



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia

Richard Beckerig Maciel

**Otimização de salas limpas industriais: um estudo de caso**

Rio de Janeiro

2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

## Otimização de salas limpas industriais: um estudo de caso

Dissertação apresentada ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Ambiental – área de concentração: Emissões atmosféricas.

Orientador: Prof. Ph.Dr Júlio Domingos Nunes Fortes

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins

Rio de Janeiro

2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/CTC/B

M152 Maciel, Richard Beckerig.  
Otimização de salas limpas industriais: um estudo de caso. / Richard Beckerig Maciel. - 2009  
108 f.: il.

Orientador: Júlio Domingos Nunes Fortes.  
Co-orientador: Eduardo Monteiro Martins.

Dissertação(mestrado)–Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.  
Bibliografia: 72.

1. Salas limpas. 2. Filtros e filtração.  
3. Qualidade do ar. I. Fortes, Júlio Domingos  
II. Martins, Eduardo Monteiro. III. Universidade do Estado Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.  
III. Título.

CDU 697.942

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

---

Assinatura

Data

Richard Beckerig Maciel

**Otimização de salas limpas industriais: um estudo de caso**

Dissertação apresentada ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Ambiental – área de concentração: Emissões atmosféricas.

Aprovado em \_\_\_\_\_

Banca Examinadora: \_\_\_\_\_

---

Prof. *Júlio Domingos Nunes Fortes*, D. Sc. - Presidente  
PEAMB/UERJ

---

Prof. *Eduardo Monteiro Martins*, D. Sc.  
PEAMB/UERJ

---

Prof. (a) Simone Lorena Quinteiro D. Sc.  
Departamento Meio Ambiente / Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia – Rio de Janeiro (IFRJ)

---

Prof. Jaime Almaraz D. Sc.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil

---

Prof. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos D. Sc.  
PEAMB/UERJ

Rio de Janeiro  
2009

## AGRADECIMENTOS

Na realização deste trabalho contei com varias formas de colaboração e apoio, todas com grande significado, assim faço desta página uma referencia pessoal de reconhecimento e agradecimentos.

Gostaria de agradecer a meus pais, Oswaldo e Florence, e a minha esposa Celeste, pelo apoio fundamental, sempre com dedicação, carinho e incentivo, além da colaboração constante.

Certamente a compreensão de minhas filhas, Adriana e Beatriz, por diversos momentos em que minha dedicação voltava-se para o estudo, pesquisa, e superação também foi de grande valia e aprendizado.

Aos meus orientadores, Júlio Domingos Nunes Fortes e Eduardo Monteiro Martins, agradeço pela orientação, dedicação, e por todo incentivo dado nos momentos apropriados além da confiança que depositaram no meu trabalho.

Agradeço também ao corpo docente do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ambiental - DESMA / FEUERJ / UERJ, por terem ampliado os caminhos de meu aprendizado nas questões ambientais.

Ao Diretor Professor Alexandre Figueira Rodrigues, que sempre me apoiou, incentivou e dedicou confiança, assim como a equipe da GEM, Comandada pela Professora Fabiana Rodrigues e a gerência da UGPC Prof. Alexandre Ribeiro Pinto do SENAI-CETIQT.

Agradeço também ao Professor do curso de HVAC / Economia de Energia do Instituto Militar de Engenharia (IME) Eng. Gastão Fernando R. Martins, consultor e representante da Linter Filtros Industriais que disponibilizou materiais para o estudo dos filtros e salas limpas.

Agradeço especialmente a boa vontade, interesse, desprendimento e amizade do Eng. João Batista Costa (Gerente) que referenciou todo o desenvolvimento do caso real de uma das empresas para a dissertação.

Ao Diretor Celso Alexandre da empresa TROX do Brasil e ao Gerente de vendas (Região N/NE/RJ) Eng. Flávio A. V. Nascimento que Contribuíram com Amostras, Catálogos e uma Palestra na UERJ em 2008.

Faço um agradecimento final especial ao amigo, Professor Pedro Pita que sempre se colocou a disposição para todo o apoio necessário, a bibliotecária Adriana Cunha que se empenhou de forma singular orientando em todas as referencias e ao Professor e Mestre Enio Soares do programa de mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Rio de Janeiro UERJ.

Finalmente a grande inspiração de superação e exemplo para minha vida, o pensador e humanista Carlos Bernardo Gonzáles Pecoche (RAUMSOL), que tanto se empenhou para oferecer a humanidade um porvir de conhecimentos, para a evolução, redenção, herança e palengenesia.

## RESUMO

Maciel, Richard Beckerig. Otimização de salas limpas industriais: um estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Comunicações Ópticas) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2009.

Diante de uma carência de orientação acadêmica e profissional para projetos de salas limpas, esta dissertação avaliou dois modelos de estrutura de salas limpas industriais, classe 100.000, similares, que operam com produtos de mesmo nível de exigência de limpeza. A partir das referências bibliográficas associadas a entrevistas com especialistas pode-se estabelecer uma diretriz de projeto para essa classe de sala e outras. A base do estudo partiu da sistemática de troca de filtros adotada em cada uma das empresas. Foram considerados na análise os projetos que conceberam as salas, os critérios de troca dos filtros e como as empresas mantiveram as características atendendo as normas e legislações. O resultado mostra como a mudança de critérios de acompanhamento pode influenciar na redução da eficiência operacional, ou seja, na manutenção das salas e redução de custos. O planejamento e controle podem representar cerca de 50% de economia de recursos. Novas tecnologias estão surgindo no mercado requerendo condições diferenciadas para maior eficiência e sustentabilidade.

Palavra chave: Sala Limpa; Pré-filtragem; Filtro Absoluto; HEPA; Qualidade do Ar

Abstract of Final Work presented to PEAMB/UERJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Environmental Engineering .



## **Abstract**

Since a lack of academic and professional guidance for projects in clean rooms, this thesis evaluated two models of industrial structure of clean room class 100,000, like, working with products of the same level of demand for cleaning. Thus it can be established as a reference project for this class of room and others. The study started from the basis of systematic exchange of filters taken in each of the companies. It was considered in examining the projects that originally were designed for the rooms, the criteria for exchange of filters and how the companies had the characteristics given the standards and legislation. The result shows how the change of criteria for monitoring may influence the reduction of operational efficiency, in the maintenance of the rooms and reduces of costs. The planning and control may represent about 50% of economy of resources. New technologies are emerging on the market require different conditions for greater efficiency and sustainability.

Key words: environment, air Quality, filters, residual emissions, HEPA, clean rooms nano-technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema da Apresentação dos projetos de cada empresa.....	7
Figura 2	Processo que ocorrem, na atmosfera desde a emissão de poluentes primários até a formação dos poluentes secundários .....	9
Figura 3	Tamanho de partículas mais comuns encontradas nos ambientes .....	12
Figura 4	Estrutura externa bastante utilizada como suporte para os filtros de tecido ..	20
Figura 5	Sistema básico de operação de um Filtro de Manga .....	21
Figura 6	Filtro com renovação automática .....	23
Figura 7	Filtro em forma de cunha .....	24
Figura 8	Dois diferentes modos de separar os plissos, utilizando espaçadores de alumínio e cordões separadores .....	24
Figura 9	Trajectoria pelo mecanismo de difusão browniana.....	27
Figura 10	Trajectoria pelo mecanismo de difusão por inércia .....	27
Figura 11	Sala com fluxo de ar turbulento .....	39
Figura 12	Sala com fluxo de ar turbulento e retorno .....	39
Figura 13	Sala com fluxo unidirecional ou laminar com retorno.....	40
Figura 14	Sala com fluxo misto e retorno .....	42
Figura 15	Sala com fluxo ar turbulento, retorno e câmara de limpeza .....	42
Figura 16	Planta baixa do conjunto linha 2 .....	46
Figura 17	Corte com a apresentação do fluxo de ar para a sala 1 – UTA -2 .....	47
Figura 18	Corte com a apresentação do fluxo de ar para a sala2 – UTA – 1 .....	47
Figura 19	Emblistadeira .....	56
Figura 20	Encartuchamento .....	56
Figura 21	Planta Baixa do conjunto de operação das salas limpas .....	59
Figura 22	Gráfico de troca dos filtros .....	60
Figura 23	Estrutura de filtros bolsa .....	52
Figura 24	Filtro bolsa sem uso .....	70
Figura 25	Filtro bolsa sem uso .....	53
Figura 26	Filtro bolsa contaminado .....	53
Figura 27	Filtro absoluto limpo.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 28	Filtro absoluto contaminado .....	62
Figura 29	Gráfico de troca dos filtros .....	62
Figura 30	Sala 2 modificada.....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Principais Fontes de Poluição e Poluentes Encontrados na Atmosfera .....	11
Quadro 2	Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Atmosférico .....	13
Quadro 3	Tamanho médio aproximado de poeiras .....	19
Quadro 4	Classificação de Filtros de Ar .....	29
Quadro 5	Fontes particuladas externas .....	32
Quadro 6	Volume de partículas depreendidas pelos seres humanos .....	33
Quadro 7	Contagem de bactérias depreendidas pelos seres humanos .....	34
Quadro 8	Contagem de partículas depreendidas pelos cosméticos .....	36
Quadro 9	Comparação de classificação ISO 14.644 e NBR 13.700 .....	37
Quadro 10	Federal Standard 209 E com referência métrica e de classe .....	40
Quadro 11	Comparativo de modelos de salas limpas .....	41
Quadro 12	Estimativa de Custos por classe .....	43
Quadro 13	Registro de controle da linha de embalagem .....	54
Quadro 14	Registro de controle da sala de Estufas .....	54
Quadro 15	Quadro comparativo de insuflamento das empresas A e B .....	65
Quadro 16	Quadro comparativo das empresas A e B .....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dimensionamento das salas limpas da Empresa A .....	50
Tabela 2	Referências do Bloco F de produção farmacêutica .....	53
Tabela 3	Número de funcionários por unidade ou setor .....	54
Tabela 4	Horários, turnos de trabalho e número de funcionários por turno .....	54
Tabela 5	Dimensionamento das salas limpas da Empresa B .....	55

## LISTA DE SIGLAS

A.S.T.M.	American Society for Testing and Materials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABQT	Associação Brasileira de Químicos Têxteis
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BPF	Boas Práticas de Fabricação
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DPO	Dispersed Oil Particulate
GMPs	Good Manufacturing Practices
HEPA	High Efficiency Particulate Air
HVCA	Heating and Ventilating Contractors Association
IB	Instituto de Biologia
IEL	Instituto Evando Lodi
InMetro	Instituto Nacional de Metrologia
ISO	International Standards Organization
OCDE	Organisation for Economic Co-operation and Development
OMS	Organização Mundial de Saúde
TBS	Temperaturas dos Bulbos Seco
TRA	Thomas Research Associates
ULPA	Ultra Low Penetration Air
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UR	Umidade Relativa
UTA	Unidades de tratamento de ar

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	01
2	<b>QUALIDADE DO AR</b> .....	08
2.1	<b>Contextualização</b> .....	08
2.2	<b>Poluição Atmosférica</b> .....	08
2.3	<b>Material Particulado</b> .....	10
2.4	<b>Legislação Brasileira</b> .....	13
2.5	<b>Filtros de Ar</b> .....	17
2.5.1	<u>Filtros de tecido também conhecido como filtros de manga</u> .....	19
2.5.2	<u>Filtros de fibra</u> .....	22
2.6	<b>Salas Limpas</b> .....	31
2.6.1	<u>Partículas Externas</u> .....	31
2.6.2	<u>Partículas Internas</u> .....	32
2.6.3	<u>Classificação</u> .....	36
2.6.4	<u>Fluxo de Ar</u> .....	39
2.6.5	<u>Estimativa de custos de salas limpas por classe</u> .....	43
3	<b>AVALIAÇÃO DE CASO REAL</b> .....	41
3.1	<b>Condições do Projeto Inicial da Empresa A</b> .....	41
3.1.1.	<u>Estrutura das Salas</u> .....	48
3.1.2	<u>Escopo</u> .....	48
3.1.3	<u>Perfil da Produção</u> .....	49
3.2	<b>Levantamento do Projeto Inicial da Empresa B</b> .....	51
3.2.1.	<u>A Condições do Projeto Inicial da Empresa</u> .....	52
3.2.2.	<u>Considerações Preliminares</u> .....	52
3.2.3.	<u>Escopo</u> .....	52
3.2.4	<u>Perfil de Produção</u> .....	53
4	<b>ANALISA DOS DADOS OBTIDOS DAS EMPRESAS</b> .....	60
4.1	<b>Avaliações da Empresa A</b> .....	60
4.2	<b>Avaliações da Empresa B</b> .....	63
5	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	65
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	69
6.1	<b>Recomendações</b> .....	71
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	72

<b>ANEXOS</b> .....	78
<b>ANEXO I</b> - Norma ABMT NBR16401 1ª Parte .....	79
<b>ANEXO II</b> - Tabela de Comparação das Classificações das Características dos Filtros .....	90
<b>ANEXO III</b> - Relação dos Fabricantes de Sistemas Filtrantes e Salas Limpas .....	92
<b>ANEXO IV</b> - Quadro de troca de filtros da empresa A .....	97
<b>ANEXO V</b> - Lista de Boas Práticas de Fabricação (BPF)	100
<b>ANEXO VI</b> - Acompanhamento da diferença de Pressão da UTA da empresa B .....	104



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 A Questão

Os seres humanos, nos tempos primitivos viviam em menor número e nas suas atividades do cotidiano necessitavam de um baixo consumo de matéria e de energia. Esse baixo consumo de energia não causava alterações significativas no meio ambiente.

A revolução industrial acarretou um aumento impactante (rápido) na população do planeta e no consumo de matéria e energia

As indústrias e a sociedade, com a evolução do conhecimento dos prejuízos causados por fatores danosos à saúde, têm se preocupado em apresentar soluções preventivas na contaminação de ambientes e materiais que possam afetar o ser humano.

Os níveis de contaminação bastante elevados, em decorrência de vários fatores, como tem sido abordado na literatura, agravaram-se no último século.

A atmosfera, em particular, tem apresentado características cada vez mais agressivas em decorrência de condições do ar, comprometidas pelo crescimento desordenado, criando situações cada vez mais difíceis para a condição de vida humana.

Nos ambientes rurais e urbanos crescem os níveis de contaminação das áreas residenciais e industriais levando os seres humanos a adotarem diferentes estágios de segurança para a manutenção da saúde.

A avaliação ambiental destas áreas se mostra cada vez mais significativa exigindo o monitoramento continuado de modo a se prever as condições de ocorrências críticas, com efeitos localizados, mas se refletindo muito além dos locais de geração.

É importante o conhecimento das fontes de poluição capazes de alterar a composição do ar ambiente, como resultado da atuação do homem, e das formas de bloqueio.

As condições de limpeza ambiental preservadoras da vida, com a manutenção dos níveis de equilíbrio da temperatura e pressão, atingindo de modo direto o ambiente controlado, devem ser propiciadas através da promoção de uso tecnológico sofisticado, que mantenha um ambiente limpo, para que continuem disponíveis às gerações futuras.

A identificação das fontes de contaminação e o conhecimento de sua composição levarão às formas de melhor controle das emissões de partículas dos ambientes restritos. Desse modo, podem ser estabelecidos níveis mínimos de contaminação próximo a zero, que assegurem situações de limpeza compatíveis com ambientes projetados, cumprindo as exigências estabelecidas pela legislação.

Os filtros são na sua maioria feitos com materiais comumente descartados e a tecnologia usada utiliza mantas de fibras sintéticas.

Uma constatação do mundo contemporâneo é a preocupação do homem com o meio ambiente, resultante da incapacidade de sua recomposição diante da velocidade com que o homem o utiliza.

Atualmente a luta do homem com o meio ambiente se desenvolve em duas linhas:

- *A de denúncia*, compreendendo os problemas mais sérios que ameaçam o planeta: o efeito estufa, a depleção da camada de ozônio, o acúmulo de lixo tóxico, a perda da biodiversidade e o esgotamento de recursos não renováveis, além de outros, devido à aplicação de tecnologias inadequadas, má administração de recursos naturais, crescimento populacional ou combinação de vários fatores. Isto causa poluição do ar, desertificação, enchentes, chuva ácida, erosão, esgotamento de recursos hídricos, contaminação radioativa etc.
- *A de acusação*, compreendendo a identificação dos responsáveis principais pelos danos ecológicos ao planeta.

Vê-se que a aplicação de um modelo racionalizado, em que se aumente a eficiência do processo produtivo pelo aumento da produção com menor consumo de recursos, tenderia a

uma recuperação gradativa dos recursos naturais, se os níveis de produção fossem estabilizados.

A luz dos acontecimentos atuais, a racionalidade apresenta-se no momento sob um fantástico crescimento do rendimento econômico das matérias primas básicas, e em um crescimento acelerado da produtividade do trabalho. Por este processo, na aplicação da racionalidade, somos levados ao uso de menor quantidade de recursos naturais.

A história do processo de formação econômica do mundo moderno pode ser observada por três faces que interagem:

- a intensificação do esforço acumulativo mediante a elevação da poupança de alguns países.
- a ampliação do horizonte de possibilidades técnicas;
- o aumento da parcela da população com acesso a novos padrões de consumo (FURTADO,1998)

Estas são condições onde as atividades econômicas geram mudanças estruturais, manifestadas em parte dos países, com concentrações de renda e exclusão social, criando conseqüências adversas. O crescimento econômico tem gerado uma nova forma de organização social e distribuição de renda, provocando ameaças, desafios e incertezas.

Esta fase de transformação teve um desenvolvimento histórico com etapas características da História Moderna, constituindo uma revolução sistêmica centrada na concepção ecológica, destacando-se alguns marcos como:

- abolição do padrão ouro para o dólar;
- 1ª grande conferência sobre a questão ambiental (Estocolmo,1972);
- Relatório Brundtland, com a proposição de “Desenvolvimento sustentável como sendo aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades...”(BRUNDTLAND, 1991,p.46 apud BECKER,1999,p.56);
- ECO 92 (Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD)

Contudo, a lógica do mundo atual ainda permanece centrada na irracionalidade, onde se observa a constante tendência de estímulo ao aumento da concentração das riquezas e ampliação do empobrecimento, dando continuidade à lógica do pensamento neoliberal. (FURTADO,1998)

## Colocação do Problema

Em contato com empresas nacionais fabricantes de filtros, constatou-se que as mantas utilizadas nos filtros absolutos (HEPA - high efficiency particulate air) - largamente usados em salas limpas - apresentam custo muito elevado e não são fabricados no Brasil.

As indústrias que utilizam salas limpas em suas linhas de produção, necessitam de uma reavaliação constante dos procedimentos de troca dos filtros do sistema de alimentação de ar das referidas salas.

É possível se estabelecer um procedimento controlado de troca dos filtros, explorando ao máximo sua capacidade de uso. Nem sempre os procedimentos indicados pelos fabricantes são adotados.

## Objetivos

### Objetivo Geral:

Este trabalho tem por objetivo definir os procedimentos de troca de filtros grossos finos e absolutos (HEPA), utilizados em unidades industriais que fazem uso de salas limpas, nos seus processos produtivos, elevando a eficiência no seu aproveitamento.

### Objetivos Específicos:

- Estudar a sala limpa de uma empresa A e verificar os seus procedimentos de troca dos filtros;
- Estudar a sala limpa de uma empresa B e verificar os seus procedimentos de troca de filtro;
- Comparar os procedimentos utilizados pelas empresas A e B para a troca de filtros nas suas unidades de tratamento de ar (UTA);
- Analisar a diferença dos custos nas duas diferentes metodologias de troca de filtro, utilizadas pelas empresas A e B;
- Estabelecer sistematização de troca de filtros de modo a maximizar a utilização dos filtros e minimizar os custos, tendo como objetivos manter as salas limpas funcionando dentro dos seus limites exigidos, aumentando a eficiência do sistema.

## Justificativa

Este estudo tem aplicação na melhoria da qualidade do ar em ambientes interiores. Desta forma fica destacada a importância deste trabalho na contribuição para preservação da saúde do trabalhador dos ambientes industriais que atuam em salas limpas.

## Metodologia

O estudo baseou-se em duas vertentes: a primeira na pesquisa bibliográfica, a livros, artigos, monografias, dissertações, publicações especializadas, estatísticas oficiais, normas, legislações, casos de acidentes ocorridos, entidades reguladoras nacionais e internacionais.

A segunda etapa deste trabalho foi o levantamento de dados coletados em duas indústrias que possuem salas limpas da classe 100.000.

Foram obtidas informações de projetos dessas salas limpas, dados sobre suas certificações e periodicidade de troca dos filtros que fazem parte das unidades de tratamento de ar.

Com as informações pesquisadas, fez-se uma seleção dos dados levantados sobre sistemas de tratamento, para a elaboração de um quadro sinótico envolvendo as principais características de cada sistema, e sua adequação ao processo industrial em uso.

Por fim, foi feita uma comparação entre as duas salas limpas estudadas para que possa verificar as vantagens e desvantagens dos procedimentos adotados nas duas unidades industriais.

Durante o processo de entrevistas com os profissionais das indústrias, fabricantes e consultores, foi elaborado um anexo das melhores práticas para indústrias com salas limpas no Anexo VI.

## Delimitação da Pesquisa

O conjunto das informações contidas neste trabalho deve ser considerado como ferramenta que servirá para auxiliar a compreensão e implementação das múltiplas alternativas para um desenvolvimento sustentável no, âmbito da qualidade do ar no seguimento industrial.

Este trabalho limitou-se aos problemas das salas limpas e às condições do seu entorno. Não foram considerados as condições de poluição do ar externo nas unidades das empresas A e B.

Sabendo que as salas limpas requerem procedimentos e cuidados especiais de manutenção das suas instalações apresenta-se como o foco principal deste estudo.

## Organização

A composição deste trabalho apresenta-se como material de leitura, organizado em cinco capítulos e anexos.

O primeiro capítulo aborda os objetivos do trabalho, metodologia utilizada, característica sobre a importância deste estudo e as limitações na realização do trabalho.

O segundo capítulo: a Qualidade do ar – contextualiza a poluição atmosférica em particular o material particulado nos ambientes, a legislação e normas reguladoras vigentes nacionais e internacionais, a descrição dos filtros de ar e classificação e modelos de salas limpas.

O terceiro capítulo: Apresenta dois projetos de salas limpas de mesma classe, com características distintas de disposição apresentação e processo de manutenção.

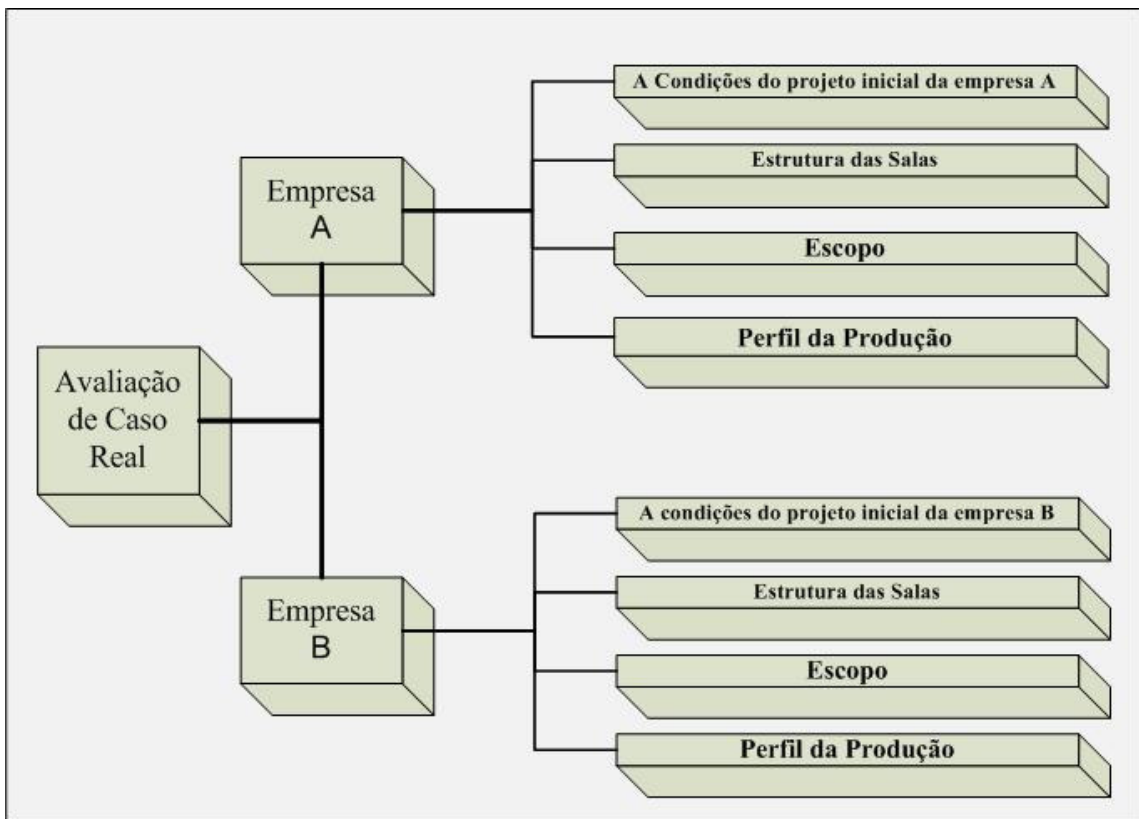


Figura 1 Esquema da Apresentação dos projetos de cada empresa.

O quarto capítulo analisa os dados obtidos das indústrias A e B , considerando as sugestões de boas práticas de fabricação e estabelecendo parâmetros indicativos de otimização do sistema de tratamento do ar nas salas limpas.

O quinto capítulo apresenta as análises dos resultados. Nele são expressos soluções e as possibilidades de aproveitamento de processos para os sistema de filtragem e de otimização para a empresa que apresenta desempenho de recursos mais desfavorável.

O sexto capítulo apresenta as conclusões e recomendações finais, onde são apresentadas as comparações entre as empresas, as recomendações finais.

