizam o contato direto e

os de contato indireto e uma outra que os classifica em função das suas características de construção (PERRY et al, 1986).

1.6.1 Trocadores de Calor de Contato Indireto

Em um trocador de calor de contato indireto, os fluidos permanecem separados e o calor é transferido continuamente através de uma parede, pela qual se realiza a transferência de calor.

Os trocadores de contato indireto classificam-se em: trocadores de transferência direta e de armazenamento (PERRY et al, 1986).

1.6.2 Trocadores de Calor de Contato Direto

Neste tipo, há um fluxo contínuo de calor do fluido quente ao frio através de uma parede que os separa. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separados. Este trocador é designado como um trocador de calor de recuperação, ou simplesmente como um recuperador.

Alguns exemplos de trocadores de transferência direta são trocadores de: placa, tubular, e de superfície estendida. Os recuperadores constituem uma vasta maioria de todos os trocadores de calor (PERRY et al, 1986).

1.6.2.1 Trocadores Tubulares

São geralmente construídos com tubos circulares, existindo uma variação de acordo com o fabricante. São usados para aplicações de transferência de calor líquido/líquido (uma ou duas fases).

Eles trabalham de maneira ótima em aplicações de transferência de calor gás/gás, principalmente quando pressões e/ou temperaturas operacionais são muito altas onde nenhum outro tipo de trocador pode operar. Estes trocadores podem ser classificados como carcaça e tubo, tubo duplo e de espiral (PERRY et al, 1986).

1.6.2.2 Trocadores de Carcaça e Tubo

Este trocador é construído com tubos e uma carcaça. Um dos fluidos passa por dentro dos tubos, e o outro pelo espaço entre a carcaça e os tubos.

Existe uma variedade de construções diferentes destes trocadores dependendo da transferência de calor desejada, do desempenho, da queda de pressão e dos métodos usados para reduzir tensões térmicas, prevenir vazamentos, facilidade de limpeza, para conter pressões operacionais e temperaturas altas, controlar corrosão, etc.

Trocadores de carcaça e tubo são os mais usados para quaisquer capacidades e condições operacionais, tais como pressões e temperaturas altas, atmosferas altamente corrosivas, fluidos muito viscosos, misturas de multicomponentes, etc. Estes são trocadores muito versáteis, feitos de uma variedade de materiais e tamanhos e são extensivamente usados em processos industriais (PERRY et al, 1986).

1.6.2.3. Trocador de Calor em Serpentina

Este tipo de trocador consiste em uma ou mais serpentinas (de tubos circulares) ordenadas em uma carcaça. A transferência de calor associada a um tubo espiral é mais alta que para um tubo duplo. Além disto, uma grande superfície pode ser acomodada em um determinado espaço utilizando as serpentinas. As expansões térmicas não são nenhum problema, mas a limpeza é muito difícil (PERRY et al, 1986).

1.7 Compostos Orgânicos Voláteis (VOC's)

Levando-se em conta a demanda global pela quantidade e qualidade dos produtos, segurança dos trabalhadores, aumento da produtividade e redução nos custos operacionais, como conseqüência aumentou-se, consideravelmente a emissão de gases ao ambiente sem o devido tratamento com conseqüente aumento de poluentes entre eles, os chamados VOC's (Volatic Organic Composts), que compõem-se de, dioxinas, furanos, benzeno, tolueno entre outros. Estes extremamente poluentes ou até cancerígenos de difícil análise e identificação.

Dentre as técnicas utilizadas para a determinação destes compostos, destaca-se a "purge and trap" que utiliza um processo dinâmico pelo qual os compostos são retirados da amostra através do borbulhamento de um gás inerte, para uma fase líquida, então são passados em uma coluna cromatográfica, em seguida analisados por CG (Cromatografia Gasosa Simples) ou acoplada à GC/MS (Espectrometria de Massas) (MENDES, 1999).

Nos processos de combustão de biomassa decomposta ou carvão, geralmente forma-se os VOC's, entre os quais destacam-se as dioxinas que são um grupo químico

que consiste em 75 isômeros (PCDD's e PCDF's) que são os VOC's mais perigosos, pois só foram detectados a partir da década de 80 quando os métodos analíticos mostraram-se o suficiente sensíveis detecta-los (CHAGGER et al, 1998).

Esforços para introduzir novos conceitos de preparação de amostras, são freqüentemente ignorados por profissionais, que não estão aclimatados com a utilização de métodos tradicionalmente aprovados (ZHANG et al 1994).

A etapa crucial das técnicas analíticas de determinação de compostos orgânicos é a de coleta de amostra, nesta esta a principal fonte de erros analíticos, visto que a graves problemas inerentes a amostragem, como contaminações, vazamentos e outros se mostram muito comuns (MENDES, 1999).

Outro método bastante empregado é o "headspace", termo utilizado para descrever a amostragem estática da fase de vapor em equilíbrio com a amostra aquosa. A análise é normalmente executada preenchendo-se um recipiente com a amostra, e ao se atingir o equilíbrio térmico, a matéria orgânica que foi transferida para a fase gasosa é então analisada por CG ou CG/MS (MIEURE, 1980).

Uma vez realizada a etapa de amostragem, a amostra pode ser diretamente conduzida ao CG ou CG/MS para análise se gasosa ou se líquidas, tratada para obter-se fases gasosas.

Técnicas de extração e pré-concentração tais como EGL (Extração Gás-Líquido), AD (Adsorvente Sólido), DE (Destilação) e utilização de MSP (Membrana Semipermeável) são também utilizadas para a determinação de VOC's (MIEURE, 1980).

1.8 Objetivos

1.8.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como por objetivo a preposição e dimensionamento de um sistema de tratamento de gases de exaustão, com posterior tratamento dos mesmos com sistemas que permitam sua completa ou quase completa eliminação.

1.8.2 Objetivos Específicos

- 1) Estudar a viabilidade de se tratar gases de exaustão de defumadores com sistema de baixo custo e eficientes que venham a desempenhar fator decisivo no controle de emissões gasosas nocivas ao meio ambiente.
- 2) Avaliar a concentração de poluentes em gases de exaustão tais como $CxHy$, CO , entre outros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Definição de Odor

Odor define-se como a sensação resultante da estimulação do órgão olfativo. A experiência de percepção de um cheiro é denominada odor (WEF, 1995).

Os odores são definidos como resultantes das sensações de moléculas químicas de naturezas diversas, interagidas com o sistema olfativo causando impulsos que são transmitidos ao cérebro (PROKOP,1996).

Segundo ZHANG et al, (2002) odor é a sensação que ocorre quando uma mistura de odorantes estimula os receptores na cavidade nasal.

2.2 Percepção do Odor

O sistema olfativo que inclui no nariz o órgão do sentido, o epitélio olfativo é o órgão que primeiro sente o odor. Ainda com MORTON (2002), o epitélio olfativo possui aproximadamente um milhão de células receptoras. Estas células reagem com as propriedades físico/químicas e com as características moleculares das substâncias odorantes para produzir o estímulo que é reconhecido como odor.

FRECHEN (1994 apud GOSTELOW et al. 2001), descrevem o processo de percepção do odor em dois momentos: a recepção fisiológica e a interpretação psicológica assim, o resultado final é a impressão mental do odor.

Diversos fatores externos influenciam a percepção de um odor. O principal, entre eles é a variabilidade no sentido do cheiro entre diferentes observadores (GOSTELOW e PARSONS, 2000).

Para STUETZ et. al. (2001), as respostas humanas para um odor são altamente subjetivas, e as diferenças individuais fazem com que cada pessoa perceba diferentemente odores em diferentes concentrações.

Os tipos de respostas humanas que avaliam o odor dependem da propriedade sensorial particular medida. Estas propriedades incluem intensidade, limite de percepção, caráter e nível de agrado. O efeito combinado destas propriedades é relacionado com o aborrecimento que pode ser causado por um odor, segundo WEF (1995).

Segundo GODINOT (1994), odores estão ligados às emoções, eles reportam as pessoas ao tempo. Para o autor, a avaliação através de análises laboratoriais é importante, mas são satisfatórias se completadas com testes de avaliação humana.

A Tabela 02 mostra alguns grupos funcionais com seus respectivos compostos, bem como a descrição dos odores para cada composto e seu respectivo limiar do odor.

Tabela 02 - Limiar Olfativo Para Uma Escala de Odores.

Grupos Funcionais	Compostos	Descrição dos Odores	Limite de Percepção Odorante (ppb)
Sulfurosos	Sulfeto de Hidrogênio	Ovo Podre	0,50
	Metil Mercaptanas Etil Mercaptanas	Repolho Decomposto, Alho.	0,0014-18,00 0,02
Sulfurosos	Dióxido de Enxofre	Repolho Decomposto	0,12-0,40
	Dimetil Sulfeto	Pungente, ácido.	
	Dimeti dissulfeto Tiocresol	Vegetais Decompostos Putrefação Gambá, Rançoso.	0,30-11,00

Continuação da Tabela 02:

Nitrogenados	Amônia	Pungente	130,00-15300
	Metilamina	Cheiro de Peixe Podre	0,90-53,00
	Eilamina	Amoniacal	2400,00
	Dimetilamina	Peixe	23,00-80,00
	Piridina	Desagradável, Irritante	
Escatole	Escatole	Fecal, Repulsivo	0,002-0,06
	Índole	Fecal, Repulsivo	1,40
Ácidos	Acético	Vinagre	16,00
	Butírico	Rançoso	0,09-20,00
	Valérico	Suor	1,8-2630,00
Aldeidos e Cetonas	Formaldeido	Sulfocante	370,00
	Acetaldeido	Fruta, maçã	0,005-2,00
	Butiraldeido	Rançoso, Suado	4,60
	Isobutiraldeido	Fruta	4,70-7,00
	Valeraldeido	Fruta, maçã	0,70-9,00
	Acetona	Fruta, Cheiroso	4580,00
	Butanona	Maça Verde	270,00

Fonte: Vincent e Hobson, 1998, apud Stuetz et al, 2001.

2.3 Amostragens dos Compostos Odorantes

Quando se escolhe uma técnica de amostragem de amostras gasosas ou de atmosfera dependem de (LE CLOIREC et al, 1991; BELLI FILHO e DE MELO LISBOA,1998):

- Da integridade do gás ou dos vapores coletados;
- Da adequação do procedimento de amostragem em relação à técnica de análise;
- Da estabilidade dos gases ou dos vapores que devem ser armazenados sem perda pelas paredes do sistema de coleta;
- Controle contra contaminação.

A amostragem adequada é essencial para a análise dos compostos odorantes. A escolha depende, principalmente, das características das amostras a serem analisadas.

Sendo que, existem, três tipos principais de amostragens:

2.3.1 Amostragens Sem Concentração dos Compostos Odorantes

De acordo com JIANG, (1996, apud BELLI FILHO e DE MELO LISBOA, 1998), estas técnicas são aconselháveis quando se tratar de análise olfatométrica.

Se a concentração do composto odorante é grande, uma análise direta pertinente, sem a necessidade de concentrarem-se amostras. Este tipo de amostragem é utilizado, para coletar os compostos mal odorantes, em sacos plásticos, ampolas em vidro e contêiner metálicos (LE CLOIREC et al., 1991).

2.3.2 Amostragem por Absorção

Nesta amostragem, por absorção, compostos ou seus grupos odorantes são absorvidos em soluções específicas ou precipitados para análise a posterior.

As soluções absorventes são escolhidas em função da natureza do composto, podendo ser efetuado conforme a Tabela 03.

Tabela 03 - Soluções Absorventes Para Compostos Odorantes.

Gases Odorantes	Soluções	Adsorventes
SO ₂	H ₂ O ₂	

Continuação da Tabela 03:

NH ₃	HCl 0,1N OU H ₃ BO ₃	0,5%
Aminas	HCl	0,1N
Aldeídos e Cetonas	NaHSO ₃	4‰
H ₂ S e Mercaptanas	HgCl ₂	4‰

Fonte: Le Cloirec et al, 1991; Belli Filho e De Melo Lisboa, 1998.

2.3.3 Amostragem por Adsorção

Esta amostragem é utilizada para que compostos odorantes com pequena concentração na atmosfera sejam concentrados. Consiste, basicamente em passar o volume pré-determinado de um gás através de um volume contendo substâncias adsorventes. Este volume, de gás, é uma função da concentração do poluente no gás (LE CLOIREC et al., 1991).

Adsorventes utilizados são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 - Adsorventes e Suas Utilizações.

Compostos ou Grupos Odorantes	Adsorventes
Ácidos Orgânicos	Carbotrap, Xad, Tenax
Hidrocarbonetos	Carvão Ativado
Mercaptanas e Enxofres Orgânicos Voláteis	Carvão Ativado ou Tenax
Amônia	Na ₂ CO ₃ 5% Sobre Chromosorb
Amônias	Sílica-gel Ativada
Álcoois	Sílica-gel Ativada
Gás de Escapamento de Veículos	Sílica-gel

Fonte: Le Cloirec et al, 1991.

2.4 Métodos de Análises dos Compostos Odorantes

De acordo com FERNANDEZ (1997), determinar um odor é medir uma percepção. Segundo LÊ CLOIREC et al. (1991), existem, principalmente, duas famílias de métodos para medir os odores: a primeira é constituída pelos métodos físico-químicos, que permitem identificar e quantificar, com o auxílio de instrumentos analíticos os diferentes compostos presentes no ar odorante; e a segunda é a família dos métodos psicofísicos, que utilizam como instrumento para avaliação dos odores o nariz humano, este é o domínio da olfatometria ou cientificamente medidas físico-químicas.

2.4.1 Medidas Físico-Químicas

Ainda segundo FERNANDEZ (1997), para analisar com precisão uma concentração de um composto odorante é essencial poder fazer uma determinação quantitativa baseada em uma reação química ou em propriedades físico-químicas dos compostos estudados.

Esta análise objetiva poder identificar e quantificar moléculas presentes em um gás ou no ar relacionadas ao odor.

Certas situações uma pré-concentração torna-se necessária. A análise pode tornar-se complexa, o efluente gasoso contenha vários compostos com propriedades diferentes, tais como, massa molecular, função química, concentrações variáveis, diferentes níveis de odor e diferentes volatilidades (BELLI FILHO e DE MELO LISBOA, 1998).

