

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

A VENTILAÇÃO E A POLUIÇÃO TABAGÍSTICA AMBIENTAL —
ARGUMENTAÇÃO CIENTÍFICA PARA O ESTABELECIMENTO DE
LEIS DE AMBIENTES INTERIORES LIVRES DE FUMO

por

Marina Fonseca Seelig

Tese para obtenção do Título de
Doutor em Engenharia

Porto Alegre, agosto de 2009

A VENTILAÇÃO E A POLUIÇÃO TABAGÍSTICA AMBIENTAL —
ARGUMENTAÇÃO CIENTÍFICA PARA O ESTABELECIMENTO DE
LEIS DE AMBIENTES INTERIORES LIVRES DE FUMO

por

Marina Fonseca Seelig

Mestre em Ciências

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Dr. Paulo Smith Schneider

Aprovada por:

Prof. Dr. Cristiano Vitorino da Silva — URI

Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Júnior — UNESP

Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller — UFRGS

Prof. Dr. Horácio Antonio Vielmo
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 28 de agosto de 2009

*Nós todos sabemos que a maior ameaça a nossa indústria é, provavelmente,
a questão do fumo passivo.*

Ed Horrigan, R. J. Reynolds, 1980

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e muitíssimo ao meu orientador, professor Paulo Smith Schneider, por todo apoio e por ter demonstrado plena confiança em mim em todos momentos. Agradeço enormemente sua atenção, entusiasmo, paciência e incentivo.

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro.

Agradeço à professora Adriane Prisco Petry e aos membros da banca, professores Cristiano Vitorino da Silva, João Andrade de Carvalho Júnior e Sergio Viçosa Möller, pelas contribuições ao trabalho.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos e do Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos pelo convívio. Agradeço especialmente ao técnico João Batista da Rosa por toda ajuda no dia-a-dia dos experimentos.

Agradeço aos colegas da Aliança de Controle do Tabagismo por terem dado vida e sentido ao trabalho. Agradeço imensamente todas experiências que a causa do controle do tabagismo me proporcionou.

Por fim, agradeço aos meus pais, José Carlos e Neiva, por terem me ensinado a importância dos estudos e por terem me tornado uma pessoa perseverante.

RESUMO

A fumaça ambiental de tabaco antes de ser um problema de saúde, o qual se torna quando é inalada, é um problema de engenharia, envolvendo fenômenos de transporte e saneamento ambiental, mecânica de fluidos e qualidade do ar. Este trabalho versou o problema da qualidade do ar de ambientes onde o fumo é permitido. Objetivou compilar uma base científica sobre a questão ventilação e poluição tabagística ambiental para embasar argumentações para o estabelecimento de leis de ambientes interiores livres de fumo. Mostrou-se que a fumaça do tabaco é agente cancerígeno em humanos, não havendo nível seguro de exposição a ela, e que a ventilação não soluciona o problema da exposição, sendo a abordagem eficiente no controle da qualidade do ar de ambientes interiores a proibição do fumo. A revisão das leis e normas brasileiras referentes à qualidade do ar de ambientes interiores onde o fumo é permitido mostrou que elas não estão alinhadas à base científica sobre a questão. Por modelagem física e experimentação em escala reduzida, o sistema de separação de áreas para fumantes e não-fumantes por ventilação proposto pelo projeto Convivência em Harmonia foi analisado, e mostrou-se que tal separação por ventilação não impede a dispersão da fumaça da área para fumantes para a área para não-fumantes. As metodologias de amostragem de ar indicadas para o levantamento de dados de poluição tabagística ambiental para a mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo foram avaliadas e algumas questões técnicas foram apontadas, bem como a necessidade da especificação de um instrumento em conformidade com a norma para material particulado da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que pode ser considerada o processo nacional de amostragem do ar para estudos de poluição tabagística ambiental.

Palavras-chave: poluição tabagística ambiental, qualidade do ar de interiores, ventilação

ABSTRACT

Environmental tobacco smoke, before becoming a health issue, which becomes when it is inhaled, is an engineering issue, involving transport phenomena and environment, fluid mechanics and air quality. This research approached the problem of air quality of places where smoking is allowed. The objective was to compile a scientific basis on the issue ventilation and environmental tobacco smoke to support arguments for the establishment of smoke-free laws. It was shown that tobacco smoke is carcinogenic to humans, with no safe level of exposure, and that ventilation does not solve the problem imposed by exposure, being the efficient approach on the control of indoor air quality the prohibition of smoking. The review of Brazilian laws and norms related to the indoor air quality of places where smoking is allowed showed that they are not aligned to the scientific basis of the issue. By physical modeling and experimentation on reduced-scale, the system of separation of smoking and non-smoking areas by ventilation proposed by the Courtesy of Choice project was analyzed, and it was shown that such separation by ventilation does not prevent the dispersion of smoke from smoking to non-smoking areas. The air sampling methodologies indicated for the collection of environmental tobacco smoke data for mobilizing the implementation of smoke-free environments were evaluated and some technical issues were raised, as well as the need to specify an instrument in conformity with the particulate matter norm of the National Health Surveillance Agency, that may be considered the national air sampling process for environmental tobacco smoke studies.

Key words: environmental tobacco smoke, indoor air quality, ventilation

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figuras

2.1	Cigarro industrializado _____	10
2.2	Cigarro em combustão incandescente _____	12
2.3	Esquema da propagação da combustão no fumar _____	14
2.4	Esquema da localização dos processos de combustão no fumar _____	15
2.5	Esquema dos modos de combustão incandescente no fumar _____	15
2.6	Esquema dos principais processos que ocorrem no fumar _____	16
2.7	Tamanho das partículas respiráveis _____	20
2.8	Ventilação por mistura de ar e ventilação por deslocamento de ar _____	23
2.9	Separação de áreas por ventilação, sem isolamento _____	24
2.10	Separação de áreas por ventilação, com isolamento _____	25
4.1	Símbolo do projeto Convivência em Harmonia _____	34
4.2	Orientação para a separação das áreas _____	36
4.3	Barreira visual entre as áreas _____	36
4.4	Ventilação por deslocamento térmico _____	37
4.5	Semelhança geométrica _____	39
4.6	Esquema do escoamento do modelo _____	48
4.7	Modelo, vista do ventilador _____	48
4.8	Modelo, vista do plenum _____	49
4.9	Aberturas de insuflamento e exaustão _____	49
4.10	Área para fumantes e área para não-fumantes, sem e com separação _____	50
4.11	Medidas de temperatura e umidade, partículas e monóxido de carbono _____	51
4.12	Acendimento dos cigarros _____	51
4.13	Tendência das curvas de monóxido de carbono das áreas para fumantes e não-fumantes, sem barreira de separação _____	52
4.14	Curvas de monóxido de carbono da área para fumantes do modelo, sem barreira de separação _____	53
4.15	Curvas de monóxido de carbono da área para não-fumantes do modelo, sem barreira de separação _____	54

4.16	Tendência das curvas de monóxido de carbono das áreas para fumantes e não-fumantes, com barreira de separação _____	55
4.17	Curvas de monóxido de carbono da área para fumantes do modelo, com barreira de separação _____	56
4.18	Curvas de monóxido de carbono da área para não-fumantes do modelo, com barreira de separação _____	57
4.19	Tendência das curvas de monóxido de carbono da área para não-fumantes com e sem cigarro queimado na área para fumantes, com barreira de separação __	58
4.20	Curva média de partículas finas da área para fumantes e da área para não-fumantes do modelo, sem barreira de separação _____	59
4.21	Curva média de partículas finas da área para fumantes e da área para não-fumantes do modelo, com barreira de separação _____	59
4.22	Curva média de partículas finas da área para não-fumantes com barreira de separação, com e sem cigarro queimado na área separada para fumantes _____	59
4.23	Escoamento projetado: teoria e prática _____	61
5.1	Filtro para coleta de nicotina _____	65
5.2	Monitor para coleta de partículas finas _____	66
5.3	Ficha técnica do amostrador requerido pela Anvisa _____	67
5.4	Monitor de aerossol TSI SidePak AM510 _____	70
5.5	Entrada e saída de ar do monitor _____	70
5.6	Teoria de operação do monitor _____	71
5.7	Ajuste do zero do monitor _____	72
5.8	Fator de correção da umidade relativa _____	72
5.9	Detalhe de dois certificados de calibração _____	73
5.10	Bancada de ensaios de elementos filtrantes para material particulado _____	74
5.11	Ensaio na bancada _____	75
5.12	Indicações de concentração dos três testes, sem filtro auxiliar _____	75
5.13	Indicações de concentração dos três testes, com filtro auxiliar _____	76
5.14	Calibração da vazão _____	78

Tabelas

1.1	Índice de qualidade do ar para partículas finas _____	21
5.1	Lista de checagem para seleção de instrumentos de medição _____	68

LISTA DE SIGLAS

ABIH	Associação Brasileira da Indústria de Hotéis
Abrasel	Associação Brasileira de Bares e Restaurantes
Abresi	Associação Brasileira de Gastronomia, Hospedagem e Turismo
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	Soc. Americana de Eng. de Aquecimento, Refrig. e Condicionamento de Ar
CIAR	Centro de Pesquisa em Ar de Interiores
EPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
FAT	Fumaça ambiental de tabaco
LETA	Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos
PTA	Poluição tabagística ambiental
REHVA	Federação das Associações Europeias de Aquecimento e Condicionamento de Ar

LISTA DE NOTAÇÕES

c	Calor específico [J/kg K]
e	Escala de redução [-]
g	Gravidade [m/s^2]
p	Pressão [N/m^2]
p^*	Pressão adimensionalizada [-]
t	Tempo [s]
t^*	Tempo adimensionalizado [-]
u	Componente da velocidade [m/s]
u^*	Velocidade adimensionalizada [-]
u_b	Velocidade de empuxo [m/s]
v	Componente da velocidade [m/s]
v^*	Velocidade adimensionalizada [-]
w	Componente da velocidade [m/s]
w^*	Velocidade adimensionalizada [-]
x	Coordenada cartesiana [m]
x^*	Coordenada adimensionalizada [-]
y	Coordenada cartesiana [m]
y^*	Coordenada adimensionalizada [-]
z	Coordenada cartesiana [m]
z^*	Coordenada adimensionalizada [-]
C	Concentração [kg/m^3 , mg/m^3 , $\mu g/m^3$]
C^*	Variável adimensionalizada [-]
C_E	Concentração de equilíbrio [kg/m^3]
D	Difusividade mássica [m^2/s]
D_h	Diâmetro hidráulico [m]
Fr	Número de Froude [$U/(gL)^{1/2}$]
Gr	Número de Grashof [$g\beta\Delta TL^3/\nu^2$]
H	Profundidade do escoamento [m]
L	Comprimento de referência [m]
M	Massa [kg]
$MP_{2,5}$	Concentração de partículas finas [$\mu g/m^3$]

MP_{10}	Concentração de material particulado suspenso respirável [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Pe	Número de Peclet [UL/α , UL/D]
Pr	Número de Prandtl [ν/α]
Q	Taxa de emissão [kg/s]
Re	Número de Reynolds [UL/ν]
Ri	Número de Richardson [$1/Gr^2$, Gr/Re^2]
S	Fonte [$\text{J}/\text{m}^3 \text{ s}$, $\text{kg}/\text{m}^3 \text{ s}$]
T	Temperatura [K]
T^*	Temperatura adimensionalizada [-]
U	Velocidade de referência [m/s]
V	Volume [m^3]
X	Força de campo [N/m^3]
Y	Força de campo [N/m^3]
Z	Força de campo [N/m^3]
α	Difusividade térmica [m^2/s]
β	Coefficiente de expansão térmica [$1/\text{K}$]
θ	Temperatura de referência [K]
μ	Viscosidade dinâmica [$\text{kg}/\text{m s}$]
ν	Viscosidade cinemática [m^2/s]
ρ	Massa específica [kg/m^3]