## **2. QUALIDADE DO AR.**

### **2.1 Contextualização**

Eventos de poluição do ar tem causado transtornos aos seres humanos, registros do século XII relatam a preocupação com os problemas relacionados com a qualidade do ar (FILAYSON – Pitts, 2000).

Um marco histórico ocorrido em Londres, 1952, registrou o mais famoso e grave episódio de poluição do ar. Neste evento, aproximadamente 4 mil pessoas morreram em decorrência de problemas respiratórios ocasionados por alta concentração de SO<sub>2</sub> e material particulado.

Estas altas concentrações aliadas a um conjunto de condições meteorológicas desfavoráveis, ocasionaram em alguns locais inversões térmicas que chegaram a altura de 45m e visibilidade de 20 metros. As concentrações de SO<sub>2</sub> e material particulado atingiram valores de 1,3 ppm e 4,5 mg m<sup>-3</sup> respectivamente.

Após este grave episódio teve início o controle das emissões e em 1956 e 1962, condições meteorológicas adversas como as de 1952 se repetiram mas o número de óbitos foi reduzido consideravelmente.

### **2.2 Poluição atmosférica**

Segundo a OCDE - Organization for Economic Co-operation and Development, pode-se definir a poluição atmosférica como “A introdução, direta ou indireta, pelo homem, na atmosfera, de substância ou energias que ocasionem conseqüências prejudiciais, de forma a colocar em perigo a saúde humana, causar dano aos recursos biológico e aos sistemas ecológicos ou perturbar as outras utilizações legítimas do meio ambiente”.

A terra contempla um complexo de substâncias em equilíbrio, onde solo, água e ar têm suas parcelas de contribuição. O rompimento desse equilíbrio gera condições adversas cíclicas de proporções desiguais, que podem se transformar em níveis permanentes capazes de serem absorvidas pelo ecossistema ou, quando não, impõem condições de vida com reflexos permanentes, modificando as características do hábitat natural. Tais evidências levam a condição de poluição ambiental quando seus efeitos



são perceptíveis e mesmo mensuráveis no ambiente seja pelas ações sobre o homem, a flora, a fauna, a água, o solo e os materiais.

Os poluentes atmosféricos podem ser emitidos por fontes móveis ou fixas podendo ser de origem natural ou antropogênica. Os poluentes primários, são lançados diretamente na atmosfera, podendo ser emitidos por fontes antrópicas ou naturais. Uma vez lançados na atmosfera estes compostos irão reagir quimicamente, sob influência de fatores meteorológicos como temperatura e radiação solar e, como consequência deste conjunto de fatores que acontecem naturalmente envolvendo temperatura, pressão, umidade e reações químicas, ocorre a formação dos poluentes secundários, conforme apresentado na Figura 2.

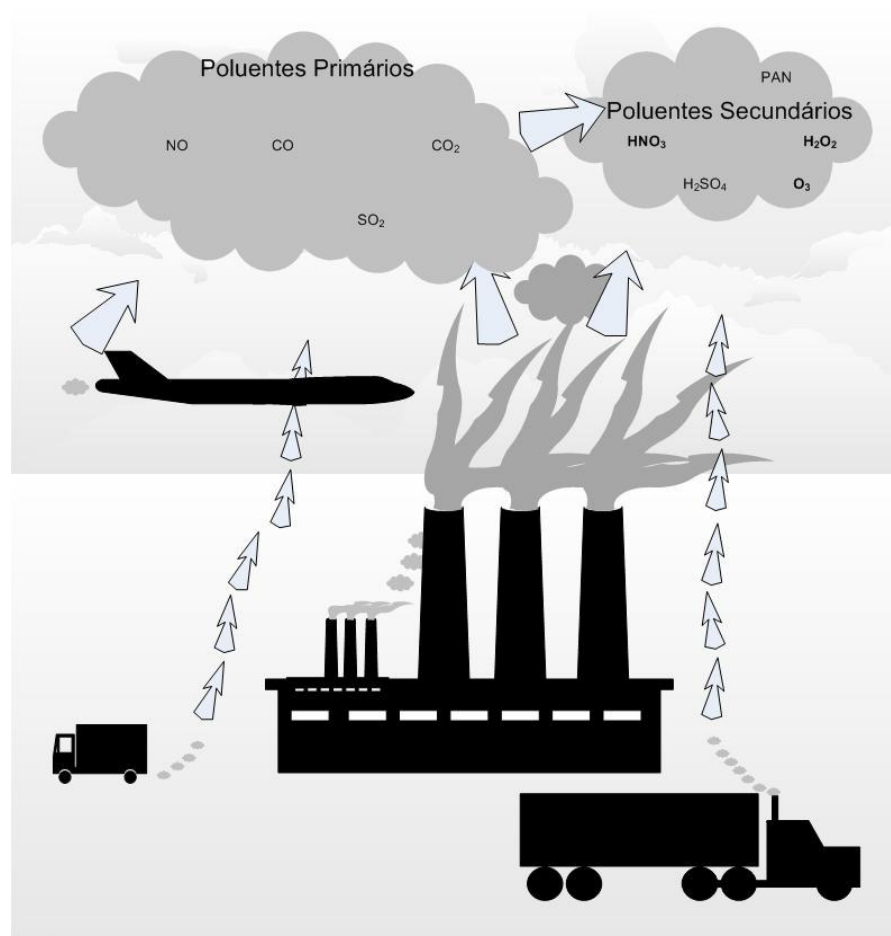


Figura: 2: Processo que ocorre na atmosfera desde a emissão dos poluentes primários até a formação dos poluentes secundários

O comportamento da natureza, em particular da atmosfera, no mundo tem assumido importância crescente em relação direta com a evolução do homem e de suas necessidades, envolvendo o uso dos bens disponíveis na natureza. É reconhecido de modo generalizado que a atmosfera representa um dos mais importantes caminhos para a circulação e transformação geoquímica de elementos maiores e traços (SILVA FILHO, 1997).

### **2.3 Material particulado**

São os poluentes atmosféricos como poeiras, pós, sujeiras, fuligem e aerossóis originadas de várias fontes, que emitidos na atmosfera por fontes naturais como queimadas, erupções vulcânicas e tempestades de areia. Podem ainda ser emitidos por fontes antrópicas fixas e móveis como processos industriais e veículos a diesel, respectivamente

Estas partículas são encontradas em diversos tamanhos, sendo que quanto menor o tamanho da partícula mais tempo ela permanecerá em suspensão e mais profundamente atingirá o aparelho respiratório humano. As partículas menores, geralmente, estão associadas as atividades desenvolvidas pelo homem como os processos de combustão. Pode-se também sofrer processo de aglutinação aumentando de tamanho, e por força da gravidade se depositam. As partículas maiores tendem a permanecer em menor tempo em suspensão. Quando inaladas por humanos são bloqueadas nos pêlos das narinas evitando a penetração no aparelho respiratório. Partículas maiores são emitidas em maior número por processos de re-suspensão e emissões naturais.

O Quadro 1 mostra os poluentes emitidos por diversos tipos de fontes naturais, antropogênicas fixas e móveis. Verifica-se que o material particulado pode ser emitido por diferentes fontes, e, através de reações químicas formam-se os aerossóis secundários.

QUADRO 1 – Principais Fontes de Poluição e Poluentes Encontrados na Atmosfera

Fontes		Poluentes
Antropogênicas Estacionárias	Combustão	Material Particulado Dióxido de Enxofre e Trióxido de Enxofre Monóxido de Carbono, Hidrocarbonetos e Óxidos de Nitrogênio
	Processos industriais	Material Particulado (fumos, poeiras, névoas)
		Gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, mercaptanas, HF, H <sub>2</sub>
	Queima de resíduos sólidos	Material Particulado Gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, NO <sub>x</sub>
Outros	Material Particulado, Hidrocarbonetos.	
Antropogênicas Móveis	Veículos a álcool, gasolina/Diesel, aviões, motocicleta, barcos, trem etc.	Material Particulado, Monóxido de Carbono, Óxidos de Enxofre, Óxidos de Nitrogênio, Hidrocarbonetos, Aldeídos, Ácidos Orgânicos
Naturais		Material Particulado, Poeiras, Gases, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO, NO, NO <sub>2</sub> , Hidrocarbonetos.
Reações Químicas na Atmosfera (Ex.: Hidrocarbonetos + Óxido de Nitrogênio – Luz Solar)		Poluentes Secundários – O <sub>3</sub> , Aldeídos, Ácidos Orgânicos, Nitratos, Aerossol Fotoquímico etc.

Fonte: CETESB, 1992.

Quanto ao tamanho das partículas normalmente são pouco visíveis ou até invisíveis aos olhos humanos.

As partículas visíveis a olho nú (geralmente em condições especiais de feixe luminoso) tem diâmetro em torno de 100 microns como por exemplo o cabelo. Já partículas menores como bactéria e vírus só podem ser vistas com auxílio de microscópio.

Na Figura 3 se encontra de forma ilustrativa a abrangência dos tamanhos das partículas emitidas por poeiras e fumaças.

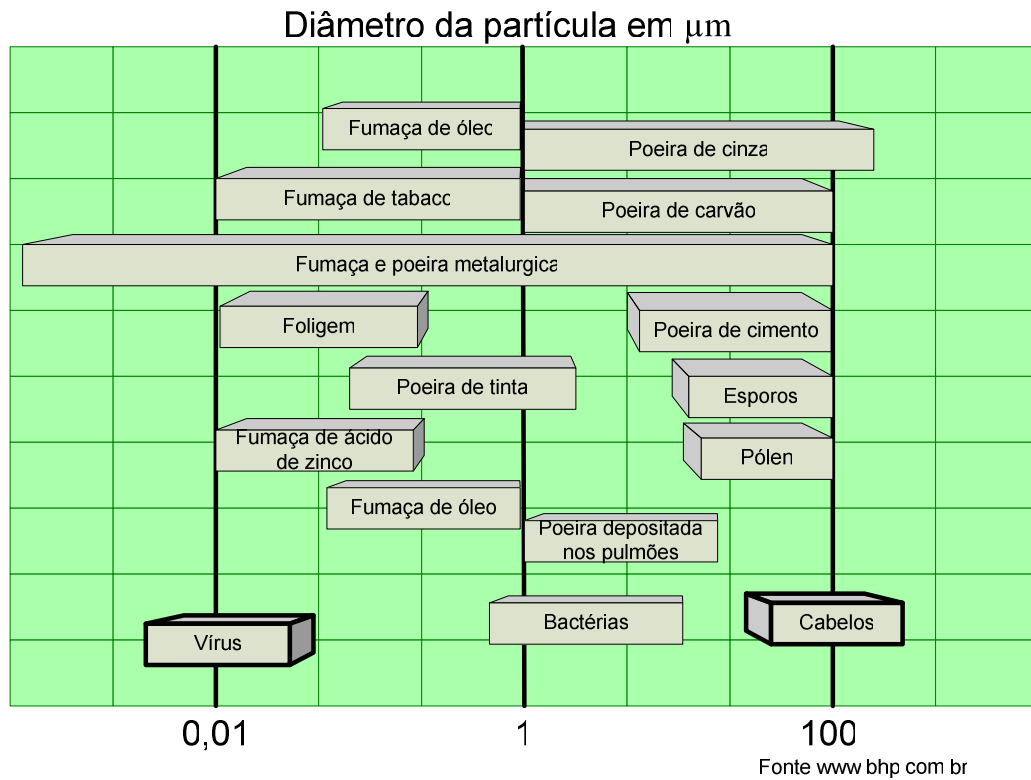


Figura 3: Tamanho de partículas mais comuns encontradas nos ambientes

## 2.4 Legislação Brasileira

Diante da necessidade de controle e monitoramento das substâncias poluentes que causam danos ao ambiente, foram elaboradas diversas normas e legislações por entidades técnicas, órgãos governamentais, e internacionais, visando o estabelecimento de procedimentos padronizados. As abordagens quanto ao procedimento vão desde parâmetros para amostragem e identificação da fonte poluidora até acordos internacionais para orientação, controle e gestão de limites e procedimentos para preservação da saúde do homem e do ambiente.

A legislação brasileira, em 1990, na resolução CONAMA 03/90, regulamentou os padrões de qualidade do ar para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Seus limites estão apresentados no Quadro 2 (BRASIL.CONAMA, 1990).

QUADRO 2: – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Atmosférico

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Métodos de medição
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA (3)	50	50	
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Reflectância
	MAA (3)	60	40	
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora (1)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas (1)	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm).	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1)	320	190	Quimioluminescência
	MAA (3)	100	100	

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez por ano; (2) Média geométrica anual; (3) Média aritmética anual.

Fonte: (BRASIL.CONAMA, 1990)

Os padrões utilizados pela resolução Brasileira seguem a mesma classificação dos padrões americanos e podem ser classificados de duas formas: primários e secundários (OLIVEIRA, 1992).

A CONAMA define que os padrões primários de qualidade do ar com as concentrações de poluentes que ultrapassados, poderão afetar a saúde da população e os

padrões secundários como as concentrações de poluentes abaixo dos quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano a fauna, a flora, aos materiais e ao meio ambiente. Em geral ou seja, padrões primários são níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo em metas de curto e médio prazo e os padrões secundários são níveis desejados para as metas de curto prazo

*Na Portaria nº 3.523 do Ministério da Saúde de 28/08/1998 através do regulamento técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência dos componentes dos sistemas de climatização, para garantir a qualidade do ar de interiores e prevenção de riscos à saúde aos ocupantes de ambientes climatizados. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria nº 3.523).*

Dois anos mais tarde na Resolução nº 176 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária surgiu uma orientação técnica contendo padrões referenciais de qualidade de ar interior em ambientes de uso público e coletivo, climatizados artificialmente. A Resolução recomenda o índice máximo de poluentes de contaminação biológica e química, além de parâmetros físicos do ar interior. A resolução prevê ainda métodos analíticos e recomendações para controle e correção, caso os padrões de ar venham a ser considerados regulares ou ruins. (MINISTÉRIO DA SAÚDE Resolução nº 176).

Ápos 6 anos quando surgiu no CONAMA, a Resolução nº 382 de 2006 que “Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”.

Considerando, entretanto, as especificidades de certos ambientes, têm sido adotados padrões diferenciados para algumas áreas, muitas vezes com auxílio de legislações estaduais, amparadas em critérios de preservação ambiental.

A seguir são apresentadas algumas normas e acordos, com breves comentários sobre seus conteúdos práticos. Algumas considerações foram incluídas, configurando um alicerce legal e suporte para os procedimentos de fiscalização que visam um desenvolvimento sustentável.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR ISO 14001, instituiu o sistema de gestão ambiental, que aborda a especificação e as diretrizes para uso nas empresas, tem por objetivo prover às organizações com os elementos de um sistema de gestão ambiental eficaz, capaz de integração com outros requisitos de gestão de forma a auxiliá-las a alcançar seus objetivos ambientais e econômicos. Nela estão especificados os requisitos de tal sistema de gestão ambiental, tendo sido redigida de forma a aplicar-se a todos os tipos e portes de organizações e para adequar-se a diferentes condições geográficas, culturais e sociais. Seu conteúdo está dirigido para os requisitos que podem ser objetivamente auditados para fins de certificação, registro, e/ou autodeclaração. A orientação sobre técnicas de apoio à gestão ambiental faz parte de outras Normas que se complementam a esta.

Na norma NBR 9547 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) o material particulado em suspensão no ar ambiente é determinado pela concentração total pelo método do amostrador de grande volume (norma revisada). Esta norma especifica um método de ensaio para a determinação da concentração mássica de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, em um período de amostragem determinado, utilizando um amostrador de grande volume (AGV). O processo de medição é não destrutivo e o tamanho da amostra coletada é geralmente adequada para posterior análise química.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na MB 3402 determina a taxa de poeira sedimentável total, esta norma descreve o método de determinação da quantidade de poeira sedimentável total na atmosfera, precipitada em uma área de 1 km<sup>2</sup>, durante um período de 30 dias. Ela considera poeira sedimentável aquela presente na atmosfera, suscetível à coleta por sedimentação livre, composta de partículas sólidas ou líquidas suficientemente grandes para se depositarem no frasco coletor e bastante pequenas para atravessarem a peneira de 0,84 mm (20 mesh).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária publicou no D.O.U – Diário Oficial da União de 27/12/2005 uma consulta pública nº 98, de 26 de dezembro de 2005, um Regulamento Técnico sobre Boas Práticas de Fabricação Específicas de Produtos Intermediários e Insumos Farmacêuticos Ativos as normas para esse estabelecimentos (D.O.U, 27/12/2005)

## **Algumas Normas e Legislações Internacionais**

No Brasil a Agenda 21 Nacional está mobilizando vários segmentos da sociedade, desencadeando um processo de planejamento participativo. Sua coordenação é realizada pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional, presidida pelo Ministério do Meio Ambiente.

A norma ISO 14644-1 é agora aceita como padrão ao redor do mundo para a classificação e certificação da qualidade das condições do ambiente em salas limpas e áreas classificadas (MONITORAMENTO, 2008).

- **Convenção da Basiléia**

Trata da regulamentação do transporte e disposição de resíduos tóxicos, e obriga à redução na produção de substâncias perigosas. Foi assinada em 1989, sob os auspícios do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente –PNUMA. Reuniu 150 países membros, sendo um deles o Brasil, que aderiu à Convenção em outubro de 1992. Nesta Convenção é estabelecido um regime internacional de controle e cooperação cujo objetivo é incentivar a minimização da geração de resíduos perigosos, sugerindo mudanças nos próprios processos produtivos, e reduzir o movimento transfronteiriço desses resíduos. Este é considerado o único tratado internacional que pretende monitorar inclusive o impacto ambiental das operações de depósito, recuperação e reciclagem que se seguem ao movimento transfronteiriço de resíduos perigosos (BASEL, 2008).

- **Protocolo de Quioto**

Em 1997, na cidade de Kyoto no Japão é assinado protocolo de Kyoto em que uma série de nações industrializadas se comprometem a reduzir suas emissões em 52% em relação aos níveis de 1990 dos gases de efeito estufa.

Meta que deverá ser atingida no período entre os anos de 2008 e 2012. Este protocolo não prevê metas de redução para países em desenvolvimento de novas e renováveis formas de energia. O protocolo de Kyoto ainda incentiva os créditos de carbono e os mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) (GREENPEACE, 2008).



Seu objetivo principal é firmar entre as nações, compromissos de estabelecimento de metas de limitação e redução de emissões de gases de efeito estufa. Foi estabelecido em 11 de dezembro de 1997, para a Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. O protocolo dispõe sobre metas de controle de emissão de gases de efeito estufa para países desenvolvidos e com economias em transição, e deverá assegurar uma redução global de cerca de 5% no nível de emissões destes gases em relação ao ano de 1990; Promove o estímulo para o desenvolvimento de formas novas e renováveis de energia, paralelo à limitação/redução de emissões do gás metano(GREENPEACE, 2008).

## **2.5 Filtros de Ar**

Os filtros de ar são unidades de controle dimensionadas para bloquear o material particulado que poderá afetar o meio ambiente e a saúde humana.

O termo filtro tem origem do latim *filtru*, que significa feltro, um elemento que deixa passar ou barra determinado produto, elemento ou energia de acordo com o uso físico que se dá a este.

São projetados para várias finalidades e funções atendendo aos diversos seguimentos da indústria, saúde e rede hospitalar.

A escolha de um filtro depende do tipo de material particulado e o tamanho aerodinâmico médio que se pretende reter. Diferentes atividades realizadas pelo homem emitem partículas com diferentes tamanhos. No Quadro 3 são mostrados os tamanhos médios de partículas emitidas por diferentes atividades antropogênicas. (MACINTYRE, 1990)

Quadro 3: Tamanho médio aproximado de poeiras emitidas por diferentes atividades humanas

Tipo de pó	Tamanho médio ( $\mu\text{m}$ )
Poeira no ar externo	0,5
Jato de areia	1,4
Corte de granito	1,4
Pedreira:	
- local de britagem	1,4
- local de filtragem	1,3
- moinho de discos	0,9
Fundição – ar geral	1,2
- separação de produtos	1,4
Corte de mármore	1,5
Corte de pedra sabão	2,4
Pó de alumínio	2,2
Pó de bronze	1,5
Mineração de carvão :	
- ar no britador	1,0
- ar da mina	0,9
- carregamento de carvão	0,8
- perfuração da rocha	1,0

Fonte: MACINTYRE, 1990

### 2.5.1 Filtros de Tecido também conhecido como Filtros de Manga

Os filtros de manga são bastante usuais em unidades industriais que em suas atividades acabam emitindo quantidades significativas de material particulado. Uma vez que os processos industriais devem respeitar os limites de emissão estipulados pela resolução CONAMA 382/06 e essa atividade industrial não pode fazer com que os padrões de qualidade do ar sejam ultrapassados. Dessa forma os filtros de manga têm grande controle sobre as emissões de material particulado.

Os filtros de tecido são instalados em compartimentos denominados de “baghouses”, que usualmente denominam o próprio sistema. Há, entretanto algumas distinções quanto ao processo de limpeza destes filtros, além da variedade de tipos, composição de tecidos.

As partículas que se alojam na superfície dos filtros (“bags”), fazem com que a resistência a passagem do ar se eleve, e antes que esta diferença de pressão se torne muito severa, os filtros devem ser aliviados de parte destas partículas que formaram uma película, como uma camada na superfície do tecido. Estes filtros podem ser limpos intermitentemente, a períodos regulares, ou continuamente. (PEAVY, H. S. et al, 1985)



Figura 4: Estrutura externa bastante utilizada como suporte para os filtros de tecido.

Na Figura 4 é uma unidade muito utilizada e bem aceita na indústria em sistemas de ventilação local. Os filtros são constituídos por pedaços de pano costurado em forma de cilindros ou envelopes e montados, num compartimento –(baghouse). Durante a operação, o ar de exaustão é direcionado através do tecido por um ventilador, e as partículas tanto são coletadas pelo próprio tecido como por uma camada de pó criada na superfície deste tecido (por acumulo de pó), e depois são recolhidos por uma corrente de exaustão de saída (BURGESS, W.A. et al, 1989). O ar normalmente penetra pela parte interna, quando a boca do saco de tecido fica embaixo, e sai deixando as impurezas no lado de dentro. Quando se emprega uma armação interna de vergalhões para manter a manga com a forma cilíndrica, o ar penetra de fora para dentro e sai pela parte central da boca colocada na parte superior (MACINTYRE, 1990).

Na figura 5 é apresentado o sistema de funcionamento de um filtro de mangas. Estes filtros são capazes de remover uma grande parte de material particulado com tamanho aerodinâmico de  $0,5\mu\text{m}$  e uma significativa quantidade das partículas com tamanho aerodinâmico de  $0,1\mu\text{m}$  (eficiência de remoção das partículas).

As estruturas de suporte utilizadas nos filtros de manga podem ser apresentar uma grande variação de tamanho. Podem ser suficientemente pequenas para caber numa sala ou grande o bastante que a própria indústria ira parecer pequena.

Eles são capazes de remover a maior parte de partículas tão pequenas quanto  $0,5 \mu\text{m}$  e também removerão substanciais quantidades de partículas tão pequenas quanto  $0,1\mu\text{m}$ . Sua arrumação pode ser pequena o bastante para caber numa sala, ou ser tão grande, que o tamanho da própria industria irá parecer pequena, proporcionalmente ao seu compartimento do “baghouse” (PEAVY, H. S. et al, 1985).

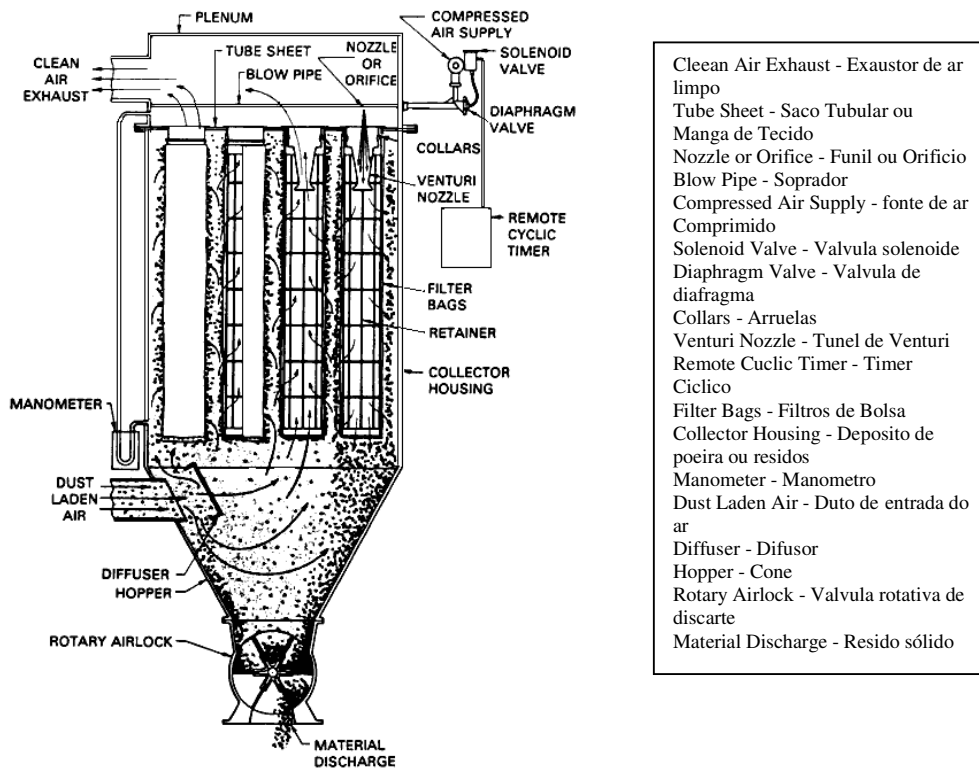


Figura 5: Sistema básico de operação de um Filtro de Manga.

Fonte: <http://www.mindfully.org>

### 2.5.2 Filtros de Fibra

Os filtros de fibras têm classificação como meio filtrante (BURGESS, W.A. et al, 1989 - TORREIRA, 1999), ou em formato de painéis compactados, ou mantas. (MACINTYRE, 1990)

O meio filtrante define os equipamentos que coletam as partículas. A capacidade de captura aerodinâmica do filtro individual dependerá da espessura do filtro.