2.5 Processos Biológicos de Tratamento de Gases Odorantes

São conhecidas diversas tecnologias utilizadas no tratamento dos odores, utilizando métodos físicos e químicos como oxidação térmica, lavadores químicos, ozonização e adsorção por carvão ativado e, também, outros métodos, biológicos, como biofiltração, biolavadores e biopercolação. Sendo a biofiltração, o método mais utilizado, atualmente, com grande descrição na literatura e aplicação nas indústrias.

Técnicas físico-químicas removem com eficiência, os compostos odorantes da corrente gasosa. Dentro de certas condições, a necessidade de adição de produtos químicos diariamente e da substituição do composto adsorvente resulta em alto custo de operação, quando comparados com técnicas de tratamento biológico (POMEROY, 1982 apud MATOS, 2001).

O tratamento biológico de gases possibilita a degradação dos compostos químicos assim, os compostos odorantes e/ou tóxicos são transformados em compostos inodoros e atóxicos. Os microrganismos utilizam os compostos orgânicos como fonte de carbono para a biosíntese, e de energia para a degradação do substrato (LE CLOIREC et al., 1991).

De acordo com BELLI FILHO et all. (2001), os processos biológicos de tratamento de gases consistem na transferência de compostos voláteis, com odores, para uma fase líquida e, em seguida, na degradação, por meio de microrganismos, com a ressalva da aplicação a produtos biodegradáveis e relativamente solúveis em soluções aquosas.

A reação de degradação dos compostos pode ser escrita da seguinte maneira (ANIT e ARTUZ 2004).



2.5.1 Degradação do substrato.

Para VAN LANGENHOVE e DE HEYDER (2001), a biodegradação é o conjunto de reações mediadas enzimaticamente pelas células microbiais que podem contra-balancear perdas da atividade causada pela lavagem e decomposição.

Segundo BOHN (1993), dependendo do composto as reações de degradação biológica podem ser, lentas ou rápidas. A biodegradabilidade de um composto depende das funções químicas que o constituem.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Energia e Meio-Ambiente – LEMA do Departamento de Engenharia Química e Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e em uma indústria local.

Para este trabalho foram utilizados o programa de engenharia AutoCad versões 2000 e 2004 em um computador Intel Celeron 1.8GHz, com 30Gb (Giga-bytes) de memória ROM (memória permanente) e 256Mb (Mega-bytes) de memória RAM (memória virtual), para os gráficos foram utilizado o programa Microsoft Excel 2000 e textos Microsoft Word 2000. A análise de gases foi realizada com o analisador de gases portátil Greenline MK2. A vazão foi determinada com ajuda de tubo de Pitot de 35 polegadas acoplado com manômetros de coluna de água, previamente calibrados e um anemômetro digital da marca Testo 425 de faixa de 0 a 20 m/s com exatidão de +/- 5 %. A temperatura foi medida com um termômetro digital a laser Raytek de faixa de medida de 0 a 200°C, com exatidão de $\pm 5\%$. O pH foi medido com o pHmetro Sensoglass modelo SP-910T equipado com eletrodo de vidro combinado. A determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), foram realizados de acordo com a norma de análise de efluentes da SETESB (órgão de Controle Ambiental do Estado de São Paulo), o mesmo para óleos e graxas.

As determinações de tipo de gases foram realizadas através de análise cromatográfica, para determinação dos gases presentes antes e depois do biofiltro e no condensado do trocador de calor do sistema piloto.

O método de solução de problemas utilizado está descrito no fluxograma abaixo Figura 06, onde: TC - trocador de calor, BF – biofiltro, LG – lavador de gases.

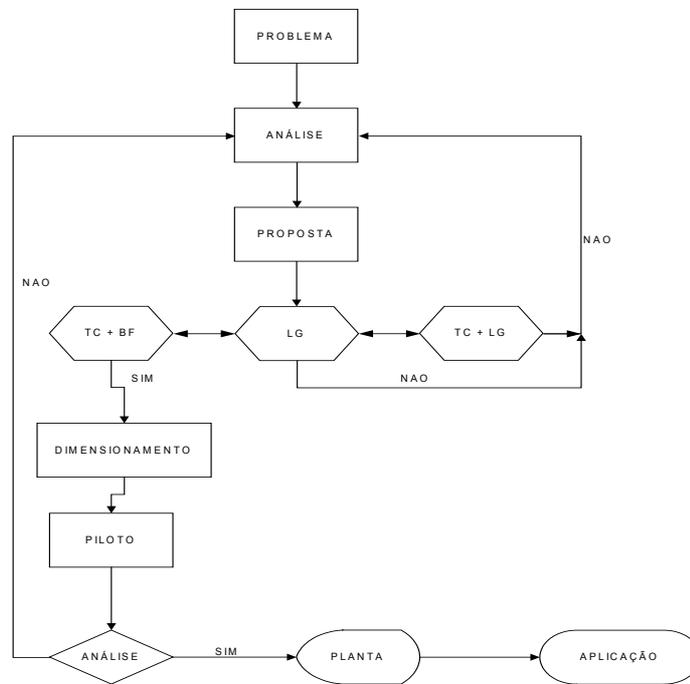


Figura 06: Fluxograma de Resolução de Problemas.

O sistema de defumadores, compõem-se de 18 (dezoito) defumadores, posicionados em duas séries de 9 (nove) defumadores, cada série possuem conjunto de exaustão independente, composto de tubulação, exaustor e chaminé.

Foi realizada a análise de campo na unidade, sendo feito, inicialmente, um levantamento do layout do sistema de defumação desta unidade, Figura 07:

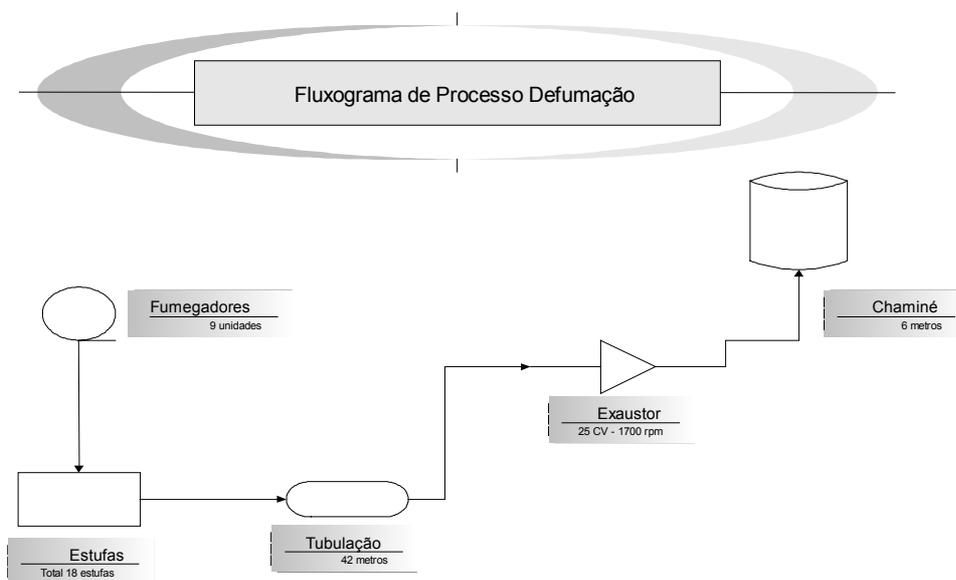


Figura 07: Fluxograma Defumadores.

Após, procedeu-se uma análise minuciosa dos componentes do sistema estudado, com o levantamento de dados referentes à exatuação, composição e temperatura dos gases que saem dos defumadores.

Estes gases foram medidos através do analisador de gases, levando-se em conta a temperatura e vazão estas previamente determinadas. A amostragem dos gases foi realizada nos dutos do projeto piloto, na entrada do exaustor, entrada e saída do trocador de calor e entrada e saída do biofiltro conforme norma NBR 10702 da ABNT.

As análises de cromatografia e de espectrometria de massa foram realizadas na Central de Análises Químicas, do Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Química da UFSC, com um cromatógrafo em fase gasosa modelo SHIMADZU GC 17A através de uma coluna DB1 de 30m/0,25mm/0,25mm, com Nitrogênio como gás de arraste e rampa de aquecimento até 300°C por 60 minutos.

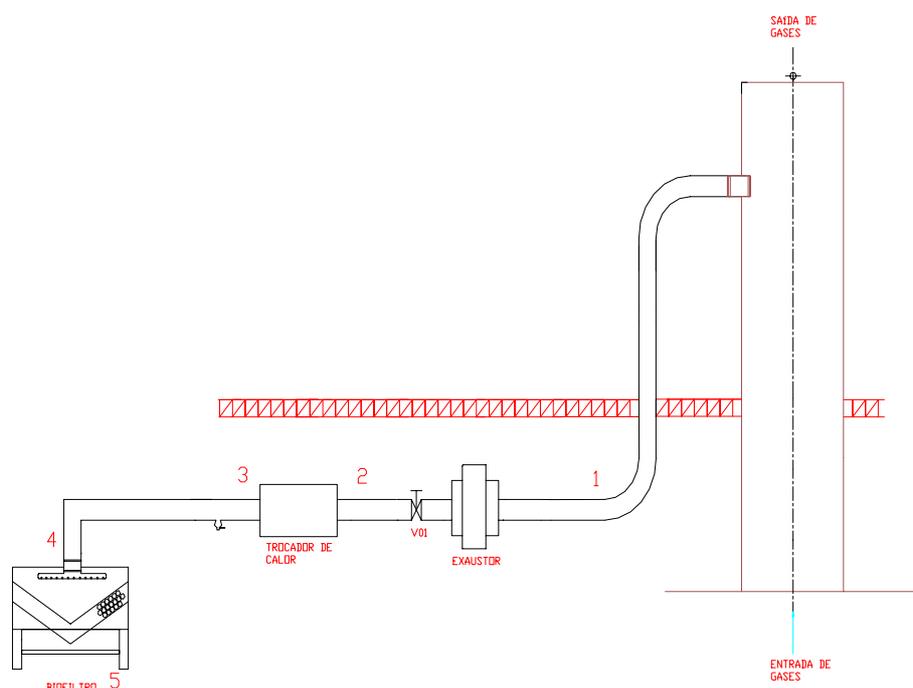


Figura 08: Pontos de Coleta de Dados: Sistema de Tratamento de Gases dos Defumadores.

O sistema de exaustão foi operado no modo descontínuo, ora com 9 (nove) defumadores em operação, ora com apenas 2 (dois), de acordo com pedidos de produção e desta maneira o sistema opera de forma não intermitente. São defumados vários tipos de produtos, tais como paio, copa, entre outros produtos.

Após a coleta dos dados, procedeu-se o estudo de um sistema de tratamento de gases eficiente. Este se compõem de equipamentos de controle de temperatura (trocador de calor), de odores (biofiltro), e que foram testados em uma unidade piloto (Anexo 01,02,03,04,05 e 06).

Desta feita, procederam-se as análises, utilizando-se o analisador de gases Greenline II, previamente aferido, efetuando-se uma série de 29 amostras, para um

período de 6 dias com cerca de 12 horas por dia, com coleta de 2 em 2 horas, analisando-se CO (monóxido de carbono), O₂ (oxigênio), CO₂ (Dióxido de Carbono), Tg (Temperatura do Gás), Tamb (Temperatura Ambiente), CxHy (Hidrocarbonetos), NO (Monóxido de Nitrogênio), NO₂ (Dióxido de Nitrogênio) e SO₂ (Dióxido de Enxofre), O analisador de gases utiliza sensores apresentados na Tabela 05, em 5 (cinco) pontos de análise, no sistema piloto, antes do exaustor (5), antes do trocador (4), depois do trocador (3), antes do biofiltro (2) e depois do biofiltro (1), apresentados na Figura 08.

Tabela 05 – Medições e Sensores Realizados Pelo Analisador de Gases.

Parâmetro	Sensor
CO (ppm)	Eletroquímico
O ₂ (%)	Eletroquímico
CO (ppm)	Eletroquímico
NO e NO ₂ (ppm)	Eletroquímico
SO ₂ (ppm)	Eletroquímico
CxHy (%)	Eletroquímico
CO ₂ (%)	Calculo através do O ₂

Fonte: Ribeiro, A.P.R.A., 2002.

Dentre as diversas configurações possíveis do biofiltro foi estudado um sistema de fluxo descendente, com leito granulado com material mais denso que a água, cavaco com 50% de umidade, por ser este descrito na literatura como material de boa porosidade e bom rendimento na retenção de partículas que causam mau cheiro.

O desempenho do conjunto formado pelo trocador de calor seguido pelo biofiltro foi avaliado em uma unidade em escala piloto alimentado com gases de exaustão de defumadores auxiliado por um exaustor posicionado antes do sistema trocador de calor-biofiltro que puxa os gases da entrada da chaminé de exaustão dos defumadores.

O gás é conduzido através de um tubo de PVC com 10,16 centímetros de diâmetro e comprimento total de 21 metros, até a entrada do biofiltro, o trocador de calor tem 100 centímetros de comprimento e 10,16 centímetros de diâmetro no tubo interno e 20,32 centímetros de diâmetro no tubo externo, com água a 25°C no tubo externo e gases de exaustão no tubo interno a, no máximo 80°C, de aço inox. O biofiltro foi construído em aço inox, com as dimensões de 100 x 60 x 86 centímetros com detalhes mostrados no anexo 02.

Na zona de formação do biofilme, a espessura do leito de cavacos é de 30 centímetros com iguais dimensões do biofiltro, com o objetivo de submeter o gás à filtração física.

O experimento durou cerca de um mês, com algumas interrupções para manutenção dos equipamentos componentes da instalação piloto.

Com estes dados, procedeu-se a elaboração de um projeto em larga escala a ser implantado em outras unidades da indústria.

4 RESULTADOS

Para a execução deste projeto realizou-se, inicialmente, coleta e análise dos gases de exaustão dos defumadores, através do analisador de gases e do termômetro digital, com a determinação da vazão através do tubo de Pitot, obtendo os resultados são mostrados na Tabela 06, na qual, o valor de 20,80% para oxigênio é devido ao ar insuflado no interior das estufas.

Tabela 06 – Análise de Gases de Exaustão.

Parâmetro	Dados
Vazão (m ³ /h)	1330,00
Oxigênio (%)	20,80
Monóxido de Carbono (ppm)	258,00
Óxido e Dióxido de Nitrogênio (ppm)	0,00
Dióxido de Enxofre (ppm)	16,00
Hidrocarbonetos (%)	16,00
Temperatura (°C)	80,00*

* valores de pico, *in loco*.