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução	1
1.1 Revisão da literatura	4
1.2 Problema de pesquisa, objetivo e estrutura	8
Capítulo 2: Base científica	10
2.1 O cigarro	10
2.2 O fumar	11
2.3 A fumaça	17
2.4 A questão ventilação e PTA	22
2.5 Recapitulação e conclusão	26
Capítulo 3: Leis e normas brasileiras	27
3.1 Legislação federal	27
3.2 A Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco	29
3.3 Leis locais de ambientes livres de fumo	30
3.4 Normas referentes à qualidade do ar de ambientes interiores	30
3.5 Análise	31
3.6 Recapitulação e conclusão	33
Capítulo 4: Projeto Convivência em Harmonia	34
4.1 O projeto	34
4.2 Estudo do sistema	37
4.2.1 Modelagem	38
4.2.2 Protótipo	47
4.2.3 Modelo	47
4.2.4 Medições	50
4.3 Análise	51
4.4 Considerações	60
4.5 Recapitulação e conclusão	62

Capítulo 5: Amostragem de ar para PTA _____	64
5.1 Estado atual _____	64
5.2 Nicotina _____	64
5.3 Partículas finas _____	65
5.4 Norma nacional para material particulado _____	66
5.5 Comparação das metodologias _____	67
5.6 Ensaio com o monitor _____	69
5.6.1 O instrumento _____	69
5.6.2 Análise do certificado de calibração _____	72
5.6.3 Ensaio _____	73
5.7 Considerações sobre o monitoramento de partículas finas _____	77
5.8 Recapitulação e conclusão _____	80
Capítulo 6: Recapitulação e conclusão _____	81
Referências _____	83
Apêndices _____	101
Anexos _____	105

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

No dia 27 de fevereiro de 2005 entrou em vigor a Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco, o primeiro tratado global de saúde pública da história da Organização Mundial da Saúde, com o objetivo de “proteger as gerações presentes e futuras das devastadoras consequências sanitárias, sociais, ambientais e econômicas geradas pelo consumo e pela exposição à fumaça do tabaco”. Seu primeiro princípio norteador diz que “toda pessoa deve ser informada sobre as consequências sanitárias, a natureza aditiva e a ameaça mortal imposta pelo consumo e pela exposição à fumaça do tabaco”, e que “medidas legislativas, executivas, administrativas e outras medidas efetivas serão implementadas no nível governamental adequado para proteger toda pessoa da exposição à fumaça do tabaco”. Todos países parte do tratado devem segui-lo e devem cumprir as obrigações dele resultantes, entre eles o Brasil, segundo país a assiná-lo logo de sua adoção em 2003, com papel de destaque em seus processos de elaboração e negociação [Brasil, 2006; Instituto Nacional de Câncer — INCA, 2009; World Health Organization — WHO, 2009a].

Mesmo sendo o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de tabaco em folha, o Brasil destaca-se por seu consistente programa de controle do tabagismo. Em 1986 foi instituído o Dia Nacional de Combate ao Fumo, comemorado no dia 29 de agosto [Brasil, 1986]. O aviso “O Ministério da Saúde adverte: fumar faz mal à saúde” é impresso nos maços de cigarro desde 1988, e desde 2002 as fortes imagens de advertência, exemplo na época para todo o mundo e uma das obrigações da Convenção-Quadro, informam das consequências do consumo do tabaco [Cavalcante, 2005]. A percentagem de fumantes acima de 18 anos caiu de 35% em 1989 para 15,2% em 2008 [Iglesias *et al.*, 2007; Ministério da Saúde, 2009]. Já quanto à exposição à fumaça do tabaco, o exemplo não é, ainda, tão bom: o fumo em recintos coletivos é proibido por lei federal desde 1996, porém a fiscalização é recente. A idéia de exposição não é tida como “devastadora”, muito menos como “ameaça mortal”, mas deveria: a fumaça é agente cancerígeno em humanos, e não há nível seguro de exposição a ela [International Agency for Research on Cancer — IARC, 2004; WHO, 2007]. A exposição mata pelo menos sete brasileiros não-fumantes por dia [Costa *et al.*, 2008].

As primeiras grandes publicações sobre as consequências da exposição à fumaça do tabaco datam de 1986 [WHO, 2007]. O relatório *The Health Consequences of Involuntary Smoking* divulgou que a inalação involuntária da fumaça — o tabagismo passivo — é causa

de doenças em não-fumantes saudáveis, destacando o câncer de pulmão. E foi além, concluindo que a separação de ambientes em áreas para fumantes e para não-fumantes poderia diminuir, mas não eliminar a exposição dos não-fumantes à fumaça, dado seu rápido espalhamento [U. S. Department of Health and Human Services — HHS, 1986]. Isso impulsionou os movimentos de regulamentação do fumo em recintos coletivos e mostrou que a fumaça antes de ser um problema de saúde — o qual se torna quando é inalada — é um problema de engenharia, envolvendo fenômenos de transporte e saneamento ambiental, mecânica de fluidos e qualidade do ar.

A fumaça ambiental de tabaco (FAT) é a mistura de gases e partículas provenientes da queima do tabaco no ato de fumar. É composta pela fumaça que sai da ponta do produto (cigarro, charuto, cachimbo, narguilé, etc.) quando ele não está sendo tragado (fumaça lateral ou secundária) e pela fumaça exalada pelo fumante (fumaça principal exalada) [American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers — ASHRAE, 2007; Nazaroff e Klepeis, 2003]. O fumo é a fonte de poluição mais comum em ambientes interiores do mundo moderno [Zhang e Smith, 2003]. A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar — ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, órgão de referência dessa área da engenharia — reconheceu em 1981 que a poluição tabagística ambiental (PTA) representa um problema para a qualidade do ar de ambientes interiores: na revisão da norma sobre ventilação para qualidade aceitável do ar, especificou taxas de renovação do ar de duas a cinco vezes maiores para áreas onde o fumo fosse permitido, alegando que a FAT é um dos poluentes mais difíceis de ser controlado na fonte [Bialous e Glantz, 2002]. A indústria do tabaco viu nisso um problema potencial — queda nos lucros —, e passou a acompanhar e influenciar as ações da ASHRAE relacionadas ao assunto, bem como a fazer lobby para que a regulamentação do fumo em recintos coletivos fosse não no sentido da restrição, mas no da acomodação de fumantes e não-fumantes, vendendo a ventilação como a solução do problema [Bialous e Glantz, 2002; Dearlove *et al.*, 2002]. Em 1988 a indústria criou o Centro de Pesquisa em Ar de Interiores — CIAR, Center for Indoor Air Research — para financiar pesquisas em qualidade do ar e PTA que servissem de base para políticas públicas “apropriadas” [Center for Indoor Air Research — CIAR, 1993]. Só em 2005 a ASHRAE posicionou-se a favor da proibição do fumo em ambientes interiores — a favor de ambientes livres de fumo —, expondo que nenhuma tecnologia de engenharia de ventilação demonstra controlar os riscos impostos pela exposição à PTA, apenas pode reduzi-los e pode controlar questões de conforto relacionadas ao odor e à irritação sensorial impostos pela exposição

[ASHRAE, 2005]. A Federação das Associações Europeias de Aquecimento e Condicionamento de Ar — REHVA, Federation of European Heating and Air-conditioning Associations — já havia chegado à conclusão similar no ano anterior [Federation of European Heating and Air-conditioning Associations — REHVA, 2004].

Acompanhar, influenciar e fazer lobby são estratégias globais da indústria. Na América Latina, onde suas subsidiárias controlam mais de 90% do mercado, a British American Tobacco e a Philip Morris Internacional iniciaram em 1991 um projeto de retardamento da regulamentação do fumo, patrocinando pesquisas favoráveis sobre tabagismo passivo e qualidade do ar de ambientes interiores, organizando simpósios sobre o assunto para a comunidade científica e a mídia e procurando apoio político [Barnoya e Glantz, 2002]. Com forte atuação no Brasil, o chamado Projeto Latino estava em andamento na época da promulgação da lei federal proibitiva de 1996. Talvez por isso ela exclua da proibição áreas destinadas exclusivamente para fumar, “devidamente isoladas e com arejamento conveniente”. Mesmo tendo sido especificado por decreto regulamentativo no mesmo ano que o isolamento de tais áreas para fumantes deva ser feito com algo que impeça a transposição da fumaça e que o arejamento deva ser tal que impeça o acúmulo dela, a lei ficou vaga, e nessa brecha a indústria encaixou-se: as entidades de classe indicam aos estabelecimentos as referências para adequação dos ambientes por ventilação do projeto Convivência em Harmonia, um projeto da Philip Morris Internacional iniciado nos Estados Unidos em 1989 e patrocinado aqui pela subsidiária da British American Tobacco, a Souza Cruz, empresa líder no mercado nacional de cigarros [Dearlove *et al.*, 2002; Sebríe e Glantz, 2007].

O artigo oito da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco trata da proteção contra a exposição à fumaça do tabaco, e suas diretrizes estabelecem que a medida eficaz para seu cumprimento é a total eliminação do fumo em ambientes interiores, sem exceção para “fumódromos” de qualquer tipo. Também estabelecem que os países parte do tratado devem providenciar o cumprimento do artigo em até cinco anos de sua promulgação no país, o que dá o prazo de até janeiro de 2011 para o Brasil adequar a lei federal referente ao assunto [Brasil, 2006; WHO, 2007]. O Ministério da Saúde encaminhou em fevereiro de 2008 um projeto de modificação da lei à Casa Civil, mas algumas cidades e estados já se adiantaram à mudança e estabeleceram suas próprias leis locais [Aliança de Controle do Tabagismo — ACT, 2008a]. Ainda assim, a discussão sobre os fumódromos surge em cada novo projeto de lei. É importante para esse debate que a população e as autoridades recebam informações sobre a questão ventilação e poluição tabagística ambiental, e que tenham acesso à argumentação científica para o estabelecimento de leis de ambientes interiores livres de fumo.

1.1 Revisão da literatura

Os movimentos de regulamentação do fumo em recintos coletivos foram impulsionados por uma série de publicações sobre dados de poluição tabagística ambiental entre o final da década de 70 e o início da década de 80. O relatório de 1986 que concluiu a ineficiência da separação de ambientes em áreas para fumantes e para não-fumantes apresenta uma compilação dos resultados [HHS, 1986]. A maioria dos dados é de material particulado suspenso respirável (partículas com diâmetro menor que 10 μm), referente à parte de partículas da fumaça. Desses, destacam-se os trabalhos de Repace e Lowrey [1980] e de Spengler *et al.* [1981], por estabelecerem uma metodologia de medição e comparação que é a direção dos trabalhos voltados ao ativismo empregada hoje. Repace e Lowrey [1980] mediram a concentração de material particulado com um monitor de aerossol em estabelecimentos de entretenimento como restaurantes e bares na ausência e presença de fumo e compararam os dados, concluindo que o fumo é uma fonte importante de partículas: as medições na ausência de fumo foram na faixa de 20–60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e na presença de fumo foram na faixa de 100–700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Spengler *et al.* [1981] mediram a concentração de material particulado em casas com fumantes e não-fumantes e fizeram uma comparação com dados de concentração atmosférica, concluindo que mesmo apenas um fumante contribui muito para a concentração de partículas: casas sem fumantes ficaram na mesma faixa de concentração do ar livre, casas com fumantes ficaram em uma faixa de concentração bem maior. Esses trabalhos também anteciparam a conclusão do fumo ser uma das principais fontes de concentração e exposição a partículas em ambientes interiores: Nazaroff e Klepeis [2003] compilaram os resultados de trabalhos sobre dados publicados entre 1985 e 2001 e todos não patrocinados pela indústria do tabaco levavam a essa conclusão.

As publicações atuais em PTA abordam basicamente as questões exposição, separação de ambientes em áreas para fumantes e para não-fumantes e níveis de concentração em locais com e sem fumo e antes e após a implementação de leis de ambientes livres de fumo. São publicações sobre dados, usualmente de material particulado suspenso respirável (a maioria), referente à parte de partículas da fumaça, ou de nicotina e monóxido de carbono, referentes à parte de gases. A comunidade científica da área é em grande parte ativista e dados colhidos em ambientes reais são um instrumento eficaz na mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo. O foco comum dos estudos é a qualidade do ar e a contraposição aos argumentos da indústria acerca da ventilação para separação de ambientes. Uma busca no

arquivo de documentos da indústria¹ mostra projetos relacionados ao estudo do processo de dispersão da fumaça propostos nos anos 90 [Philip Morris, 1992; R. J. Reynolds, 1993], envolvendo inclusive mecânica de fluidos computacional. Porém, se foram concluídos, seus resultados não foram divulgados.