São vários os tipos de fibras, ou grânulos, empregados neste dispositivo, entretanto, como seu processo é para reter o particulado em seu interior, geralmente sua limpeza ou reuso são difíceis, e por este motivo, em sua maioria é descartável. Suas principais aplicações são: pré-filtro para remover grandes partículas antes de um coletor, num segundo estágio, de grande eficiência; e também como filtro para poeiras que não podem ser facilmente coletadas ou limpas de outros coletores. Um exemplo da primeira aplicação é em filtragem de fornos comuns. Para a segunda aplicação seria o filtro de fibra de camada profunda, utilizado para coletar partículas pegajosas (BURGESS, W.A. et al, 1989).

Os filtros utilizados em sistemas de ar condicionado são utilizados para obter certo grau de limpeza, obedecendo a determinadas exigências estabelecidas em aplicações, onde podem ser divididos em três categorias, de acordo com a composição do meio filtrante: filtros grossos; filtros finos e filtros absolutos, com as características a seguir:

i) Filtros grossos:

- Bom para coletar partículas maiores de 10 $\mu$ m;
- Utilizado como pré-filtro em sistemas que tratam da contaminação atmosférica normal;
- Retém as partículas por processo de intercepção direta ou impacto inercial;
- Em geral é constituído de forma plana e de pouca profundidade.
- O meio filtrante é formado por fibras grossas, em camadas, e de grande porosidade, e se forem camadas finas, terão boa capacidade de retenção;
- O fato de ser impregnado (banhado) por substância viscosa como glicerina ou óleo dá a característica viscosa ao filtro;
- O tempo de vida útil vai ser sinalizado pela secagem da substância impregnada, e quando houver queda de pressão, e ocorrer saturação;

- Possui duas configurações básicas de composição interna da trama, com variações de densidade e da velocidade da filtragem, sendo o de densidade interna variável (progressiva), tendendo para uma condição de menor velocidade; e o de densidade uniforme para alta velocidade.(CARRIER AIR COND. Co, 1970). O de alta velocidade pode ser afetado se houver grande quantidade de fiapos;
- Pode ser constituída por fibras grossas de vidro, crina, fibras vegetais, fibras sintéticas, lã metálica além de variadas configurações de peneiras metálicas, crivos de malha, malhas de tecido, metal estampado, placas, ou combinações destes;
- É empregado em sistemas fixos ou de renovação automática conforme a Figura 6, sendo que os automáticos apresentam uma resistência constante à corrente de ar, possuindo dispositivos de mecanismo temporizado ou sensível a pressão, utilizando filtro em forma de bobinas de mantas. (TORREIRA, 1999; CARRIER AIR COND. Co, 1970).

*ii) Filtros finos:*

É constituído por meios filtrantes de diferentes materiais e de diferentes espessuras. Os meios filtrantes podem ser de fibras de vidro, de celulose, feltros e fibras sintéticas. Em formato de painéis, bolsas e também é empregado em sistemas conforme a Figura 7 de renovação automática, sendo que os automáticos apresentam uma resistência constante a corrente de ar, possuindo dispositivos de mecanismo temporizado ou sensível a pressão, utilizando filtro em forma de bobinas de mantas.

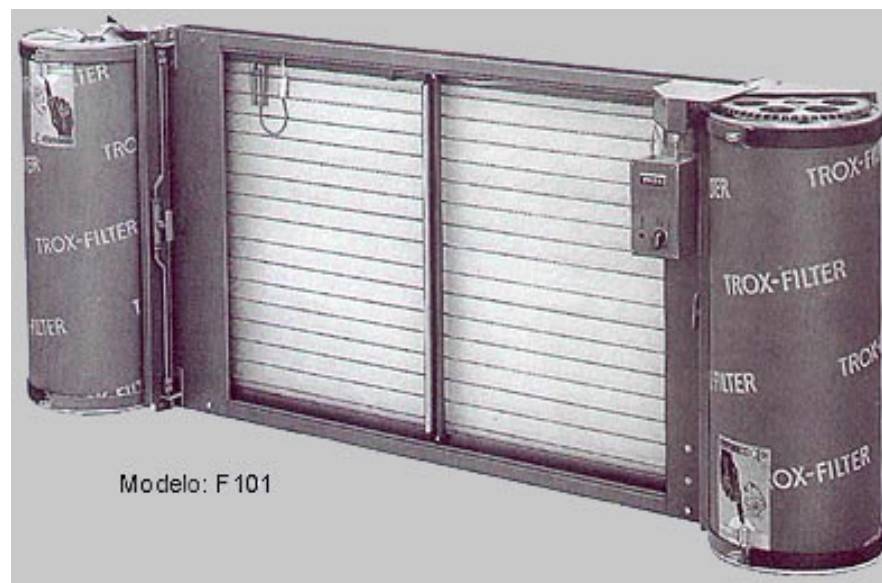


Figura 6: Filtro com renovação automática. (NASCIMENTO, 2002)

Geralmente, em sistema fixo, adota-se um quadro ou estrutura metálica na forma de bolsas ou dobras em forma de “V” (filtro em cunha) – para aumentar a área de superfície de filtração em relação à área da seção transversal, ou mesmo em módulos planos, com modelos apropriados para serem instalados em paredes ou em dutos.



Figura 7: Filtro em forma de cunha.

(NASCIMENTO, 2002)

O meio filtrante fino possui manta mais “fechada” que o filtro grosso, com velocidade do ar menor, devido a maior resistência a ser vencida. O rendimento depende do tamanho e separação das fibras, além de suas propriedades de porosidade. Fibras pequenas, densamente distribuídas, apresentam maiores rendimentos na filtração, mas podem ter baixa resistência, com curta duração devido as altas pressões que são submetidas. Em sistemas de tratamento de ar não são descartadas as possibilidades de rompimento desses filtros.

(NASCIMENTO, 2002)



### iii) Filtros plissados de alta eficiência HEPA (Filtros Absolutos)

O primeiro filtro HEPA, foi concebido em 1940, com a finalidade de uso a bordo de embarcações militares americanas pela Comissão de Energia Atômica durante o Projeto Manhattan para evitar que contaminantes radioativos afetassem os tripulantes. Só mais tarde na década de 1950 foram produzidos para os consumidores que teriam problemas alérgicos, pulmonares, unidades de tratamento intensivo, salas de cirurgia, cabines de ensaios com contaminantes nocivos a vida humana, salas especiais com necessidades de redução de poluentes e de microrganismos causadores de doenças.

O termo HEPA (*High Efficiency Particulate Air*) se tornou em uma marca registrada e um termo genérico para reter partículas minúsculas obtendo uma alta eficiência de filtração, em torno de 99,97% de eficiência.

Ao longo dos anos, os filtros HEPA têm evoluído para atender as várias necessidades dos vários seguimentos de produtos e serviços produtivos. Pode-se enumerar algumas áreas de produtos como filtros para motores especiais, carros e motos competitivos, aeronaves, unidades submarinas e aeroespacial. Na área biomédica e de pesquisa o campo é vasto e atualmente setores de apoio a indústria médica e de alimentação também já estão buscando diminuir as condições de contaminação.

Eles são usados para prevenir contra a propagação de bactérias, fungos, vírus que potencialmente levar a contaminações e infecções. Portanto normalmente após a troca são incinerados.

Os filtros HEPA estão disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos, formatos e normalmente são produzidos com fibras artificiais de celulose ou sintéticas. Esses filtros exigem compressão mais elevada que os filtros grossos e finos.

No Brasil as empresas fornecedoras importam esses filtros que já vem com a certificação dos seus países de origem. As certificações mais conhecidas são ASHRAE 52.2 (norte americana) e Euro Class EN779 (Europa).

Os filtros HEPA usados em unidades de tratamento do ar para as salas limpas são plissados, propiciando uma maior área de filtração para purificar um maior volume de ar

possível. Alguns podem filtrar 600 pés cúbicos de ar por minuto (cfm), enquanto outros podem filtrar 1200cfm ou 2000cfm, tudo dependerá da quantidade de coifas nos filtros e da capacidade dos exaustores.

(<http://www.naturalstandard.com/index-abstract.asp?create-abstract=/monographs/allergies/allergy-hepafilter.asp>)

Estes filtros são construídos em papel com pregas contínuas, com separadores de alumínio, mas a presença do alumínio pode gerar contaminações, por isso alguns são autoportantes (sem separadores), com mais quantidade de papel para o mesmo volume.

(TORREIRA, 1999; CARRIER AIR COND. Co, 1970)

A técnica de plisso difere entre os fabricantes norte americanos e europeus. Como mostrado na Figura 8 onde em um dos casos se coloca uma folha de alumínio para separar os plissos ( técnica usada no U.S.), enquanto o modelo europeu usa o próprio material ou uma costura sobreposta no material. Essa tendência tem se mostrado mais rentável e diminui o residuo dos filtros.

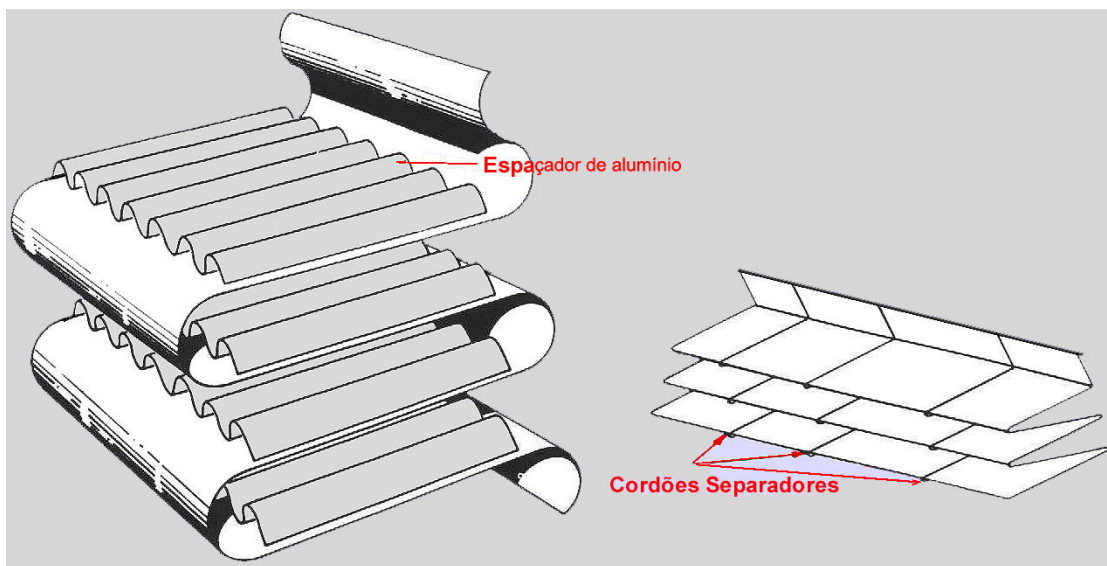


Figura 8: Dois diferentes modos de separar os plissos, utilizando espaçadores de alumínio e cordões separadores.

Possuem eficiência mínima de 99,97%, os fabricantes atestam e certificam que retém partículas de até 0,3  $\mu\text{m}$ . Sua eficiência é creditada por um ensaio, DOP-Test (DOP→aerossol

homogêneo resultante da condensação de vapores de dioctil ftalato), que dá o rendimento do filtro em função da tendência à dispersão de luz das partículas de fumo de  $0,3\mu\text{m}$ .

A retenção das partículas normalmente é feita pelo efeito peneira bloqueando as partículas entre as fibras e por interceptação direta mantendo a partícula colada na fibra por contato direto ou acúmulo de partículas.

A velocidade do ar tem influência no mecanismo de retenção das partículas no interior dos filtros. Nas menores velocidades há maior possibilidade de uma partícula ser desviada de sua trajetória pelo mecanismo de difusão browniana (mecanismo eficiente para reter partículas de tamanho molecular), e impactar contra a fibra, como apresentado na Figura 9.

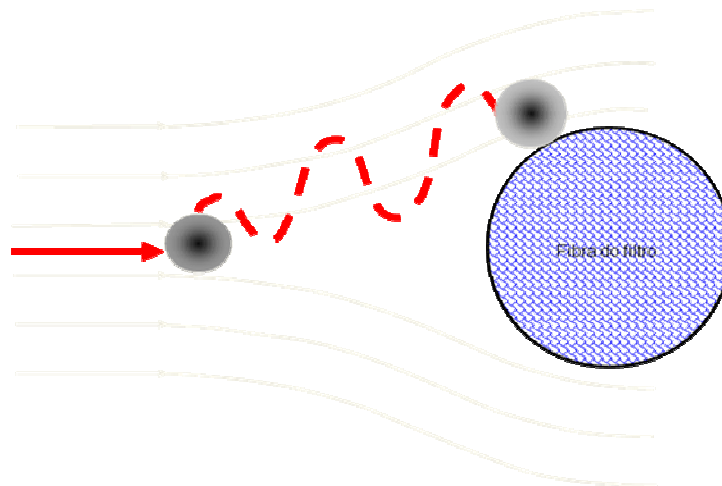


Figura 9: Trajetória pelo mecanismo de difusão browniana.

Com maior velocidade dentro dos filtros os particulados, tendem a manter uma trajetória linear conforme a Figura 10 que aumenta a possibilidade da retenção por inércia para partículas pouco maiores.

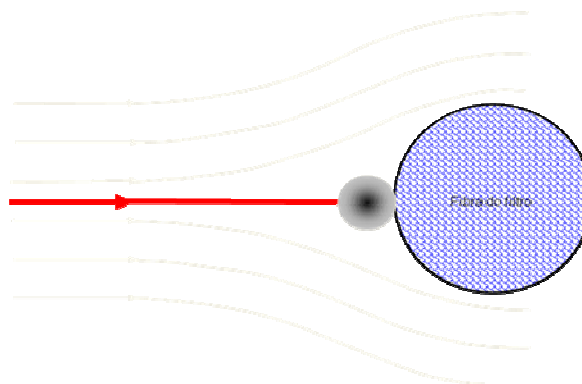


Figura 10: Trajetória pelo mecanismo de difusão por inércia .

Estes filtros possuem algumas classificações, sendo a do IES – Institute of Environmental Sciences, em 5 categorias:

- Tipo A; Classe Industrial – filtragem de ar de insuflamento em áreas não críticas, em processos de indústrias de alimentos, em hospitais e afins.
- Tipo B: Classe Nuclear – aplicação em departamento de energia, reatores comerciais e foguetes.
- Tipo C: Classe laminar – capelas de fluxo laminar ou unidirecional, salas limpas, fábricas de semicondutores e injetáveis.
- Tipo D: Classe VISI – (Very Large Scale Integrated) – produzido por fabricantes norte-americanos, especificamente para aplicar em fábricas de semicondutores e injetáveis.
- Tipo E: para aplicação onde existam riscos biológicos ou áreas contaminadas (TORREIRA, 1999).

Além dos filtros HEPA mencionados para os sistemas de ar condicionado, tem-se os filtros ULPA (Ultra Low Penetration Air). Eles inicialmente tinham eficiência média mínima de 99,999%, medida com 0,3  $\mu\text{m}$ , medida por uma técnica recomendada pelo I.E.S. Devido a exigência das indústrias de microeletrônica, sua usuária, alcançou-se uma eficiência mínima de 99,9995% em 0,12  $\mu\text{m}$ . As exigências para sua aplicação possibilitou desenvolver aparelhos mais sensíveis para detectar e produzir partículas cada vez menores. Um deles é o de núcleo de condensação, que pode medir partículas de até 0,02  $\mu\text{m}$ . Conforme sua classe, podem variar entre 99,9997% e 99,9999%. Os quadros são construídos de alumínio extrudado e madeira compensada auto-extinguível, com vedação entre o meio filtrante e o quadro de poliuretano sólido, ou neoprene, ou outros selos fluidos. Os papéis utilizados para filtro são fabricados utilizando microfibras de borossilicato.

As vedações dos filtros e estruturas de montagem das placas filtrantes são fundamentais para um bom desempenho do processo e da qualidade. Atualmente estão sendo muito usados selos fluidos, que é um material de grande eficiência.

O processo de filtragem do ar usado em unidades de tratamento atmosférico das salas limpas requer obrigatoriamente os três filtros, grossos, finos e absolutos. Onde os filtros

grossos e finos retêm a poeira e partículas maiores, deixando para o absoluto as menores partículas.

Atualmente já estão disponíveis filtros de carvão para essas unidades de tratamento atmosféricas, evitando e eliminando odores.

Diante das várias classificações usadas no mercado pode-se comparar NBR6401, EUROVENT 4/5, EN779 e os métodos de ensaios ASHRAE 52, US Military MS 282 e DIN 24184

QUADRO 4: Classificação de Filtros de Ar

		<b>Classificação de Filtros de Ar</b>				Data: 08/11/08	
						Elaborado: LAT	
NBR 6401		EUROVENT 4/5		EN779	Método de Ensaio		
Classe	Eficiência (%)	Classe	Eficiência (%)	Classe	Tipo	Norma	
G0	30 @ 59	EU1	até 64 *0	G1	0	ASHRAE 52.76	
G1	60 @ 74	EU2	65 @ 79 *0	G2	0	ASHRAE 52.76	
G2	75 @ 84	EU3	80 a 89 *0	G3	0	ASHRAE 52.76	
G3	85 ou >	EU4	90 ou > *0	G4	0	ASHRAE 52.76	
F1	40 @ 69	EU5	40 @ 59 *1	F5	1	ASHRAE 52.76	
F2	70 @ 89	EU6	60 @ 79 *1	F6	1	ASHRAE 52.76	
F3	90 ou >	EU7	80 @ 89 *1	F7	1	ASHRAE 52.76	
		EU8	90 @ 94 *1	F8	1	ASHRAE 52.76	
		EU9	95 ou > *1	F9	1	ASHRAE 52.76	
		EU10	85 @ 94,9 *2		2	US Military MS 282	
		EU11	95 @ 99,49 *2		2	US Military MS 282	
		EU12	99,5 @ 99,949 *2		2	US Military MS 282	
		EU13	99,95 ou >		2	US Military MS 282	
		A1	85 @ 97,90 *2		2	US Military MS 282	
A2	98 @ 99,96 *2	2	US Military MS 282				
A3	99,97 ou > *2	2	US Military MS 282				
		EU14/ST	99,995 @ 99,999949	3	DIN 24184/US Military MS 282		
		EU15/T	99,9995 @ 99,999949	3	DIN 24184/US Military MS 282		
		EU16/U	99,99995 @ 99,999949	3	DIN 24184/US Military MS 282		
		EU17/V	99,999995 ou >	3	DIN 24184/US Military MS 282		

Fonte: NASCIMENTO, 2002)

A classificação dos filtros depende do método de ensaio adotado. Pode ser pela performance do filtro ou pesagem (Arrestance). Na coluna Método de Ensaio, tem-se ensaios Tipo 0 que utiliza pó sintético; Tipo 1 com teste de padrões colorimétricos para filtros finos grau de opacidade; Tipo 2 com teste de padrões Fotométricos indicados para HEPA e superiores e Tipo 3 com teste conforme DIN 24184 para filtros absolutos ou 24185 para filtros grossos e finos.

A necessidade de testar filtros é fundamental, tendo padrões diferentes a comparação é difícil e não é precisa.

Atualmente a indústria europeia de fabricação de filtros tem se identificado com um padrão de medição de filtragem de ar chegou a um acordo para revisar os testes e métodos novo denominado Revised EN 779:2002 que está sendo aplicado desde 2003 para toda a comunidade europeia.

A norma Revised EN 779:2002 proporciona uma condição a todos os fabricantes um padrão de desempenho dos filtros e torna possível, avaliar as propriedades dos filtros para os clientes e fornecedores.

As exigências da qualidade do ar Interior (QAI) e as necessidades órgãos de controle do ar, tornam cada vez mais difícil estabelecer o processo exato de dimensionamento eficaz, tornando o cliente cada vez mais exigente na contratação e avaliação dos serviços.

## 2.6 Salas Limpas

Pode-se caracterizar uma sala limpa por sua finalidade (industrial, hospitalar ou pesquisa), por sua classe de acordo com seu nível de pureza ou por sua importância estratégica que pode ser governamental ou privada.

As salas limpas são ambientes restritos, controlados que atendem aos seguintes requisitos:

- Proteção de processos e/ou produtos contra efeitos detrimenais causados por contaminações carregadas pelo ar;
- Proteção do pessoal de trabalho contra riscos de processos prejudiciais à saúde, oriundo de contaminações carregadas pelo ar.
- Purificação e distribuição de fluidos de processo (gases como nitrogênio e argônio, água purificada ou para injeção);
- Atender as exigências para tornar a tecnologia de produção e os equipamentos de processamento compatíveis com as exigências do controle de contaminação;
- A operação obedece as boas práticas de fabricação

A questão das partículas no ambiente confinado das salas limpas são oriundos de duas origens, a externa na natureza com todos os componentes orgânicos e inorgânicos e a interna (indoor) decorrente das substâncias depositadas no ambiente restrito podendo estar fechado (MARTINS, 2008).

Partículas até  $\frac{1}{4}$  de um fio de cabelo (25 microns) podem ser vista a olho nu. Entre 0,5 a 2,0 microns são alvos de interesse médico e são atraídas pela gravidade e decantam sem a corrente de ar (ambiente isolado). As partículas inferiores a 0,5 microns não decantam mesmo em ambiente isolados, são sustentadas pelo próprio ar (ALEXANDRE, 1991).

### 2.6.1 Partículas externas

Para avaliar a origem das partículas externas, o tamanho, a condição e os estados físicos tem-se no Quadro 5 destaque das condições dos organismos vivos que podem afetar negativamente a vida humana (ALEXANDRE, C. S. Filtragem de ar: manual técnico, 1991).

Quadro 5 Fontes particuladas externas:

Estado Físico	Condição	Origem Tamanho de partículas	Características Materiais
Sólidos	Pó	<b>Origem:</b> pela erosão do vento, trituração e dispersão de materiais pulverizados – partículas menores de 100 microns.	– <b>Mineral:</b> rochas, gesso, metais, argilas. – <b>Vegetal:</b> pólen, farinhas, fibras, outros. – <b>Animais:</b> escamas da pele, pêlo, lã, outros.
	Fumaça	<b>Origem:</b> combustão incompleta de substâncias orgânicas – partículas entre 0,01 e 0,3 microns. <b>Origem:</b> sublimação e oxidação de metais fundidos – partículas entre 0,1 e 100 microns.	– Tabaco, carvão, lenha, petróleo.
Líquidos	Orvalho	<b>Origem:</b> atomização de material líquido sob pressão e temperatura.	– Orvalho produzido por espirro.
	Névoas	<b>Origem:</b> condensação de vapores.	– Gotas formadas devido à condensação.
	Vapores	<b>Origem:</b> substâncias sólidas ou líquidas na sua fase gasosa.	– Substâncias no seu estado normal.
Gases		– Não possuem formas, adaptando-se completa e uniformemente ao recipiente que os contém.	
Organismos aéreos vivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vírus</li> <li>● Bactérias</li> <li>● Esporos</li> <li>● Pólen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flutuam entre 0,005 a 0,1 microns.</li> <li>– 0,4 a 12 microns</li> <li>– 10 a 30 microns</li> <li>– 10 a 100 microns</li> </ul>	– Agrupam-se em colônias ou são aerotransportados por partículas.

(NASCIMENTO, 2002)

Cidades industriais registram 10 milhões de partículas maiores que 0,3 microns por pé cúbico ou 28 litros de ar e zonas rurais cerca de 1 milhões de partículas maiores que 0,3 microns por pé cúbico (NASCIMENTO, 2002)

### 2.6.2 Partículas internas

Para as fontes internas de emissão de partículas destaca-se a influencia dos seres vivos em particular os seres humanos que podem ser os maiores emissores, os processos de fabricação, equipamentos, ferramentas e condições que venham a ocorrer por desdobramentos desses processos.

As ferramentas e utensílios usados em salas limpas passam por uma avaliação de desgaste e perda de material que possibilitem a contaminação do ambiente. Considera-se



como ferramentas as vestimentas os instrumentos, produtos químicos, fontes de geração de calor, moveis e acessórios.

Os equipamentos na maioria são digitais, assim como os eletromecânicos que podem com o uso desprender partículas, por desgaste e movimentos. Os processos e em alguns casos podem estabelecer, aceleração e desaceleração que podem propiciar emissões de partículas.

O ser humano é o maior emissor de partículas em ambiente de produção restrita. (laboratórios e de operações médicas o cuidado e precauções devem ser grandes principalmente com os processos produtivos em salas cirúrgicas e UTI (Unidade de Tratamento Intensivo). Atualmente a tecnologia já consegue determinar através de detectores de partículas o volume de material em suspensão, observa-se no quadro 6 medições feitas em laboratório.

Quadro 6: Volume de partículas deprendidas pelos seres humanos

<b>TIPO DE MOVIMENTO</b>	<b>PARTÍCULAS POR MINUTO (≥0,3 micron)</b>
Sentado ou em pé (sem movimento).	100.000
Sentado (ligeiro movimento de cabeça, braços e mãos).	500.000
Sentado (ligeiro movimento do corpo e pernas).	1.000.000
Levantando-se, a partir da posição sentada.	2.500.000
Caminhando a aproximadamente 1m/s.	5.000.000
Caminhando a aproximadamente 1,5m/s.	7.500.000
Caminhando, depressa.	10.000.000
Subindo escadas.	10.000.000
Exercício de ginástica.	15.000.000 a 30.000.000

Fonte: (ALEXANDRE, C. S. Filtragem de ar: manual técnico, 1991).

Os seres humanos ingerem, expirando e inspirando um numero expressivo de partículas. Durante a expiração, além do vapor d'água também são detectadas milhares de partículas provenientes das mucosas do pulmão, garganta, boca e narinas, bem como partículas microscópicas de resíduos alimentares.

O ser humano é hospedeiro de um mundo microscópico residual na sua superfície. Todos esses contaminantes tem uma grande variação de dimensões que podem ser de até 1 micron. Esse problema se torna mais acentuado, caso o ser humano for um fumante.