O trocador de calor foi dimensionado, levando-se em conta a vazão, a temperatura do gás e da água de alimentação e características da tubulação de passagem dos fluidos (Tabela 07) através de programa da Microsoft Office Excel 2000:

Tabela 07 – Dados de Dimensionamento do Trocador de Calor.

Dimensionamento do Trocador de Calor		
<u>Vazão da Água</u>	2,00	Kg/s
<u>Vazão de Gás</u>	0,0817	Kg/s
<u>Comp. De Tubo</u>	1,50	M
<u>Diâmetro int (1)</u>	0,0508	M
<u>Diâmetro ext (1)</u>	0,0518	M
<u>Diâmetro int (2)</u>	0,10	M
<u>Reynolds Água</u>	2417527,076	
<u>Nussel Água</u>	1215,61481	
<u>Coefficiente de Convecção da Água</u>	719,0792329	W/m ² .K
<u>Reynoldes Gás</u>	153883,0864	
<u>Nussel Gás</u>	181,0344099	
<u>Coef. de Conv. Gás</u>	95,06053957	W/m ² .K
<u>Resistência Gás</u>	0,005386887	K/W
<u>Resistência Água</u>	0,000726152	K/W
<u>Espessura Tubos</u>	0,0005	M
<u>Resistência do Alumínio</u>	6,59551x10 ⁻⁷	K/W
<u>Resistência total</u>	0,006113698	K/W
<u>Coef. Global de Transf.</u>	84,57588006	W/m ² .K
<u>Calor Trocado</u>	1126,792722	J/s
<u>Força Motriz</u>	55,7818179	K
<u>Área de Troca</u>	0,23883878	m ²
<u>Delta Tml</u>	55,7818179	K
<u>DeltaT1</u>	40,00	K
<u>DeltaT2</u>	15,00	K
<u>Temperatura da Quente Entrada</u>	80,00	K
<u>Temperatura da Quente Saída</u>	40,00	K

Continuação da Tabela 07:

<u>Temperatura da Frio Entrada</u>	25,00	K
<u>Temperatura da Frio Saída</u>	40,00	K
<u>Massa</u>	0,02	Kg/s
<u>Capacidade Calorífica</u>	1010,00	J/Kg.K

Desta forma, com o trocador dimensionado, procedeu-se a confecção do biofiltro, com detalhes no anexo 02, e cálculos do mesmo na Tabela 08, na qual fica explicitado que os valores de perda de carga, usando-se a fórmula de BABCOCK (PERRY, 1986), para perda de carga em sistema de circulação de gases através de programa da Microsoft Office Excel 2000.

Tabela 08 – Dados de Perda de Carga no Biofiltro.

Perda de Carga Biofiltro		
Reynolds	22319,01	
Massa Específica	1000,00	Kg/m ³
Velocidade	0,00092	m/s
Diâmetro	0,0508	m
Viscosidade Dinâmica	$2,094 \times 10^{-6}$	Kg/m.s
Comprimento Equivalente	203,20	m
Fator de Fanning	0,009	
Perda de carga –1 (Atrito)	$3,67 \times 10^{-8}$	Pa
Rugosidade (PVC)	0,002	
Perda de carga –2 (Tubulações)	3,20	m
Gravidade	9,81	m/s

Continuação da Tabela 08:

Comprimento Tubulação Linear	200,00	m
Vazão	0,0036	m ³ /s
Biofiltro (Perda de Carga)	3,67x10 ⁻⁸	Pa
Comprimento Equivalente Biofiltro	10	m
Diâmetro Poros	0,001	m
Perda de Carga – 3*(Soma da 1 e 2)	7,34x10 ⁻⁸	Pa

*Formula de Perda de Carga segundo BABCOCK.

Assim, tendo em vista o baixo valor de perda de carga – 3 que é a soma das perdas de carga 1 e 2, procedeu-se uma pesquisa para a determinação o volume de cavaco para o biofiltro, conforme literatura (RIBEIRO, A.P.R.A. 2002), a configuração e volume de cavaco, para as dimensões propostas são descritos na Tabela 09, a qual esta relacionada com as dimensões determinadas na Tabela 08, sendo que o material de filtragem é de cavaco a 50% de umidade.

Tabela 09 – Calculo de Volume do Biofiltro.

Material	Valor	Unidade
Número de furos	23,00 (7,00 mm)	
Material	Aço Inox	
Volume do Material	0,18	M ³
Válvula	Globo	
Comprimento	1,00	M
Altura	0,56	M
Largura	0,60	M

Desta forma, foi dimensionado o sistema de tratamento de gases proposto, descrito no “Data Sheet” do processo proposto, abaixo.

0	01/05/2.004	P/ aprovação	Dpto. Engenharia
Ver.	P/ análise	Descrição	Emitido

Especificações de Projeto

Local: Brasil
Serviço: Especificações p/ Análise e Teste
Objeto: Sistema de Emissão de Gases
Serviço Necessário: Tratamento de Gases

Performance exigida

Tipo de tratamento	Eliminar odores
Tipo de fluido entrando	Gases de defumação
Tipo de fluido refrigerante	Água
Vazão de fluido quente (Kg/s)	0,0817*
Vazão de fluido frio (kg/s)	2,00
Temperatura da entrada fluido (°C)	80,00
Temperatura de saída do fluido (°C)	40,00*
Temperatura da entrada refrigerante (°C)	25,00
Temperatura da saída refrigerante (°C)	42,00*
Pressão de operação (atm)	1,00
Massa Específica de entrada (Kg/m ³)	0,098
Quantidade de calor trocada (Kcal/s)	1126,79
Isolamento usado	Nenhum
Material usado	PVC/Aço
Potência do Exaustor - motor (CV)	3,00
Material para biofiltro	Cavaco 50% Umidade
Tipo de válvulas	Globo
Diâmetro da tubulação de coleta (mm)	50,80
Tempo de residência no resfriador (s)	78,80*
Comprimento de tubulação (m)	21,00

Notas:

- A) Confirmar o fabricante cálculos.
- B) Com relação aos valores máximos e mínimos não exceder valores de especificação do fabricante.
- C) Garantia conta corrosão e materiais.
- D) * Estimada

Com os dados teóricos, procedeu-se a elaboração de um sistema de tratamento de gases de exaustão piloto (SSEP). Este sistema foi concebido de acordo com a necessidade de se eliminar ou minimizar o máximo possível o lançamento de poluentes ao ambiente.

Este sistema é composto de um exaustor (Figura 12) de 3 CV (Cavalo Vapor) e 1500 rotações por minuto, uma válvula globo, um trocador de calor tubo carcaça de 1,5 metros, com tubo interno de 4 polegadas (101,6 milímetros) e externo de 8 polegadas (203,2 milímetros) e um biofiltro de 0,18 metros cúbicos de área útil de filtragem, todos os equipamentos foram conectados com tubos de PVC flexíveis de 4 polegadas com 20 metros de comprimento, Figuras 09.

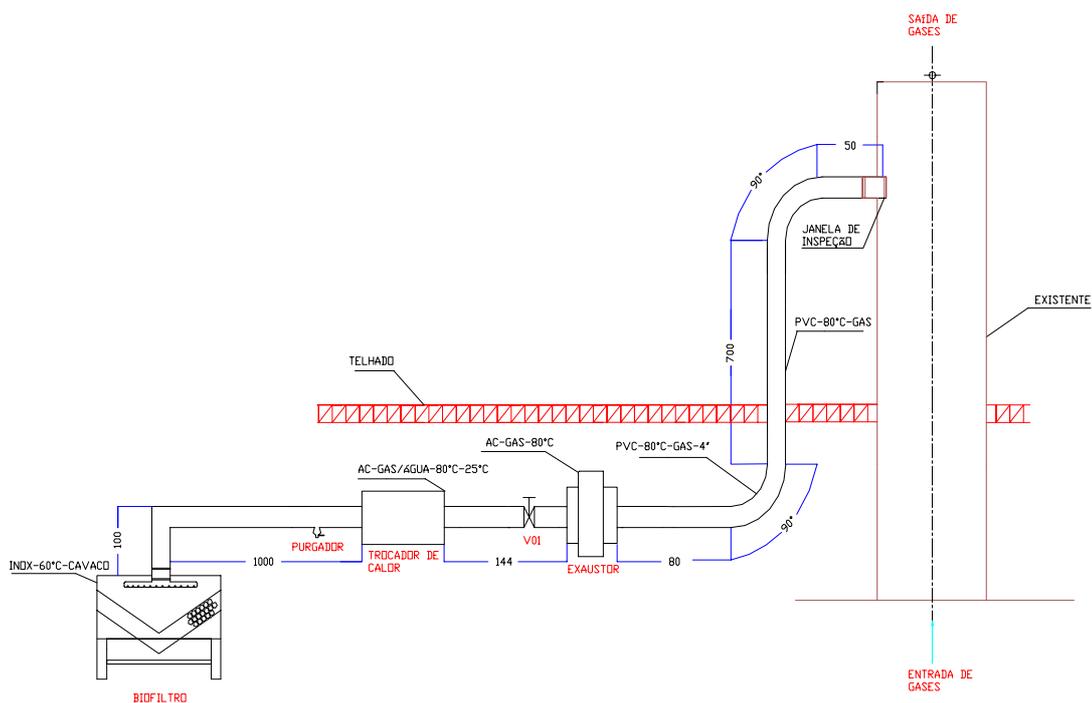


Figura 09: Planta do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

O sistema projetado foi instalado ao lado do sistema de exaustão antigo (escala industrial), o qual está localizado na parte superior de uma série de 18 (dezoito) estufas para defumação (Figura 10), sendo que para o ensaio usou-se uma série de 9 (nove) estufas, todas acopladas ao sistema principal de exaustão. Também ao lado, estão localizados os fumegadores (equipamentos para produção de fumaça através de cavaco úmido) em número de 4 (quatro).

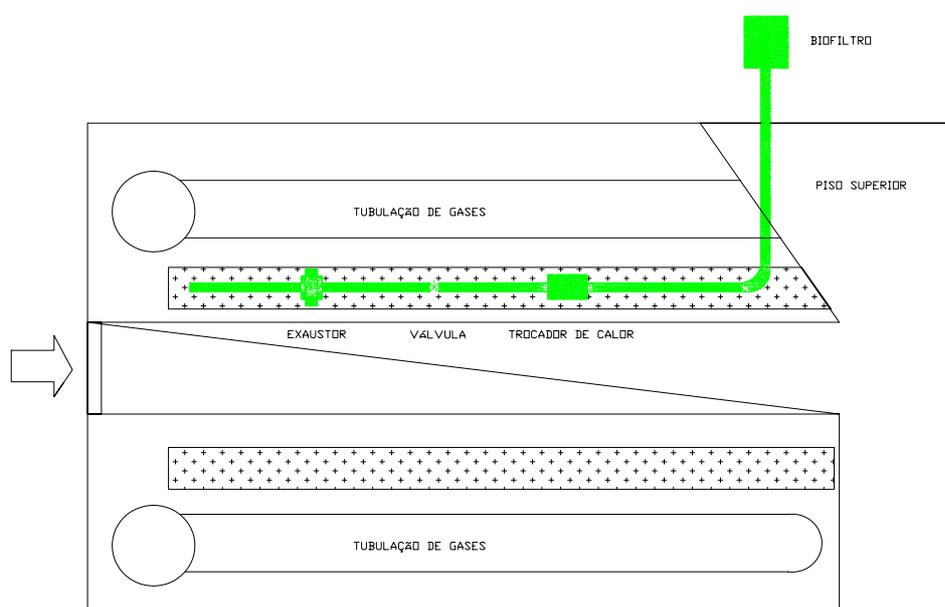


Figura 10: Planta Situação Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

O posicionamento do sistema de tratamento de gases de defumação, seguiu uma seqüência, objetivando-se o melhor aproveitamento do espaço disponível e a configuração que atende esses requisitos, que seriam de linearidade (menor perda de carga e menor obstrução). O objetivo da válvula é a de permitir um controle da vazão

ora diminuindo-a, com aumento da perda de carga ora com menor perda de carga possível. Esta válvula é um tipo globo com mesmo diâmetro da tubulação de PVC, ou seja, 4 polegadas (101,6 milímetros).

O sistema proposto foi dimensionado de acordo com os dados recolhido no período de coleta de dados, os quais permitiram a elaboração de um sistema piloto de

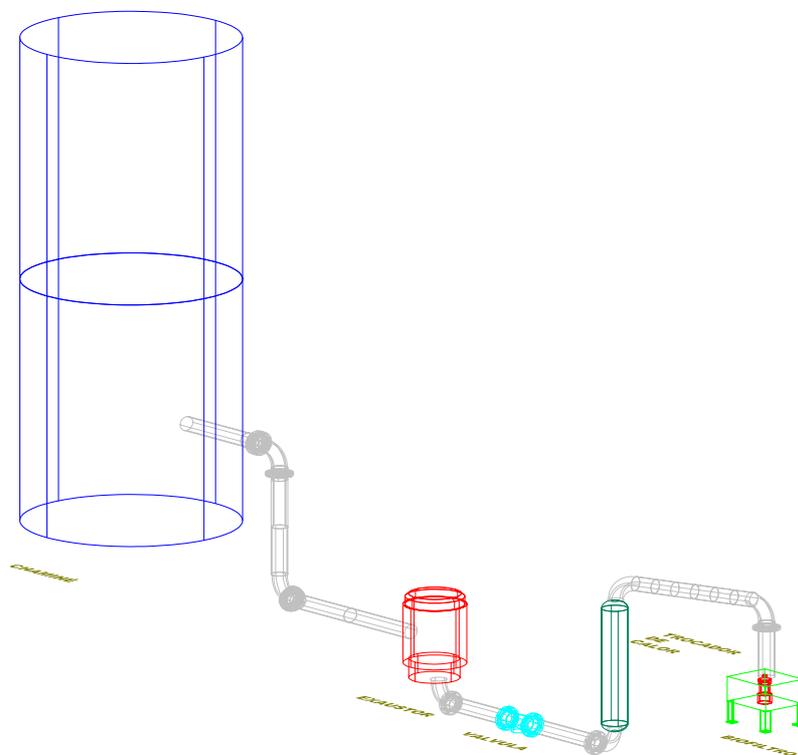


Figura 11: Diagrama Tridimensional do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

tratamento de gases de exaustão. A Figura 11, mostra o diagrama em 3D (três dimensões) do sistema piloto proposto, assinalando os componentes: um exaustor, uma

válvula gaveta, um trocador de calor tubular e um biofiltro com leito de cavaco a 50% de umidade, este meramente ilustrativo.