Dentre os estudos sobre exposição, destacam-se os trabalhos de Klepeis *et al.* [1999], Navas-Acien *et al.* [2004] e Marco *et al.* [2005]. Klepeis *et al.* [1999] mediram monóxido de carbono em eventos para fumantes de charutos, e as concentrações observadas foram comparáveis às observadas em rodovias com tráfego intenso. Navas-Acien *et al.* [2004] mediram os níveis de nicotina em hospitais, escolas, prédios governamentais, aeroportos e bares e restaurantes de sete países latino-americanos, incluindo o Brasil, e observaram traços em 94% dos locais testados. Marco *et al.* [2005] mediram a exposição ao monóxido de carbono em um grupo de adultos na cidade de Helsinki, Finlândia, e observaram que as maiores fontes de exposição a ele são o tráfego e a PTA, e as maiores concentrações em ambientes interiores foram observadas em restaurantes com a presença de fumo.

Dentre os estudos sobre separação de ambientes em áreas para fumantes e para não-fumantes, destacam-se os trabalhos de Miller e Nazaroff [2001], Ott *et al.* [2003] e Cains *et al.* [2004]. Miller e Nazaroff [2001] fizeram medições da concentração e da distribuição de tamanho de material particulado e de taxas de escoamento de ar durante e após a queima de cigarros em uma câmara de ensaios composta por duas salas para analisar a dispersão da fumaça e concluíram que a separação de áreas pode ser eficiente se as áreas estiverem em salas separadas por uma porta fechada e se a área para fumantes possuir sistema de ventilação/exaustão próprio (redução de 85–95% da exposição). Ott *et al.* [2003], em estudo similar, complementam que se as áreas separadas não estiverem separadas por uma porta fechada ou encostada comportam-se como uma única área, havendo mistura do ar. Concluem que a separação só é eficiente se a área para fumantes for isolada por uma porta fechada e se possuir ventilação própria. Cains *et al.* [2004] fizeram medições de nicotina, material particulado e dióxido de carbono em 17 estabelecimentos de entretenimento com áreas separadas para fumantes e não-fumantes da região metropolitana de Sydney, Austrália, e constataram que a simples separação não é um meio de proteção eficiente para os não-fumantes, diminuindo, na melhor das hipóteses, 50% da exposição à PTA.

¹ Os documentos utilizados nos processos contra a indústria nos Estados Unidos são disponibilizados ao público, arquivados nos sites *Legacy Tobacco Documents Library* (<http://legacy.library.ucsf.edu>) e *Tobacco Documents Online* (<http://tobaccodocuments.org>).

Dentre os estudos sobre níveis de concentração, destacam-se os trabalhos de Repace [2004], Mulcahy *et al.* [2005] e Repace e Johnson [2006]. Repace [2004] mediu material particulado e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em um cassino, em um clube de bilhar e em seis bares do estado de Delaware, Estados Unidos, antes e após a implementação da lei de ambientes livres de fumo, e constatou que a PTA era responsável por 90–95% da concentração de partículas e por 85–95% da concentração de hidrocarbonetos nesses ambientes. Ao comparar o nível de poluição medido com o normal encontrado em estradas e ruas das cidades, constatou que os ambientes eram muito mais poluídos que estas. Mulcahy *et al.* [2005] mediram nicotina em bares da cidade de Galway, Irlanda, antes e após a implementação da lei de ambientes livres de fumo, e constataram uma queda de 83% na concentração. Trabalhadores não-fumantes foram testados para cotinina salivar e houve uma redução de 69% na concentração. Repace e Johnson [2006] mediram antes e após a proibição do fumo em Toronto, Canadá, material particulado e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em um bar com sistema de ventilação estruturado para separação de áreas, e constataram que a concentração de partículas e de hidrocarbonetos na área antes destinada aos não-fumantes diminuiu 60–65% com a extinção da área para fumantes.

O Instituto de Câncer Roswell Park (Buffalo, Estados Unidos) é hoje a referência em estudos em PTA, e sua metodologia de monitoramento de qualidade do ar por amostragem de partículas finas (material particulado com diâmetro menor que 2,5 μm) é considerada o estado-da-arte da área. O projeto *Global Air Monitoring Study* publicou em 2006 dados de poluição de estabelecimentos de entretenimento de 24 países, e observou que as concentrações de partículas em ambientes com fumo permitido foram em média nove vezes maiores que as em ambientes livres de fumo, e que foram bem maiores que o teto da norma de exposição da Agência de Proteção Ambiental Americana — EPA, Environmental Protection Agency, órgão de referência [Roswell Park Cancer Institute — RPCI *et al.*, 2006]. No mesmo ano, publicou dados de poluição de 128 pubs irlandeses de 15 países, e observou que o nível de concentração de partículas nos pubs livres de fumo foi na média 93% menor que o de pubs com fumo permitido. Os níveis observados nos autênticos pubs irlandeses (a Irlanda é um país livre de fumo por lei desde 2004) foram 91% menores que os observados em pubs com fumo de outros países [Harvard School of Public Health *et al.*, 2006]. Dados de poluição de estabelecimentos de entretenimento de mais 32 países foram publicados em 2008, e as concentrações de partículas em ambientes onde o fumo é permitido foram em média 87%

maiores que as em ambientes livres de fumo [Hyland *et al.*, 2008]. O site *Tobacco Free Air*² dá treinamento e suporte on-line para os estudos. Em março desse ano o Instituto para o Controle Global do Tabaco da Escola de Saúde Pública John Hopkins Bloomberg (Baltimore, Estados Unidos) lançou o site *Secondhand Smoke Monitoring*³, com treinamento e suporte on-line para estudos de exposição, e a abordagem de amostragem do ar trabalha também com essa metodologia de monitoramento de qualidade do ar por amostragem de partículas finas.

Com a consolidação pela Convenção-Quadro da necessidade da proteção contra a exposição à fumaça do tabaco, os estudos em PTA começam a sair dos ambientes interiores para atingir também as áreas adjacentes e ao ar livre. Trabalhos sobre dados de poluição em carros com fumo observaram concentrações de partículas muitíssimo acima dos níveis encontrados em estabelecimentos de entretenimento em outros trabalhos [Vardavas *et al.*, 2006]. Sendzik *et al.* [2008] observam que apenas um cigarro fumado em um carro pode levar a níveis encontrados em estabelecimentos de entretenimento. Ott *et al.* [2008] observam que a exposição a apenas dois cigarros fumados já excederia o limite de exposição diária a partículas da EPA. Os primeiros dados de PTA em ambientes exteriores são de um estudo da Agência de Proteção Ambiental da Califórnia, Estados Unidos, de 2003, onde nicotina foi observada na entrada de prédios [Klepeis *et al.*, 2004]. Klepeis *et al.* [2004], em estudo controlado, mediram material particulado e monóxido de carbono e observaram níveis consideráveis. A diferença principal é o vento: enquanto que em ambientes interiores as concentrações podem se manter por horas após o fumo, ao ar livre a dispersão é relativamente rápida. Repace [2005], estudando poluição na entrada de prédios, mediu material particulado e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e observou que os níveis retornavam aos básicos atmosféricos a uma distância de aproximadamente sete metros da fonte, justificando a proibição do fumo em áreas adjacentes às entradas. Klepeis *et al.* [2007] testaram vários monitores de material particulado para essa aplicação, entre eles o utilizado pelo Instituto de Câncer Roswell Park, que publicou seu primeiro trabalho sobre ambientes exteriores no mesmo ano [Travers *et al.*, 2007].

Em outra linha, alguns trabalhos abordam a PTA de forma matemática. Ott [1999] fez uma revisão dessa literatura e propôs um modelo para concentração média de material particulado baseado na equação de conservação da massa. Seelig [2005] utilizou esse modelo em conjunto com um modelo de ventilação natural para estimar a velocidade necessária do vento para induzir a ventilação necessária para manter o risco de vida no aceitável de normas

² <http://tobaccofreeair.org>

³ <http://shsmonitoring.org>

ocupacionais e verificou que ventos da ordem de mil quilômetros por hora seriam necessários para tal. Klepeis e Nazaroff [2006a, 2006b] simularam o efeito espacial e temporal da exposição em ambientes residenciais e concluíram que as estratégias mais eficientes para a redução da exposição são o isolamento do fumo em uma sala fechada com janelas abertas e a proibição do fumo quando os não-fumantes estão em casa. A abertura de janelas ou o uso de sistemas de filtragem de ar nas salas com fumo são estratégias de eficiência média. O simples fechamento das portas das salas com fumo não é uma estratégia eficiente. Mas essa abordagem matemática é relativamente rara, já que, como comentado, dados colhidos em ambientes reais são um instrumento eficaz na mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo. São dados palpáveis, mais compreensíveis que os de modelagem, e por isso mais interessantes para ativismo.

1.2 Problema de pesquisa, objetivo e estrutura

Este trabalho versa o problema da qualidade do ar de ambientes onde o fumo é permitido. Objetiva compilar uma base científica sobre a questão ventilação e poluição tabagística ambiental para embasar argumentações para o estabelecimento de leis de ambientes interiores livres de fumo. Especificamente, visa:

- à revisão das leis e normas brasileiras referentes à qualidade do ar de ambientes interiores onde o fumo é permitido, por análise teórica;
- à análise do sistema de separação de áreas para fumantes e não-fumantes por ventilação proposto pelo projeto Convivência em Harmonia, por modelagem física e experimentação em escala reduzida;
- à avaliação das metodologias de amostragem de ar indicadas para o levantamento de dados de PTA para a mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo, por análise metrológica.

O propósito final do trabalho é contribuir para o controle do tabagismo no Brasil. A promoção de ambientes livres de fumo é uma importante medida de controle do tabagismo, pois além de protegerem os cidadãos do tabagismo passivo eles diminuem a aceitação social do fumo, incentivando a cessação e prevenindo a iniciação [Ontario Tobacco Research Unit

— OTRU, 2008]. O tabagismo é a segunda maior causa de morte no mundo, responsável por uma em cada dez mortes entre adultos [WHO, 2009b]. A indústria do tabaco é a única a vender legalmente um produto que mata mais da metade de seus consumidores regulares [Shafey *et al.*, 2009].

O trabalho está estruturado em capítulos: o próximo traz a base científica — o cigarro, o fumar, a fumaça e a questão ventilação e PTA —, o terceiro traz as leis e normas brasileiras referentes à qualidade do ar de ambientes onde o fumo é permitido, o quarto traz o projeto Convivência em Harmonia — análise, modelagem física e experimentação — e o quinto traz a avaliação das metodologias de amostragem de ar indicadas para o levantamento de dados de PTA. O sexto capítulo traz uma recapitulação do trabalho e das conclusões.

Capítulo 2

BASE CIENTÍFICA

Este capítulo compila as bases da poluição tabagística ambiental: o cigarro, o fumar, a fumaça e a questão ventilação e PTA.

2.1 O cigarro

O cigarro industrializado é uma porção de fumo em pedaços enrolada em papel poroso com um filtro em uma das pontas para fumar (Figura 2.1). Baker [1981] caracteriza-o como um cilindro de diâmetro aproximado de oito milímetros e comprimento entre 6,5 e 8,5 centímetros contendo aproximadamente um grama de fumo, e explica que os pedaços de fumo têm aproximadamente 0,1 mm de espessura, 1 mm de largura e 5 mm de comprimento, e que são embalados de maneira não-compacta, de modo que 75% do volume do cilindro é ar. Caracteriza também o filtro como um cilindro anexo de aproximadamente dois centímetros de comprimento, contendo produtos como acetato de celulose, fibra de papel e carvão, envolto em papel com poros de ventilação para diluição da fumaça. Segundo a Souza Cruz [2008a], os cigarros variam em função do fumo utilizado e do desenho (comprimento, circunferência, tipo de filtro, ventilação, etc.), sendo os mais vendidos no mercado nacional os chamados *king size*, com comprimento de 8,3 e circunferência de 2,4 centímetros.