A experiência tem mostrado que o fumante elimina partículas de alcatrão até 30 minutos depois de fumar. Essas partículas são de aproximadamente 1/2 micron, pegajosas e muito difíceis se não impossíveis de serem removidas. E uma boa prática os fumantes ingerirem um copo de líquido antes entrar no *clean-room*. Ao avaliar o Quadro 7 fornecido pela Trox onde áreas controladas diminuem o contágio de bactérias (NASCIMENTO, 2002).

Quadro 7: Contagem de bactérias depreendidas pelos seres humanos

TIPO DE MOVIMENTO	BACTÉRIAS POR MINUTO
Em operação:	
Sob controle bacteriológico	5.000
Média	10.000
Sem controle bacteriológico	50.000
Em laboratório:	
Movimento pesado	15.000
Movimento médio	8.000
Movimento leve	4.000

Fonte: (NASCIMENTO, 2002)

A mastigação, mesmo que de goma de mascar, libera milhares de partículas em cada movimento de abrir e fechar a boca. Assim, comer, beber e fumar não são permitidos dentro do *clean-room*. O simples e aparentemente inofensivo ato de falar, joga milhares de partículas no ambiente, por isso, para trabalhar dentro de salas limpas da classe 100 exige-se o uso de máscara (NASCIMENTO, 2002).

O fio de cabelo apresenta uma seção transversal da ordem de 70 a 100 microns. Cada fio de cabelo é formado por milhares de escamas microscópicas sobrepostas, que vão se soltando a medida que vão crescendo (NASCIMENTO, 2002).

A quantidade de partículas liberadas aumenta drasticamente sob as seguintes condições, quando o cabelo é tocado, penteado ou sacudido, se o cabelo for muito seco, o uso de spray ou secador, aumenta a liberação de partículas, ou se o cabelo foi maltratado com calor ou sol. As escamas do fio de cabelo apresentam dimensões da ordem de 0,5 micrometro a 10 micrometro. Essas escamas microscópicas que não são vistas a olho nu são muito mais problemáticas do que a queda do fio de cabelo em si, que se visto é detectado. Para resolver esse problema, usa-se a touca e a máscara para proteger também das escamas de bigode e barbas.

Existem condições estabelecidas em salas limpas que antigamente só se restringiam as mulheres e que atualmente já são restrições nos homens como, anéis, pulseiras, braceletes, brincos, etc, que se alojam nas minúsculas cavidades das superfícies rugosas e contornos.

Em maquiagem e cosméticos existe, milhares de partículas microscópicas e vapores capazes de contaminar peças durante o processo de fabricação.

Um estudo de emissão de partículas feito pela Trox contabilizou um grande numero de partículas emitidas para diferentes usos de maquiagem e é apresentado no Quadro 8 com resultados expressivos.

Quadro 8: Contagem de partículas depreendidas pelos cosméticos.

COSMÉTICO	PARTÍCULAS/APLICAÇÃO ( $\geq 0,3$ microns)
Sombra para olhos	82 milhões
Pó de arroz	270 milhões
Blush	600 milhões
Batom	1 bilhão
Rímel (cílios)	3 bilhões
Total diário	4 bilhões, 952 milhões

Fonte: (NASCIMENTO, 2002)

Conclui-se que o uso de cosméticos em salas limpas é totalmente inapropriado.

### 2.6.3 Classificação

Devido a determinação dos órgãos de saúde e instituições de regulamentação sanitária foram estabelecidos critérios de avaliação do grau de pureza das salas limpas.

O Quadro 9 compara as classes ISO 14.644 IEST (Institute of Environmental Sciences & Technology - em português, Instituto de Ciências e Tecnologia do Meio Ambiente) com a NBR 13.700 Norma Brasileira de Classificação e controle de contaminação com data de publicação em Junho de 1996

No Quadro 9 estão assinaladas as quantidades de partículas detectadas por ordem de dimensões das partículas (0,1 $\mu$ m, 0,5 $\mu$ m e 5 $\mu$ m)

As partículas de 0,1µm normalmente retidas por filtros absolutos HEPA e ULPA, não estão classificadas no início da coluna NBR 13.700 e estão classificadas na ISO14.644 (classe 1 e 2)

As partículas de 0,5µm normalmente retidas por filtros absolutos HEPA e finos, não estão classificadas na NBR 13.700 na segunda célula e estão classificadas na ISO14.644 (classe 2)

As partículas de 5µm normalmente retidas por filtros absolutos HEPA e finos, estão classificadas na NBR 13.700 ( classe 1 a 100.000) e estão classificadas na ISSO 14.644 (classe 5 a 9)

Quadro 9: Comparação de classificação ISO 14.644 e NBR 13.700

<b>CLASSE</b>	<b>CLASSE</b>	Número máximo de partículas por m <sup>3</sup> de ar		
		<b>ISO14.644</b>	<b>NBR13.700</b>	
		0,1µm	0,5µm	5µm
1	-	10		
2	-	100	4	
3	1	1000	35	
4	10	10000	352	
5	100	1000000	3520	29
6	1000		35200	293
7	10000		352000	2930
8	100000		3520000	29300
9	-		35200000	293000

Classificação conforme NBR 13700

A NBR pode ser comparada com a ISO entre as classes 3 a 8

A U.S. *Federal Standard 209* estabeleceu uma referência de comparação entre classes de medidas para o volume de ar por pé cúbico (ao sistema inglês) e metro cúbico ( $m^3$ ) de ar (sistema métrico internacional - SI)

A designação das classes métricas de pureza de ar - identificadas com o prefixo M - corresponde a concentração máxima permissível, na faixa amarela do Quadro 10, por  $m^3$  de ar.

Na coluna referente ao sistema inglês identifica-se a origem do padrão das classes com o tamanho de partícula  $0.5 \mu m$  na coluna ( $ft^3$ ) onde aparecem os valores em negrito igual a classe inglesa.

Quadro 10: Federal Standard 209 E com referência métrica e de classe

Numero máximo de partículas no ar (Partículas por unidade de volume)											
Classe		Tamanho da partícula									
		$0.1 \mu m$		$0.2 \mu m$		$0.3 \mu m$		$0.5 \mu m$		$5 \mu m$	
SI	Inglês	$(m^3)$	$(ft^3)$	$(m^3)$	$(ft^3)$	$(m^3)$	$(ft^3)$	$(m^3)$	$(ft^3)$	$(m^3)$	$(ft^3)$
M 1		350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,875	10,0	0,283		
M 1,5	1	1.240	35,0	265	7,50	106	3,00	35,3	1,00		
M 2		3.500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83		
M 2,5	10	12.400	350	2.650	75,0	1.060	30,0	353	10,0		
M 3		35.000	991	7.570	214	3.090	87,5	1.000	28,3		
M 3,5	100			26.500	750	10.600	300	3.530	100		
M 4				75.700	2.140	30.900	875	10.000	283		
M 4,5	1,000							35.300	1.000	247	7,00
M 5								100.000	2.830	618	17,5
M 5,5	10,000							353	10.000	2,47	70,0
M 6								1.000.000	28.300	6,18	175
M 6,5	100,000							3.350.000	100.000	24,7	700
M 7								10.000.000	283.000	61,8	1.750

Fonte: ( [http://www.engineeringtoolbox.com/clean-rooms-d\\_932.html](http://www.engineeringtoolbox.com/clean-rooms-d_932.html))

Comumente ao se atribuir uma classe de pureza de uma sala limpa usa-se como referência o padrão inglês, mais difundido no mundo. Portanto é comum referenciar a classe de uma sala limpa como 100.000 ao invés de M 6,5

## 2.6.4 Fluxo de ar

Salas limpas dependendo da finalidade, podem ter características de fluxo de ar turbulento de mistura, unidirecional ou misto, muito comum em áreas de risco de contaminação.

As salas com fluxo turbulento conforme está apresentado na Figura 11, pode-se verificar um fluxo de limpeza do ambiente com dispersão. Normalmente são adotadas para manter os critérios da classe da sala. Pode-se verificar que a saída do ar na sala não permite que contaminantes entrem no ambiente.

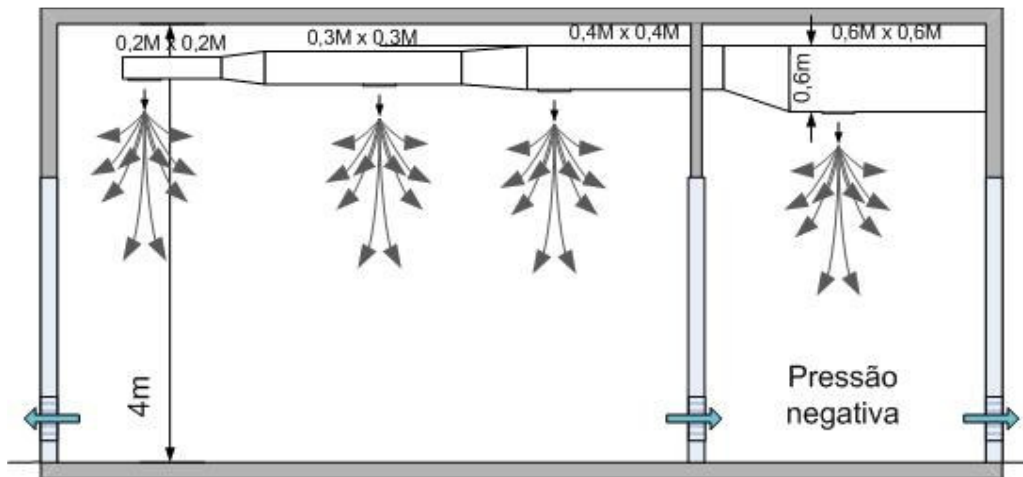


Figura 11: Sala com fluxo de ar turbulento

Um recurso muito usado em salas limpas é o retorno do ar conforme apresentado na Figura 12, que poupa os filtros, mantém a umidade relativa e diminui a temperatura na UTA economizando energia.

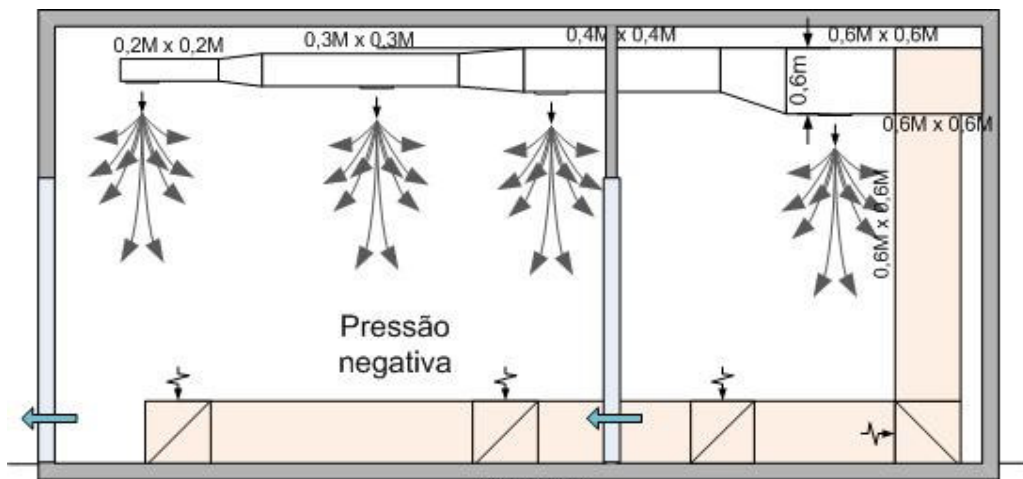


Figura 12: Sala com fluxo de ar turbulento com retorno

O fluxo unidirecional ou laminar permite a eliminação de partículas liberadas no próprio ambiente pelo caminho mais direto e de uma maneira muito eficaz, conforme é apresentado na Figura 13.

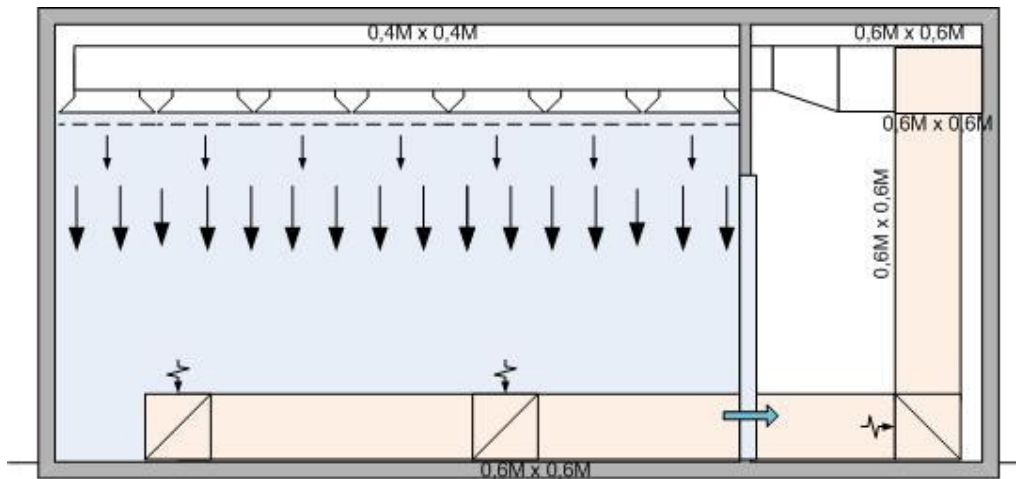


Figura 13: Sala com fluxo unidirecional ou laminar com retorno

Para um movimento estável do fluxo unidirecional é preciso, em regra geral, uma velocidade de ar entre  $0,3$  e  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ , correspondendo a  $1.080$  e  $1.800 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^2$  respectivamente. Assim, a utilização deste princípio de fluxo exige a circulação de volumes grandes de ar e, como consequência, espaços consideráveis para a circulação de ar, levando a custos altos de investimento e de operação.

Em um comparativo de vantagens e desvantagens dos modelos unidirecional e turbulento verifica-se que no Quadro 11 fica evidente que salas unidirecionais são mais eficientes porem de custo mais elevado.



Quadro 11: Comparativo de modelos de salas limpas

FLUXO DE AR	TURBULENTO	UNIDIRECIONAL
Vantagens	O projeto tem flexibilidade e várias áreas podem operar sobre o mesmo sistema de circulação de ar.	A deposição e re-suspensão de partículas são mínimas, pois as partículas são direcionadas para o sentido do fluxo em camadas superpostas de ar.
	Os filtros e sistemas de ventilação são menos complexos e de fácil manutenção.	A instalação pode não funcionar por vários dias, sem comprometer a limpeza, devendo ser colocada em funcionamento pelo menos uma hora antes do reinício das operações de trabalho, normalmente a troca de ar se dá dentro de 20 minutos.
	Os tamanhos das salas são mais flexíveis, como consequência, uma eventual expansão é mais fácil.	As trocas de ar são frequentes, devido a superposição de ar em camadas.
	A construção e operação são mais econômicas.	A recuperação a partir de uma condição determinada é rápida, já que esse sistema tem a condição de garantir a troca de todo o ar do ambiente.
Desvantagens:	A recuperação a partir de uma condição contaminada é lenta, já que as partículas podem ficar circulando no ambiente.	A falha de um módulo de um filtro requer a parada total do sistema pois um módulo está integrados a toda unidade que trabalha integrada.
	A quantidade de pessoas trabalhando na sala deve ser limitada, evitando fluxo de partículas geradas pelos corpos ou por movimentação na sala.	Perfis de velocidade uniforme são difíceis de obter devido a presença de móveis, equipamento e pessoas se movimentando no ambiente, assim não eliminamos totalmente o efeito turbilhão na ar.
	As trocas de ar são pequenas, devido aos movimentos circulares do ar.	É difícil de obter um fluxo de trabalho uniforme, devido a movimentos transversais.
	É necessário um serviço freqüente de limpeza, devido a sua baixa capacidade de auto-limpeza.	

O fluxo misto permite a eliminação de partículas liberadas em uma parte do ambiente pelo caminho mais direto e assim de uma maneira mais econômica, pois a implantação de um sistema unidirecional é mais caro. A Figura 14 mostra o corte total de uma sala limpa que utiliza fluxo misto de ar.

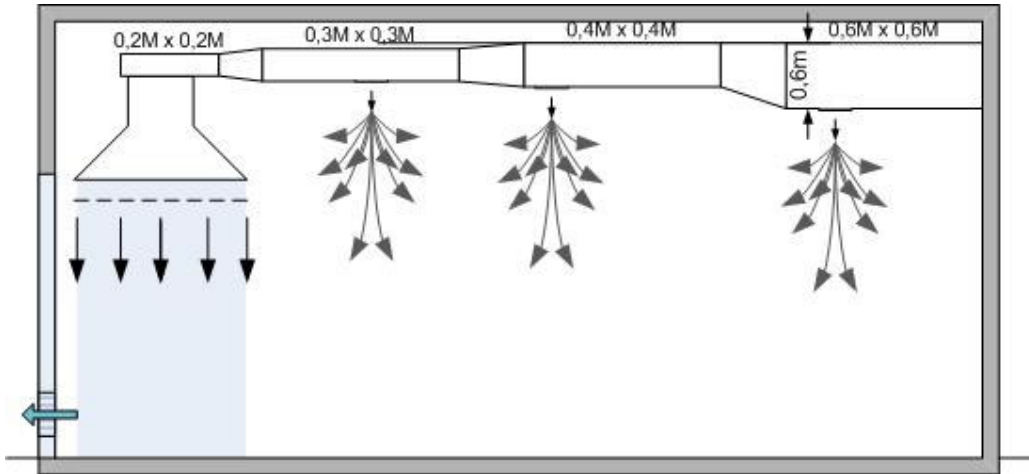


Figura 14: Sala com fluxo misto e retorno

Como exemplo tem-se centros cirúrgicos que mantêm na mesa de operação uma barreira de ar com fluxo laminar ou unidirecional, garantindo que nessas áreas o ar será totalmente trocado.

Em salas com nível de exigência elevada adota-se a câmara de limpeza que elimina a grande maioria de elementos externos. Essas câmaras apresentadas na Figura 15 são usadas em centros de pesquisa que o nível de risco pode ser muito elevado e indústrias de microeletrônica ou na indústria aeroespacial, classes 1, 10 ou 100.

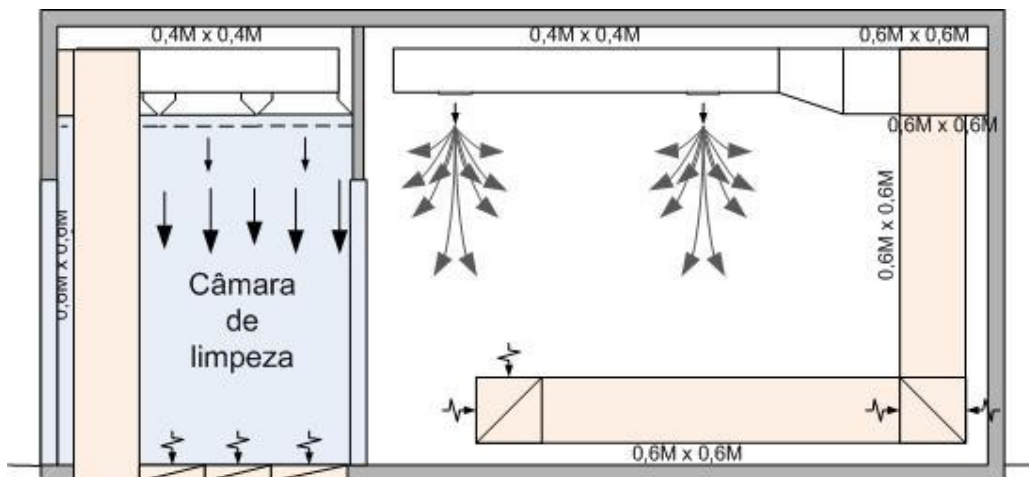


Figura 15: Sala com fluxo ar turbulento, retorno e câmara de limpeza.

Toda avaliação das salas conduz a uma estimativa de custos, que os fornecedores integradores de soluções para projetos de salas limpas desenvolvem em projetos e certificações na instalações de acordo com a área e o tipo de projeto.

Esses projetos requerem equipes especializadas, normalmente oferecidas por empresas de grande porte como Trox, Linter e Veco (as maiores no Brasil). O desenvolvimento e execução integrados facilitam o cumprimento de prazos.

Uma prática muito adotada é de estabelecer um certificador que não seja da mesma empresa de implantação das salas. No Brasil a empresa *VERANUM TEMPUS* voltada apenas para Projetos e certificação de salas limpas, que certifica a maioria das instalações no Brasil.

#### 2.6.5 Estimativa de Custos de Salas Limpas por classe

Todo o custo do processo de Planejamento e construção foi estimado pela Trox do Brasil no Quadro 12 onde foram referenciados os valores de acordo com a classe da sala.

Quadro 12: Estimativa de Custos por classe

CLASSE	US\$/m <sup>2</sup>
100	6,000.00 a 8,000.00
10.000	1,500.00 a 2,500.00
100.000	1,000.00 a 1,500.00

Fonte: (NASCIMENTO, 2002)

### **3. AVALIAÇÃO DE CASO REAL**

As duas empresas analisadas possuem salas limpas com modos de operação bem distintos. Atendem a uma demanda de fornecimento de produtos que devem atender as exigências de seus clientes que esperam uma condição de pureza compatível com as exigências requeridas pelos padrões de classe das salas limpas. O estudo das condições dos sistemas de ar interior, das empresas, revela procedimentos de manutenção que podem ser melhorados, se tratados com tecnologias mais eficientes

#### **3.1 Condições do projeto inicial da empresa A (projeto implantado na empresa)**

Trata-se de uma empresa de vidros que confecciona produtos para a indústria farmacêutica, em geral, e está localizada no subúrbio do Rio de Janeiro.

O ambiente externo onde se desenvolvem as atividades produtivas na sala limpa é cercado por equipamentos que trabalham com temperaturas maiores que 1.200 graus centígrados, o que possibilita grandes variações de temperatura no fluxo de ventilação forçada, com alto nível de suspensão de partículas, o que permite a dispersão de bactérias em um ambiente úmido e quente.

Esta condição requer da empresa preocupação em propiciar condições de processos menos agressivos à produção e cuidados especiais com a unidade de envasamento para produtos farmacêuticos.

O documento fornecido pela empresa parte da premissa que o projeto básico dos sistemas de condicionamento de ar da instalação da sala limpa da linha de produção 2 (área de envasamento para produtos farmacêuticos), deve atender as recomendações da empresa que desenvolveu o projeto, com certificação anual e uma manutenção da Classe da sala 100.000. A empresa de certificação mantém uma supervisão mensal acompanhando os processos de qualidade para o processo de qualificação da classe da sala.

A linha 2 da produção tem por finalidade produzir embalagens para condicionamento de produtos farmacêuticos para clientes que necessitam de embalagens sem depósitos de partículas.

Embora as diretrizes da ANVISA e de Agências Internacionais similares não definam os requisitos legais que este tipo de instalação deve atender, definiu-se, como referência para o projeto, que a instalação da linha 2 seja compatível com uma área de fabricação de produtos farmacêuticos não assépticos (líquidos e sólidos orais, produtos tópicos em geral, como cremes e pomadas), embora as embalagens passem por um completo processo de controle de qualidade na sala limpa, garantindo nível de partícula de uma sala classe 100.000.

Dessa forma pretende-se que a linha 2 integre-se à linha de envasamento de clientes especiais, usuários das embalagens farmacêuticas.

As salas foram projetadas para funcionar 24 horas por dia e proporcionar um controle de qualidade com o mínimo de interferência humana. Todo o processo estabelece um nível de resfriamento e embalagem dos artigos para ser encaminhada a outra indústria que requer nível de limpeza dos produtos processados ao nível da classe 100.000.

A instalação é composta por duas salas de produção, uma sem refrigeração (sala 1 UTA-2) e a outra com refrigeração e controle de umidade (sala 2 UTA-1) todo o processo de entrada e saída das salas limpas é feito através de duas antecâmaras de refrigeração, alimentadas pela unidades de tratamento (UTA-1).

O processo de produção de recipientes de envasamento para a indústria farmacêutica recebe na sala 1 os frascos a uma temperatura em torno de 180°C, que deverá ser embalado em conjuntos de 50 ou 100 unidades a uma temperatura de 35°C.

Os equipamentos de inspeção, tratamento e testes dentro da sala operam de forma automática fazendo todo o controle de qualidade sem a necessidade de interferência humana.

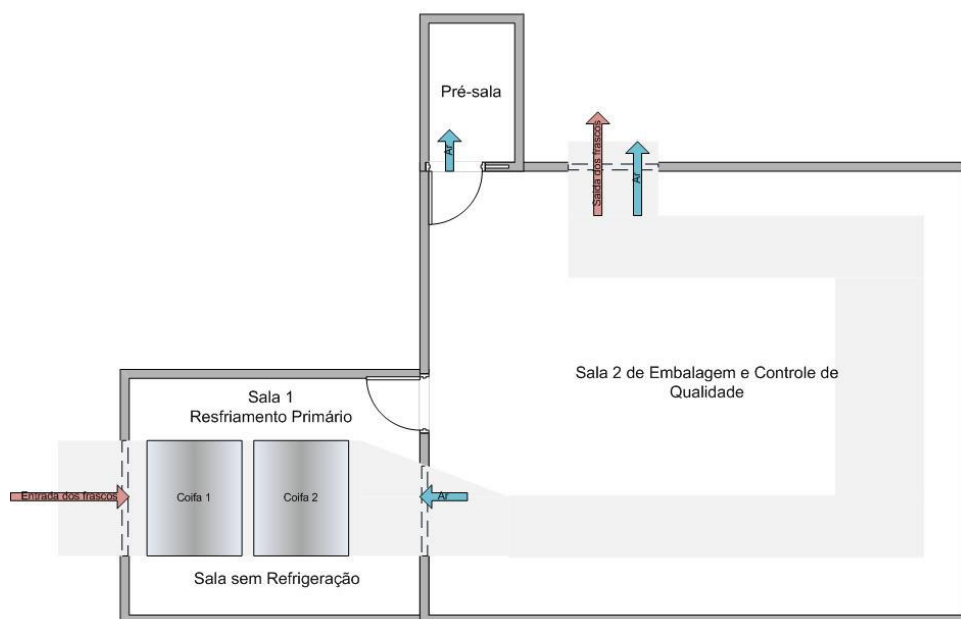


Figura 16: Planta baixa do conjunto linha 2

Todo o ambiente recebe ar filtrado por duas unidades de tratamento de ar com filtros HEPA. A sala 1 não recebe refrigeração e só é inspecionada pelo operador, quando acontece um registro de irregularidade ou manutenção. Foram assinaladas com as setas vermelhas a entrada e saída dos materiais e com a seta azul o fluxo de ar entre as salas, como mostrado na Figura 16

A sala 2 é constantemente monitorada por um operador, com os procedimentos exigidos para uma sala classe 100.000.