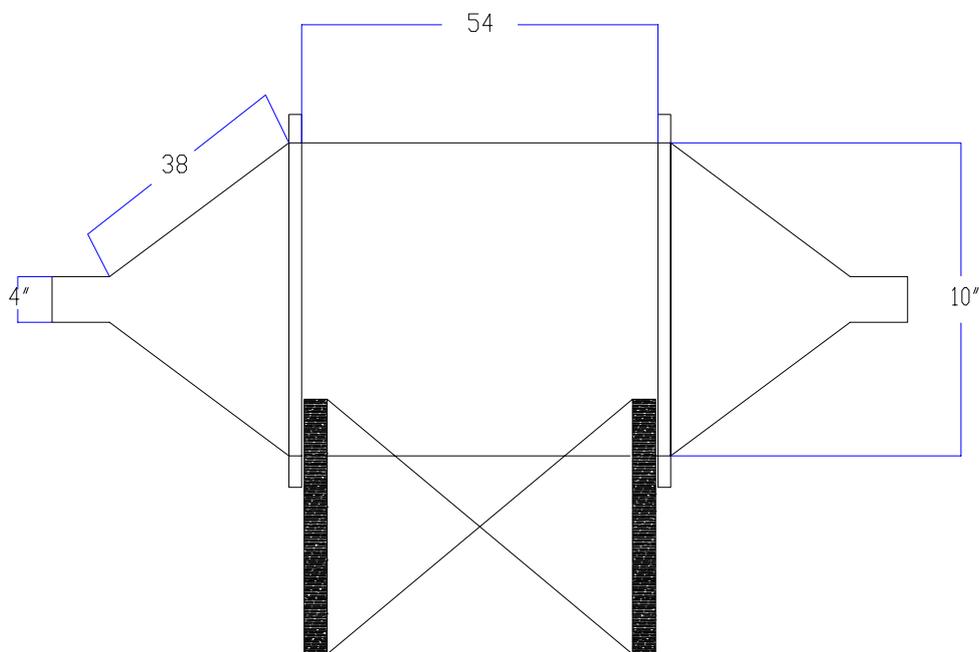


Figura 12: Diagrama Exaustor do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

O exaustor (Figura 12) possui a função de succionar os gases a partir da saída de inspeção, se necessário, a válvula globo serve para dar um controle de fluxo que entra no trocador de calor tubular (Figura 13). Este tem a função de diminuir a temperatura dos gases e também promover a condensação dos gases de exaustão, assim diminuindo o teor de compostos solúveis presentes nos gases bem como alguns particulados que são carregados pela condensação do vapor d'água presente nos gases. O biofiltro. (Figura 14) possui um sistema de grelhas (Figura 15) projetadas em ângulo para melhor distribuição dos gases de exaustão, as mesmas em número de duas formam.

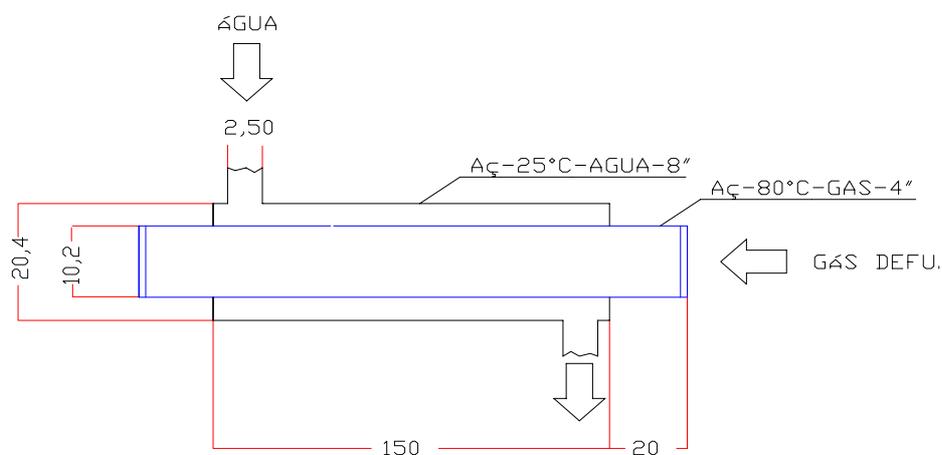


Figura 13: Diagrama Tocador de Calor do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

Preenchidos com uma camada de 30 centímetros de cavaco novo com cerca de 50% de umidade, em média, sendo que é possível uma regulagem das grelhas para diminuir, se necessário, a camada de cavaco, para obter-se uma variação de camada filtrante, o que não foi necessário.

O Biofiltro (Figura 14), teve de ser posicionado fora do prédio (Figura 10), ou seja, em uma área que se minimiza um possível problema da contaminação dos alimentos por bactérias e fungos que poderiam desenvolver-se ou estar presentes no cavaco usado como leito de filtragem e retenção de particulados.

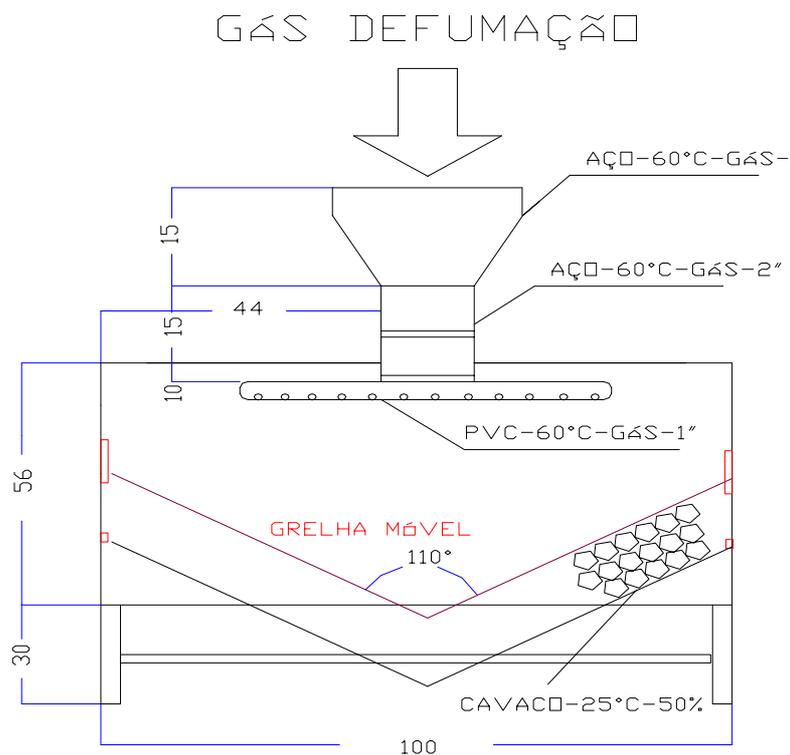


Figura 14: Diagrama Biofiltro do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

Este sistema foi confeccionado na própria unidade, com sobras de outros equipamentos desativados e mão-de-obra fornecida pelo setor de manutenção da mesma, com anuência dos responsáveis pelo setor, bem como as grelhas (Figura 15).

A montagem no local de pesquisa foi realizada com ajuda do setor de transportes e logística que forneceu o caminhão e o pessoal adequado.

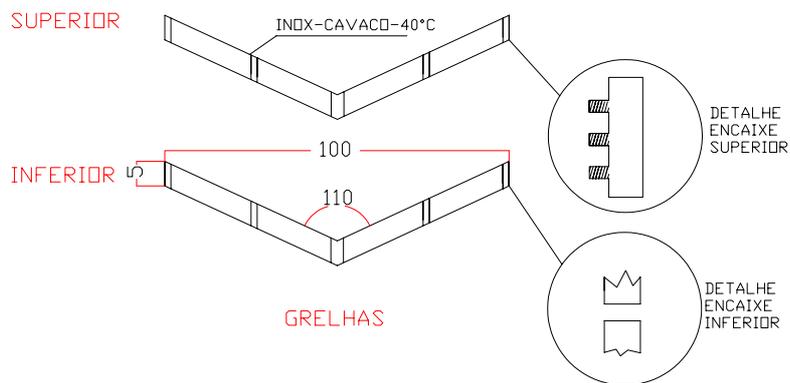


Figura 15: Diagrama da Grelha do Biofiltro do Sistema de Tratamento de Gases – Defumadores.

Com o sistema instalado ao lado do sistema de exaustão antigo (Figura 16a e 16b), procedeu-se à coleta de dados.

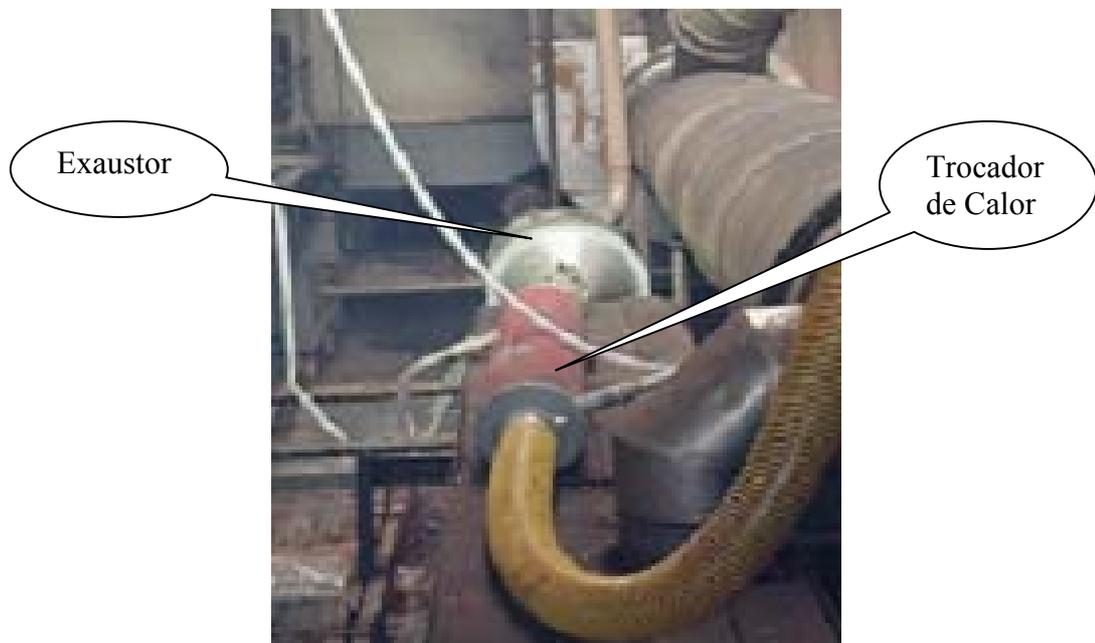


Figura 16a: Foto do Sistema de Tratamento de Gases - Interno.

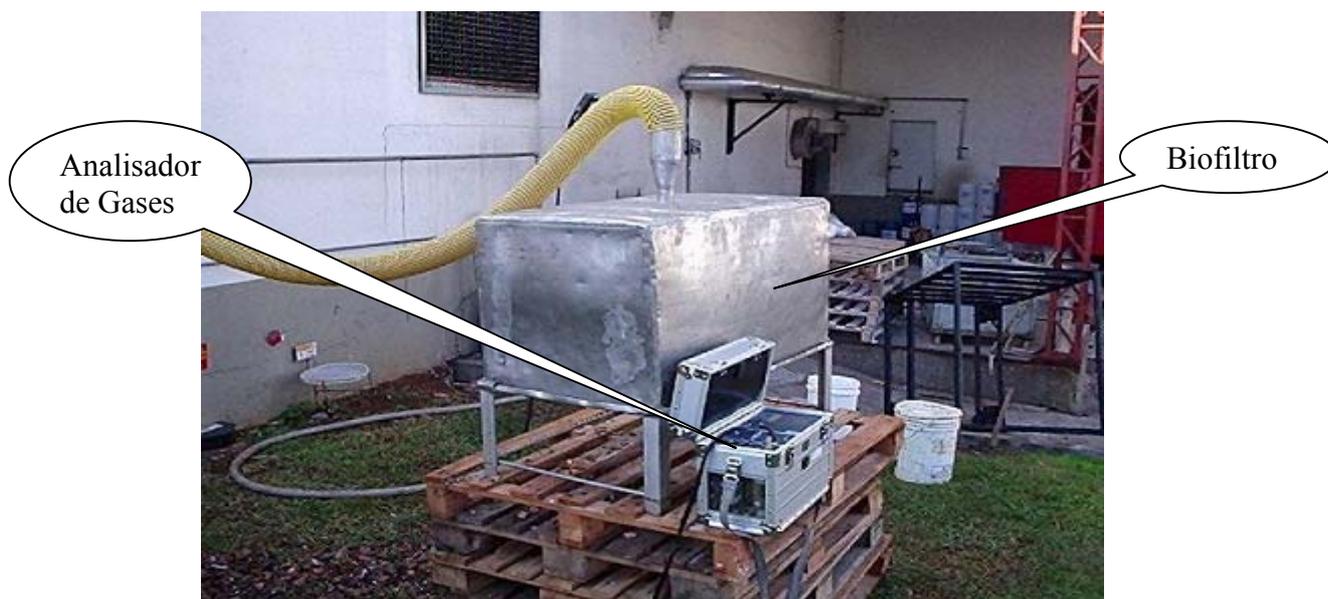


Figura 16b: Foto do Biofiltro Mais Analisador de Gases - Externo.

Os dados coletados são descritos, na Tabela 10, 11 e 12, sendo que para CO (Monóxido de Carbono) na Tabela 11. Também é visto nesta Tabela, os valores médios referentes a 29 amostras coletadas.

Tabela 10 – Dados do Sistema Piloto Para CO (ppm).

Amostra	Antes do Biofiltro	Depois do Biofiltro
01	35,00	12,00
02	303,00	35,00
03	259,00	26,00
04	319,00	38,00
05	211,00	34,00
06	211,00	73,00

Continuação da Tabela 10:

07	10,00	8,00
08	57,00	3,00
09	136,00	9,00
10	169,00	9,00
11	161,00	55,00
12	96,00	3,00
13	165,00	38,00
14	164,00	45,00
15	24,00	5,00
16	43,00	6,00
17	219,00	21,00
18	168,00	26,00
19	125,00	30,00
20	24,00	2,00
21	167,00	17,00
22	279,00	23,00
23	221,00	24,00
24	272,00	43,00
25	62,00	53,00
26	42,00	7,00
27	90,00	7,00
28	293,00	23,00
29	203,00	17,00
Média	156,14	23,86

Estes dados são melhor visualizados no Gráfico 01, o qual denota uma tendência de ganho de eficiência considerável, visto que há uma evidente tendência de permanecer constante os valores de saída de CO do biofiltro ao longo do tempo (identificado como a linha rosa).