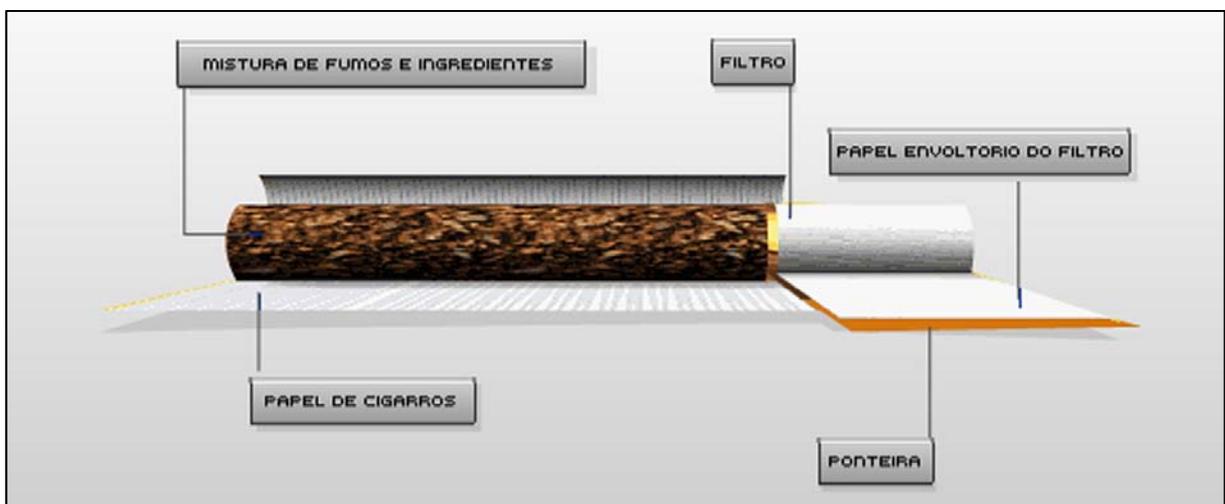


Figura 2.1 — Cigarro industrializado [Souza Cruz, 2008b]

O fumo é a folha do tabaco curada e processada. A cura é o processo de perda de água, mudança de cor e transformações bioquímicas que define o sabor de cada tipo de fumo [Souza Cruz, 2008c]. A região sul concentra 95,5% da produção nacional de fumo [Associação dos Fumicultores do Brasil — AFUBRA, 2008], e nela trabalha-se com cura em estufa, onde as folhas são secas em estufas de alvenaria por queima de lenha, com temperatura e umidade controladas (aplicada ao fumo tipo Virgínia, fumo claro), e com cura em galpão, onde as folhas são secas por ventilação natural (aplicada aos tipos Burley e Comum, escuros) [Sindicato da Indústria do Fumo — SINDIFUMO, 2009; Souza Cruz, 2008c]. O processamento envolve a composição das misturas de classes de fumo (*blends*) e a adição de ingredientes como flavorizantes, açúcares, melhorantes, agentes aglutinantes e umectantes [Souza Cruz, 2008d, 2009a]. Variando de pequenas moléculas orgânicas e inorgânicas a biopolímeros, o fumo contém cerca de 3.800 constituintes [Davis e Nielsen, 1999].

Tendo origem vegetal, o fumo é matéria orgânica.

2.2 O fumar

Fumar é aspirar a fumaça da queima do fumo. Fumar, portanto, envolve um processo de combustão de matéria orgânica sólida.

Combustão é uma reação exotérmica muito rápida entre combustível e oxidante, acompanhada por liberação de calor [Carvalho e McQuay, 2007]. Para a manutenção do processo são necessários três elementos: combustível, oxidante e fonte de ignição [Baukal, 2004]. A natureza do processo depende das propriedades do combustível e de sua aplicação [Van Loo e Koppejan, 2008]. No fumar, o combustível é o fumo, o oxidante é o oxigênio do ar e a fonte de ignição é a temperatura (chama de um isqueiro, por exemplo). A temperatura de ignição do fumo varia entre 435 e 450°C [Yamashita *et al.*, 1967]. O ar aspirado pelo cigarro mantém sua oxidação, e o calor liberado sustenta o processo, que se dá lentamente, a baixas temperaturas e sem chama: é uma combustão incandescente (*smoldering*) (Figura 2.2) [Ohlemiller, 2002].



Figura 2.2 — Cigarro em combustão incandescente [Kilián, 2007]

A combustão incandescente é uma combustão sem chama cujo calor provém de reações que ocorrem na superfície de combustíveis sólidos quando aquecidos em ambientes oxidantes [Ohlemiller, 2002; Rein, 2005]. A zona de reação é geralmente envolta por uma camada de cinzas e há emissão intensa de radiação infravermelha e de fumaça [Carvalho, 1999; Rabelo *et al.*, 2002]. A diferença essencial entre ela e a combustão com chama (*flaming*) é a oxidação dos reagentes dar-se na superfície de sólidos e não em gases. Temperatura e liberação de calor características são baixas quando comparadas com a combustão com chama de sólidos: valores típicos em torno de 600°C e 5 kJ/g-O₂ contra 1500°C e 13 kJ/g-O₂ [Drysdale, 1999; Ohlemiller, 2002]. Isso faz com que a propagação do processo seja lenta: velocidades em torno de 0,1 mm/s, duas ordens de magnitude menor que a da velocidade de propagação de chama em sólidos [Rein, 2005]. Apesar disso, a combustão incandescente é um sério causador de incêndios, pois tem conversão de combustível em produtos tóxicos substancialmente maior que a combustão com chama, e é uma ponte para ela, podendo iniciar mesmo com fontes fracas para iniciar chama. Uma das fontes mais comuns é o cigarro [Ohlemiller, 2002; Rein, 2005]. Ele também é a principal causa de incêndios domésticos fatais nos Estados Unidos [Coalition for Fire-safe Cigarettes, 2009].

O processo de combustão em sólidos é sempre precedido pelos subprocessos de secagem e pirólise/gaseificação. A secagem é o processo de vaporização da umidade do combustível. Como a vaporização utiliza energia do processo de combustão, sua temperatura e velocidade são diminuídas, o que torna a umidade uma variável importante, pois ela pode

retardar o processo a ponto de extingui-lo. A pirólise/gaseificação é o processo de decomposição do combustível em outras substâncias, ocorrendo sem/com suprimento de oxidante e formando char (resíduo rico em carbono), alcatrão e gases. Na combustão há a oxidação do combustível [Van Loo e Koppejan, 2008]. Fundamentalmente, o processo de combustão incandescente é um problema básico de combustão, envolvendo reações químicas heterogêneas (envolvem duas fases diferentes e ocorrem na interface) e transporte de calor, massa e momento nas fases gasosa e sólida. Provido calor, a temperatura do sólido aumenta e dispara as reações de decomposição (pirólise endotérmica e oxidação exotérmica) até que o calor líquido atinja a quantidade de calor requerida para a propagação da combustão. O calor liberado pelas reações é parte propagado por condução, convecção e radiação térmica e parte perdido para o ambiente. O oxidante é transportado até a zona de reação por difusão e convecção. A propagação da combustão dá-se lentamente, alimentada pelo fluxo de oxidante e limitada pelas perdas de calor. Pode ser no mesmo sentido da penetração do oxidante (concorrente, *forward smoldering*), com ele passando pelo combustível oxidado, ou no sentido contrário (contracorrente, *reverse smoldering*), com ele passando pelo combustível virgem [Ohlemiller, 2002; Rein, 2005]. A reação é predominantemente uma combustão incompleta, deixando char e combustível não reagido [Ghabi *et al.*, 2005].

Fisicamente, materiais agregados e permeáveis são combustíveis potenciais para a combustão incandescente, pois a reação é facilitada pela maior relação superfície/volume. O agregado atua como isolante térmico diminuindo as perdas de calor, mas permite a penetração do oxidante até a zona de reação por convecção e difusão. A propagação do processo é dominada pela taxa de penetração do oxidante até a zona de reação, já que a reação consome o oxidante e necessita dele para se manter. Quimicamente, materiais que na reação se decomponham termicamente formando char são combustíveis potenciais, pois a oxidação do char é a principal fonte de calor na maioria dos processos sustentáveis de combustão incandescente [Ohlemiller, 2002; Rein, 2005]. O cigarro é um exemplo característico de material que sustenta combustão incandescente. O fumo em pedaços e não-compacto proporciona grande superfície livre ao oxigênio, facilita sua penetração ao longo do agregado e atua como isolante térmico, retardando perdas de calor e permitindo a sustentação do processo apesar da baixa liberação de calor. Como outras matérias orgânicas, o fumo degrada e forma char, com maior conteúdo de carbono e maior liberação de calor que o fumo não-degradado. O ataque do oxigênio é facilitado pela maior relação superfície/volume do char e pelos traços de metal alcalino dos orgânicos que atuam como catalisador da oxidação. A propagação dá-se tridimensionalmente pelo efeito das forças de flutuação e no mesmo sentido

da penetração do oxigênio (concorrente) [Ohlemiller, 2002; Saidi *et al.*, 2007]. O oxigênio escoou entre o char e reage, e um escoamento quente e deficiente de oxigênio segue pelo fumo virgem (Figura 2.3) [Rein, 2005].

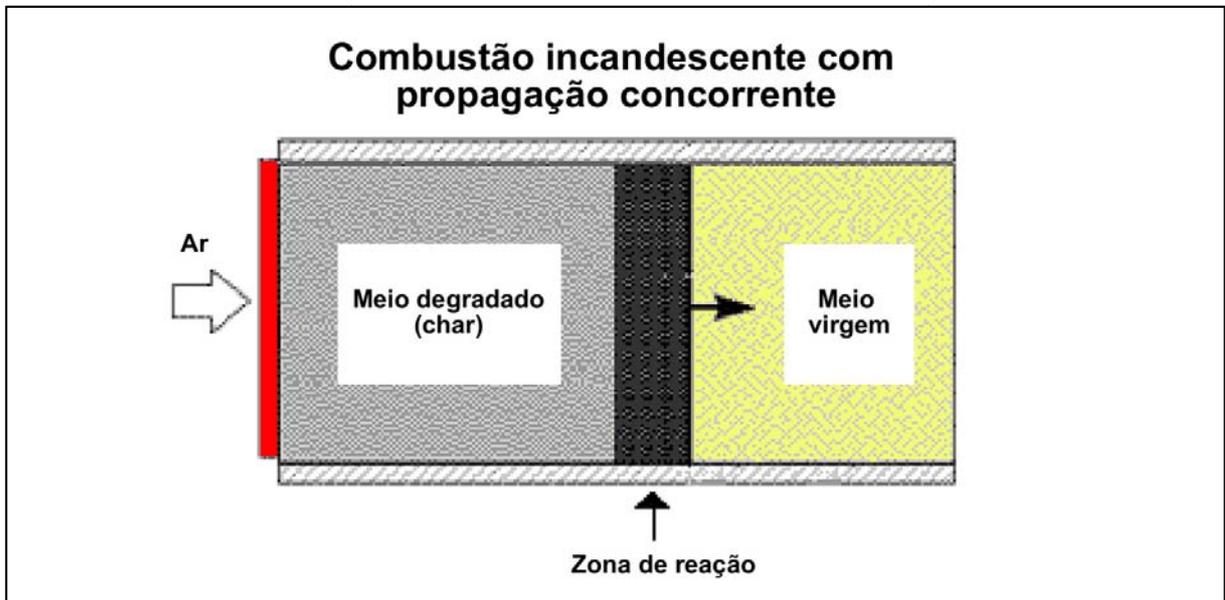


Figura 2.3 — Esquema da propagação da combustão no fumar [Rein, 2005 (Adaptado)]

No fumar, a combustão incandescente dá-se no contorno da ponta do cigarro, envolvendo um processo de pirólise em seu interior (Figura 2.4). O processo dá-se de modo natural quando o cigarro não está sendo tragado (*smolder*) e de modo estimulado na tragada (*puff*) (Figura 2.5). Sólidos e gases envolvidos variam de temperatura a cada transição de modo. No natural, as duas fases estão em equilíbrio térmico, com as maiores temperaturas em torno de 800°C no interior da ponta do cigarro. No estimulado, elas seguem com temperaturas similares no interior da ponta (800–850°C), mas diferem muito no contorno. A temperatura da fase sólida ultrapassa 900°C na linha do papel, onde a entrada de ar é maior, enquanto que a temperatura da fase gasosa fica entre 600 e 770°C. Retornando ao modo natural, após a tragada, em poucos segundos as duas fases reaproximam-se do equilíbrio térmico [Baker, 1981]. Há três principais zonas térmicas: condensação e volatilização, após o char, volatilização e pirólise, antes do char, e combustão, na ponta e cinzas. Na zona após do char as temperaturas variam entre 100 e 200°C, aumentando para 350°C nas imediações. Na zona do char e na anterior as temperaturas variam entre 400 e 700°C. A temperatura na ponta do cigarro chega a 800°C, caindo para 350°C na região das cinzas [Baliga *et al.*, 2003]. A reação gera 1,7 cal/mg contra 3,5 cal/mg na combustão completa, o que indica que a reação é

bastante incompleta [Waymack *et al.*, 1993]. A Figura 2.6 mostra os principais processos que ocorrem no fumar.

