



CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA



Coordenador

Henrique de Melo Lisboa

Montreal - Dezembro 2007 – primeira versão

Florianópolis – Agosto 2010 – última atualização.

ISBN 978-85-913483-0-5

Henrique de Melo Lisboa
Engenheiro Civil : UFSC, 1980.
Especialização em Hidrologia : Madrid, 1981.
Professor da UFSC desde 1982.
Mestrado em Hidrometeorologia : USP, 1986.
Mestrado (DEA) em Física e Química da Atmosfera – Univ. Paris VII, 1993.
Doutorado em Poluição Atmosférica - França, outubro de 1996.
Pós doutorado em odores no Dpt de Génie Chimique, École Polytechnique de Montréal, 2007.

OBJETIVOS DESTE LIVRO: Propiciar aos acadêmicos de engenharia um material didático para ser utilizado para entender e dar respostas técnicas aos processos de geração, transporte, monitoramento e tratamento dos poluentes atmosféricos.

AGRADECIMENTOS

Este livro foi possível graças ao apoio do CNPQ na forma de bolsa pós-doutoral do autor principal deste trabalho.

Dedico esta publicação às minhas mulheres que tão pacientemente suportaram minhas ausências para poder escrevê-lo. Um Beijão para a Zane, Nina e Lili.

SUMÁRIO

U.1 - Introdução

1.1	INTRODUÇÃO	2
1.2	COMPOSIÇÃO DA ATMOSFERA	2
1.3	ALTURA E ESTRUTURA DA ATMOSFERA	4
1.4	ALGUMAS DEFINIÇÕES IMPORTANTES	6
1.5	CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES	7
1.5.1	Emissões primárias	8
1.5.2	Poluentes secundários	11
1.6	UNIDADES DE MEDIDA PARA OS POLUENTES ATMOSFERICOS	13
1.7	BIBLIOGRAFIA BÁSICA	19

U.2 - Fontes de poluição atmosférica

2.1	INTRODUÇÃO	3
2.2	FONTES NATURAIS	4
2.3	FONTES ANTRÓPICAS	7

U.3 - Efeitos causados pela poluição atmosférica

3.1	INTRODUÇÃO	2
3.2	HISTÓRICO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	4
3.3	EFEITOS SOBRE A SAÚDE	6
3.4	EFEITOS SOBRE OS MATERIAIS	10
3.5	EFEITOS SOBRE AS PROPRIEDADES DA ATMOSFERA	11
3.6	EFEITOS SOBRE A VEGETAÇÃO	31
3.7	REPERCUSSÕES ECONÔMICAS DA POLUIÇÃO DO AR	31
3.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

U.4 - Monitoramento de poluentes atmosféricos

4.1	INTRODUÇÃO	2
4.2	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	2
4.3	INDICE DE QUALIDADE DO AR	8
4.4	PADRÕES DE EMISSÃO	13
4.4.1	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 08/1990	14
4.4.2	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 264/1999	15
4.4.3	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 316/2000	16
4.4.4	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 382/2006	17
4.4.5	PADRÕES DE EMISSÃO DA RESOLUÇÃO SEMA PR 054/2006	19
4.5	METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO	22
4.5.1	Amostradores passivos	23
4.5.2	Amostradores ativos	24
4.5.3	Analisadores automáticos	35
4.5.4	Sensores remotos	38
4.5.5	Biomonitoramento	49
4.6	O SISTEMA DE MONITORAMENTO DA CIDADE DE SÃO PAULO	52
4.7	AMOSTRADOR ISOCINÉTICO – MEDIÇÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS	55
4.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXO 1	60
	ANEXO 2	64
	ANEXO 3	70

U.5 – Química da Atmosfera

5.1	INTRODUÇÃO.....	2
5.2	PROCESSOS FOTOQUÍMICOS	4
5.3	REAÇÕES ÁCIDO-BASE NA ATMOSFERA	9
5.4	REAÇÕES DO OXIGÊNIO ATMOSFÉRICO E DO OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO	10
5.5	OZÔNIO TROPOSFÉRICO (O “SMOG” FOTOQUÍMICO).....	23
5.6	REAÇÕES DO ENXOFRE ATMOSFÉRICO.....	28
5.7	O MONÓXIDO E O DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICOS	29
5.8	A PRESENÇA DE ÁGUA NA ATMOSFERA	30
5.9	CHUVA ÁCIDA	31
5.10	REAÇÕES DO GÁS HIDROXILA (OH) NA ATMOSFERA	32
5.11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