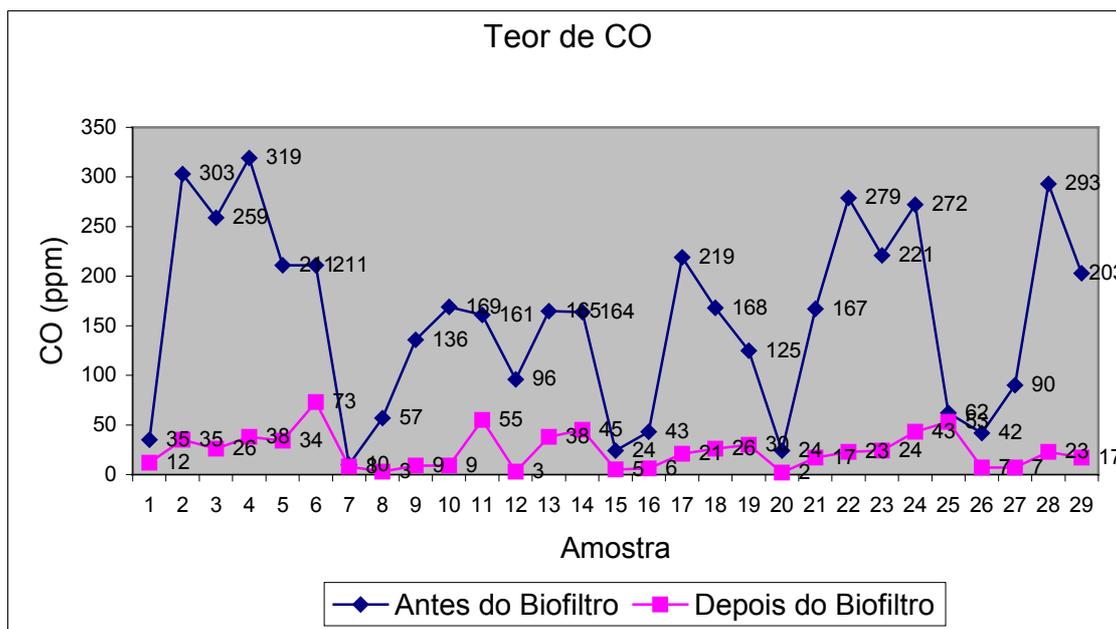


Gráfico 01: Teor de CO Antes e Depois do Biofiltro.

Para SO₂ (Dióxido de Enxofre) na Tabela 11, com a mesma tendência que a do CO, os valores médios estão presentes de 29 amostras.

Tabela 11 – Dados do Sistema Piloto Para SO₂ (ppm).

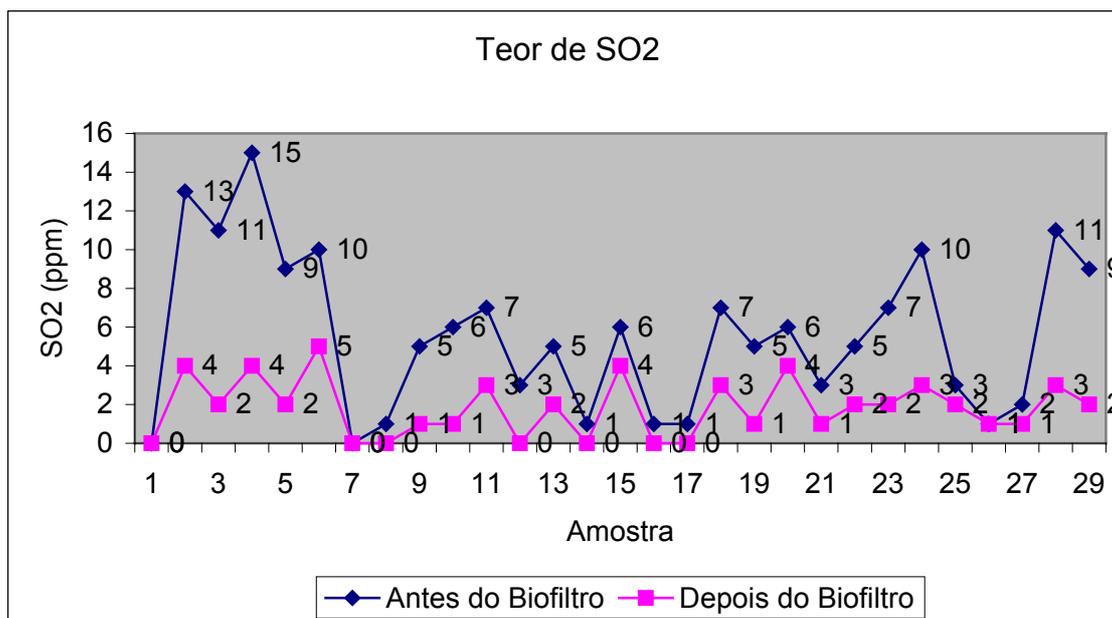
Amostra	Antes do Biofiltro	Depois do Biofiltro
01	0	0,00
02	13,00	4,00
03	11,00	2,00
04	15,00	4,00
05	9,00	2,00
06	10,00	5,00
07	0	0,00
08	1,00	0,00
09	5,00	1,00
10	6,00	1,00
11	7,00	3,00
12	3,00	0,00
13	5,00	2,00

Continuação da Tabela 11:

14	1,00	0,00
15	6,00	4,00
16	1,00	0,00
17	1,00	0,00
18	7,00	3,00
19	5,00	1,00
20	6,00	4,00
21	3,00	1,00
22	5,00	2,00
23	7,00	2,00
24	10,00	3,00
25	3,00	2,00
26	1,00	1,00
27	2,00	1,00
28	11,00	3,00
29	9,00	2,00
Média	5,62	1,83

Os dados são melhor visualizados, para SO₂, no Gráfico 02, no qual denota-se uma linha de ganho de eficiência, visto que há uma evidente tendência de permanecer constante os valores de saída de SO₂ do biofiltro, ao longo do tempo.

Neste gráfico, do teor de SO₂ antes e depois do biofiltro, possui valores muito baixos, na ordem de até 15 ppm para a entrada do biofiltro e de 0 para a saída, mas ainda assim nota-se o decréscimo nestes valores.

Gráfico 02: Teor de SO₂ Antes e Depois do Biofiltro.

Para CxHy (hidrocarbonetos) os dados estão na Tabela 12, com valores médios referentes a 29 amostras.

Tabela 12 – Dados do Sistema Piloto Para CxHy (%).

Amostra	Depois do Biofiltro	Antes do Biofiltro
01	0,04	0,01
02	0,07	0,02
03	0,08	0,04
04	0,09	0,04
05	0,06	0,02
06	0,05	0,02
07	0,02	0,01
08	0,02	0,02
09	0,07	0,04
10	0,08	0,04
11	0,09	0,07
12	0,11	0,09
13	0,11	0,07
14	0,06	0,04

Continuação da Tabela 12:

15	0	0
16	0,02	0
17	0,04	0,02
18	0,09	0,05
19	0,03	0
20	0,04	0,03
21	0,06	0,02
22	0,07	0,02
23	0,07	0,02
24	0,08	0,04
25	0,03	0,02
26	0,00	0,00
27	0,04	0,01
28	0,05	0,00
29	0,09	0,04
Média	0,06	0,03

No Gráfico 03, estão presentes os dados referentes ao teor de CxHy em porcentagem, visto que o analisador de gases assim os refere, obtidos ao longo de 29 amostras.

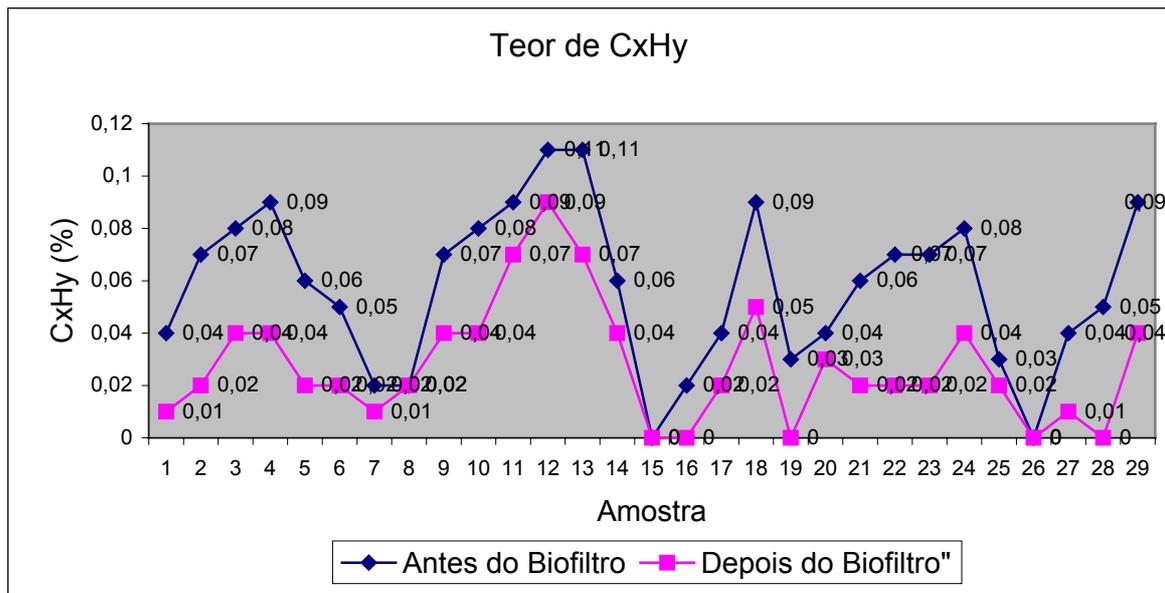


Gráfico 03: Teor de CxHy Antes e Depois do Biofiltro.

Também, analisou-se a eficiência do trocador de calor, do sistema piloto de tratamento de gases, quando se refere à temperatura de entrada e saída do mesmo (Tabela 13).

Tabela 13 – Dados Coletados de Temperatura do Trocador de Calor (°C).

Amostra	Antes do Trocador	Depois do Trocador
01	29,00	23,00
02	32,00	23,00
03	31,00	21,00
04	31,00	18,00
05	34,00	25,00
06	35,00	23,00
07	27,00	21,00
08	25,00	17,00
09	34,00	23,00
10	28,00	20,00
11	24,00	17,00
12	32,00	18,00
13	37,00	18,00
14	31,00	17,00
15	21,00	15,00
16	29,00	17,00
17	33,00	16,00
18	35,00	19,00
19	37,00	20,00
20	21,00	15,00
21	24,00	14,00
22	35,00	22,00
23	38,00	16,00
24	40,00	24,00
25	38,00	26,00
26	24,00	16,00
27	32,00	22,00
28	37,00	20,00
29	41,00	29,00
Média	31,55	19,83

O Gráfico 04, contém os valores da temperatura de entrada e saída do trocador de calor coletados através do analisador de gases, Greenline MK2, ao longo de 29 amostras.

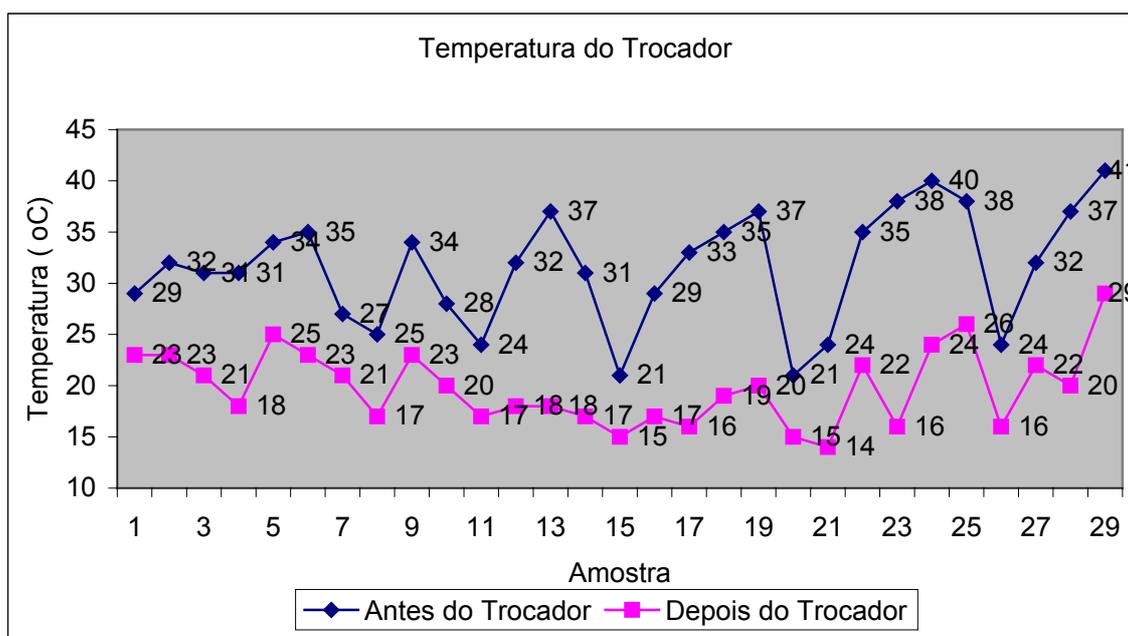


Gráfico 04: Valores de Temperatura Antes e Depois do Trocador de Calor.

Foram realizadas análises de gases de exaustão antes e depois do biofiltro, através da coletas de particulados, com analisador de gases Greenline MK2, utilizando como auxilio a escala Bacharach “Smoke Index Table” que vai de 0 a 9, sendo 9 o valor mais alto, proporcionando valores de 8 para antes do biofiltro e 1 para depois do biofiltro.

Também se realizou a coleta dos gases, de exaustão, na entrada e saída do biofiltro com um sistema de coleta de gases composto de bomba de vácuo e dois cilindros de aço com capacidade de 15 Kgf/cm² de pressão, estes foram preenchidos com gases provenientes do sistema piloto de tratamento de gases, primeiramente os gases foram purgados através do cilindro por cerca de 15 minutos, após fechou-se à

válvula posterior do cilindro e continuou-se a bombear gases por cerca de 20 minutos e fechou-se a segunda válvula (figura 16).