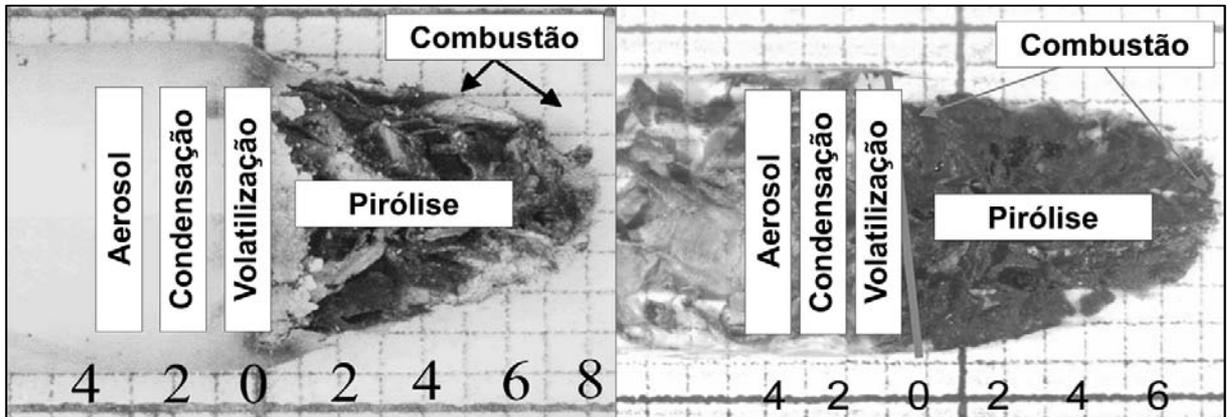


Figura 2.4 — Esquema da localização dos processos de combustão no fumar: cigarro inteiro e seção longitudinal [Baliga *et al.*, 2003 (Adaptado)]

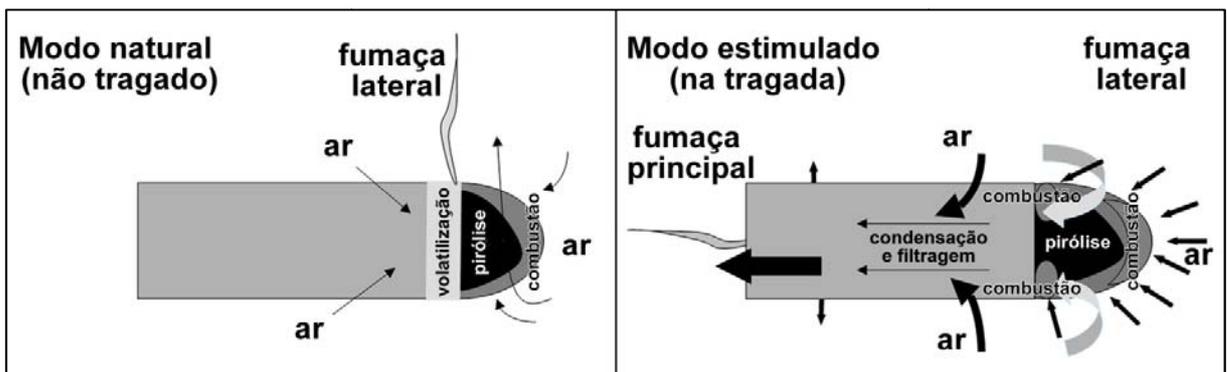


Figura 2.5 — Esquema dos modos de combustão incandescente no fumar: natural e estimulado [Baliga *et al.*, 2004 (Adaptado)]

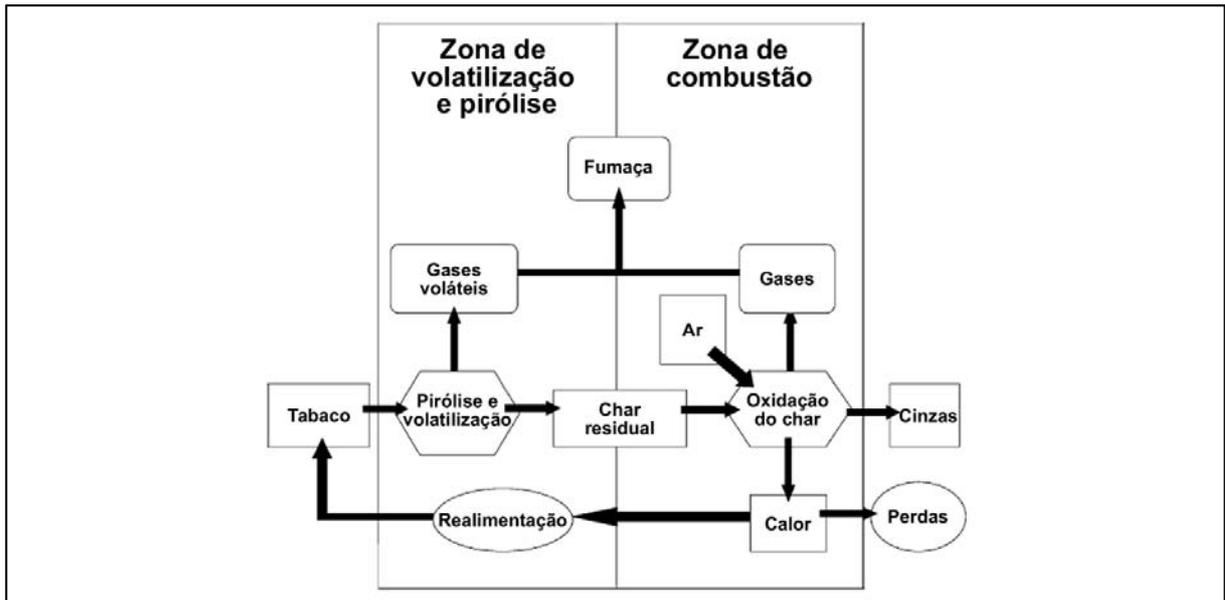


Figura 2.6 — Esquema dos principais processos que ocorrem no fumar
[Baker, 2006 (Adaptado)]

A abordagem matemática dos processos que ocorrem no fumar iniciou em 1963 com um modelo unidimensional da tragada. O foco comum dos estudos é a modelagem da zona de reação para entendimento dos mecanismos de formação da fumaça, e são na maioria patrocinados pela indústria do tabaco. Baker e Robinson [1990] (British American Tobacco) compilaram os trabalhos publicados até o final da década de 80. Os trabalhos mais recentes são os de Yi *et al.* [2001] (Philip Morris) e de Rostami *et al.* [2003] (Philip Morris) para modelagem bidimensional do processo no modo natural, os de Rostami *et al.* [2004] (Philip Morris) e de Saidi *et al.* [2004] (Philip Morris) para modelagem bi e tridimensional do processo no modo estimulado na tragada, e o de Yi e Hajaligol [2003] (Philip Morris) para modelagem unidimensional do processo completo, natural e estimulado. O único trabalho encontrado sem referência à indústria foi o de Costa [2003], um modelo unidimensional do processo no modo natural. Foi também o único trabalho de autor nacional encontrado.

O equacionamento mais completo do fumar é o modelo tridimensional de Saidi *et al.* [2007] (Philip Morris). O modelo considera um sistema cigarro/adjacências e resolve as equações diferenciais parciais de conservação da massa, balanço de forças e conservação da energia. O cigarro é modelado como um meio poroso, impondo resistência ao escoamento. Todos gases são considerados ideais. As equações de conservação da escala macroscópica são derivadas pela aplicação da técnica de média volumétrica às equações fundamentais de transporte em meios porosos da escala microscópica. O contorno cigarro/ar é resolvido. A

resolução das equações de conservação é sustentada por submodelos para pirólise, formação e oxidação de char, evaporação da umidade, propriedades termofísicas e formação de cinzas.

2.3 A fumaça

A reação química entre o combustível e o oxidante na combustão gera, além de calor e energia, produtos. Tomando como exemplo a reação hidrocarboneto e ar, há geração de dióxido de carbono, água e outros, dependentes do combustível e do quão completa a reação é [Baukal, 2004]. Se a reação for completa, todo oxigênio reage com o combustível: todo carbono no combustível é oxidado para dióxido de carbono e todo hidrogênio para água [Carvalho e McQuay, 2007]. Se a reação for incompleta, o combustível não será todo oxidado, e outros produtos, como o monóxido de carbono, restarão [Law, 2006]. Além de gases, a combustão incompleta gera partículas sólidas e líquidas, de diâmetros da ordem de micrometros, que ficam suspensas no ar formando um aerossol. As partículas espalham luz, tornando o aerossol visível: é a fumaça, na definição clássica [Baron e Willeke, 2005; Mulholland, 2002]. Aqui, fumaça denotará o conjunto de gases e partículas gerados pela reação de combustão incompleta.

Fumar envolve uma reação de combustão incompleta entre fumo e ar atmosférico. Variando de pequenas moléculas orgânicas e inorgânicas a biopolímeros, o fumo contém cerca de 3.800 constituintes, todos sujeitos a temperaturas que podem ultrapassar 900°C e a diferentes níveis de oxigênio nos processos da combustão incandescente. Cerca de 4.800 constituintes foram identificados na fumaça do cigarro, sendo cerca de 2.800 identificados somente na fumaça e não no fumo [Baker, 2006]. Isso explica o interesse da indústria em estudos sobre a modelagem da zona de reação: no início da década de 50 surgiram as primeiras grandes publicações sobre as consequências do fumar, e a indústria passou a pesquisar os mecanismos de formação e a química da fumaça em busca de um cigarro menos nocivo [Glantz *et al.*, 1996]. Há muito mais informação sobre a parte aspirada pelo filtro pelo fumante (fumaça principal, *mainstream*) que sobre a parte emitida no ambiente (fumaça lateral ou secundária, *sidestream*), mas sabe-se pelos próprios documentos da indústria que a fumaça lateral, a parte que interessa para a poluição tabagística ambiental, é aproximadamente quatro vezes mais tóxica que a fumaça principal, e que sua toxicidade aumenta com as transformações físicas e químicas que ela sofre suspensa no ar [Schick e Glantz, 2005, 2006]. Isso se dá porque a fumaça lateral é gerada a menor oxigenação e temperatura que a principal,

que tem a reação de combustão potencializada na tragada e é por isso “menos incompleta” [Charles *et al.*, 2007].