O projeto estabeleceu uma unidade de tratamento de ar para sala 1 (com insulflamento de ar puro na temperatura ambiente) para iniciar o resfriamento dos frascos quentes. Essa sala possui controle de pressão diferencial entre a sala 2 ( refrigerada ) e o ambiente externo. A sala 1 (com insulflamento sem refrigeração) possui duas coifas de refrigeração e possui altura (pé direito ) de 4 metros para manutenção da sala.

No perfil mostrado na Figura 17 pode-se verificar como os recipientes são conduzidos para o conjunto de salas e as setas assinalam os fluxos de ar na entrada da unidade de tratamento.

Os filtros na UTA estão distribuídos inicialmente com o grosso, fino e absoluto representados pelas cores brancas, azuis e vermelhas respectivamente.

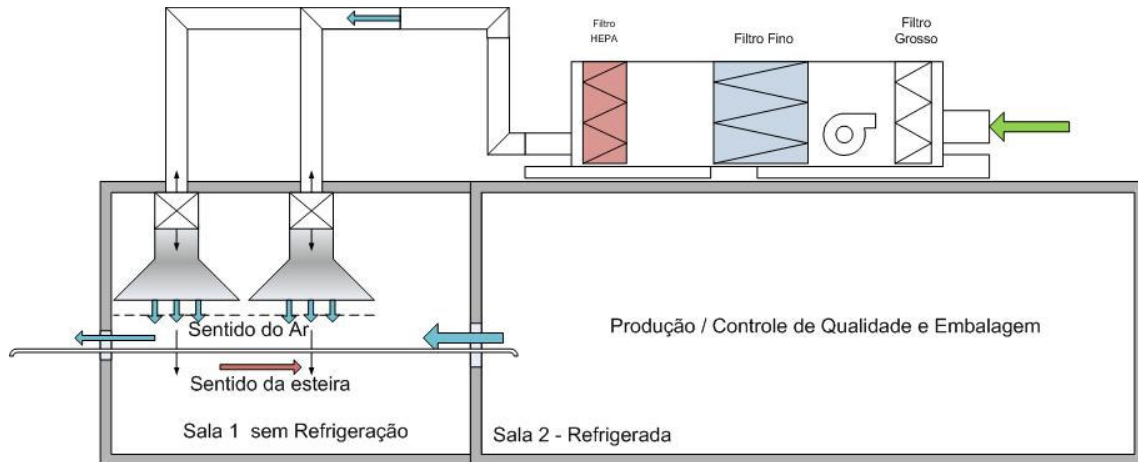


Figura 17: Corte com a apresentação do fluxo de ar para a sala 1 – UTA -2

A pressão da sala 1 e da pré-sala é inferior à pressão da sala 2 refrigerada.

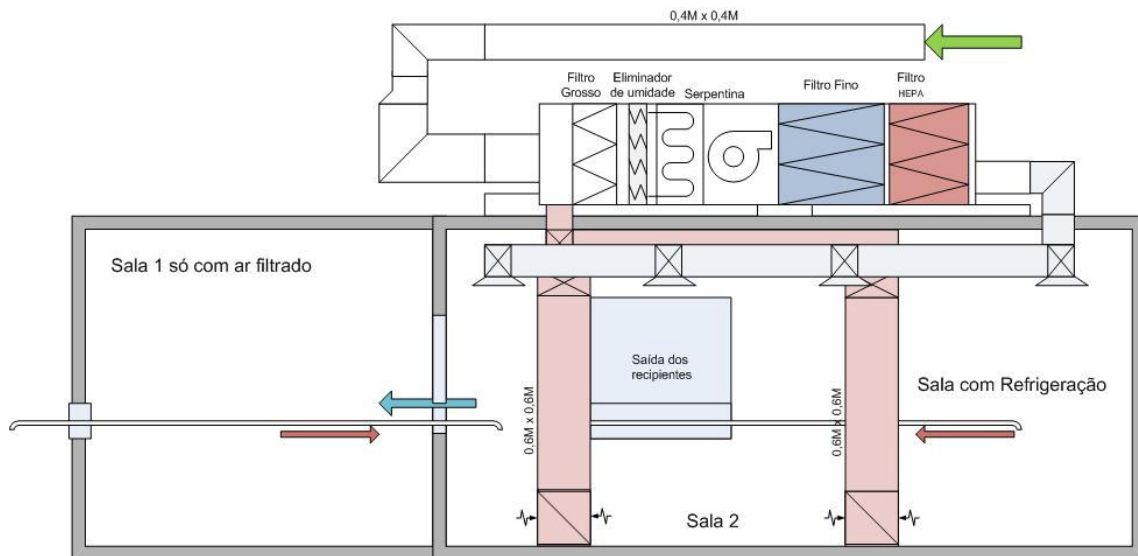


Figura 18: Corte com a apresentação do fluxo de ar para a sala2 – UTA - 1

A sala 2 possui sistema de realimentação para a unidade de tratamento do ar, contribuindo com a diminuição da temperatura de entrada de ar e reduzido a energia usada para o resfriamento do sistema.

Na Figura 18 o sentido do fluxo de ar deverá estabelecer uma diferença de pressão mínima entre as salas de 1 Pa. O fluxo de ar que sai para a sala segue o modelo turbilhão.

### 3.1.1 Estrutura das salas

#### i) Requisitos de boas práticas de fabricação

Os sistemas de condicionamento de ar da área deverão atender a requisitos específicos de filtragem, distribuição, pressurização, temperatura e umidade relativa.

No Anexo VI é apresentada uma lista com todos os requisitos aplicáveis para cada uma das salas e define os valores aceitáveis para cada parâmetro em termos de requisito de projeto de Boas Práticas de Fabricação (BPF).

#### ii) Classe de Limpeza.

As duas salas da unidade de envasamento adotam classe 100.000 com processos de monitoramento de temperatura, umidade, pressão e controle de limpeza, monitorados pela empresa de certificação que estabeleceu um critério de troca dos filtros os filtros grossos são trocados mensalmente, os filtros finos têm a troca bimestral e semestral, os filtros absolutos com uma periodicidade de troca semestral.

### 3.1.2 Escopo

O projeto inicial da empresa estabeleceu um critério de medição de partículas em repouso dentro das condições de classificação da ISO Classe 8 (equivalente a classe 100.000).

A antecâmara não foi selecionada para medição, pois é uma sala de preparação para entrar e sair materiais acessórios do sistema de salas limpas.

As unidades de tratamento de ar das salas 1 e 2 são independentes e adotam níveis de pressão diferentes pois a pressão da sala 1 é negativa em relação a sala refrigerada assim pode-se garantir que o ar não passará para a sala 2 de controle de qualidade.

O mesmo acontece com as antecâmaras que passam a ter pressão negativa em relação à pressão da sala 2.



Os filtros adotados na antecâmara que foi distribuída em, três partes ou câmaras de entrada na sala de armários, vestiário e área de passagem para sala 2 não são classificados, portanto não é necessário o controle da quantidade de partículas. Os filtros seguem o padrão *eurovent* (norma européia) sendo os grossos padrão 3, finos padrão 9 e absoluto (HEPA) 13.

A unidade de refrigeração para a sala 2 tem por norma a temperatura estável de 22°C com umidade relativa de 50%. As antecâmaras e vestiário têm que manter uma temperatura estável de 24°C e umidade relativa de 75%.

A Sala 1 recebe os produtos fabricados a uma temperatura aproximada de 180°C e deverá baixar para 150°C com jatos de ar de duas coifas instaladas logo acima da esteira de entrada dos recipientes quentes. A UTA deverá estar com uma temperatura de 15°C a 35°C dependendo da época do ano. As duas salas foram montadas para garantir um fluxo contínuo de ar que são exalados dos terminais que sopram o ar que é totalmente trocado num tempo mínimo de 20 minutos. As salas passam uma vez por ano por uma certificação de controle das condições de vazamento de gabinetes e dutos.

### 3.1.3 Perfil da Produção

Os testes de vazamento de gabinetes e dutos devem ser executados usando como referência o documento DW 143 – *DUCTWORK LEAKAGE TESTING – A Practical Guide / 2000 Edition*. HVCA - *Heating and Ventilating Contractors Association*, que recomenda perda de pressão máxima de 25% da pressão da UTA em regime de isolamento total.

O projeto inicial estabeleceu que os gabinetes das duas unidades de tratamento de ar UTA's devem ser submetidas á teste de vazamento em fábrica e na obra, antes da partida dos ventiladores. Devem obedecer às condições abaixo:

- Gabinete UTA-1: Pressão de Teste 1000 Pa.
- Gabinete UTA-2: Pressão de Teste 1000 Pa.

Com esse teste atende-se a recomendação da Heating and Ventilating Contractors Association, garantindo pressões até 750 Pa considerando que este equipamento trabalha com 100% de ar externo, admite-se vazamento de até 25%.

Outra recomendação do projeto inicial é de que os dutos de ar devem ser submetidos ao mesmo teste de vazamento em fábrica e na obra, adotando-se o mesmo procedimento da *Heating and Ventilating Contractors' Association*

Pode-se verificar na Tabela 1 que a troca de ar da área refrigerada (controle de qualidade e embalagem) da empresa A (UTA1) é superior a troca das sala 1 e Antecâmara. Esse critério garante preservar a refrigeração e impede o retorno de alguma contaminação da antecâmara de entrada e saída de funcionários, visitantes e materiais que possam trazer partículas para a sala.

Tabela 1: Dimensionamento das salas limpas da empresa A

Empresa A							
Descrição	Quant. Trocas (renv. $h^{-1}$ )	Dif. Pressão (Pa)	Temp. (oC)	UR (%)	Área (m <sup>2</sup> )	pé-dir. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> $h^{-1}$ )
Sala 1-UTA2	25	-	30 à 50	<80	49	4	4900
Sala 2-UTA1 Refrigerada	30	-	22 à 25		342	4	41040
Antecâmara de entrada	25	-	23 à 25		12	3	900
Total					403		46.840

Dados:

UTA = Modelo TKZ da TROX  $46.840\text{m}^3 h^{-1}$

Área total atendida pelas unidades de tratamento de ar =  $403\text{m}^2$

### **3.2 Levantamento do projeto inicial da empresa B**

No ambiente desta empresa se desenvolvem atividades de confecção de produtos farmacêuticos, passíveis de estarem expostas a riscos de contaminações por emissão de poluentes, de forma em geral, estando inserido no processo de esterilização de materiais para uso em seres vivos.

Trata-se de uma das maiores empresas farmacêuticas do mundo, também líder mundial em vacinas de uso humano, no Brasil desde o final dos anos 50 e a filial brasileira é uma das maiores e mais antigas do continente latino-americano.

Construída dentro dos mais avançados conceitos de produção farmacêutica, possui instalações e equipamentos de alta tecnologia onde produz cerca de 500 apresentações farmacêuticas, destinadas ao mercado local e exportação, sendo uma das empresas líderes da Indústria Farmacêutica no país.

A empresa é líder de mercado em várias áreas terapêuticas e dispõe de um dos mais abrangentes portfólios da Indústria Farmacêutica do país. A unidade industrial produz cerca de 160 milhões de unidades de medicamentos anualmente.

A unidade dispõe ainda de uma área de desenvolvimento de novos produtos, atuante capaz de responder às novas demandas do mercado.

Com certificação ISO 14001, a unidade foca seu crescimento de forma sustentável, procurando minimizar o uso de recursos naturais e desenvolvendo processos produtivos que respeitem o meio ambiente.

A indústria é composta de várias edificações que totalizam 2.310m<sup>2</sup> com blocos interligados para aperfeiçoar a produção. Os blocos têm UTA independentes que são distribuídas para grupos específicos de salas. Foi considerado para análise um grupo do bloco F.

### 3.2.1 A condições do projeto inicial da empresa

A instalação desse fabricante de remédios adota um projeto de sala limpa básico com um sistema de condicionamento de ar para um conjunto de salas.

Apresenta também as bases para o processo de qualificação da mesma, definindo os critérios de aceitação dos parâmetros de controle (classe de limpeza, diferencial de pressão entre salas, temperaturas e umidades relativa) de forma a satisfazer os requisitos das boas práticas de fabricação, adotados como referência para projetos de salas limpas.

### 3.2.2. Considerações Preliminares

A presente instalação (conjunto de salas) tem por finalidade produzir produtos farmacêuticos para seres humanos.

Definiu-se como referência para o presente projeto que a instalação das salas de produção e apoio ao processo seja compatível com uma Área de Fabricação de Produtos Farmacêuticos ASSÉPTICOS (sólidos orais em pó, sólidos orais em cápsulas, produtos tópicos em geral, como cremes e pomadas)

Dessa forma, pretende-se que esse conjunto de salas possam garantir as condições de uso dos produtos em seres humanos, garantindo que não haverá possibilidade de contaminação de nenhuma espécie (nos conteúdos e nas embalagens produzidas), em termos de requisitos básicos de projeto e de Boas Práticas de Fabricação (BPF).

### 3.2.3 Escopo

O conjunto das salas foi projetado para proporcionar um controle de qualidade com o máximo de segurança e o mínimo de interferência humana.

Todo os processos estão sujeitos um nível de controle de pressão, umidade, refrigeração e de isolamento dos artigos para ser encaminhado da área de embalagem que mantém os mesmos requisitos de nível de limpeza da produção.

Todos os acessos são feitos por áreas de passagem controladas, antecâmara de entrada e antecâmara de saída.

As unidades de tratamento Atmosférico (UTA) estão sendo mantidas por um processo de monitoramento por diferença de pressão.

Sendo a empresa de origem francesa a opção pelo padrão europeu estabeleceu um modelo classe F8 *Euro Class* (EN 779) equivalente a uma classe 14 da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) veja-se no Anexo II

#### 3.2.4. Perfil da produção

#### Memorial industrial do Bloco F 110 (Projeto de referência para Operação da sala)

Essa área foi projetada para produzir medicamentos em estado sólido. Na Tabela 2 são apresentados os dados básicos desse bloco farmacêutico. O projeto foi dimensionado para produzir 440.000 embalagens por dia, totalmente automatizado, com possibilidade de dois operadores atuarem simultaneamente em uma área de 600m<sup>2</sup> com duas áreas de entrada e saída somando um total de 672 m<sup>2</sup>. Na indústria farmacêutica todas as áreas devem estar à disposição da vigilância sanitária que solicita uma vistoria anual para manutenção da autorização junto a secretaria de saúde.

Tabela 2: Referências do Bloco F de produção farmacêutica

Título	Dado
Área Total Construída do bloco	672m <sup>2</sup>
Finalidade	Embalagem de produtos industrializados lacrados do Bloco
Periodicidade de Visitas da Vigilância Sanitária	1 ano
Dados da Produção da Empresa	440.000 embalagens por dia
Áreas de acesso	Duas antecâmaras de entrada e saída da sala de produção
Natureza do estabelecimento industrial	Empresa privada, orientada para produção de produtos farmacêuticos, produtos para saúde e cosméticos

A indústria farmacêutica adota políticas de oportunidades para menores e portadores de necessidades especiais. Em áreas limpas não são fornecidas vagas para seres que possam ter dificuldade de atenderem com rapidez avisos de evacuação do setor, ficando apenas para menores a possibilidade de poderem atuar como estagiário ou aprendiz. Na Tabela 3, fornecido pela empresa apresentamos o numero de funcionários atuando nessa indústria, na sala 110 do bloco F.

Tabela 3: Número de funcionários por unidade ou setor

Setor	Masculino		Feminino		Total
	Maiores	Menores	Maiores	Menores	
Embalagem Primária	3	0	3	0	6
Embalagem Secundária	3	0	3	0	6

A indústria química com processos ininterruptos adota a sistemática de turnos para manter os processos em andamento. Esses turnos devem seguir as normas trabalhistas, que determinam limites de horário por escala. Na Tabela 4 são apresentados os totais de funcionários que trabalham por turno no bloco F sala 110.

Tabela 4: Horários, turnos de trabalho e número de funcionários por turno

Turno	Início	Final	Nº de Funcionários
1º Turno	05:35h	14:35h	2
2º Turno	14:10h	23:01h	2
3º Turno	22:00h	6:09h	2
Total			6

**Em áreas de produção industrial com necessidades operacionais de controle e expedição farmacêutica, deve-se especificar a relação das máquinas / equipamentos para que os órgãos de controle e vigilância sanitária, possam certificar se o equipamento não possui nenhuma restrição. Os Quadros 13 e 14 apresentam os equipamentos e seu registro de controle (*Tag's*) para os órgãos certificadores.**

**Quadro 13: Registro de controle da linha de embalagem.**

<b>Equipamento</b>	<b>Tag's</b>
Emblistadeira Bosch Servac 85	TFS6004
Encartuchadeira IWKA Cartopack	ENS6020

**Quadro 14: Registro de controle da sala de Estufas**

<b>Equipamento</b>	<b>Tag's</b>
Estufa Estabilidade	ES Q21001
Estufa Estabilidade	ES Q21003

A indústria farmacêutica estabelece que os equipamentos sejam avaliados e cadastrados com Registros qualificados como TAG's facilitando a identificação e a vida útil para substituição.

O conjunto de salas deve manter condições que não favoreçam a contaminação da área produtiva, portanto o dimensionamento da pressão é muito importante. Pode-se verificar no Tabela 5 que a pressão da área de embalagem é superior a pressão da antecâmara de saída e entrada.

**Tabela 5: Dimensionamento das salas limpas da Empresa B**

Empresa B							
Descrição	Quant. Trocas (renv. $h^{-1}$ )	Dif. Pressão (Pa)	Temp. (oC)	UR (%)	Área (m <sup>2</sup> )	pé-dir. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> $h^{-1}$ )
Sala de embalagem	20	10	19 à 25	<65	600	4	48000
Ante-câmara de entrada	10	7			36	3	1080
Ante-câmara de saída	10	7			36	3	1080
Total					672		50160

Dados:

UTA = FCL 9108 (50.200m<sup>3</sup>  $h^{-1}$ )

Área total atendida pela unidade de tratamento de ar = 672m<sup>2</sup>

#### **Descrição detalhada do processo Industrial:**

As instalações existentes atendem os requerimentos de normas internas e normas regulamentadoras locais, para instalação de linha de embalagem de produtos sólidos. Nesta área são realizados os processos de embalagem primária e secundária de produtos sólidos, os produtos são recebidos em granel, devidamente acondicionados e lacrados, assim como os materiais de embalagem primária e secundária. A planta conta basicamente com duas áreas conceitualmente distintas, são elas:

Área de embalagem primária é a destinada ao processo de emblistamento de cápsulas, onde esta instalada uma emblistadeira automática conforme pode-se ver na Figura 18, em fase de produção durante os 3 turnos. Seu acesso será através do corredor de circulação do prédio e é protegida por um *air lock* de material e um *air lock* de pessoas.

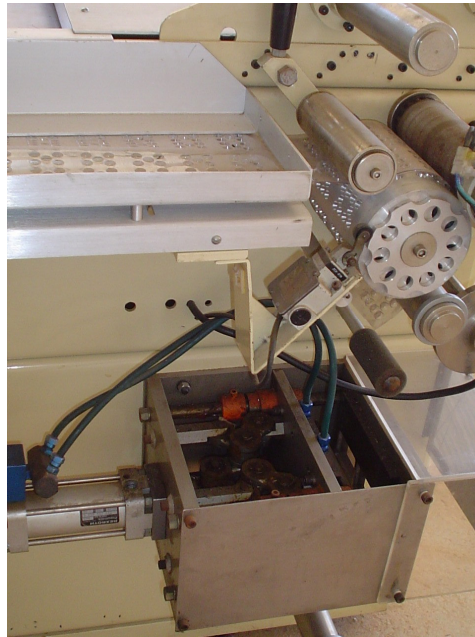


Figura 18: Emblistadeira

A área para embalagem secundária é o local destinado ao processo de encartuchamento (blister) e encaixotamento, conforme podemos ver na Figura 19. Nesta área estão instalados os seguintes equipamentos: encartuchadeira e balança para cartucho.



Figura 19: Encartuchamento

Fonte: [http://www.embanewsonline.com.br/premio/premio\\_2002/premio\\_2002/premio\\_mpr\\_17.htm](http://www.embanewsonline.com.br/premio/premio_2002/premio_2002/premio_mpr_17.htm)





As demais áreas estão destinadas para:

- Lavagem que estão localizadas dentro da área para embalagem primária (ao lado do *air lock* de pessoas). Esta área é destinada à lavagem de peças referentes ao processo de emblistamento.
- Ferramental é utilizada para o armazenamento de ferramentas tanto da emblistadeira como da encartuchadeira.
- Suporte viabiliza as atividades administrativas desta área de embalagem, com micro em rede.
- As Antecâmaras de passagem de pessoas e materiais, para os depósitos de armazenamento de produtos e acesso a outros setores.

Estoque regulador para reposição de produtos.

Toda área limpa possui uma área técnica externa para passagem das tubulações do prédio, área de circulação de pessoas e suporte para estabilidade da área de produção.

Para poeiras, o controle instalado consiste de sistemas de exaustão conectados a Unidades de Tratamento de Ar (UTA's), cuja função é promover a retenção de partículas no insuflamento e na exaustão de ar, além do controle de temperatura e umidade, são providas de ventiladores de insuflamento e retorno e caixas de filtragem com filtros grossos (retenção primária) e finos (retenção secundária).

Os filtros com o pó retido são substituídos por novos periodicamente (em inspeções trimestral, semestral ou anualmente, dependendo da saturação dos filtros que é controlada por diferença de pressão) e enviadas para incineração.

A água utilizada provem da rede pública ou é comprada em caminhão-pipa (utilizadas apenas quando falta água nos poços). O consumo mensal de aproximadamente 1000 m<sup>3</sup>.

Em condições setoriais são usados os recursos do poço artesiano com dosador automático de cloro (água utilizada na produção e usos gerais da fábrica). O consumo mensal é de aproximadamente 11.150 m<sup>3</sup>.

Os resíduos podem ser líquidos ou sólidos industriais:

O destino de todos os efluentes líquidos, **sanitários (banheiros e cozinha) e industriais (lavagem de tanques, reatores e outros equipamentos de processo nas áreas produtivas, drenagem das caldeiras, descarga de fundo das torres de resfriamento, dentre outros)**, são encaminhados para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) interna para correção de pH, de forma a atender os limites estabelecidos pelo Artigo 19A do Decreto 8.468/76. Após a correção de pH, os efluentes são lançados na rede pública coletora e encaminhados para a Estação de Tratamento de Efluentes do município.

Os resíduos sólidos industriais de produção farmacêutica: materiais de embalagens contaminados, filtros e panos de limpeza contaminados, sobras de matérias-primas ou produtos, são coletados por empresa especializada e incinerados.

O mesmo destino é aplicado para matérias primas rejeitadas, obsoletas ou vencidas, já resíduos sanitários e panos de limpeza são recolhidos por empresa especializada e enviados para aterro sanitário.

Para reciclagem são enviados os resíduos de papel e papelão, de vidros, de plástico, bombonas e tambores metálicos e de plástico não contaminado.

No projeto do conjunto de salas a ante-sala de descontaminação já está dentro do complexo de área limpa. Serve para garantir a embalagem dos remédios produzidos na sala de produção, como se verificar na Figura 20

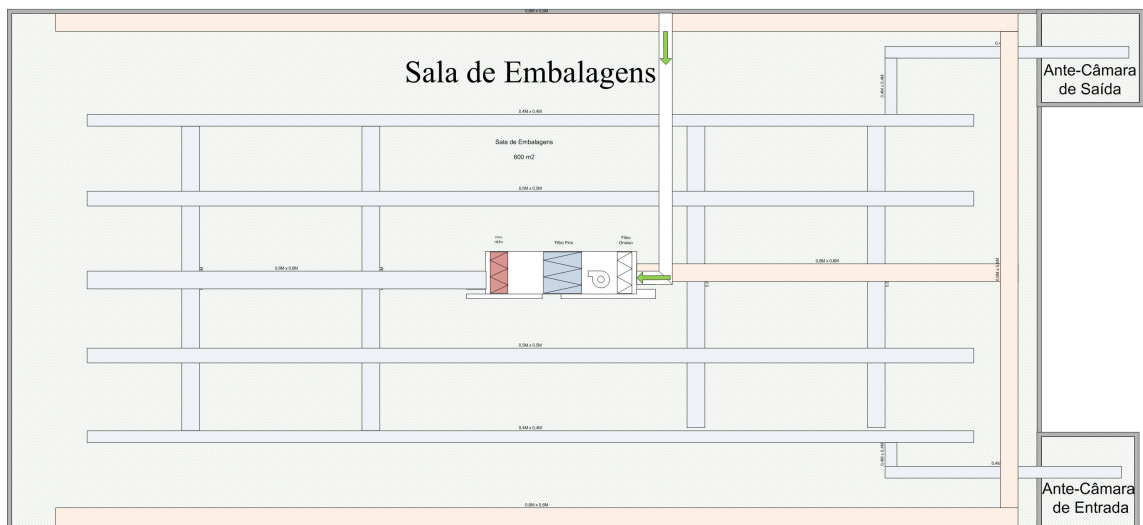


Figura 20: Planta Baixa do conjunto de operação das salas limpas

A sala mantém refrigeração conta com sistema de realimentação para a unidade de tratamento do ar .