Figura 17: Foto do Sistema de Coleta de Gases de Exaustão.

Estes cilindros foram enviados ao laboratório de espectrometria para análise dos gases na entrada e saída do biofiltro, através dos gases contidos nos cilindros metálicos de coleta de gases (Figura 17), para análise em CG, para VOC's, obtendo os resultados demonstrados na Figura 18.

Analisando-se os cromatogramas obtidos, para os gases coletados antes do biofiltro na cor branca e depois do biofiltro na cor verde, observou-se a diminuição considerável dos picos que representam, provavelmente, hidrocarbonetos.

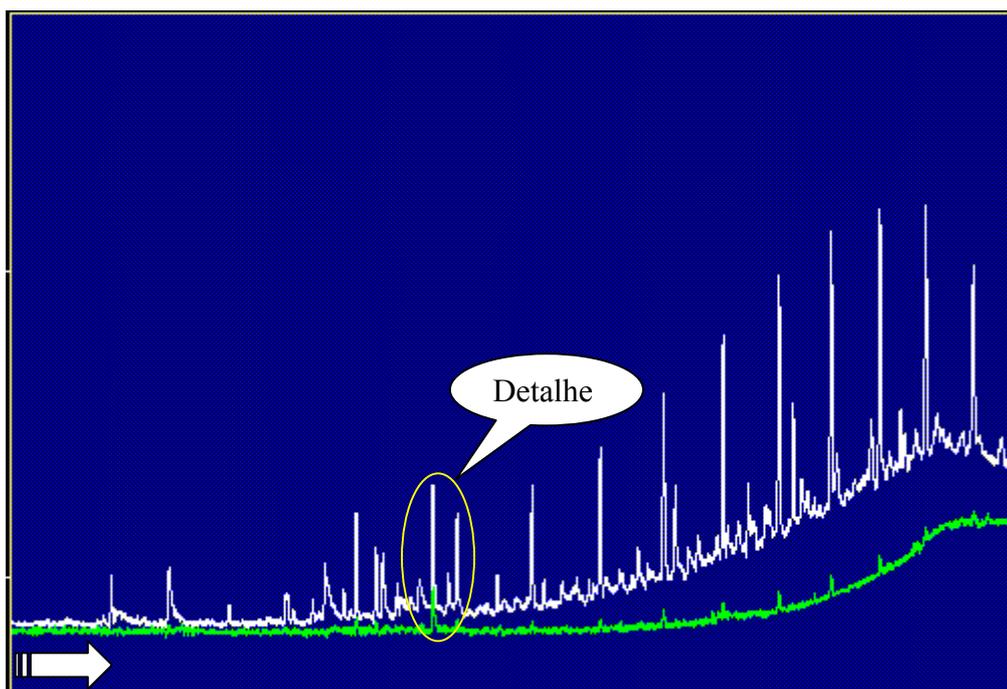


Figura 18: Gráfico do Cromatograma dos Gases de Entrada (branco) e Saída (verde) do Biofiltro.

A Figura 19, mostra um corte nos cromatogramas, a área salientada com um círculo, mostra dois picos, em ambos aparecem, mas a diferença entre os picos não é a mesma nos cromatogramas, tornando-se um padrão interno, demonstrando assim que há a redução dos contaminantes entre a entrada e a saída do biofiltro, não apenas uma diluição dos gases. No cromatograma observa-se picos no começo do mesmo, estes são de VOC's de baixo peso molecular, já picos posicionados no fim do cromatograma são devidos a VOC's de alto peso molecular.

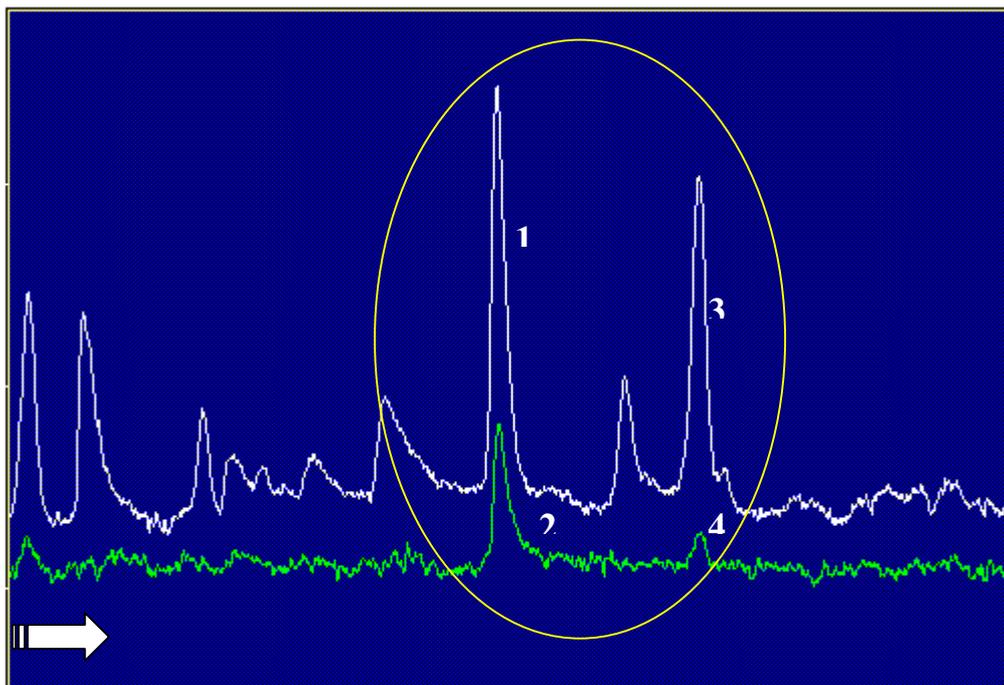


Figura 19: Gráfico Detalhado do Cromatograma dos Gases de Entrada (branco) e Saída (verde) do Biofiltro.

Na mesma Figura 19, em que há o corte no cromatograma, nota-se a diferença entre os picos 1 e 2, cerca de 2,24 vezes, quando os picos 3 e 4 a diferença é de, aproximadamente, 8,26 vezes, sendo esta diferença crucial para a análise da eficiência do sistema piloto proposto, quanto a compostos orgânicos voláteis (VOC's).

4.1 Custos

Os custos iniciais de implantação deste sistema piloto, são relativamente baixos, visto que a mão-de-obra qualificada é originária da própria indústria, bem como todo material utilizado na confecção do sistema piloto é reciclado, com exceção do motor do exaustor e do cavaco utilizado, assim estima o custo baseado no valor do homem-hora e nos custos de aquisição do motor do exaustor, vistos na Tabela 14.

Tabela 14 – Custos do Sistema Piloto.

Parâmetro	Custo (R\$)*
Motor de 2 CV	320,00
Mangueiras Usadas para Água 6 m	23,00
Tubulação de PVC Flexível 20 m	56,00
Aço Para o Exaustor 3 Kg	34,00
Carcaça Trocador 10 Kg	12,00
Válvula Globo 1 um	125,00
Aço Para o biofiltro 9 Kg	102,00
Homem-hora (12 horas)	180,00
<u>Total Geral</u>	<u>852,00</u>

*Valores médios definidos pela indústria.

Assim o custo, do projeto, para o sistema proposto é baixo, viabilizando sua implantação na unidade industrial, com mão-de-obra local e materiais oriundos da própria indústria, obtidos nos depósitos da unidade.

4.2 Discussões

Ao se analisar as condições de operação de um sistema de tratamento de gases de exaustão, principalmente de defumadores, tem-se que ter cuidados com os teores de alcatrão e gordura presentes nestes gases, assim qualquer análise que ser permita fazer requer cuidados com degradação e desprendimento de maus odores. Para projetar-se um sistema eficiente de tratamento de gases, necessita-se de vários parâmetros que fornecem dados consistentes a partir de uma planta piloto, em escala reduzida em 9 (nove) vezes a primeira determinação foi da velocidade do gás e água, dimensões de tubulação e trocador, exaustor e biofiltro, Tabela 15.

Tabela 15 – Dimensões de Trocador de Calor (TC).

Parâmetro	Valor
Velocidade do Gás Entrada TC (m/s)	0,85
Velocidade do Gás Saída TC (m/s)	0,80
Área da Secção Reta do Gás (m ²)	0,0081
Vazão do Gás Entrada TC (m ³ /h)	24,79
Vazão do Gás Saída TC (m ³ /h)	20,54
Velocidade da Água (m/s)	2,00
Área da Secção Reta Água (m ²)	0,002
Vazão da Água (m ³ /h)	14,13

*Valores médios.

Os dados obtidos nos permitem dimensionar o sistema de tratamento de gases com relativa segurança (Figura 10). Este sistema mostrou-se eficiente, já que os dados obtidos denotam uma significativa redução nos teores de determinados poluentes, Tabela 16, esta baseada nas Tabelas 10, 11 e 12, assim demonstra-se os valores médios dos dados obtidos são significantes para a entrada e saída do biofiltro.

Visando à obtenção de um diagnóstico do sistema em função do tempo, outros poluentes foram analisados, mas não mostraram valores relevantes quanto a redução significativa (CO_2 , NO, NO_2), por isso foram descartados neste trabalho, merecendo estudos posteriores.

Tabela 16 – Valores de Eficiência do Sistema de Tratamento de Gases – Sistema Piloto.

Parâmetro	Antes Biofiltro	Depois Biofiltro	Eficiência
CO (ppm)	156,14	23,86	132,28 (84,72%)
SO ₂ (ppm)	5,62	1,83	3,7 (67,44%)
CxHy (%)	0,0572	0,0276	0,03 (51,75%)

*Valores médios de 29 amostras

Também se obteve diminuição significativa da temperatura no corpo do trocador de calor (TCO), este representado na Figura 13, a qual denota as dimensões e sistema de distribuição do TCO. Neste obteve-se uma redução média de 11,72°C, proporcionando uma eficiência, na remoção de calor de 13.200 Kcal, para o sistema proposto, Tabela 17, esta baseada na Tabela 13.

Tabela 17 – Valores de Eficiência do Sistema de Tratamento de Gases – Sistema Piloto.

Parâmetro	Antes Trocador	Depois Trocador	Eficiência
Temperatura (°C)	31,55	19,83	11,72 (37,15%)

*Valores médios de 29 amostras

Também, vale salientar que há a formação de água, através de condensação, no interior do trocador, esta foi recolhida após um certo tempo em horas de funcionamento do sistema, válvula aberta, ocasionando um volume, que foi medido, determinando sua vazão e características, sendo que a mesma possui uma coloração amarelada bem como cheiro característico de fumaça e gordura.

As análises de gases de exaustão antes e depois do biofiltro, através da coletas de particulados, com analisador de gases Greenline MK2, utilizando a escala Bacharach, proporcionando valores de 8 para antes do biofiltro e 1 para depois do biofiltro, demonstrando que existe uma significativa redução, a diferença entre entrada e saída do biofiltro, dos particulados dos gases, os quais ficaram retidos dentro do biofiltro, através do leito de cavacos.

O condensado foi analisado perante: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio, Óleos e Graxas e pH, estes parâmetro estão descritos na Tabela 18, juntamente com vazão, tempo de análise e volume de condensado coletado.

Tabela 18 – Análise do Condensado do Trocador de Calor.

Parâmetro	Condensado
DQO (mg/L)	7034,00
DBO (mg/L)	4988,00
PH	5,20
Óleos e Graxas (mg/L)	610,00
Volume Coletado (L)	2,30
Tempo (h)	32,00
Vazão (m ³ /hora)	0,000008

Os valores de DQO e DBO são consideravelmente altos, isto é se comparados a valor de efluentes, sem tratamento, da própria indústria frigorífica sendo: DQO \approx 4.400, Óleos e Graxas \approx 1.200 mg/L e DBO \approx 2.600 mg/L, valores médios de efluentes para frigorífico (SENA, 2004). Este valor elevado, ocasionado provavelmente, devido a presença no condensado de substâncias como gorduras, sal e condimentos entre outros, estes arrastados pela força do exaustor do sistema principal de exaustão presente no sistema comercial da indústria, sendo os valores referentes a 32 horas de passagem de gases (Tabela 18).

Desta feita, denota que é de suma importância a colocação de um trocador de calor (Figura 12), visto que o mesmo serve ao mesmo tempo com redutor de temperatura (Tabela 17) e depurador (Tabela 18), pois o vapor d'água presente nos gases de exaustão condensa dentro do trocador produzindo um condensado que é retirado do sistema através de um purgador manual e conduzido à análise (Tabela 18).

O exaustor funcionou como um sistema de redução de temperatura e retenção de sólido, pois havia uma súbita expansão de volume, passando de 4 polegadas para 10 polegadas (Figura 11), assim retendo muitas partículas sólidas que iriam adiante no sistema (trocador de calor e biofiltro), este efeito fica evidenciado no anexo 06, mas o mesmo teria que ser confeccionado fora do fluxo de gases, como exaustor radial para evitar problemas de travamento do motor.

O Biofiltro (Figura 14), foi confeccionado em aço inox e preenchido, com uma camada de cavaco novo, de tamanho variado, acomodado em um sistema de grelhas (Figura 15) com um volume útil de cavaco, espessura de camada de cavaco e tipo de adsorvente, apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Dimensionamento do Biofiltro.

Parâmetro	Condensado
Tipo de Adsorvente	Cavaco Novo
Espessura da Camada (m)	0,30
Volume de Cavaco (m ³)	0,18
Vazão de Gás (m ³ /h)	19,32

Com os dados coletados, da entrada e saída dos poluentes do biofiltro, referentes a poluentes CO, CxHy e SO₂, respectivamente, mostraram-se muito promissores fornecendo valores de eficiência interessantes vistos na Tabela 16 a qual demonstra a diminuição considerável dos mesmos, após o biofiltro, sendo que o mecanismo de retenção possivelmente possa ser mecânico visto que como o cavaco usado no biofiltro é novo, não tendo sido permitido o tempo necessário para a formação de

microrganismos para a degradação biológica dos poluentes pelo pouco tempo de análise que foi de 32 horas.

Foi então realizado um teste definitivo, da eficiência do sistema em relação ao tempo de uso, para tanto, deixou-se ligado o sistema por um período de 720 horas, sendo que em funcionamento 24 horas por dia e a cada período de 360 horas realizou-se uma análise dos gases antes e depois do biofiltro (Tabela 20 e 21), para comprovação da viabilidade do sistema proposto e de uma estimativa da durabilidade do leito de cavacos novos a 50% de umidade, em média.