A fumaça lateral e a fumaça exalada pelo fumante formam a chamada fumaça ambiental de tabaco. A maior contribuição para os constituintes vem da fumaça lateral: a fumaça exalada tem relativamente poucos gases e mais adiciona partículas, entre 15 e 43% do total. A composição é variável, tendo mais peso o dióxido e o monóxido de carbono, material particulado suspenso respirável, a amônia e a nicotina [Jenkins *et al.*, 2000]. O Anexo A lista os constituintes da fumaça lateral. Dos milhares identificados, ao menos 250 são comprovadamente tóxicos, como o cianeto de hidrogênio, o monóxido de carbono, o butano, a amônia, o tolueno e o chumbo, e ao menos 50 são comprovadamente cancerígenos, sendo onze comprovadamente em humanos: 2-naftilamina, 4-aminobifenil, benzeno, cloreto de vinila, óxido de etileno, arsênico, berílio, compostos de níquel, cromo, cádmio e polônio-210 [HHS, 2006]. A FAT é agente cancerígeno em humanos, e não há nível seguro de exposição a ela [IARC, 2004; WHO, 2007]. Nenhum órgão regulador de referência tem norma para exposição à PTA [ASHRAE, 2005]. A concentração é função principal da frequência do fumo, do volume do ambiente e da taxa de ventilação [Singer *et al.*, 2003], e o órgão de referência dessa área da engenharia posicionou-se a favor de ambientes livres de fumo, expondo que nenhuma tecnologia de engenharia de ventilação demonstra controlar os riscos impostos pela exposição à PTA, apenas pode reduzi-los e pode controlar questões de conforto relacionadas ao odor e à irritação sensorial impostos pela exposição [ASHRAE, 2005]. A exposição pode se dar tempos após o fumo pela deposição da fumaça. Os gases adsorvem-se nas superfícies e delas são reemitidos no ar. As partículas depositam-se nas superfícies e delas voltam à suspensão ou reagem com outros compostos. Paredes, mobília, tapetes, roupas e objetos tornam-se fontes de exposição por semanas/meses [Matt *et al.*, 2004].

Diferentes constituintes são usados como marcador da fumaça em estudos em PTA, entre eles material particulado suspenso respirável, nicotina, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, acroleína, benzeno, solanesol e N-nitrosaminas [Jenkins *et al.*, 2000; Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health — JHSPH, 2009a]. Os três primeiros são os mais comuns, com taxas médias de emissão por cigarro de 1,43 mg/min, 1,585 µg/cig e 11,9 mg/min, respectivamente [Klepeis *et al.*, 1996; Ott *et al.*, 2006]. A nicotina é o único inerente ao fumo, o que a torna o marcador ideal, já que material particulado suspenso respirável e monóxido de carbono têm fonte em qualquer processo que envolva combustão, e isso é uma desvantagem pela dificuldade de acessar a parcela relativa à FAT em ambientes com outras

fontes. Porém, há diversas opções de instrumentos para acessar material particulado suspenso respirável e monóxido de carbono, inclusive em tempo real, enquanto que para nicotina o processo é laboratorial. O monóxido de carbono já foi o marcador mais utilizado, mas caiu em desuso devido à sua rápida diluição no ar. Com os estudos do Instituto de Câncer Roswell Park, referência hoje em estudos em PTA, material particulado suspenso respirável (partículas finas, especificamente) tornou-se o principal marcador da FAT. Pela facilidade de coleta e rapidez dos resultados, a abordagem de monitoramento da qualidade do ar com monitores portáteis — abordagem usada pelo Instituto — tornou-se mais interessante que a abordagem clássica de amostragem por filtragem. O Instituto para o Controle Global do Tabaco promove como marcadores da fumaça a nicotina (filtragem) e partículas finas (monitores).

Material particulado suspenso respirável engloba qualquer partícula com diâmetro menor que 10 μm (MP_{10}). Por ter tamanho ínfimo (Figura 2.7), elas geralmente passam pela garganta e nariz e podem chegar aos pulmões ou mesmo à corrente sanguínea. Inaladas, essas partículas podem causar ou agravar doenças cardiovasculares e respiratórias associadas tanto a exposições curtas (dias, horas) como longas (anos). As implicações variam de irritação das vias aéreas, tosse e respiração dificultada à capacidade pulmonar diminuída e batimentos cardíacos irregulares. As partículas finas, com diâmetros menores que 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), por serem ainda menores têm potencial nocivo maior [U. S. Environmental Protection Agency — EPA, 2003, 2009]. Os diâmetros 0,1 e 2 μm delimitam a chamada faixa de acumulação, caracterizada por dispersão rápida e desordenada, longo tempo de residência no ar, ser dificilmente removida por filtragem e não se depositar rapidamente em superfícies nem eficientemente nas vias respiratórias. Essa faixa compreende a do comprimento de onda visível (0,3–0,7 μm), logo é eficiente no espalhamento da luz, o que explica o aspecto opaco de ambientes com fumaças. As partículas da FAT estão em sua maioria na faixa de diâmetro de 0,02 a 2 μm . São basicamente compostos orgânicos com baixa pressão de vapor, condensados em gotículas (aproximadamente 60% do peso). O Anexo B lista sua composição química. A taxa de emissão varia de acordo com a marca do cigarro e com a maneira do fumar, estando entre 5 e 40 mg de partículas por cigarro. Essas taxas não só contribuem para as altas concentrações de partículas em ambientes com fumo como as causam, variando o incremento de 10 a 45 μg por metro cúbico. O fumo é uma das principais fontes de concentração e exposição a partículas em ambientes interiores [Nazaroff e Klepeis, 2003].

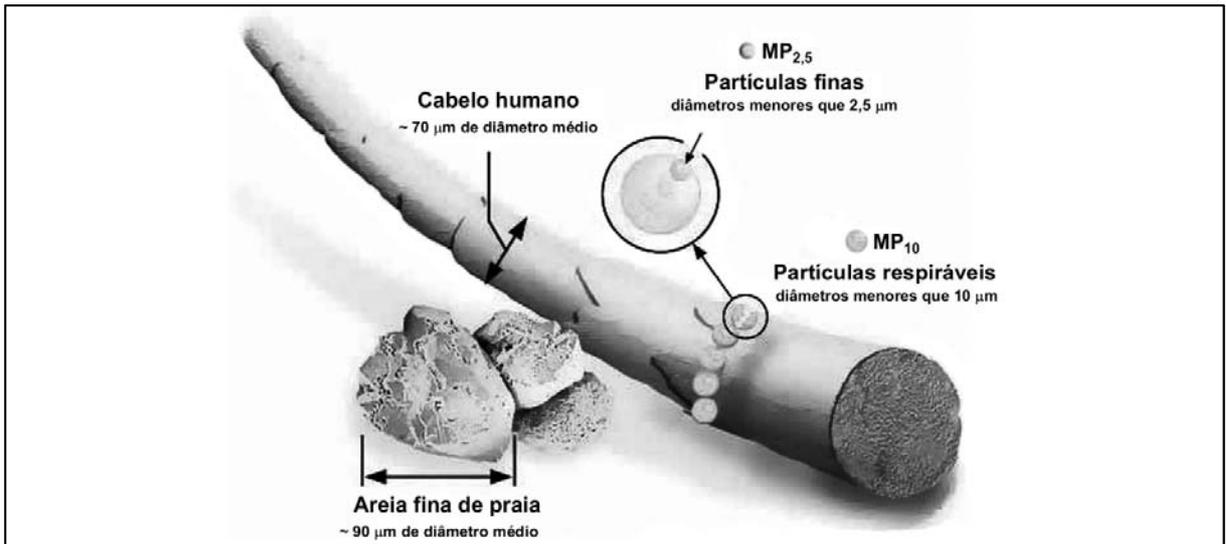


Figura 2.7 — Tamanho das partículas respiráveis [EPA, 2009 (Adaptado)]

Quando o ar do ambiente está relativamente sem perturbações, a pluma de fumaça tende a ascender de maneira laminar, o que facilita a coagulação e a condensação das partículas, aumentando seu tamanho e diminuindo sua quantidade. A ascensão turbulenta da pluma gera um maior número de partículas de menor tamanho, que se dispersam rápida e desordenadamente, distribuindo a concentração no ambiente. A suposição de concentração média uniforme é válida após certo tempo. Mage e Ott [1996] explicam a dispersão separando-a em três partes relativas à uniformidade: a primeira, chamada período alfa, corresponde ao tempo em que o cigarro está sendo fumado (tempo da fumada) e o ambiente não é uniforme, com as maiores concentrações próximo à fonte. Após, com o cigarro apagado, há um período de transição, o período beta, que acaba quando a concentração atinge a uniformidade. Por fim, há o período de uniformidade, o período gama, que dura até a concentração no local ser 1% da concentração inicial do período beta. O critério de uniformidade adotado é o desvio padrão da concentração média em diferentes pontos do ambiente não ser maior que 0,1 (coeficiente de variação espacial menor que 10%). Klepeis [1999], em experimentos sobre a validade da suposição de concentração média uniforme, verificou que para fontes instantâneas ou quase instantâneas fazer a média sobre 10–30 minutos é o suficiente para o critério de uniformidade. Já para fontes contínuas o tempo deve ser muito maior: encontrou 80 minutos para uma sala para fumar. Isso porque com vários cigarros sendo fumados há sobreposição das concentrações. Em termos de exposição, na verdade, isso não deve ter grandes implicações nos cenários reais, já que há movimentação das pessoas, o que contribui para a uniformidade.

Não havendo nível seguro de exposição à PTA, para acessar a qualidade do ar usualmente são utilizadas as normas para exposição a partículas finas da Agência de Proteção Ambiental Americana, que estabelece um teto médio diário de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e trabalha com um índice de qualidade do ar (Tabela 2.1) [EPA, 2003, 2006]. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) estabelece um teto de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na orientação técnica sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo (resolução RE 9) [Agência Nacional de Vigilância Sanitária — ANVISA, 2003]. Essas normas, no entanto, só servem para fins de comparação, pois não há nível seguro de exposição à PTA.

Tabela 2.1 — Índice de qualidade do ar para partículas finas [EPA, 1999, 2003 (Adaptado)]

MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Índice	Qualidade do ar	Orientação
0 - 15,4	0 - 50	Boa	Nenhuma
15,5 - 65,4	51 - 100	Moderada	Pessoas muito sensíveis devem considerar a redução da exposição
65,5 - 100,4	101 - 150	Nociva para grupos sensíveis	Pessoas com problemas cardíacos ou respiratórios, idoso e crianças devem reduzir a exposição
100,5 - 150,4	151 - 200	Nociva	Pessoas com problemas cardíacos ou respiratórios, idoso e crianças devem evitar a exposição, e todos outros devem reduzir a exposição
150,5 - 250,4	201 - 300	Muito nociva	Pessoas com problemas cardíacos ou respiratórios, idoso e crianças devem evitar atividades físicas na rua, e todos outros devem evitar a exposição
250,5 - 500,4	301 - 500	Extremamente nociva	Pessoas com problemas cardíacos ou respiratórios, idoso e crianças devem permanecer em ambientes fechados e manter o nível de atividade baixo, e todos outros devem evitar atividades físicas na rua

2.4 A questão ventilação e PTA

A exposição à poluição tabagística ambiental é explicada por Nazaroff e Klepeis [2003] como uma sequência de três eventos: a emissão da fumaça pelo produto fumado, o transporte da fumaça ao indivíduo exposto e a inalação da fumaça pelo indivíduo. O controle da exposição pode se dar em qualquer um desses eventos: controlando-se a fonte, controlando-se o meio e controlando-se o receptor. O controle da fonte, se não pela sua exclusão, seria pelo uso de exaustores diretamente sobre o produto, e o controle do receptor seria pelo uso de máscaras de proteção respiratória para evitar a inalação. Sendo essas abordagens, além de pouco práticas, pouco interessantes para a indústria do tabaco, desde o início dos movimentos de regulamentação do fumo em recintos coletivos (final da década de 70, início da década de 80) o controle do meio por ventilação é vendido como a solução do problema da exposição [Bialous e Glantz, 2002; Dearlove *et al.*, 2002].