Sua pressão é superior aos ambientes externos para manter o ambiente controlado. O fluxo de ar segue o modelo turbilhão preenchendo o espaço da sala.

## 4. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS DAS EMPRESAS

### 4.1 Avaliações da empresa A

Está situada no subúrbio de Rio de Janeiro onde as temperaturas variam de 14 °C a 42 °C e uma umidade relativa média de 75%, conforme informações da empresa. O local onde as salas se encontram fica ao lado da produção de vidro que são produzidos a uma temperatura de 1.200 à 1400 °C isso fez com que a empresa captasse o ar para as salas limpas de uma fonte distante da área de produção, favorecendo o resfriamento dos recipientes produzidos.

#### 4.1.1 As condições de filtragem do ar

O fabricante recomenda a troca dos filtros quando a diferença de pressão do nível de retenção do ar antes e depois do filtro atingir o nível estabelecido pela tabela de troca do fabricante. A recomendação encontrada na tabela foi de 450 Pa (KLIMA).

Existe dois critérios básicos de procedimento de manutenção: Manutenção Otimizada e Manutenção Preventiva (estimada). A empresa por não estar adotando monitoramento de diferença de pressão adota o modelo preventivo

Os tempos de saturação dos filtros grossos são de aproximadamente um a cada mês; filtros finos de dois a três meses, dependendo do estado dos filtros grossos, e dos filtros absoluto de seis meses a um ano. Veja-se no anexo V

A empresa, para garantir o nível de limpeza na sala, estabeleceu critérios de troca dos filtros grossos, finos e absolutos com intervalos sistemáticos.

O gráfico mostrado na Figura 21 foi montado com 3 cores de filtros: os grossos em azul, os finos em vermelho e os absolutos em amarelo. Quando houve troca ele aparece no mês com nível 1.

Gráfico de Acompanhamento do período de troca dos filtros.

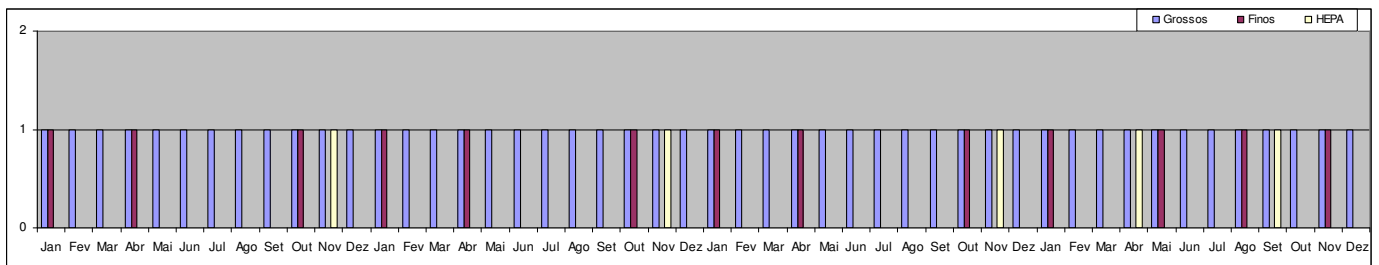


Figura 21: Gráfico de troca dos filtros

Em 4 anos tive-se trocas mensais de filtro grosso totalizando 48 trocas, 13 trocas de filtros finos e 5 trocas de filtros absolutos.

Com a falta de monitoramento pode-se perceber que uma das bolsas de um dos filtros não foi inflada conforme observa-se nas Figuras 22 e 23 diminuindo a área de filtragem da unidade de tratamento do ar atmosférico afluente. O acúmulo de resíduos demonstra o quanto de partículas foram retidas.

Entretanto, a empresa A não detectou o problema, pois não tem monitoramento de diferença de pressão ativa, mas se o caso acontecer em uma empresa que monitora a diferença o problema de pressão, será rapidamente detectado.



Figura 22: Estrutura de filtros bolsa



Figura 23: Filtro bolsa sem uso

Pode-se ver no detalhe das Figuras 24 (filtro com quase nenhuma contaminação) e Figuras 25 a diferença do grau de contaminação interna do filtro bolsa.

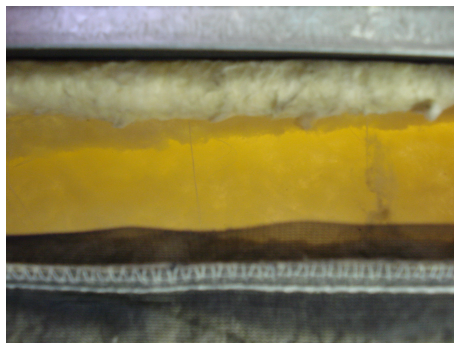


Figura 24: Filtro bolsa sem uso



Figura 25: Filtro bolsa contaminado

Nos filtros absolutos, plissados com estrutura mais robusta em forma de cunha, verifica-se o estado de limpeza na Figuras 26 (verso do filtro sem nenhuma contaminação) e na 27 frente um elevado estado contaminação. Podemos constatar a eficiência do filtro.

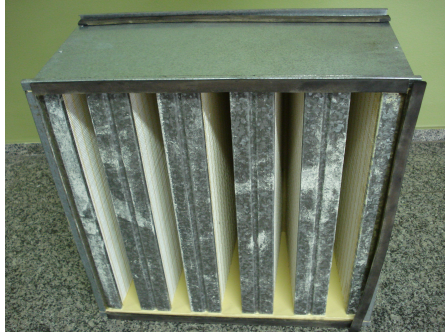


Figura: 26 Filtro absoluto limpo

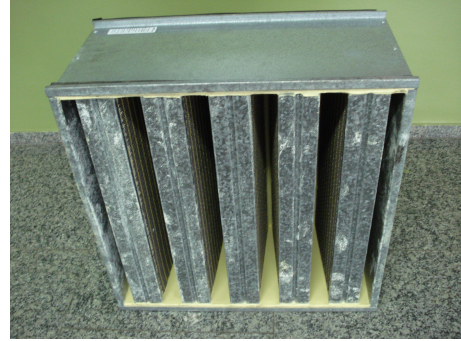


Figura: 27 Filtro absoluto contaminado

#### 4.2 Avaliações da empresa B

Está situada no interior de São Paulo onde as temperaturas anuais variam de 9 °C a 40 °C , a média anual de temperatura é inferior a média do Rio de Janeiro, com uma umidade relativa média de 65%.

Estabelece controle de pressão diferencial entre os filtros.

A empresa faz o acompanhamento na UTA da diferença de pressão nos filtros para determinar o melhor momento de troca dos filtros.

No anexo VI apresenta-se o acompanhamento do monitoramento da diferença de pressão do filtro absoluto, resultando a troca dos filtros HEPA em setembro.

Na Figura 28 indicamos os momentos das trocas dos filtros grossos e dos filtros bolsa (fino).

Gráfico de Acompanhamento de troca dos filtros durante um período de quatro anos.

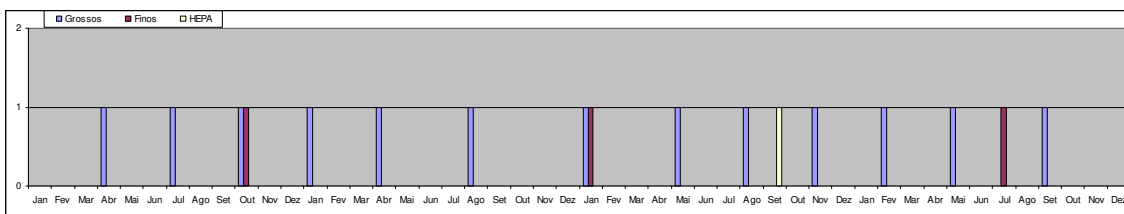


Figura 28 Gráfico de troca dos filtros



A empresa para garantir o nível de limpeza na sala, estabeleceu critérios de troca sistemática de acordo com os níveis de diferença de pressão.

O gráfico foi montado com 3 cores de filtros os grossos em azul, os finos em vermelho e os absolutos em amarelo.

Em 4 anos observa-se trocas de 13 filtro grosso 3 trocas de filtros finos e 1 troca de filtros absolutos.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS:

As eficiências de um sistema de purificação de ar para uma sala ou um complexo de unidades de salas limpas estarão diretamente relacionadas com os critérios adotados no projeto e a manutenção criação e certificação das salas limpas.

Diante dos dados obtidos das duas empresas pode-se chegar a alguma indicações

Nos Quadros 15 e 16 pode-se verificar uma eficiência superior da empresa B com um índice de insuflamento menor que a empresa A. Com apenas uma UTA atende uma área superior a empresa A e sua vazão é quase a mesma dos dois sistemas da empresa A (107%). A eficiência de troca de filtros em 4 anos é superior. O consumo das 2 UTAs da empresa A é 160% superior ao da empresa B

Para avaliar o quanto as salas são atendidas pela vazão há que montar um indicador de insuflamento capaz de estabelecer condições de comparação entre as empresas. A vazão por metro quadrado das duas empresas apresenta qual atendo com maior eficiência.

Quadro 15: Quadro comparativo de insuflamento das empresas A e B

Itens	Empresa A	Empresa B	Insuflamento A	Insuflamento B
Área (m <sup>2</sup> )	403	672	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>
Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	46.840	50.160	116,23	74,64

Quadro 16: Quadro comparativo das empresas A e B

Itens	Empresa A	Empresa B
UTA	2	1
Média de Troca de Filtros Grossos (4anos)	12,00	3,25
Média de Troca de Filtros Finos (4anos)	3,25	0,75
Média de Troca de Filtros HEPA (4anos)	1,25	0,25
Consumo em kWhm <sup>-2</sup>	15 kWhm <sup>-2</sup>	6 kWhm <sup>-2</sup>
Inatividade Anual h <sup>-1</sup>	(8dias)192 horas	(11dias)264 horas
Revalidação da Certificação anual	1	1

As empresas envolvidas nesse estudo aplicaram técnicas de processos de trocas dos filtros muito diferentes com modelos e condições de gerenciamento diferente.

A empresa A estabeleceu um modelo periódico de troca baseado na durabilidade mínima de cada tipo de filtro, fazendo trocas sem atestar o nível de saturação dos filtros. Cada

UTA é montada com 4 filtros em paralelo de 59,50cm (padrão) por quadros e a troca é do quadro de filtros. Os grossos são trocados todo mês, os finos de quatro a seis meses e os absolutos uma vez por ano, em condições normais. A Tabela 6 mostra a quantidades de trocas e o valor gasto em Reais (R\$) e Dólares (\$) durante 4 anos nas duas empresas.

Comparando com a empresa B que estabeleceu um método de controle dos níveis de pressão antes e depois dos filtros para poder avaliar o grau de saturação de cada filtro e então fazer a troca. O numero muito inferior de trocas mostra o grau de aproveitamento do filtro. No anexo VI verifica-se o acompanhamento enviado pela empresa do filtro absoluto trocado em setembro de 2007

Tabela 6: Trocas de Filtros da Empresa A e B

	Tipo de Filtro	Trocas (4 anoa)	Quantidade de filtros	Valor R\$ em 03/09 Unitário	Valor R\$	Valor Dolar em 03/09 (2,30)
Emp A	G	48	4	35	6.720,00	2,922
	F	13	4	150	7.800,00	3,391
	HEPA	5	4	800	16.000,00	6,957
Total		66	12	985	30.520,00	13,270
Emp. B	G	13	4	35	1.820,00	791
	F	3	4	150	1.800,00	783
	HEPA	1	4	800	3.200,00	1,391
Total		17	12	985	6.820,00	2,965

Enquanto a empresa A gastou R\$ 30.520,00 a empresa gastou B R\$ 6.820,00 apresentando uma diferença de R\$ 23.700,00 (\$ 10,304) na troca dos quadros de filtros durante 4 anos.

A Empresa A adota coifas de refrigeração com insuflamento superior que eleva a temperatura da sala. Como sugestão a inversão do sentido de insuflamento e utilização do mecanismo de exaustão pode diminuir a temperatura da sala assim como resfriar mais rapidamente os recipientes que entram da sala. Na Figura 29 pode-se observar algumas mudanças.

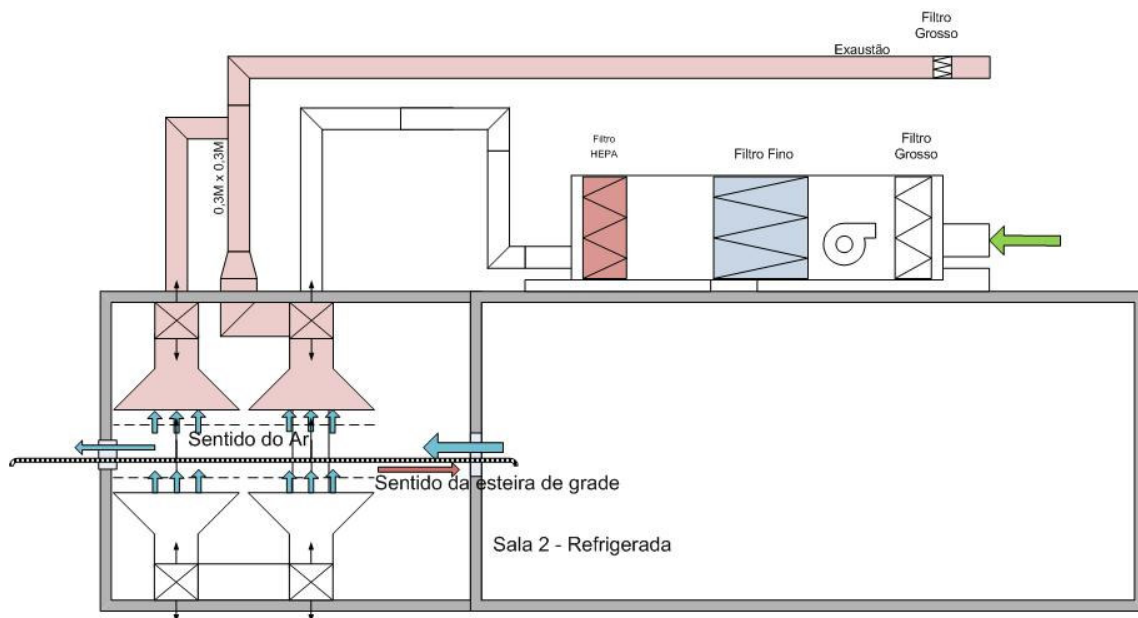


Figura 29: Sala 1 modificada

Destaca-se que o ar quente deverá ser enviado para a atmosfera por dutos independentes. A esteira que atualmente é impermeável deverá ser de material poroso para a passagem do ar.

Caso a exaustão requiera poderão ser colocados ventiladores para impulsionar o ar quente para o exterior.

Esse modelo poderá ter a função alternada para propiciar a entrada de ar nos recipientes trocando o ar que esteja no seu interior, conforme o modelo da Figura 30.

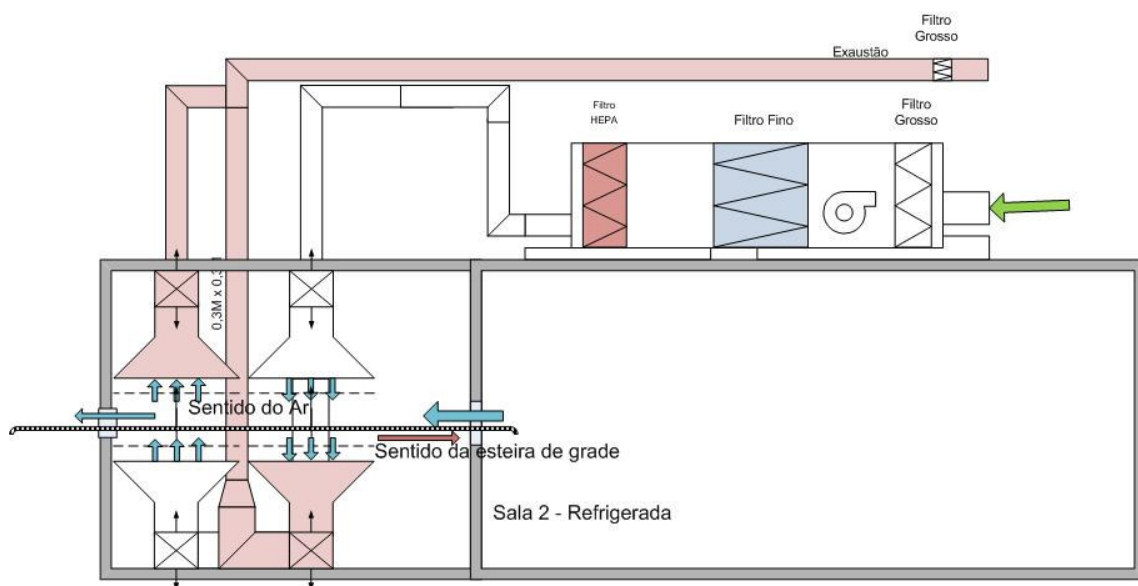


Figura 30: Sala 1 modificada com sistema alternado de ventilação

Esse modelo não é tão eficiente na questão de diminuição da temperatura no interior da sala, mas é mais eficiente que o modelo que insufla o ar de cima para baixo.

Em ambos os casos um processo discreto de vibração da esteira de entrada pode acelerar o deslocamento de ar dos frascos melhorando o resfriamento.

As duas empresas foram informadas que já estão sendo feitos estudos e aplicações em outros seguimentos de filtros com novas tecnologias que poderão facilitar os processos de manutenção e troca com menor frequência.

## 6 CONCLUSÕES:

As duas empresas adotaram o mesmo fornecedor de filtros e de unidade de tratamento de ar, com algumas diferenças de operações. A empresa A usa duas unidades de tratamento de ar para insuflar 403 m<sup>2</sup> enquanto a empresa B insufla 672 m<sup>2</sup> com uma única unidade de tratamento de ar.

A empresa B possui um sistema de acompanhamento de troca dos filtros mais estruturado e eficiente, com um monitoramento sistemático, por demanda de controladores digitais instalados na unidade de tratamento de ar. A empresa A optou por um sistema de monitoramento preventivo com trocas fixas de acordo com o tipo de filtro.

O acompanhamento da diferença de pressão entre os filtros indica o momento mais adequado para a troca dos filtros. Portanto o monitoramento das diferenças de pressões reduz o número de troca dos filtros e possibilita diminuir o lixo ambiental.

Esse fato ficou bem caracterizado no Quadro 16 que comparou as duas empresas e estabeleceu a média dos 4 anos de levantamento das trocas nas duas empresas. Os níveis médios de troca da empresa B foram inferiores aos níveis médios da empresa A. Em sistemática de troca preventiva o filtro não foi totalmente saturado sendo descartado antes da condição limite para troca.

Diante dessa sistemática foi montada a Tabela 6 que contabilizou durante os 4 anos o total de trocas de cada filtro e o custo ao longo do tempo, evidenciando que a empresa A gastou muito mais que a empresa B. Poderia usar a diferença para implantar um sistema de monitoramento que se “auto-pagaria” ao longo de 4 anos.

Pode-se concluir que a empresa A gasta muito mais energia que a empresa B ao observar-se no Quadro 6 que o insuflamento por metro quadrado é maior, quase o dobro. Isso se deve ao fato que a empresa A possui dois sistemas independentes com um índice de kWhm<sup>2</sup> mostrado no Quadro 6 superior ao da empresa B. Vale destacar que a empresa B mantém um reaproveitamento de todo o ar enviado para a sala e não tem que resfriar material aquecido.

Pode-se verificar com as conclusões acima que uma revisão no projeto da empresa A usando a sistemática da empresa B resultará em melhor aproveitamento dos filtros e menor consumo de energia.

Finalmente, pode-se observar no Quadro 16 que o número de horas paradas na empresa B ao longo de um ano foi um pouco superior ao número de horas paradas da empresa A. Esse dado desfavorável não é muito significativo pois, uma diferença de 3 dias ao longo de um ano não representa grande relevância.

Uma sala limpa requer cuidados com todos os processos que envolvem o ambiente desde a entrada até a saída. O controle de todas as variáveis de temperatura, pressão, movimentação de equipamentos e pessoas é importante para a manutenção do ambiente.

## **6.1 Recomendações**

A atenção constante com as recomendações das BPF do Anexo VI são fundamentais para a manutenção das salas limpas.

O investimento em capacitação individuais, eventos ligados a área industrial, o estabelecimento de períodos de treinamentos uma vez ao ano e programa de incentivo a sugestões de melhoria dos processos de trabalho.

A utilização de programas de simulação, planilhas e gráficos de projeções de resultados ajudam a evitar condições desfavoráveis.

A manutenção de um ambiente mental saudável com vínculos entre os componentes de um grupo de trabalho com mentalidade de equipe voltada a superação de resultados, estabelece um referencial de melhoria pessoal e empresarial.

A empresa deve ser vista como um conjunto de esforços para a auto sustentação do todo que podem ter setores com indicadores mais favoráveis em algumas áreas.



## REFERÊNCIAS

ABHO. Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. Disponível em: <<http://www.abho.com.br>>. Acesso em: Dez. 2008.

ACGIH. American Conference of Governmental and Industrial Hygienists. Disponível em: <<http://www.acgih.gov>>. Acesso em: Dez. 2008.

ALDEN, J. L.; KANE, J. M. **Design of industrial ventilation systems**. 5. ed. New York: Industrial Press Inc., 1981. ISBN 0-8311-1138-0.

ALEXANDRE, C. S. **Filtragem de ar: manual técnico**. Curitiba: Trox Technik, 1991. 32 p.

ALHADEFF, C. M.; FORTES, J. D. N. **As relações de poder e o trabalhador, com foco nas atividades produtivas das empresas privadas de pequeno e médio porte, sob a ótica da saúde e do ambiente**: estudo de caso. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000. (Trabalho final de disciplina realizada no CESTE/ENSP/FIOCRUZ).

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Estudo de caso do processo de implantação de SGA em pequenas empresas**. Rio de Janeiro: UERJ, 2001. (Trabalho final de disciplina realizada no DESMA/FEUERJ – Área de Gestão Ambiental).

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Métodos de amostragem e análise de poluentes gasosos**. Rio de Janeiro: UERJ, 2001. (Trabalho final de disciplina realizada no DESMA/FEUERJ – Área de Controle de Poluição).

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Committee on Industrial Ventilation. **Industrial ventilation: a manual of recommended practise**. Michigan: Edwards Brothers, 1974.

ARAÚJO, U.; PIVETTA, F.; MOREIRA, J. Avaliação da exposição ocupacional ao chumbo: proposta de uma estratégia de monitoramento para prevenção dos efeitos clínicos e subclínicos. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.15, n.1, p.123-131, jan./mar. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações centrais de ar – condicionado para conforto. – parâmetros básicos de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14001: sistema de gestão ambiental – especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

BASEL. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/acs/diplomacia/portg/temas/ma001.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

BASEL Convention. Convenção da Basileia. Disponível em: <<http://www.basel.int>> e <<http://www.basel.int/meetings/TWG20/Predocs/twg20-pre.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

BECKER, D. F. (Org.). **Desenvolvimento sustentável**. 2. ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1999. 238 p. ISBN 85-85869-39-9.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 003, de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR – Data da Legislação: 28/06/1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 ago. 1990. págs. 15937-15939.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3523/GM, de 28 de agosto de 1998. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523_98.htm)>. Acesso em: Dez. 2008.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Resolução – RE nº 176, de 24 de outubro de 2000. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/176\\_00re.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/176_00re.htm)>. Acesso em: Dez. 2008.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Consulta pública nº 98, de 26 de dezembro de 2005. Disponível em: <<http://www.projergonet.com.br/arquivos/estrutura/98pf3532.pdf>>. Acesso em: Dez. 2008.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/acs/diplomacia/portg/temas/ma001.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: Dez. 2008.

BROWN, T. L. et al. **Química, ciência central**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 702 p.

BRANCO, S.; MURGEL, E. **Poluição do ar**. São Paulo: Ed. Moderna, 1995.

BRASIL. NR – Normas Regulamentadoras aprovadas pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978 – 43ª ed. **Lex: Coleção de manuais de legislação** – segurança e medicina do trabalho. São Paulo, Atlas, v.16, 1999. ISBN 85-224-2307-5.

BUONICORE, A. J.; DAVIS, W. T. **Air pollution engineering manual**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. ISBN 0-442-00843-0.

BURGESS, W. A.; ELLENBECKER, M. J.; TREITMAN, R. D. **Ventilation for control of the work environment**. New York: A Wiley-Interscience, 1989. ISBN 0-471-89219-X.

CAMPANILI, M. Justiça fecha empresa em Bauru por contaminação ambiental. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 10 abr. 2002. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2002/abr/10/97.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

CARRIER AIR CONDITIONING. **Manual de aire acondicionado**. Barcelona: Marcombo, 1970.

CERVO, B. C. **A contribuição das indústrias fabricantes de sistemas de ventilação e exaustão para a melhoria da qualidade do ar em pequenas e médias empresas do ramo metal-mecânico no município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: UERJ, 2002. (Projeto final de graduação, DESMA/FEUERJ).

CETESB. Companhia de Tecnologia de saneamento Ambiental. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: Dez.2008.

CRQ4. Conselho Regional de Química 4ª Região. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br>>. Acesso em: Dez. 2008.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: Dez. 2008.

FEEMA. **Manual do meio ambiente**: métodos. Rio de Janeiro: FEEMA/DICOMT, 1983.

FLEURY, A. C. C.; VARGAS, N. (Org.). **Organização do trabalho**: uma abordagem interdisciplinar: sete estudos sobre a realidade brasileira. São Paulo: Atlas, 1983.

FORTES, J. D. N. **A intervenção técnica em pequenas indústrias de fabricação e reforma de baterias chumbo-ácidas**: proposta para melhoria da qualidade do ar e preservação da saúde do trabalhador. 2003.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa de novos materiais para sistemas de ventilação de ambientes industriais**. 2000.

FOUCAULT, M. **Microfísica do poder**. 3.ed. Rio de Janeiro: Graal, 1982.

FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S.; MACHADO, J. M. H. **Acidentes industriais ampliados**: desafios e perspectivas para o controle e prevenção. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000.