Tabela 20 – Análise de Gases Após 8 horas, Antes e Depois do Biofiltro.

Parâmetro	Antes Biofiltro	Depois Biofiltro	Eficiência
CO (ppm)	203,00	17,00	186,00 (91,63%)
SO ₂ (ppm)	9,00	2,00	7,00 (77,78%)
CxHy (%)	0,09	0,04	0,03 (55,55%)

Tabela 21 – Análise de Gases Após 720 horas, Antes e Depois do Biofiltro.

Parâmetro	Antes Biofiltro	Depois Biofiltro	Eficiência
CO (ppm)	276,00	16,00	250,00 (94,20%)
SO ₂ (ppm)	8,00	1,00	7,00 (86,50%)
CxHy (%)	0,04	0,00	0,04 (100,00%)

Tabela 22 – Análise de Gases Após 1.632 horas, Antes e Depois do Biofiltro.

Parâmetro	Antes Biofiltro	Depois Biofiltro	Eficiência
CO (ppm)	550	23	527,00 (95,82%)
SO ₂ (ppm)	29	4	25,00 (86,21%)
CxHy (%)	0,08	0	0,08 (100,00%)

Os gráficos 05, 06 e 07, foram confeccionados, para demonstrar que embora os teores do gases poluentes na entrada do biofiltro aumentem, a retenção continua significativa, mantendo valores baixos, com reduções na faixa de 95,82%, no máximo para CO, 86,50%, no máximo para SO₂ e de 100,00%, no máximo para CxHy.

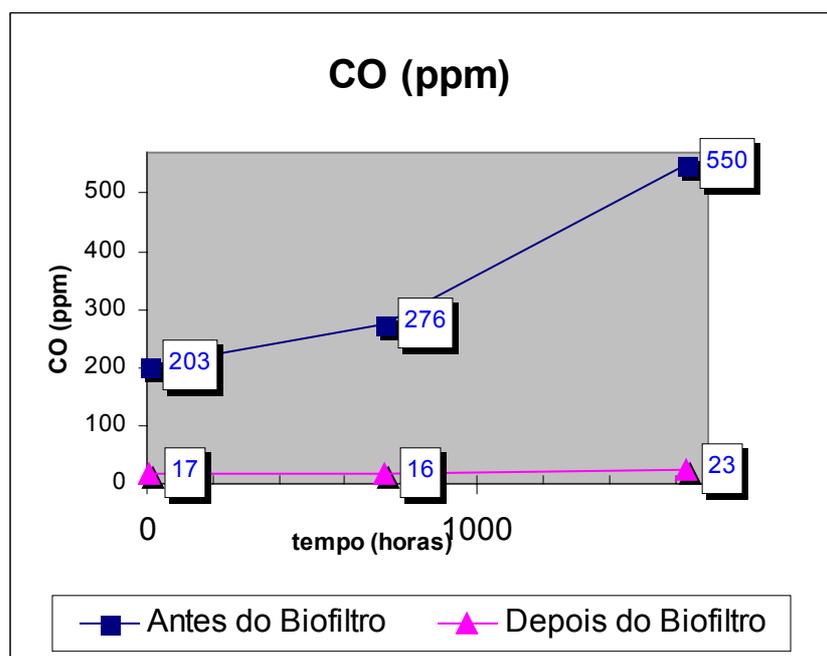


Gráfico 05: Teores de CO Antes e Depois do Biofiltro.

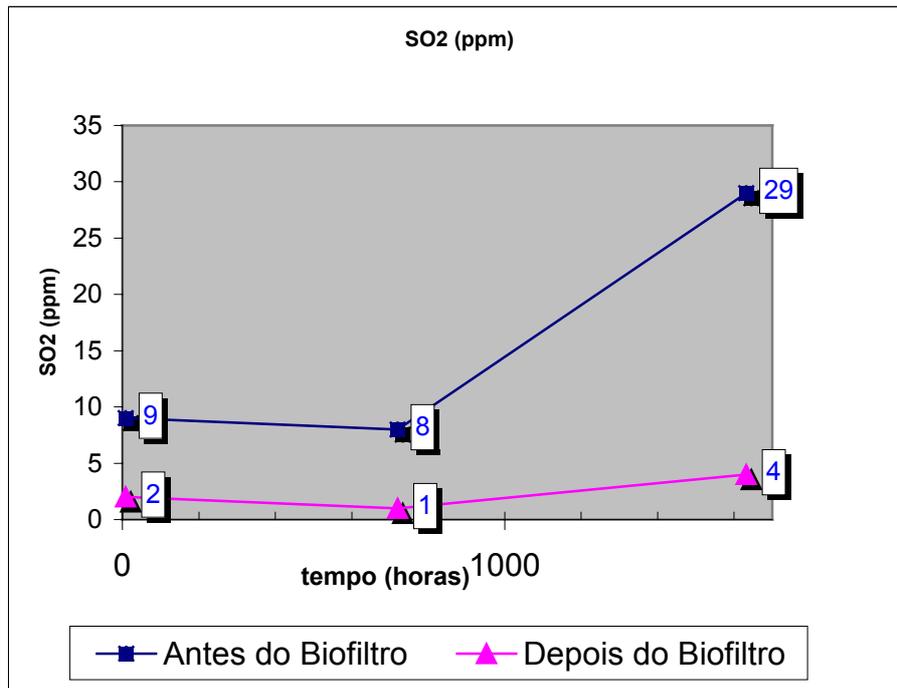


Gráfico 06: Teores de SO₂ Antes e Depois do Biofiltro.

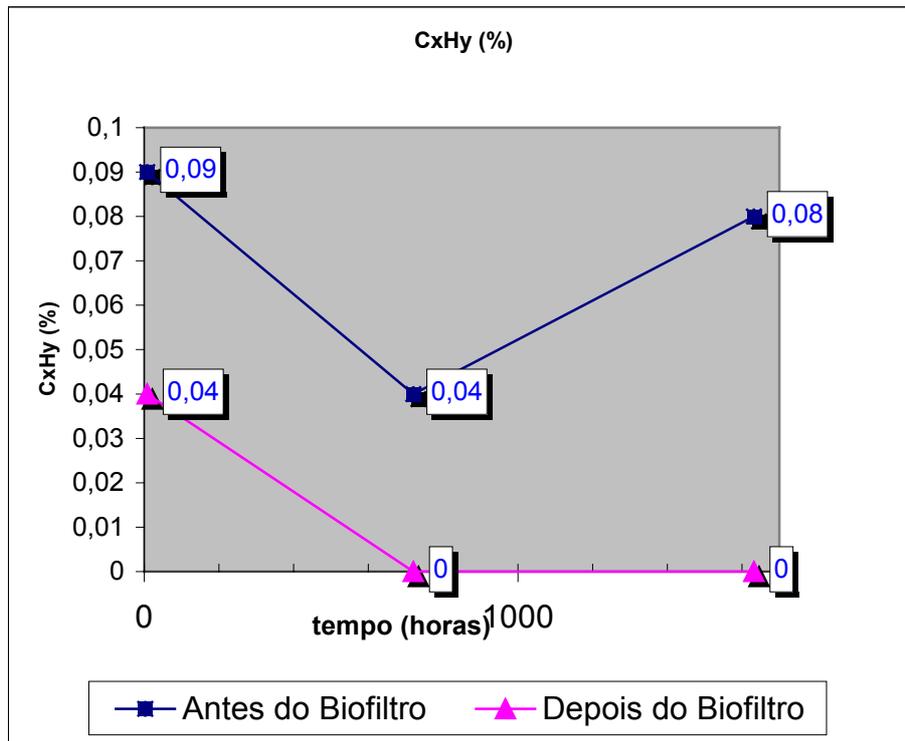


Gráfico 07: Teores de C_xH_y Antes e Depois do Biofiltro.

Também, foi realizada a coleta do condensado do TCO a cada 7 dias, durante 30 dias, para análise de DQO, DBO₅, pH e Óleos e Graxas (Tabela 22), bem como volume gerado, vazão e tempo de análise, perfazendo um total de 4 amostragens.

Tabela 22 – Análise do Condensado ao Longo de 30 dias.

	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	Óleos e Graxas (mg/L)	Volume (L)
1ª Semana	2.135,00	8.310,00	4,86	*	2,70
2ª Semana	8.345,00	18.530,00	4,87	*	1,50
3ª Semana	18.876,00	33.920,00	4,26	630,00	2,40
4ª Semana	7.325,00	11.256,00	4,66	258,00	2,10

* Óleos e graxas não realizado.

Os gráficos 08, 09 e 10 mostram o comportamento da DBO₅, DQO e pH ao longo de quatro semanas, denotando a necessidade da remoção do condensado dos gases de exaustão através do uso do trocador de calor.

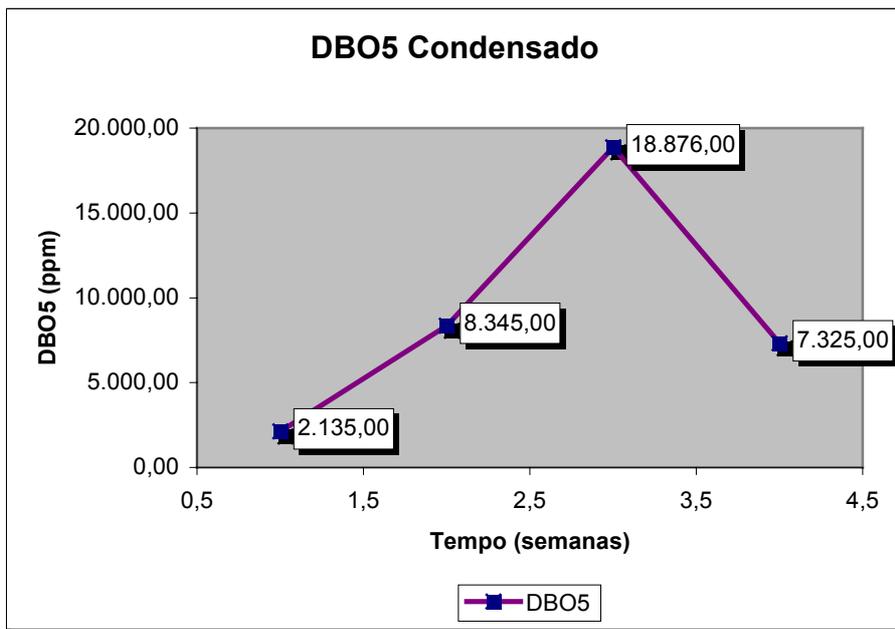


Gráfico 08: DBO₅ em função do Tempo para o Condensado.

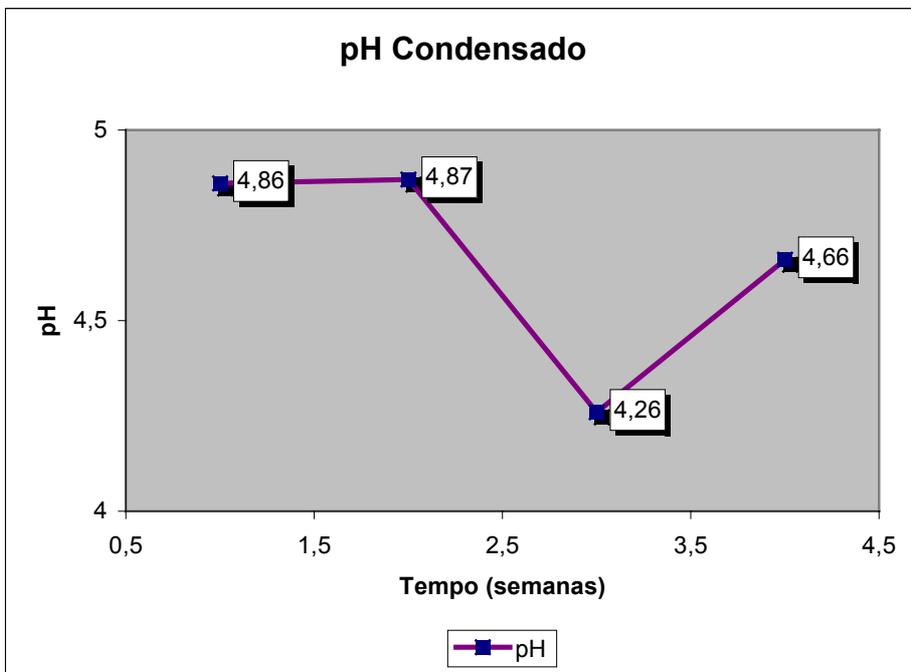


Gráfico 09: pH em função do Tempo para o Condensado.

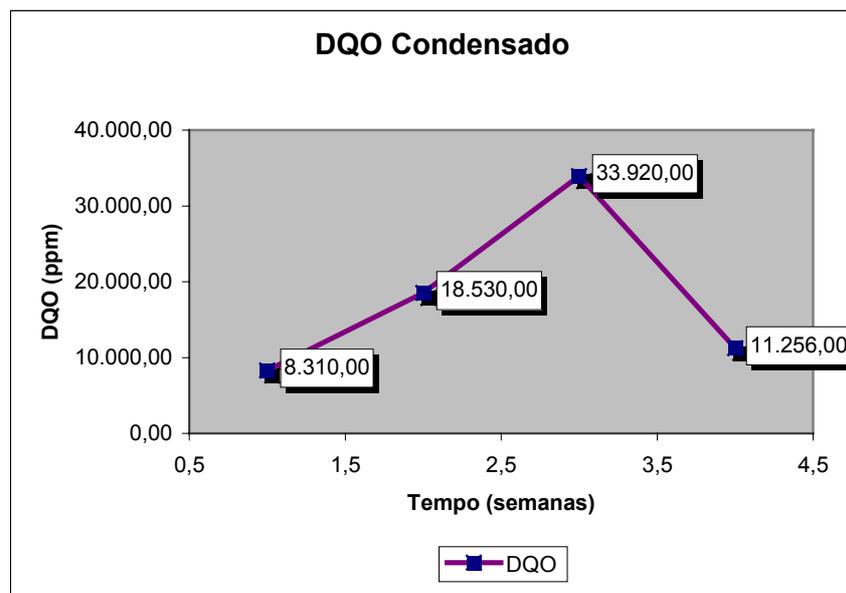


Gráfico 10: DQO em função do Tempo para o Condensado.