Ventilação é o processo de provimento de ar limpo e remoção do ar estagnado de um ambiente. Pode se dar natural ou mecanicamente, misturando o ar limpo no ambiente e diluindo o ar estagnado (ventilação por mistura de ar), ou deslocando o ar estagnado e substituindo-o (ventilação por deslocamento de ar). Sua função principal é prover oxigênio e diluir e remover os poluentes inevitáveis associados aos ocupantes: associados ao metabolismo (dióxido de carbono e odores) e às atividades essenciais da ocupação. Na presença de outros poluentes, a ventilação é um processo assistente na manutenção da qualidade do ar do ambiente, que não substitui o devido controle das fontes: os poluentes evitáveis devem ser eliminados [Air Infiltration and Ventilation Centre — AIVC, 2009]. Claramente, a fumaça do tabaco não é um poluente inevitável, e sendo agente cancerígeno deve ser evitada. Porém, com o lobby massivo da indústria para que a regulamentação do fumo em recintos coletivos fosse não no sentido da restrição mas no da acomodação de fumantes e não-fumantes, o posicionamento a favor de ambientes livres de fumo do órgão de referência em engenharia de ventilação — a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar, ASHRAE — veio somente após a adoção em 2003 da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco pelos países membros da Organização Mundial da Saúde. A ASHRAE reconheceu em 1981 que a PTA representa um problema para a qualidade do ar de ambientes interiores, quando na revisão da norma sobre ventilação para qualidade aceitável do ar especificou taxas de renovação do ar de duas a cinco vezes maiores para áreas onde o fumo fosse permitido, alegando que a fumaça é um dos poluentes mais difíceis de ser controlado na fonte. Porém, só em 2005 posicionou-se a favor

da proibição do fumo em ambientes interiores, expondo que nenhuma tecnologia de engenharia de ventilação demonstra controlar os riscos impostos pela exposição à PTA, apenas pode reduzi-los e pode controlar questões de conforto relacionadas ao odor e à irritação sensorial impostos pela exposição [ASHRAE, 2005]. A Federação das Associações Europeias de Aquecimento e Condicionamento de Ar (REHVA) já havia chegado à conclusão similar no ano anterior [REHVA, 2004].

A ASHRAE [2005] classifica as abordagens gerais de engenharia de ventilação para a questão da PTA em quatro casos: fumantes e não-fumantes em um mesmo ambiente, áreas para fumantes em ambientes separados mas não isolados, áreas para fumantes em ambientes separados e isolados e ausência de áreas para fumantes (ambiente livre de fumo). Em ordem de mínima à máxima eficiência:

- Fumantes e não-fumantes em um mesmo ambiente: Se o fumo é permitido em um ambiente ou em ambientes comuns servidos por um mesmo esquema de ventilação, não há sistema de ventilação que controle ou reduza significativamente os riscos impostos pela exposição à PTA no ambiente. Projetos de limpeza do ar, de ventilação por mistura de ar e de ventilação por deslocamento de ar podem reduzir em algum grau a exposição, mas não conseguem controlar ou reduzir significativamente os riscos impostos por ela, nem o odor e a irritação sensorial impostos (Figura 2.8).

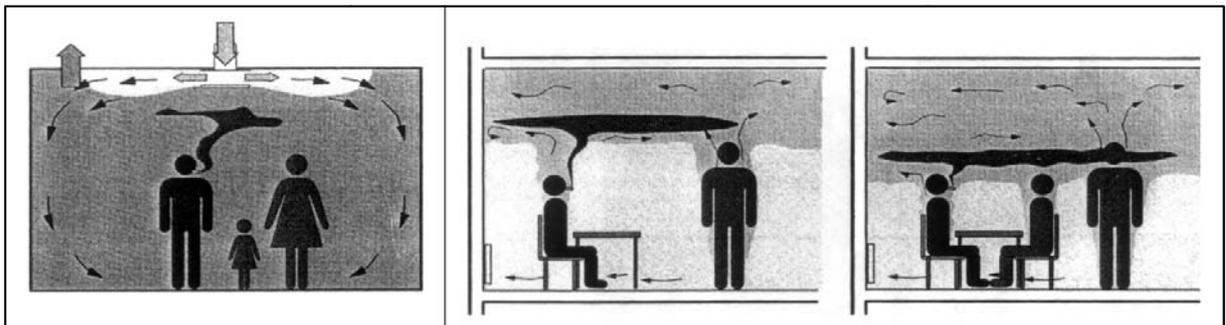


Figura 2.8 — Ventilação por mistura de ar e ventilação por deslocamento de ar [REHVA, 2004 (Adaptado)]

- Áreas para fumantes em ambientes separados mas não isolados: Se o fumo é permitido em uma área separada mas não isolada fisicamente do ambiente comum, a redução da exposição à PTA no ambiente comum não é eficiente (Figura 2.9). Isso inclui áreas separadas mas servidas pelo mesmo esquema de ventilação do ambiente comum, com ou sem recirculação do ar da área para fumantes para o ambiente comum, e áreas separadas mas não isoladas

fisicamente servidas por diferente esquema de ventilação do ambiente comum. As técnicas para redução do odor e a da irritação sensorial impostos pela fumaça incluem projetos de escoamento direcionado por insuflamento e exaustão e limpeza e filtragem de ar. Essas técnicas podem reduzir em algum grau a exposição à PTA nas áreas onde o fumo não é permitido, mas as evidências de eficiência são limitadas, já que a movimentação dos ocupantes entre as áreas altera o escoamento projetado.

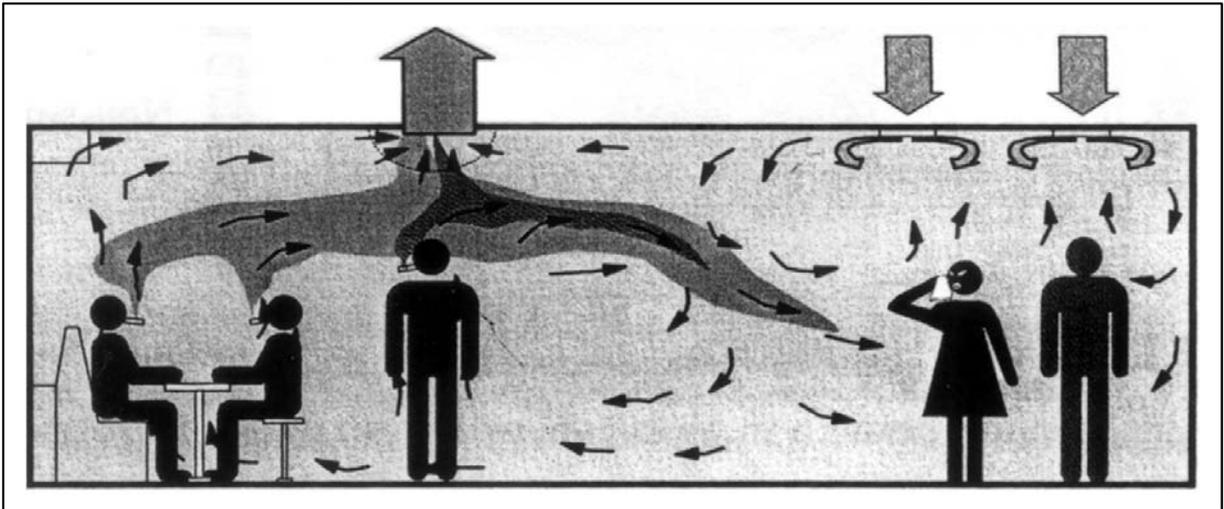


Figura 2.9 — Separação de áreas por ventilação, sem isolamento [REHVA, 2004 (Adaptado)]

É nesse caso que se enquadram as referências para adequação dos ambientes por ventilação do projeto Convivência em Harmonia, um projeto da Philip Morris Internacional iniciado nos Estados Unidos em 1989 e patrocinado no país pela subsidiária da British American Tobacco, a Souza Cruz, empresa líder no mercado nacional de cigarros (ver Capítulo 4).

- Áreas para fumantes em ambientes separados e isolados: Se o fumo é permitido em uma área separada e isolada fisicamente do ambiente comum, a redução da exposição à PTA no ambiente comum pode ser eficiente. O isolamento eficaz requer controle do escoamento e da pressurização por projeto de escoamento direcionado por insuflamento e exaustão, para preservar o sentido do escoamento nas aberturas, e o uso de ventilação dedicada à área para fumantes, separada do esquema de ventilação do ambiente comum (Figura 2.10). A exaustão da área para fumantes deve ser controlada para não contaminar o ambiente comum infiltrando-se no insuflamento ou pelas aberturas. Também devem ser controladas frestas na barreira física e as portas entre os dois ambientes.

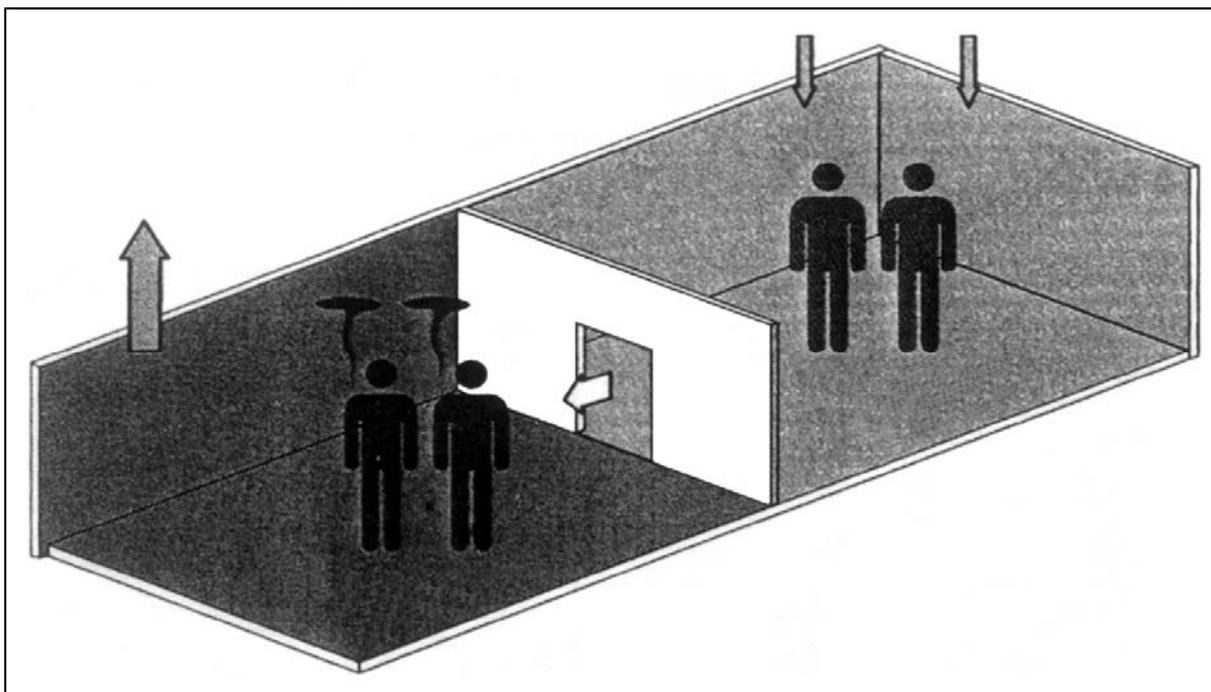


Figura 2.10 — Separação de áreas por ventilação, com isolamento [REHVA, 2004 (Adaptado)]

Deve ficar claro que essa abordagem, tendo isolamento eficaz, é eficiente na redução da exposição à PTA apenas no ambiente comum onde o fumo não é permitido: na área isolada para fumantes, a qualidade do ar não é controlada. Não há sistema de ventilação que controle ou reduza significativamente os riscos impostos pela exposição à PTA em ambientes onde o fumo é permitido. Projetos de limpeza do ar podem reduzir em algum grau o odor e a irritação sensorial impostos pela exposição nesses ambientes.

- Ausência de áreas para fumantes: A total eliminação do fumo em ambientes interiores, sem exceção para “fumódromos” de qualquer tipo, é a única abordagem eficiente no controle da qualidade do ar. Fumar deve ser permitido apenas ao ar livre, e a localização das áreas permitidas deve evitar a proximidade de portas, janelas e tomadas de ar do prédio.