FREITAS, N. B. B.; ARCURI, A. S. A. **Valor de referência tecnológico (VRT)**: a nova abordagem do controle da concentração de benzeno nos ambientes de trabalho. São Paulo: USP/Fundacentro, 2000.

FUNDACENTRO. **Curso de engenharia de segurança do trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1981. v.6.

FURTADO, C. **O capitalismo global**. 4.ed. São Paulo: Paz e Terra, 1998. ISBN 85-219-3010-3.

GOMES, J. C. A ponta do iceberg: a crise da contaminação química do solo paulista está apenas começando. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 24 maio 2002. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/ciencia.noticias/2002/mai/24/178.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

GREENPEACE. Protocolo de Kyoto. Disponível em: <[www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolodekyoto.pdf](http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolodekyoto.pdf)>. Acesso em: Dez. 2008.

HEINSOHN, R. J.; KABEL, R. L. **Sources and control of air pollution**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. 696 p.

JOHN, L. Reciclagem de baterias tem novas diretrizes internacionais. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 28 maio 2002. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2002/mai/28/187.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

KANAWATY, G. (Org.). **OIT: condiciones y medio ambiente de trabajo**. 4. ed. Genebra: OIT, 1996.

LAURELL, A. C.; NORIEGA, M. **Processo de produção e saúde**: trabalho e desgaste operário. São Paulo: Hucitec, 1989. p.99-1404.

MACHADO, C. J. S. Um quadro sinóptico do processo de formação do arcabouço jurídico institucional ambiental brasileiro. **Revista Internacional de Estudos Políticos**, Rio de Janeiro, v.3, n.1, jan./abr. 2001.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990. 430 p.

MALTA, C. G. T. ; TRIGO, L. A. S. C. ; CUNHA, L. S. **Chumbo**. Rio de Janeiro: F. T. E. Souza Márquez/Escola de Medicina, 1998. Disponível em: <<http://www.geocities.com/HotSprings/Resort/4486/chumbo/chumbo1.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry**. 7.ed. Flórida: Lewis Pub., 2000. 898 p.

MARTINS, G. F. R. **Apostila de salas limpas e ambientes controlados**. Rio de Janeiro: IME, s.d. 15 p.

MATTOS, U. A. O.; FORTES, J. D. N. **Um perfil das micro-empresas do tipo metal-mecânico do município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: DESMA/FEUERJ, 2001.

MENDES, R.; DIAS, E. C. Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador. **Revista de Saúde Pública**, v.25, n.5, p.341-349, 1991.

MENDES, R. (Org.). **Patologia do trabalho**. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995.

MENOCCHI, R., Org. Funcionários em Jacareí podem estar contaminados por chumbo. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 20 dez. 2001. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2001/dez/20/288.htm>>. Acesso em: Dez. 2008.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, P. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

MONITORAMENTO de salas limpas de acordo com a ISO 14644. Disponível em: <[http://www.pmeasuring.com.br/particleCounter/pharmaceutica/regulations/ISO\\_14644](http://www.pmeasuring.com.br/particleCounter/pharmaceutica/regulations/ISO_14644)>. Acesso em: Dez. 2008.

MOURA, L. A. A. **Qualidade e gestão ambiental**: sugestão para implantação das normas ISSO 14000 nas empresas. 2.ed. São Paulo: Ed. Juarez de Oliveira, 2000. 256 p. ISBN 85-7453-120-0.

NORIEGA, M. Organización laboral, exigências y enfermedad. In: **Investigación sobre la salud de los trabajadores**. Washington: OPS, 1993. (Série Paltex).

NASCIMENTO, Flavio Augusto Valle do. Introdução a Salas Limpas e Fluxos Laminares. Rio de Janeiro : TROX; 2002. 32p. Il.

NÚMERO de mortos volta crescer em 95. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 16 jun. 1996.

OLIVEIRA, M. H. B.; VASCONCELLOS, L. C. F. Política de saúde do trabalhador no Brasil: muitas questões sem resposta. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.8, n.2, p.150-156, abr./jun. 1992.

OSHA. Occupational Safety & Health Administration. Disponível em: <<http://www.osha.gov>>. Acesso em: Dez. 2008.

PACHECO JR., W.; PEREIRA FILHO, H. V.; PEREIRA, V. L. D. V. **Gestão de segurança e higiene do trabalho**: contexto estratégico, análise ambiental, controle e avaliação das estratégias. São Paulo: Atlas, 2000. 136 p. ISBN 85-224-2436-5.

PEAVY, H. S.; ROWE, D. R.; **Environmental engineering**. Singapore: McGraw-Hill, 1985. ISBN 0-07-100231-6.

QUITÉRIO, S. L. et al. **Monitoramento e determinação da concentração de chumbo particulado em áreas circunvizinhas e reformadoras de baterias**. Rio de Janeiro: UFRJ/IQ, 2000.

SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C. **Insalubridade e periculosidade**: aspectos técnicos e práticos. 4.ed. São Paulo: LTr, 1998. ISBN 85-7322-535-1.

SAMET, J. M.; SPENGLER, J. D. **Indoor air pollution**: a health perspective. London: The Johns Hopkins University Press, 1991. ISBN 0-8018-4124-0.

SANTOS, A. S. R. Desenvolvimento sustentável: considerações. **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v.29, n.28, p.82-84, jan./fev. 2001.

SAYAD, J. Panorama da economia brasileira contemporânea. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br>>. Acesso em: Dez. 2008.

SELL, N. J. **Industrial pollution control**: issues and techniques. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1992. ISBN 0-471-28419-X.

SILVA, T. A. A. S. **Simulação de acidentes radiológicos através de software baseado em agentes**. Rio de Janeiro: UERJ/FEN, 2007. 66 p. (Dissertação, Engenharia de Computação).

SILVA FILHO, E. V. **Geoquímica da deposição atmosférica no litoral do estado do Rio de Janeiro**. Niterói: UFF, 1997. (Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFF, área de Geoquímica Ambiental).

SHUBO, A. M. R. et al. **Análise e diagnóstico das condições de trabalho em indústrias de baterias chumbo-ácidas**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/CESTEH/ENSP, 2001. (Trabalho apresentado no encerramento do Curso de Especialização de Saúde do Trabalhador).

SKERFVING, S. Inorganic lead. In: **Criteria documents from the nordic expert group**. Sweden: Brita Beije och per Lundberg, 1993. p.125-238.

TEIXEIRA, P. (Org.). **Biossegurança**: uma abordagem multidisciplinar. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1996. 362 p. ISBN 85-85676-29-29.

TIERNEY, L. M.; MCPHEE, S. J.; PAPADAKIS, M. A. **Diagnóstico e tratamento**: um livro médico lange. São Paulo: Atheneu, 1998.

TORREIRA, R. P. **Manual de segurança industrial**. Brasil: MCT Produções Gráficas, 1999.

UERJ. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.uerj.br>>. Acesso em: Dez. 2008.

VOGEL, A. I. et al. **Análise química quantitativa**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992. 712 p.

WAISMANN, W. **A cultura de limites e a desconstrução médica das relações entre saúde e trabalho**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/CESTEH/ENSP, 2000. (Tese de Doutorado).

WORLD HEALTH ORGANIZATION SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND HEALTH ENVIRONMENTS. **Hazard prevention and control in the work environment**. Geneva: Airbone Dust, Protection of Human Environment, 1999. (Occupational and Environmental Health Series).

## ANEXOS

## ANEXO I

Norma ABMT NBR16401 1ª Parte

**Procedimento de elaboração e documentação do projeto**

Norma ABMT NBR16401 3ª Parte

**Termos e definições**



## **Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projeto das instalações**

### **4 Procedimento de elaboração e documentação do projeto**

A elaboração do projeto deve ocorrer em etapas sucessivas, dividindo-se o processo de desenvolvimento das atividades técnicas de modo a se obter uma evolução positiva e consistente da concepção adotada para as instalações e da integração destas com a edificação e seus componentes, garantindo o atendimento às exigências de desempenho e qualidade definidas pelo contratante.

Cabe ao projetista executar as atividades e fornecer ao contratante os documentos de acordo com o estipulado em 4.1 a 4.5. O estipulado em 4.6 é de responsabilidade da empresa executora da obra.

Em situações onde o empreendimento já é existente e se pretenda aplicar uma solução de reforma e/ou adequação da instalação existente (retrofit), algumas ações ou etapas poderão vir a ser suprimidas de acordo com o projetista contratado.

#### **4.1 Concepção inicial da instalação**

Etapa destinada a:

Análise conjunta entre o projetista, empreendedor e escritórios de arquitetura sobre os impactos das soluções envolvendo o consumo de energia da edificação e os aspectos ambientais.

Análise junto ao empreendedor da diretriz de enquadramento desejada pelo mesmo para a obtenção de Etiqueta de Eficiência Energética do respectivo empreendimento.

Coleta de informações sobre as condições locais que possam ter influência na concepção das instalações, tais como o atendimento pelos serviços públicos de água, esgoto, gás combustível e energia elétrica, topografia, incidência solar, edificações na vizinhança, condições do meio externo, tipo de ocupação, etapas de implantação do empreendimento, exigências específicas das autoridades legais, etc.

Coleta de dados preliminares de requisitos de tratamento de ar, parâmetros para os cálculos de carga

térmica e especificações dos detalhes arquitetônicos da edificação tais como: condições específicas de

temperatura, umidade relativa, pressão interna, renovação de ar e classe de filtragem requerida, leiaute e dissipação térmica de equipamentos, altura de entre forros, tipos de vidro e materiais e revestimentos de coberturas e paredes, dispositivos de sombreamento, etc.

Análise comparativa de sistemas viáveis de serem aplicados, a partir de um levantamento preliminar de carga térmica.

Indicação preliminar das necessidades de áreas e espaços técnicos, com estimativa de carga estática e consumo elétrico dos equipamentos.

Esta etapa engloba conceitualmente as etapas de Levantamento (LV), Programa de Necessidades (PN), Estudo de Viabilidade (EV) e Estudo Preliminar (EP), conforme a ABNT NBR 13531.

**Para a execução desta etapa, o contratante deverá disponibilizar ao projetista:**

Plantas de situação do terreno, Dados gerais do empreendimento conforme relacionados nos itens referentes à coleta de dados

Projeto legal ou estudos de arquitetura.

#### **4.2 Definição das instalações**

Etapa destinada à evolução da concepção das instalações e à representação das informações técnicas provisórias de detalhamento das instalações, com informações necessárias e suficientes ao início do inter-relacionamento entre os projetos das diversas modalidades técnicas participantes no processo, para uma avaliação preliminar de interferências e elaboração de estimativas aproximadas de custos. Refere-se à etapa de Anteprojeto (AP), conforme a ABNT NBR 13531.

Deve incluir as seguintes atividades:

Cálculos preliminares de carga térmica e vazão de ar, Seleção preliminar de equipamentos, com dados referenciais de dimensões, capacidade, consumo energético, consumo de água e peso, Definição preliminar de localização das casas de máquinas e suas dimensões, Dimensionamento preliminar das redes de dutos principais, e definição dos espaços de passagem vertical e horizontal necessários, Dimensionamento preliminar das redes hidráulicas e frigoríficas principais, e definição dos espaços de passagem vertical e horizontal necessários, Representação gráfica das instalações de forma esquemática para identificação preliminar de interferências.

**Para a execução desta etapa, o contratante deverá disponibilizar ao projetista:**

Complementação ou atualização dos dados gerais do empreendimento fornecidos na etapa anterior, Definição consensual sobre o sistema a ser adotado, Desenhos preliminares de arquitetura e leiautes de ocupação, com plantas e cortes e Lançamento preliminar de formas da estrutura.

#### **4.3 Identificação e solução de interfaces**

Esta etapa se constitui como evolução da etapa de definição das instalações, sendo destinada à concepção e à representação das informações técnicas das instalações, ainda não completas ou definitivas, mas já com as soluções de interferências entre sistemas acordadas, tendo todas as suas interfaces resolvidas.

Refere-se à etapa de Pré-execução (PR), conforme a ABNT NBR 13531.

Deve incluir as atividades de:

Consolidação dos cálculos, seleção de equipamentos, localização e dimensões das casas de máquinas, dimensionamento de toda rede de distribuição de ar, rede hidráulica e frigorífica,

Participação no processo de definição das soluções de compatibilização com os elementos da edificação e demais instalações, Representação gráfica do desenvolvimento da rede de dutos, incluindo a definição do tipo, seleção e posicionamento das grelhas e difusores de ar.

**Para a execução desta etapa, o contratante deverá disponibilizar ao projetista:**

Complementação ou atualização dos dados gerais do empreendimento fornecidos na etapa anterior, Comentários sobre os desenhos gerados na etapa 4.2, Plantas e cortes atualizados de arquitetura e de leiautes de ocupação, Planta de forros com posicionamento de luminárias, Pré-formas da estrutura de todos os pavimentos.

#### **4.4 Projeto de detalhamento**

Esta etapa se constitui como evolução da etapa de identificação e solução de interfaces, sendo destinada a consolidar o conceito de projeto adotado e à representação final das informações técnicas das instalações, completas, definitivas, necessárias e suficientes à licitação (contratação) e à execução dos serviços. Refere-se às etapas de Projeto Básico (PB) e Projeto para execução (PE), conforme a ABNT NBR 13531

A documentação a ser gerada nesta etapa deve conter elementos suficientes para garantir a correta compreensão do conceito adotado no projeto e a perfeita caracterização das instalações envolvendo:

distribuição de fluidos térmicos, distribuição de ar, controle, alimentação e comando elétrico, e todas as especificações necessárias para permitir a tomada de preços, aquisição, execução e posta em marcha das instalações.

Deve incluir peças gráficas contendo os desenhos das instalações de distribuição de ar e redes hidráulicas em plantas e cortes, mostrando com clareza:

as áreas técnicas e bases de assentamento previstas para os equipamentos utilizados como referência;

espaços reservados para passagem das instalações, soluções adotadas para compatibilização de interferências com os elementos estruturais da edificação e demais instalações prediais;

afastamentos necessários para a operação e manutenção do sistema;

detalhes construtivos;

fluxogramas de ar, fluidos térmicos, redes frigoríficas quando necessários, em instalações de maior complexidade, para permitir a visualização das instalações de maneira esquemática e global;

necessidades a serem supridas pela infra-estrutura das instalações prediais de energia elétrica, gás combustível, água e esgoto;

descritivo funcional da lógica de controle informando os componentes necessários e sua localização, parâmetros operacionais a serem atendidos e as interfaces com sistema de automação predial (se houver);

descritivo funcional e referências normativas para o fornecimento e montagem das instalações e quadros elétricos de alimentação elétrica e comando indicando as lógicas de intertravamentos de operação, proteção, manobra, medição e sinalização;

especificações gerais de equipamentos, indicando as características técnicas exigidas tais como as capacidades, características construtivas e condições operacionais tais como: temperaturas de entrada e saída de ar e de água, vazões de ar e água, pressão, potência e voltagem de equipamentos elétricos e outros dados necessários para a correta seleção destes;

especificações gerais de componentes e materiais a serem fornecidos, indicando as características exigidas e as referências normativas e padrões técnicos a serem obedecidos;

resumo geral dos dados resultantes dos cálculos de carga térmica para cada ambiente ou zona térmica, relacionando os parâmetros adotados;

memorial descritivo contendo a descrição geral das instalações, justificativas das soluções adotadas, serviços e responsabilidades a cargo da empresa instaladora e do contratante.

Para a execução desta etapa, o contratante deverá disponibilizar ao projetista:

complementação ou atualização dos dados gerais do empreendimento fornecidos na etapa anterior;

comentários sobre os desenhos gerados na etapa 4.3;

plantas e cortes definitivos de arquitetura e de leiautes de ocupação;

planta de forros com posicionamento definitivo das luminárias;

formas definitivas da estrutura de todos os pavimentos;

dados sobre a infra-estrutura das instalações elétricas e hidráulicas prediais.

#### **4.5 Projeto legal**

Esta etapa deverá ser executada sempre que requerida, e se destina à representação, na formatação exigida, das informações técnicas necessárias à análise e aprovação, pelas autoridades competentes, com base nas exigências legais (municipal, estadual e federal). Refere-se à etapa de Projeto Legal (PL), conforme a ABNT NBR 13531.

#### **4.6 Detalhamento de obra e desenhos "conforme construído"**

A responsabilidade sobre esta etapa cabe à empresa instaladora, que deve efetuar o detalhamento e as adequações necessárias no projeto, em função de:

características dimensionais e construtivas dos equipamentos efetivamente utilizados, detalhes construtivos e padrões de fabricação específicos dos itens de seu fornecimento tais como

quadros elétricos, dutos de ar, rede hidráulica e seus elementos de sustentação.

Modificações do projeto exigidas por interferências surgidas em decorrência do desenvolvimento das

obras civis e demais instalações prediais, ou alterações de arquitetura, layout e uso dos ambientes,

devem ser definidas e detalhadas pela empresa contratada para a execução da obra e formalmente aprovadas pelo projetista.

Cabe ainda à empresa instaladora elaborar e fornecer ao contratante, na conclusão e entrega da obra, os desenhos "conforme construído" incorporando todas as alterações introduzidas no decorrer da obra.

O manual de operação e manutenção da instalação deverá conter no mínimo:

Memorial descritivo da instalação contendo a relação dos equipamentos com as seguintes informações de cada equipamento e instrumentos de medição:

fabricante;

modelo;

tipo;

número de série;

características elétricas,

curvas características;

dados de operação.

Recomendações operacionais para colocação em funcionamento e desligamento do sistema segundo a recomendação dos fabricantes;

Recomendações com periodicidades de manutenção dos equipamentos segundo a recomendação dos fabricantes;

Esquemas elétricos de controle;

Certificados de garantias de cada equipamento e instrumentos de medição;

Recomendação de calibração dos instrumentos de medição;

Os relatórios de ensaio, ajustes finais e balanceamento do sistema e de suas partes, fornecidos pelo profissional ou entidade responsável, devem ser incluídos na documentação final da instalação.

Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários -

Parte 3: Qualidade do Ar Interior

### **3 Termos e definições**

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se os termos e definições do projeto 55:002.03-001/1 e os seguintes.

#### **3.1 ar interior de qualidade aceitável**

ar que não contém poluentes em concentração prejudicial à saúde ou ao bem estar e é percebido como

satisfatório por grande maioria (80 % ou mais) dos ocupantes do recinto

#### **3.2 vazão eficaz de ar exterior**

vazão de ar exterior na zona de respiração do espaço ventilado

#### **3.3 zona de respiração**

região ocupada de um espaço ventilado situado entre os planos horizontais localizados entre 0,8 m e 1,8 m do piso e distante de 0,6 m das paredes ou de componentes do sistema de tratamento de ar

#### **3.4 zona de ventilação**

um espaço ou grupo de espaços do mesmo tipo de utilização, com a mesma densidade de ocupação, a mesma eficiência da distribuição de ar e a mesma vazão de ar insuflado por m .

As zonas de ventilação não coincidem necessariamente com as zonas de controle térmico

#### **3.5 material particulado**

partículas de material sólidos em suspensão no ar

#### **3.6 ar insuflado**

ar suprido ao espaço ventilado por meios mecânicos constituído, em qualquer proporção, de ar exterior e ar recirculado.

#### **3.7 ar exterior**

ar captado na parte externa da edificação



### **3.8 ar de retorno**

ar do recinto recirculado no sistema e/ou rejeitado ao exterior

### **3.9 ar recirculado**

ar do recinto retornado ao sistema para ser reprocessado

### **3.10 ar de exaustão**

ar extraído do recinto por meios mecânicos e rejeitado ao exterior

### **3.11 ar de escape**

ar impulsionado ao exterior por diferença de pressão

### **3.12 passa duto**

vão na alvenaria das edificação normalmente utilizado para passagem de dutos, tubos ou cabos e condução do ar externo até as casa de máquinas nos pavimentos

### **3.13 zona primária**

compreende a sala de máquinas do condicionador, e o(s) equipamento(s) de tratamento do ar

### **3.14 zona secundária**

compreende a rede de dutos de insuflação e os acessórios empregados para difusão do ar bocas de ar

### **3.15 zona terciária**

Compreende o ambiente climatizado e o retorno do ar para o condicionador

### **3.16 selo hídrico**

coluna de água existente no sifão de ralos e drenos.

## **4 Condições gerais**

4.1 O sistema de ar condicionado controla a qualidade do ar interior por meio da renovação do ar exterior e pela filtragem de todo o ar insuflado.

A renovação reduz a concentração no ambiente de poluentes gasosos, biológicos e químicos, que não são retidos nos filtros.

A filtragem do ar tem como função reduzir a concentração no ambiente dos poluentes trazidos do ar exterior e os gerados internamente, os quais são transportados pelo ar recirculado, evitando sua acumulação no sistema.

4.2 O condicionamento de ar é um sistema onde existe uma interação constante das três zonas (primária, secundária e terciária), e para se garantir a qualidade do ar em ambientes de interiores, é preciso observar o sistema de condicionamento do ar de modo sistêmico e não de modo pontual.

4.3 As atividades de manutenção em sistemas de condicionamento do ar são essenciais, visando à conservação e o rendimento dos equipamentos, mas também, o padrão higiênico mínimo nas instalações.

## ANEXO II

Tabela de Comparação das Classificações das Características dos Filtros

Tabela de Comparação das Classificações das Características dos Filtros

Padrão ASHRAE 52.2-1999 MERV	Comparativo de Eficiência por faixa de partícula			Padrão de avaliação ASHRAE Average Arrestance by 52.1-1992	Padrão de abrangência Dust Spot Efficiency ASHRAE 52.1	Padrão Euro Class EN 779
	Range 1 0.3 – 1.0µ	Range 2 1.0 – 3.0 µ	Range 3 3.0 – 10.0 µ			
1	N/A	N/A	E3 < 20%	Aavg < 65%	< 20%	G1
2	N/A	N/A	E3 < 20%	65 < Aavg < 70	< 20%	G2
3	N/A	N/A	E3 < 20%	70 < Aavg < 75	< 20%	G2
4	N/A	N/A	E3 < 20%	75 < Aavg	< 20%	G2
5	N/A	N/A	20% < E3 < 35%	N/A	25 – 30%	G3
6	N/A	N/A	35% < E3 < 50%	N/A	25 – 30%	G3
7	N/A	N/A	50% < E3 < 70%	N/A	25 – 30%	G4
8	N/A	N/A	70% < E3	N/A	25 – 30%	G4
9	N/A	E2 < 50%	85% < E3	N/A	40 – 50%	F5
10	N/A	50% < E2 < 65%	85% < E3	N/A	50 – 60%	F5
11	N/A	65% < E2 < 80%	85% < E3	N/A	60 – 70%	F6
12	N/A	80% < E2	90% < E3	N/A	70 – 80%	F6
13	E1 < 75%	90% < E2	90% < E3	N/A	80 – 90%	F7
14	75% < E1 < 85%	90% < E2	90% < E3	N/A	90 - 95%	F8
15	85% < E1 < 95%	90% < E2	90% < E3	N/A	95 – 98%	F9
16	95% < E1	95% < E2	95% < E3	N/A	98%+	F9

ANEXO III

**RELAÇÃO DOS FABRICANTES DE SISTEMAS FILTRANTES E  
SALAS LIMPAS**

## **RELAÇÃO DOS FABRICANTES DE SISTEMAS FILTRANTES E SALAS LIMPAS.**

### **TOSI IND. E COM. LTDA.**

São Paulo

Endereço: AV:BRIGADEIRO GAVIAO PEIXOTO, 940

Bairro: LAPA

Telefone:

11-3643-0433

11-3251-5123

(11)9136-5411

E-Mail:

[zuleikatavares@tosi-ar.com.br](mailto:zuleikatavares@tosi-ar.com.br)

[jabbur@tosi-ar.com.br](mailto:jabbur@tosi-ar.com.br)

[amarildo@tosi-ar.com.br](mailto:amarildo@tosi-ar.com.br)

### **Linter Sistemas Ltda**

Matriz

Rua José Getúlio, 579, cj.123

São Paulo - Brasil

Fone: (11) 3275-5363

3275-5364

3399-4017

3209-1853

Sul

Rua Dr. João Colin, 1285, sl.3

Joinville - Santa Catarina

Fone: (47) 3461-3161

## **VECO**

Rua Uirapuru, 431 - Barão Geraldo - CEP: 13082-706 - Campinas - SP

Fone: (19) 3787-3700 / Fax: (19) 3289-4200

e-mail: [veco@veco.com.br](mailto:veco@veco.com.br)

[www.veco.com.br](http://www.veco.com.br)

Rua Uirapuru, 377 - Barão Geraldo - CEP: 13082-706 - Campinas - SP

Fone / Fax: (19) 3289-0748

e-mail: [vecoflow@veco.com.br](mailto:vecoflow@veco.com.br)

## **Trox do Brasil, Difusão de Ar, Acústica, Filtragem e Ventilação Ltda.**

Central de Vendas:

Rua Alvarenga, 2.025 -Butantã

05509-005 São Paulo - SP

Fone: (11) 3037-3900

Fax: (11) 3037-3910

Fábrica e Administração:

Rua Cyro Correia Pereira, 300

81170-230 Curitiba - PR

Fone: (41) 3316-8400

Fax: (41) 3316-8490

E mail: [trox@troxbrasil.com.br](mailto:trox@troxbrasil.com.br)

## **APEMA**

APEMA Equipamentos Industriais Ltda.