Concluindo-se que o sistema piloto proposto é eficiente quanto à remoção de gases poluentes, mas o tempo de análise deste sistema, de 30 dias (Tabelas 20 e 21), não foi suficiente, visto que os valores de retenção de gases não mudou radicalmente com o tempo.

O condensado, obtido no trocador de calor, possui altos valores de DQO, DBO (Tabela 22) principalmente, já o pH e óleos e graxas estão dentro do razoável. Mas mesmo com os valores altos de DQO e DBO, o volume enviado (Tabela 22) é tão pequeno que este pode ser enviado ao tratamento de efluentes do frigorífico para depuração.

Por outro lado, apesar do volume de condensado ser pequeno (0,000008 m³/hora), em relação ao do gás de exaustão (20,41 m³/hora), salienta-se a necessidade do mesmo ser retirado pois qualquer diminuição de agentes poluentes que são enviados ao biofiltro, melhorará a eficiência deste bem como sua vida útil.

A análise de durabilidade do sistema piloto proposto, principalmente, do biofiltro deverá ser mais bem avaliada, pois o tempo de 30 dias pode não ser o suficiente para conclusões definitivas, sobre a vida útil do leito de cavaco.

As análises por cromatografia gasosa mostram que os gases, antes do biofiltro, denotam a presença de hidrocarbonetos, em quantidades maiores que os gases na saída do biofiltro, pelos picos presentes em ambos os cromatogramas (Figuras 17 e 18), assim demonstrando a eficiência do sistema proposto, para o tratamento dos gases de exaustão, e como o mesmo pode ajudar a minimizar o problema da emissão dos gases poluentes da indústria.

5 CONCLUSÕES

O sistema de tratamento de gases de exaustão proposto demonstra ser viável e permite que seja realizada uma considerável depuração dos compostos químicos presentes nos gases, tais como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (C_xH_y) e dióxido de enxofre (SO₂) (Tabela 20 e 21). Foram encontradas grandes reduções dos teores destes gases, relativamente à entrada e saída do sistema, com ênfase na saída do biofiltro que denotou uma redução significativa destes gases.

O trocador de calor, no sistema proposto, mostrou-se um processo adequado, pois no interior do mesmo, houve a condensação do vapor d'água presente nos gases de exaustão, devido à diminuição da temperatura e propiciando o arraste de compostos químicos presentes nestes gases, como demonstrado no alto valor de DQO, DBO, Óleos e Graxas e no valor baixo do pH (Tabela 21), obtido para este condensado. Assim demonstrando a real necessidade deste equipamento para o sistema proposto.

Da mesma maneira, o leito de cavaco novo, mostrou-se extremamente interessante pelo ponto de vista econômico e funcional, havendo a retenção de poluentes e odores, como demonstrado nos valores da análise de CG (Figura 18) da entrada e saída do biofiltro, mostrando uma boa eficiência do leito quando se refere à redução de poluentes.

O sistema de tratamento de gases proposto demonstrou ser muito eficiente e viável para implantação, em escala industrial, para a indústria local, proporcionado um ganho ambiental significativo, perante órgãos ambientais (FATMA) e principalmente para a comunidade circunvizinha.

5.1 Conclusões Gerais

Este trabalho apresentou a avaliação de um sistema piloto de tratamento de gases de exaustão, composto de um trocador de calor, um biofiltro com meio filtrante cavaco a 50% de umidade para retenção de odorantes e sólidos presentes nos gases de defumação.

Os experimentos foram conduzidos, mostraram-se muito promissores, baseando-se nos experimentos realizados como o sistema piloto para tratamento de gases de exaustão de defumadores.

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, obtidos nas diversas etapas de coleta de dados, concluiu-se que:

- O cavaco novo a 50% de umidade mostra-se muito eficiente, quanto à retenção de particulados e gases poluentes;
- A necessidade de um trocador de calor no sistema, é imperativa, pois além de retirar o condensado, que carrega compostos químicos, ajuda na, redução na temperatura dos gases do sistema, para melhorar a eficiência e poupar o biofiltro;
- A vida útil longa e o baixo valor do sistema de tratamento de gases (estimado) tornando-o economicamente viável;
- O baixo custo de instalação e manutenção do sistema proposto;
- A fácil implantação deste sistema piloto, com equipamento e materiais reciclados, na sua maioria.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFNOR X 43-103. Qualité de l'air. **Mesurage de l'odeur d'une atmosphere gazeuse.** Méthode Supraliminaire. 1990.

AFNOR X 43-101. Qualité de l'air. **Méthode de mesurage de l'odeur d'u effluent gazeux.** Determination du facteur de dilution au seuil de perception. 1986.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transpote de esgoto sanitário,** 2000.

ANIT, S. B.; ARTUZ, R. J. **Biofiltration of Air.** Disponível em: <http://inventors.about.com/library/inventors/blbiofilter.htm>. Acesso em 20 de jun. 2004.

ASTM. Designation: **E 544-75 Standard Practices for Referencing Suprathreshold Odor Intensity.** 1997.

BAILEY, J. E. ; OLLIS, J. F. **Biochemical Engineering Fundamentals.** 2nd Edition. McGraw-Hill. New York, 1986.

BELLI FILHO, P.; MARTIN, G. **Biodesodorização de emissões gasosas.** In: III Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Gramado, RS, 1996.

BELLI FILHO; DE MELO LISBOA, H. **Avaliação de emissões odorantes.**

Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, Vol. 3, n.º3, p. 101-106, 1998.

BELLI FILHO, P. et al. **Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários.**

Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – PROSAB, cap. 8, 2001.

BOHN, H. **Consider Biofiltration for decontaminatin gases.** Chemical Engineering

Progress, 34-40, 1992.

BOHN, H. **Bioprocessing of organic gases in waste air.** Symposium on

Bioremediation and Bioprocessing. 205 th National Meeting. American Chemical Society, Denver, Co, 28 Mars-2 April, 287-289, 1993.

CARVALHO, C. M. **Odor e biodesodorização em reatores anaeróbios.** 2001. 105f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental . Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

CHAGGER, H. K., KENDALL, A., McDONALD, A., POURKASHANIAN, M. E

WILLIAMS, A., **Formation of Dioxins and other semi-volatile Organic Compounds**

in Biomass Combustion. Applied Energy, n° 60, pg. 101-114, 1998.

CHITWOOD, D. E.; DEVINNY, J. S. **Treatment of mixed hydrogen sulfide and**

organic vapors in a rock medium biofilter. Water Environment Reserch, vol. 73, n° 4,

2001.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/003-90.htm>>. Acesso em: 21 de jun. 2004.

COX, H.H.J e M.A. DESHUSSES. **Biotrickling Filters for Air Pollution Control**. In G. Bitton (Editor-in-Chief), *The Encyclopedia of Environmental Microbiology*, 2000a. Disponível em: <<http://engr.ucr.edu/~mdeshuss/>> . Acesso em 20 de jun., 2004.

COX, H.H.J and M.A. DESHUSSES. **Biotrickling Filters**. In C. Kennes (Editor), *Bioreactors for Waste Gas Treatment*. Kluwer Academic Publisher bc4.pdf. cap 4, 2000b. Disponível em: <<http://engr.ucr.edu/~mdeshuss/>> . Acesso em 20 de jun., 2004.

Demanda Química de Oxigênio. Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, abril de 1985.

DE MELO LISBOA, H. **Contribution à la mise en oeuvre et à la validation de modeles de dispersion atmosphérique applicables aux composés odorants**. 1996. Thèse Doctorat. Ecole des Mines d'Alès, 196 p. Université de Pau et des Pays de l'Adour.

DESHUSSES, M. A. ; C. T. JOHNSON. **Development and validation of a simple protocol to rapidly determine the performance of biofilters for VOC treatment**. *Environ. Sci. Technol.* 34: 461-467, 2000.

EASTER, C. C.; OKONAC, C. C. **Biofilter systems for odor control in wastewater treatment applications, an overview of issues and options**. Proceedings of Odor and VOC 2000, Water Environment Federation.

FATMA – Fundação do Meio Ambiente. **Decreto nº 14.250 de 5 de junho de 1981**. Disponível em :<<http://www.fatma.sc.gov.br/>>. Acesso em: 25 de jun. 2004.

FERNANDEZ, B. **Contribution a l'elaboration d'une methodologie d'analyse physicochimique de composes odorans**. These . Académie de Bordeaux, 1997.

FRECHEN, F.-B. **Regulations and policies**. Odours in Wastewater Treatment – Measurement, Modelling and Control, Parte I, cap. 2, 2001.

GODINOT, N. **Perception et Catégorisation dès Odeurs par l'Homme**. Thèse (Neurosciences & Olfaction), Université Claude Bernard Lyon. Disponível em: <<http://www.olfact.univ-lyon1.fr/~GODINOT/dea.html>>. Acesso em: 20 de jun. 2004.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S.A. **Sewage treatment Works odour measurement**. Water Science and Technology. Vol 41, nº 6, pp 33-40. 2000.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R. M. **Odour measurement for sewage treatment works**. Water Res. 35. 579-597, 2001. IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Resolução Sema 41/02**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/iap/Resolucao041-02.pdf>>. Acesso em: 25 de jun. 2004.

LE CLOIREC, P.; FANLO, J. L.; DEGORGE-DUMAS, J. R., 1991. **Odeur et désodorisation industrielles**. Ecole des Mines D'Alès.

LE CLOIREC, P. **Les Composés organiques volatils dans l'environnement**. 1998.

LE CLOIREC, P.; HUMEAU, P.; RAMIREZ-LOPEZ, E. M.,. **Biotreatments of odours : control and performance of a biofilter and a bioscrubber**. Water Science Technology, 2001, vol 44 n° 9 pp 219-226.

MATOS, T.A. **Avaliação do uso simultâneo de um biofiltro aerado submerso para tratamento de secundário de esgoto sanitário e para biodesodorização contendo gás sulfídrico**. 2001. 121f. Dissertação (Mestrado em engenharia Ambiental) – Curso de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória.

MCGINLEY M. A.; MCGINLEY, C. M. **The New European Olfactometry Standard: Implementation, experience and perspectives**. Air and Waste Management Association. Annual conference technical program session n° : EE-6b, 2001.

MENDES, M., A., **Técnicas Avançadas em Espectrometria de Massas – MIMS e suas derivadas CT – MIMS e HS-MIMS: Aplicação na Análise de Compostos Orgânicos Voláteis em Matrizes Ambientais**. Tese de Doutorado. Campinas, São

Paulo, 1999.

MIEURE, J. P., **Determining Organic Volatile Organic in Water**. *Envirm. Sci. Technol.*, 14, 237, 1980.

MORTON, C. M. **Methods for estimating odor emissions**. Water Environment Federation. *Odors end Toxic Air Emissions*, 2002.

OMS (Organização Mundial da Saúde), 1997. <http://www.who.int/en/>. Acesso em : 25 de set. 2004.

PHILIPS, R.J., 1997. **Odor Control of Food Processing Operations by Air Cleaning Technologies (Biofiltration)**. Disponível em: <http://www.cip.ukcentre.com/smell.htm>. Acesso em: 20 de jun. 2004.

PROKOP, W. **Odors**. In: *Air Pollution Engineering Manual*. USA, Air & Waste Management Association, 1996.

RAMIREZ-LOPEZ, E.M.; MONTILLET, A.; LE CLOIREC, P., **Biofiltration of volatile organic compounds- aplication to air treatment**. *Water Science Technology*, vol 41, nº 12, pp 183-190. 2000.

RIBEIRO, A.P.R.A., **Influência da Qualidade do Carvão e das Condições Operacionais no Processo de Combustão da Uma Usina Termoelétrica**. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2002.

SENA, R.F., **Dissertação de Mestrado**, UFSC, Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Florianópolis. 2004, no prelo.

STUETZ, R. M. et al. **Monitoring wastewater odours using an electronic nose**. Water Science Technology, vol. 41, nº6, pp 41-47.2000.

TRG, 2002. **Conference on biofiltration. University of Southern California**. Disponível em : <<http://www.trgbiofilter.com/technology.htm>>. Acesso em : 20 jun. 2004.

VDI 3881. **Olfactometry. Odour Threshold Determination - Fundamentals**. Part 1, may 1986.

VDI 3881. **Olfactometry. Odour Threshold Determination - Sampling**. Part 2, January 1987.

VDI 3882. **Olfactometry. Determination of Odour Intensity**. Part 1, October 1992.

VDI 3882. **Olfactometry. Determination of Hedonic Odour Tone**. Part 2, September 1994.

WEF - manual of practice n° 22 and American Society of Civil Engineers (ASCE), manual and reports on engineering practice n° 82, 1995.

YANG, Y; GAINES, F; TOGNA, A. P, 2002. **Biofiltration of potw odors: problems and solutions**. WEF.

ZHANG, Q. et al 2002. **Odour production, evaluation and control**. Disponível em: <<http://www.manure.mb.ca/projects/completed/pdf/02-hers-03.pdf>>. Acesso em : 07 de mar. 2004,

ZHANG, Z., YANG, M. E PAWLISZYN, J., **Solid-Phase Micro-Extraction**, Analytical Chemistry, 66, 844 A, 1994.

7 SUGESTÕES

Recomendam-se metodologias analíticas mais precisas, como a cromatografia gasosa, ou detector específico para quantificar os compostos mal odorantes em pequenas concentrações.

Testar diferentes materiais como meios filtrantes, fazendo um estudo comparativo entre eles aplicando as mesmas condições operacionais, a fim de saber a potencialidade de cada material na remoção dos compostos odorantes.

Quanto à umidade, recomenda-se um estudo específico para a determinação do teor da mesma, necessário a um processo biológico de tratamento de gases, estudando suas possíveis variações para cada meio filtrante.

Recomenda-se um acompanhamento microbiológico do meio filtrante a fim de obter informações relevantes como: o tipo de bactéria atuante no processo de degradação dos poluentes, os parâmetros interferentes em seu crescimento e etc.

Quando verificada a acidez do meio filtrante, recomenda-se teste de adsorção para verificar se o processo predominante na degradação dos compostos mal odorantes é um processo físico-químico ou não.

ANEXOS

Anexo 01: Foto das Chaminés da Industria – Exaustão dos Defumadores.



Anexo 02: Foto do Exaustor Projetado – Exaustão dos Defumadores.



Anexo 03: Foto do Trocador de Calor Sistema Piloto – Exaustão dos Defumadores.



Anexo 04: Foto do Biofiltro Sistema Piloto – Exaustão dos Defumadores.



Anexo 05: Foto da Grelha do Biofiltro Sistema Piloto – Exaustão dos Defumadores.