U.6 - Ventilação Industrial

6.1	Introdução	3
6.1.1	Definição e Classificação.....	5
6.1.2	Tipos de Poluentes do Ar	5
6.2	Ventilação geral diluidora.....	6
6.2.1	Distribuição do ar no recinto.....	7
6.2.2	Limites de Tolerância.....	7
6.2.3	Aplicação da ventilação geral diluidora com objetivos de atender as necessidades de conforto	13
6.2.4	VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PARA A DISPERSÃO DE CONTAMINANTES INDUSTRIAIS... 14	14
6.2.5	VENTILAÇÃO GERAL PARA CONTROLE DE SUBSTÂNCIAS EXPLOSIVAS	18
6.3	VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA	19
6.3.1	Introdução	19
6.3.2	Captção dos Poluentes.....	20
6.3.3	Alguns Aspectos Importantes no Projeto e Localização do Captor	22
6.3.4	Velocidade de Captura	24
6.3.5	Vazão de Exaustão	24
6.3.6	Requisitos de Energia do Captor.....	29
6.3.7	Dimensionamento de captores	36
6.3.8	Dimensionamento de dutos	37
6.3.8.1.	Transporte dos Poluentes	37
6.3.8.2.	Perdas de carga em Singularidades.....	37
6.3.8.3.	Dimensionamento de dutos para uma instalação de ventilação geral diluidora	41
6.3.8.4.	Dimensionamento de dutos para uma instalação de ventilação local exaustora	42
6.3.8.5.	Filtros ou equipamentos de controle da poluição atmosférica	46
6.3.8.6.	Conjunto Ventilador-Motor	46
6.3.8.7	Pressão e Potência do Ventilador.....	48
6.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
	ANEXO - CONVERSÃO DE UNIDADES	63

U.7 – Metodologia de controle da poluição atmosférica

7.1	INTRODUÇÃO.....	3
7.2	MÉTODOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR.....	3
7.2.1	MEDIDAS INDIRETAS.....	4
7.2.2	MEDIDAS DIRETAS.....	5
7.3	CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR.....	6
7.3.1	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO.....	6
7.3.2	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE PARA GASES E VAPORES.....	7
7.4	CONCEITOS BÁSICOS PARA OS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR.....	7
7.4.1	EFICIÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS.....	7
7.4.2	EFICIÊNCIA GLOBAL DE COLETA.....	7
7.4.4	EFICIÊNCIA FRACIONADA - T(x).....	8
7.4.5	PRINCIPAIS PRINCÍPIOS PARA A DEPURAÇÃO DO AR.....	9
7.4.6	MECANISMOS DE COLETA.....	10
7.5	CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO.....	13
7.5.1	COLETORES À SECO.....	13
7.5.1.1	CÂMARA DE SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL.....	13
7.5.1.2	CICLONES.....	17
7.5.1.3	FILTROS DE TECIDO.....	28
7.5.1.4	PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS.....	37
7.5.2	COLETORES ÚMIDOS.....	43
7.6	EQUIPAMENTOS PARA REMOÇÃO DE GASES E VAPORES.....	48
7.6.1	ABSORVEDORES.....	48
7.6.2	ADSORVEDORES.....	58
7.6.3	INCINERADORES DE GASES E VAPORES.....	66
7.6.4	PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO DE GASES E VAPORES.....	78
7.6.5	CONDENSAÇÃO PARA TRATAMENTO DE GASES E VAPORES.....	85
7.7	FATORES A SEREM VERIFICADOS NA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR.....	87
7.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

U.8 - Meteorologia e dispersão atmosférica

8.1	INTRODUÇÃO.....	3
8.2	ESCALAS DE MOVIMENTO.....	3
8.3	CONCEITOS BÁSICOS DE METEOROLOGIA.....	4
8.3.1	Ventos.....	4
8.3.2	Transformações Adiabáticas.....	6
8.3.3	Tensão de vapor saturante.....	7
8.3.4	Ponto de orvalho.....	7
8.3.5	Orvalho.....	7
8.3.6	Umidade relativa.....	7
8.3.7	A temperatura na atmosfera.....	7
8.3.8	CAMADA LIMITE PLANETÁRIA ou CAMADA DE MISTURA.....	9
8.4	ESTABILIDADE E INSTABILIDADE DA ATMOSFERA.....	9
8.5	TRANSPORTE E DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA.....	20
8.5.1	Cálculo da ascensão da pluma : Altura Efetiva da Chaminé.....	27
8.5.4	Dispersão e transporte de poluentes atmosféricos (dispersão horizontal).....	38
8.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

U.9 - QUALIDADE DO AR INTERNO

9.1.	Introdução.....	3
9.2.	Antecedentes do Tema	3
9.3.	Contaminantes físico-químicos do ar interno e efeitos à saúde	5
9.3.1.	Material Particulado (MP)	5
9.3.2.	Compostos Orgânicos Voláteis (COV).....	7
9.3.3.	Compostos Inorgânicos gasosos	9
9.3.4.	Fumaça de Cigarro (ETS - Environmental Tobacco Smoke)	11
9.4.	Contaminantes microbiológicos do ar interno e efeitos à saúde	12
9.4.1.	Vírus.....	12
9.4.2.	Bactérias.....	13
9.4.3.	Fungos.....	16
9.4.4.	Alergênicos Biológicos e hipersensibilidade	18
9.5.	Odores	18
9.6.	Síndrome do edifício doente (SED)	19
9.6.1.	Doença relacionada ao edifício	21
9.6.2.	Intolerância química múltipla	21
9.7.	Amostragem de ar interno	22
9.7.1.	Amostragem de material particulado (MP).....	22
9.7.2.	Amostragem de compostos para análise físico-química.....	23
9.7.3.	Amostragem de microorganismos	23
9.8.	Condições de conforto térmico, circulação e renovação do ar.....	27
9.9.	Os sistemas de climatização	29
9.9.1.	Unidades de janela	31
9.9.2.	Sistema tipo fan-coil	31
9.10.	Legislação e normalização.....	31
9.11.	Referências bibliográficas	34