Rua Tiradentes, 2.356 • Vila do Tanque • São Bernardo do Campo • SP • CEP:  
09781-220 • Telefax: 55 11 4128 2577

## **BITZER**

Rua João Paulo Ablas, 777

Jd. da Gloria

Cotia - SP

Cep: 06711-250

Fone: 011 4617-9100

Fax: 011 4617-9128

<http://www.bitzer.com.br/htmls/inicio.htm>

## **Danfoss do Brasil Indústria e Comércio Ltda**

Rod. Anhanguera Km 14

Jd. Platina - Osasco - SP

Rua América Vespúcio, 85

CEP 06273-070 São Paulo Brazil

Site: [www.danfoss.com.br](http://www.danfoss.com.br)

E-mail: [sac@danfoss.com](mailto:sac@danfoss.com)

Timezone: Horário Local: -3Código DDD:+55

Fone:

(11) 2135 5400

(11) 6481 6032 (24 h for Drives)

(11) 9481 6032

Fax:(11) 2135 5455 <http://www.danfoss.com/>



## **EMBRACO**

Rua Rui Barbosa, 1020 - 89219-901 - Joinville - SC - Brasil

Gilmar Pirovano

55(47)3441-2768

gilmar\_pirovano@embraco.com.br

<http://www.embraco.com.br/portugue/contato.htm>

## **MICROBLAU**

São Paulo

Rua Maceió, 358 - B. Barcelona

CEP 09551-030

São Caetano do Sul. SP. Brasil

Fone/Fax: 55 11 2884-2528

<http://www.microblau.com.br/>

## **Bombas**

DRAGER – Indústria e Comércio Ltda.

End: Alameda Pucuruí, 51

Cep: 06460-100 – Barueri- SP

Tel: (0XX11) 4689-4944 / Fax: (0XX11) 4689-4903

Site: <http://www.draeger.com.br>

## **Filtros**

**3M do Brasil Ltda.**

Caixa Postal 123.

Campinas - SP

Tel: 0800-132333 / 0800-176543

Tel. Rio de Janeiro: 2539-8945

Site: <http://www.mmm.com.br>

## ANEXO IV

Quadro de troca de filtros da empresa A

Acompanhamento de Filtros Grossos/ Finos /HEPA

Sistema Com Refrigeração:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Jan/08	Fev/08	Mar/08	Abr/08	Mai/08	Jun/08	Jul/08	Ago/08	Set/08	Out/08	Nov/08	Dez/08
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07	Out/07	Nov/07	Dez/07
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

	Jan/06	Fev/06	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Jun/06	Jul/06	Ago/06	Set/06	Out/06	Nov/06	Dez/06
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

	Jan/05	Fev/05	Mar/05	Abr/05	Mai/05	Jun/05	Jul/05	Ago/05	Set/05	Out/05	Nov/05	Dez/05
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

**LEGENDA**

T	TROCA
R	ROMPIMENTO DO FILTRO
Q	QUALIFICAÇÃO

Acompanhamento de Filtros Grossos/ Finos /HEPA

Sistema sem Refrigeração::

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Jan/08	Fev/08	Mar/08	Abr/08	Mai/08	Jun/08	Jul/08	Ago/08	Set/08	Out/08	Nov/08	Dez/08
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07	Out/07	Nov/07	Dez/07
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

	Jan/06	Fev/06	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Jun/06	Jul/06	Ago/06	Set/06	Out/06	Nov/06	Dez/06
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

	Jan/05	Fev/05	Mar/05	Abr/05	Mai/05	Jun/05	Jul/05	Ago/05	Set/05	Out/05	Nov/05	Dez/05
<b>Grossos</b>	T/Q	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
<b>Finos</b>	T/Q		T		T		T		T		T	
<b>HEPA</b>	Q		T						T			

**LEGENDA**    T    TROCA  
                   R    ROMPIMENTO DO FILTRO  
                   Q    QUALIFICAÇÃO

Quadro de troca de filtros da empresa B

Acompanhamento de Filtros Grossos/ Finos /HEPA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Jan/08	Fev/08	Mar/08	Abr/08	Mai/08	Jun/08	Jul/08	Ago/08	Set/08	Out/08	Nov/08	Dez/08
<b>Grossos</b>	Q	T					T					
<b>Finos</b>	Q	T					T					
<b>HEPA</b>	Q											

	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07	Out/07	Nov/07	Dez/07
<b>Grossos</b>	Q/T											
<b>Finos</b>	Q/T											
<b>HEPA</b>	Q								T			

	Jan/06	Fev/06	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Jun/06	Jul/06	Ago/06	Set/06	Out/06	Nov/06	Dez/06
<b>Grossos</b>	Q/T											
<b>Finos</b>	Q/T											
<b>HEPA</b>	Q											

	Jan/05	Fev/05	Mar/05	Abr/05	Mai/05	Jun/05	Jul/05	Ago/05	Set/05	Out/05	Nov/05	Dez/05
<b>Grossos</b>	Q									T		
<b>Finos</b>	Q									T		
<b>HEPA</b>	Q											

**LEGENDA**    **T**    **TROCA**  
                   **R**    ROMPIMENTO DO FILTRO  
                   **Q**    QUALIFICAÇÃO

## **ANEXO V**

Lista de Boas Práticas de Fabricação (BPF)  
GMPs – Good Manufacturing Practices

Lista de Boas Práticas de Fabricação (BPF)  
GMPs – Good Manufacturing Practices

Controle do AR

Apesar de ser filtrado, o ar limpo insuflado em sala limpa contém ainda uma certa concentração de impurezas, devido ao fato que nenhum filtro possui uma eficiência de 100%.

A qualidade do ar introduzido pelo sistema de tratamento do ar dependerá essencialmente de:

- a eficiência dos filtros
- a proporção de ar recirculado
- a contaminação do ar externo

O processo de condução do ar de forma uni-filar propicia maior grau de controle das partículas suspensas.

Controle dos Materiais de Produção

Os materiais utilizados em sala limpa, para a construção da mesma ou para a constituição dos equipamentos de processo, geram partículas principalmente por desgaste, mas também por corrosão. Portanto a vistoria deve ser sistemática e as correções feitas antes da certificação anual

Os materiais devem ser escolhidos em função da sua resistência ao desgaste e da sua neutralidade em relação a líquidos e gases agressivos.

Controle das Pessoas

As pessoas são consideradas a maior fonte de contaminação em salas limpas.

**a) Descamação**

Só por descamação o ser humano perde 10% do seu peso por ano, o que corresponde a 20 gramas por dia no caso de uma pessoa de 70 kg, representando bilhões de partículas.

A emissão de partículas pelas pessoas depende consideravelmente do tipo de atividade exercida, e cresce com o esforço físico.

A maquiagem do pessoal feminino agrava o fenômeno de emissões de partículas, portanto deve ser recomendada a limpeza prévia.

Quanto ao pessoal masculino, o uso de barba e bigode constitui uma fonte não desprezível de partículas.

O fio de cabelo tem um diâmetro médio de 70 microns, mas é formado por milhares de escamas da ordem de 0,5 a 10 microns. As escamas se soltam continuamente, porém a emissão cresce consideravelmente nas seguintes condições:

- quando o cabelo é tocado, penteado e sacudido
- quando o cabelo é muito seco
- quando o cabelo foi secado a quente
- quando o cabelo foi mal tratado pelo calor ou pelo sol
- quando a pessoa usa spray

Por estas razões, em todas as salas limpas o pessoal utiliza tocas para cobrir o cabelo.

#### **b) Respiração / Alimentação**

A respiração e o ato de falar jogam milhares de partículas no ambiente, obrigando o usuário da sala limpa, em certas aplicações, a usar máscaras.

A mastigação excita a emissão de saliva, conseqüentemente de partículas e gotículas, proibindo a goma de mascar em sala limpa.

#### **c) Fumante**

Está comprovado que o fumante exala um número de partículas sensivelmente superior ao do não fumante, mesmo após ter apagado o cigarro. Partículas de alcatrão de aproximadamente 0,5 microns,

pegajosas, muito difíceis de serem removidas, são exaladas pelo fumante até 30 minutos depois de fumar.

#### **d) Jóias**

As jóias apresentam minúsculas cavidades abrigando milhares de partículas que vão se soltando com os movimentos da pessoa.

Mesmo sob as luvas e os uniformes, há possibilidade de emissão de partículas.

#### **e) Roupas**

Algumas roupas de lã, veludo e couro, liberam muitas fibras que irão impregnar o interior dos uniformes.

Além de essas fibras poderem vir a contaminar a sala limpa, estas são mais difíceis de serem removidas durante a lavagem dos uniformes.

Obviamente, os sapatos constituem um dos maiores contaminantes, e é recomendado trocá-los no vestiário ou cobri-los com sapatilhas.

#### **f) Os Acessos**

O acesso do pessoal e dos produtos introduz obrigatoriamente uma contaminação. Apesar de existirem ante-salas, gradientes de pressão e até duchas de ar limpo, qualquer pessoa ou objeto introduzido na sala

limpa leva junto uma certa quantidade de contaminantes.

Um cuidado particular deve ser tomado em relação às embalagens, que podem ser de vários tipos:

- embalagens destinadas aos produtos que entrarão na sala limpa para evitar a introdução no ambiente de partículas
- embalagens destinadas aos produtos que sairão da sala limpa (devem ter o mesmo grau de limpeza que os produtos)
- embalagens utilizadas dentro da sala limpa entre as varias etapas do processo (devem ser pouco geradoras de partículas)

#### **g) Os Fluídos**

Geralmente o processo desenvolvido em sala limpa, necessita a utilização de fluídos diversos (ar comprimido, gases, água deionizada, etc.)

Se não forem tratados e filtrados, estes fluídos irão trazer contaminantes, muitas vezes diretamente sobre o produto em processo.

A tubulação, com suas conexões e válvulas, pode ser uma fonte importante de contaminação.

#### **h) Os Equipamentos**

Os equipamentos constituem geralmente uma fonte de contaminantes tão importante quanto o pessoal.

Difícilmente projetados com o objetivo de não contaminar, eles geram partículas, gases, fluxos de calor e movimentos que perturbam o escoamento do ar da sala.

É muito difícil modificá-los, o que conduz o usuário e o instalador da sala limpa a adaptar o ambiente de maneira a minimizar as conseqüências da contaminação que eles emitem. As unidades de tratamento atmosférico devem ser testadas pelo fabricante e avaliadas após as instalações, o mesmo deve ser verificado com os dutos e estruturas de isolamento.

" Texto retirado de documentação recebida em seminários da SBCC - Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação" consultas da Linter, Trox e Grupo VECO



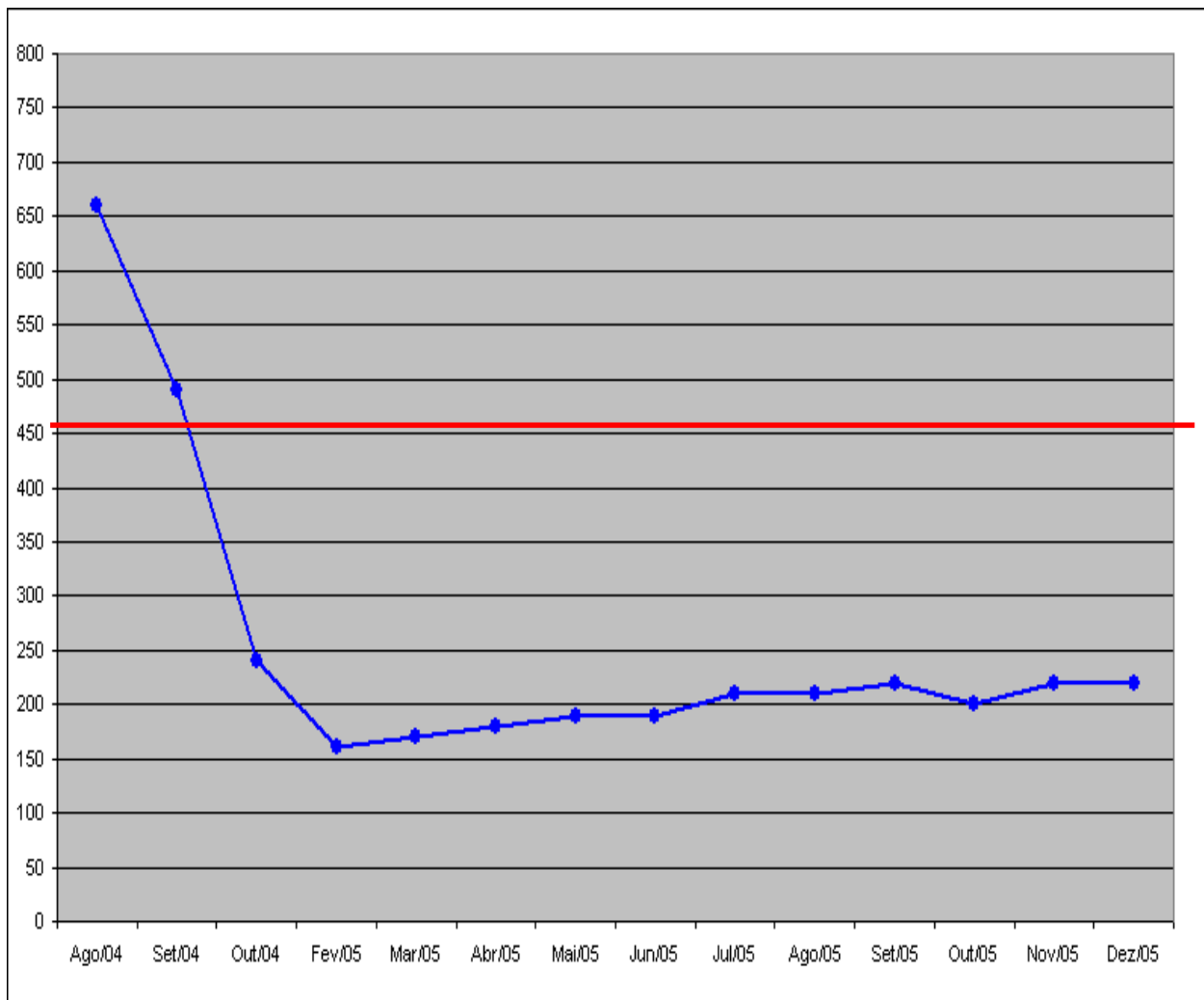
## **ANEXO VI**

Acompanhamento da diferença de Pressão da UTA da empresa B

## ANEXO VI

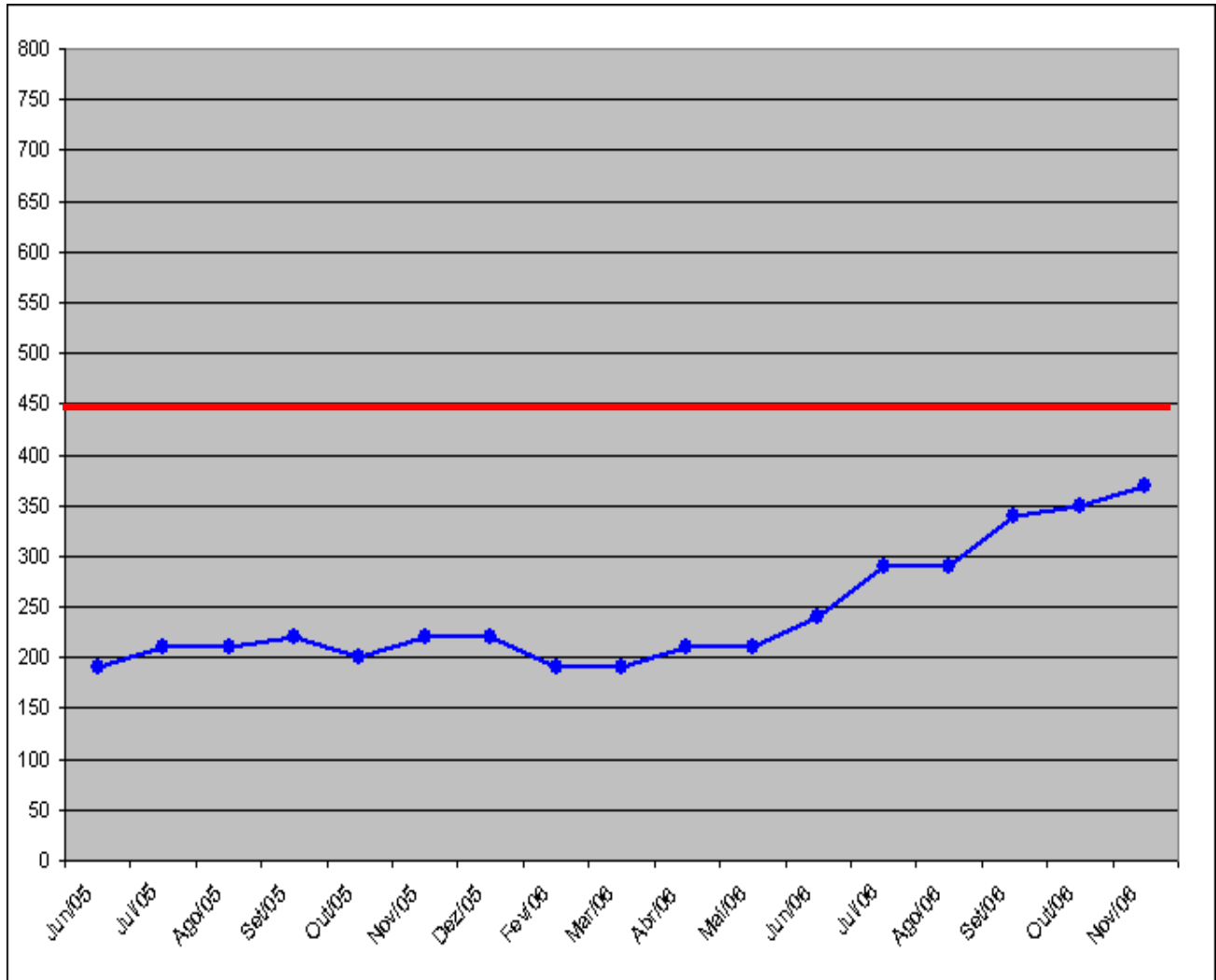
Acompanhamento da diferença de Pressão do filtro absoluto na UTA da empresa B

	<i>Ago/04</i>	<i>Set/04</i>	<i>Out/04</i>	<i>Fev/05</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
$\Delta P$ (Pa)	660	490	240	160	170	180	190	190	210	210	220	200	220	220
Ocorrências	-	T (26/09/04)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



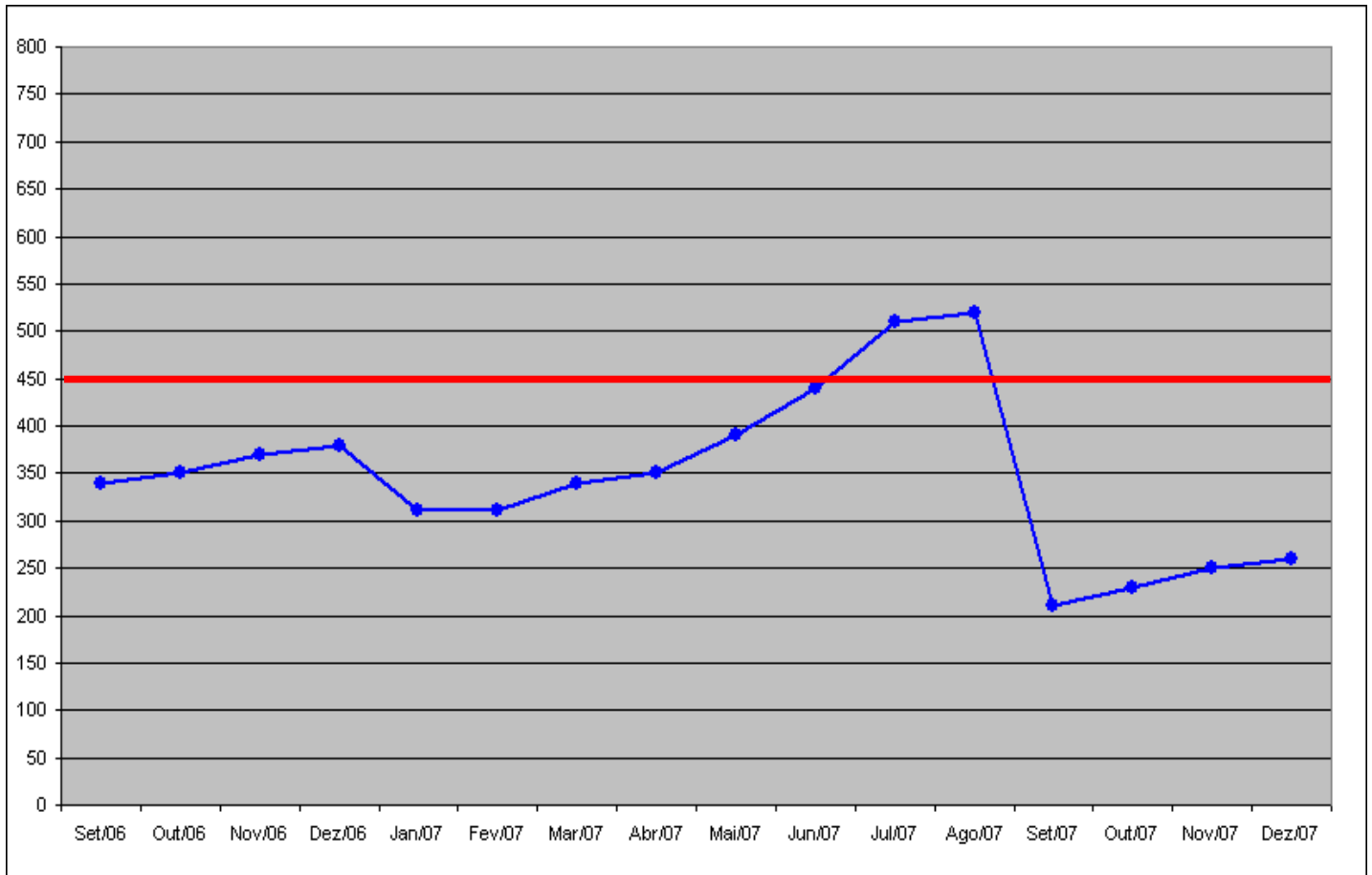
Acompanhamento da diferença de Pressão do filtro absoluto na UTA da empresa B

	<i>Jun/05</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	<i>Fev06</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>
$\Delta P$ (Pa)	190	210	210	220	200	220	220	190	190	210	210	240	290	290	340	350	370
Ocorrências	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



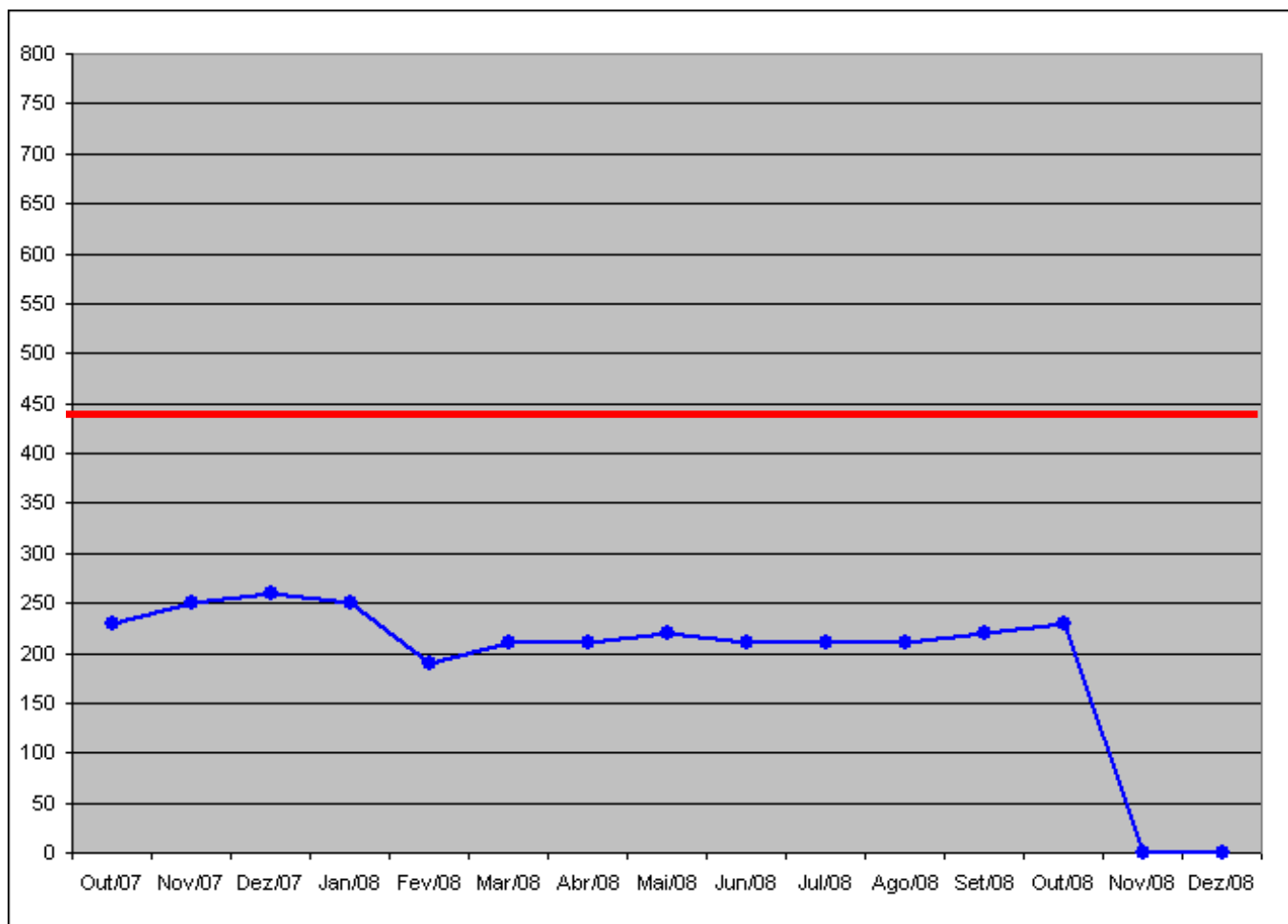
Acompanhamento da diferença de Pressão do filtro absoluto na UTA da empresa B

	<b>Set/06</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Jan/07</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set/07</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
$\Delta P$ (Pa)	340	350	370	380	310	310	340	350	390	440	510	520	210	230	250	260
Ocorrências	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑ (09/09/07 )	-	-	-



Acompanhamento da diferença de Pressão do filtro absoluto na UTA da empresa B

	<i>Out/07</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	<i>Jan/08</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov/08</i>	<i>Dez/08</i>
$\Delta P$ (Pa)	230	250	260	250	190	210	210	220	210	210	210	220	230	-	-
Ocorrências	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-





# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)