Assim, sobre a questão ventilação e PTA, posicionou-se a REHVA em 2004 [REHVA, 2004, p. 13, p. 14, traduzido]:

A primeira prioridade no controle da qualidade do ar é sempre remover a fonte dos poluentes, ou seja, tratando-se de assegurar boa qualidade do ar, nada pode ser comparado à proibição do fumo.

Mesmo o melhor sistema de ventilação possível não resultará na redução dos compostos químicos nocivos da fumaça do tabaco a um nível de zero absoluto. Mas, dependendo do

sistema escolhido, é possível reduzir a concentração dos compostos contaminantes a uma fração do nível original. Deve-se considerar que o princípio de “concentração máxima permitida” é prática comum em muitas áreas quanto se trata da qualidade do ar. Porém, não existe “concentração máxima permitida” baseada na saúde para a poluição tabagística ambiental.

E é a posição da ASHRAE [ASHRAE, 2005, p. 6, traduzido]:

Atualmente, a única maneira de eliminar os riscos à saúde associados à exposição em ambientes interiores é banir por completo o fumo nesses ambientes.

Embora a completa separação e isolamento das áreas para fumantes possa controlar a exposição nos ambientes do prédio onde o fumo não é permitido, os efeitos adversos à saúde dos ocupantes das áreas para fumantes não podem ser controlados pela ventilação.

Nenhuma outra abordagem de engenharia, incluindo ventilação normal ou avançada por mistura de ar, “cortinas de ar” ou tecnologias de limpeza de ar, demonstrou controlar ou deve ser confiada no controle dos riscos à saúde impostos pela exposição em ambientes onde o fumo ocorre, embora algumas abordagens possam reduzir essa exposição e tratar do odor e de algumas formas de irritação.

2.5 Recapitulação e conclusão

Este capítulo compilou as bases da poluição tabagística ambiental: o cigarro, o fumar, a fumaça e a questão ventilação e PTA.

A base científica é clara quanto à poluição tabagística ambiental: a fumaça do tabaco é agente cancerígeno em humanos e não há nível seguro de exposição a ela. A ventilação não soluciona o problema da exposição, e a abordagem eficiente no controle da qualidade do ar de ambientes interiores é a proibição do fumo.

Capítulo 3

LEIS E NORMAS BRASILEIRAS

Este capítulo revisa as leis e normas brasileiras referentes à qualidade do ar de ambientes interiores onde o fumo é permitido.

3.1 Legislação federal

O primeiro registro de tentativa de restrição da poluição tabagística ambiental é a portaria 3.257 de 1988 dos Ministérios do Trabalho e da Saúde [Ministério do Trabalho e Ministério da Saúde, 1988]. Ela recomenda que em todos ambientes de trabalho sejam adotadas medidas restritivas ao fumo, especialmente em ambientes interiores com ventilação natural reduzida ou dotados de sistemas de condicionamento do ar, porém autoriza a delimitação de áreas restritas para o fumo nas empresas que implantarem medidas de desestímulo ao tabagismo. Não faz especificações sobre isolamento e arejamento dessas áreas.

A proibição do fumo em recintos coletivos foi determinada em 1996 pela lei 9.294, que dispõe sobre as restrições ao uso e à propaganda de produtos fumígenos, bebidas alcoólicas, medicamentos, terapias e defensivos agrícolas [Brasil, 1996a]:

Art. 2º É proibido o uso de cigarros, cigarrilhas, charutos, cachimbos ou de qualquer outro produto fumífero, derivado ou não do tabaco, em recinto coletivo, privado ou público, salvo em área destinada exclusivamente a esse fim, devidamente isolada e com arejamento conveniente.

§ 1º Incluem-se nas disposições deste artigo as repartições públicas, os hospitais e postos de saúde, as salas de aula, as bibliotecas, os recintos de trabalho coletivo e as salas de teatro e cinema.

§ 2º É vedado o uso dos produtos mencionados no *caput* nas aeronaves e veículos de transporte coletivo.

Originalmente o segundo parágrafo previa a liberação do fumo quando transcorrida uma hora de viagem e houvesse nos meios de transporte parte especialmente reservada aos fumantes. A proibição veio somente em 2000, com a alteração pela lei 10.167 [Brasil, 2000].

Embora a lei restrinja o fumo a áreas devidamente isoladas e com arejamento conveniente, não faz especificações sobre o isolamento e o arejamento dessas. Algumas especificações, bem como definições, foram feitas no decreto 2.018 de 1996, que a regulamentou [Brasil, 1996b]:

Art. 2º Para os efeitos deste Decreto são adotadas as seguintes definições:

I - RECINTO COLETIVO: local fechado destinado a permanente utilização simultânea por várias pessoas, tais como casas de espetáculos, bares, restaurantes e estabelecimentos similares. São excluídos do conceito os locais abertos ou ao ar livre, ainda que cercados ou de qualquer forma delimitados em seus contornos;

II - RECINTOS DE TRABALHO COLETIVO: as áreas fechadas, em qualquer local de trabalho, destinadas a utilização simultânea por várias pessoas que nela exerçam, de forma permanente, suas atividades;

III - AERONAVES E VEÍCULOS DE TRANSPORTE COLETIVO: aeronaves e veículos como tal definidos na legislação pertinente, utilizados no transporte de passageiros, mesmo sob forma não remunerada.

IV - ÁREA DEVIDAMENTE ISOLADA E DESTINADA EXCLUSIVAMENTE A ESSE FIM: a área que no recinto coletivo for exclusivamente destinada aos fumantes, separada da destinada aos não-fumantes por qualquer meio ou recurso eficiente que impeça a transposição da fumaça.

Art. 3º É proibido o uso de produtos fumígenos em recinto coletivo, salvo em área destinada exclusivamente a seus usuários, devidamente isolada e com arejamento conveniente.

Parágrafo único. A área destinada aos usuários de produtos fumígenos deverá apresentar adequadas condições de ventilação, natural ou artificial, e de renovação do ar, de forma a impedir o acúmulo de fumaça no ambiente.

Art. 4º Nos hospitais, postos de saúde, bibliotecas, salas de aula, teatro, cinema e nas repartições públicas federais somente será permitido fumar se houver áreas ao ar livre ou recinto destinado unicamente ao uso de produtos fumígenos.

Parágrafo único. Nos gabinetes individuais de trabalho das repartições públicas federais será permitido, a juízo do titular, uso de produtos fumígenos.

Art. 6º A inobservância do disposto neste Decreto sujeita o usuário de produtos fumígenos à advertência e, em caso de reincidência, sua retirada do recinto por responsável pelo mesmo, sem prejuízo das sanções previstas na legislação local.

Determinou-se, então, que o isolamento das áreas para fumantes deve ser feito com um meio ou recurso que impeça a transposição da fumaça (não necessariamente material, mas eficiente) e que o arejamento deve ser tal que impeça o acúmulo dela. É responsabilidade do estabelecimento sua adequação à lei, incluindo advertir clientes que não estejam a respeitando. Porém, os responsáveis pela fiscalização de infrações nos estabelecimentos e as penalidades não são determinados (apenas para a parte da lei referente à propaganda, responsabilidade da autoridade sanitária municipal).

Após a lei proibitiva de 1996, somente reiteraões sobre a proibição surgiram na legislação. Em 1998 a portaria 2.818/GM do Ministério da Saúde proibiu o fumo em todas suas dependências, portaria essa reiterada pela portaria 300/GM de 2006, instituindo o programa Ministério da Saúde Livre do Tabaco [Ministério da Saúde, 2006]. Em 2002 a portaria 1.498 dos Ministérios da Saúde e da Educação recomendou às instituições de saúde e de ensino a implantação de programas de ambientes livres de fumo [Ministério da Saúde e Ministério da Educação, 2002].

Em 2006, o decreto 5.658 promulgou a Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco no país, firmando compromisso político de implementar medidas efetivas para proteger a população da exposição à fumaça do tabaco.

3.2 A Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco

A Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco é o primeiro tratado global de saúde pública da história da Organização Mundial da Saúde, com o objetivo de “proteger as gerações presentes e futuras das devastadoras consequências sanitárias, sociais, ambientais e econômicas geradas pelo consumo e pela exposição à fumaça do tabaco”. Foi adotada pelos países membros da Organização em 21 de maio de 2003 e assinada pelo Brasil em 16 de junho do mesmo ano [Brasil, 2006]. Em agosto do mesmo ano foi criada por decreto a Comissão Nacional para Implementação da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco e de seus Protocolos [Brasil, 2003]. O tratado, porém, só foi ratificado pelo país mais de dois anos após a assinatura, em três de novembro de 2005, e foi promulgado em dois de janeiro de 2006 pelo decreto 5.658, entrando em vigor em primeiro de fevereiro do mesmo ano, com ele já em vigor internacionalmente desde 27 de fevereiro de 2005. Seu artigo oito trata da proteção contra a exposição à fumaça do tabaco [Brasil, 2006]:

1. As Partes reconhecem que a ciência demonstrou de maneira inequívoca que a exposição à fumaça do tabaco causa morte, doença e incapacidade.
2. Cada Parte adotará e aplicará, em áreas de sua jurisdição nacional existente, e conforme determine a legislação nacional, medidas legislativas, executivas, administrativas e/ou outras medidas eficazes de proteção contra a exposição à fumaça do tabaco em locais fechados de trabalho, meios de transporte público, lugares públicos fechados e, se for o caso, outros lugares públicos, e promoverá ativamente a adoção e aplicação dessas medidas em outros níveis jurisdicionais.

Na promulgação da Convenção, o país firmou o compromisso de executá-la e cumpri-la tão inteiramente como nela se contém. Assim, a restrição ao fumo em ambientes interiores é uma obrigação do país, e deve ser feita guiada pelas diretrizes acordadas em conferência pelos países parte do tratado (Conferência das Partes). As diretrizes referentes ao artigo oito estabelecem que a medida eficaz para seu cumprimento é a total eliminação do fumo em ambientes interiores, sem exceção para “fumódromos” de qualquer tipo [WHO, 2007]. Também estabelecem que os países parte do tratado devem providenciar o cumprimento do artigo em até cinco anos de sua promulgação no país, o que dá o prazo de até janeiro de 2011 para o Brasil adequar a lei federal proibitiva de 1996. O Ministério da Saúde encaminhou em

fevereiro de 2008 um projeto de modificação da lei à Casa Civil, ainda sem desfecho [ACT, 2008a].

3.3 Leis locais de ambientes livres de fumo

Com a entrada em vigor da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco no país em 2006, alguns municípios e estados anteciparam-se às medidas federais e estabeleceram leis próprias de ambientes livres de fumo. O maior exemplo disso é a lei 13.541 de sete de maio de 2009 do estado de São Paulo [São Paulo, 2009], que tornou São Paulo o primeiro estado brasileiro a implementar uma lei de ambientes interiores 100% livres da fumaça do tabaco.

A cada nova lei local, a indústria do tabaco procura desencorajar esse tipo de medida requerendo sua suspensão com argumentos de inconstitucionalidade pela sobreposição à lei federal. Porém, a Constituição Federal [Brasil, 1988] dá competência comum para união, estados e municípios tratarem da proteção ao meio ambiente e combate à poluição em qualquer de suas formas (artigo 23, VI), e dá competência aos estados para legislar concorrentemente sobre a proteção e defesa da saúde (artigo 24, XII), questões essas envolvidas na problemática da poluição tabagística ambiental. Assim, podem municípios e estados ampliar os limites mínimos dados pela lei federal. O decreto que a regulamentou inclusive ressalta [Brasil, 1996b]:

Art. 27. O disposto neste Decreto não exclui a competência suplementar dos Estados e Municípios em relação à Lei nº 9.294, de 1996.

Assim, leis locais são legítimas.

3.4 Normas referentes à qualidade do ar de ambientes interiores

Em 1999 a lei 9.782 definiu o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária e criou a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), com o intuito de promover a proteção da saúde da população [Brasil, 1999]. Competindo a ela a regulamentação, controle e fiscalização dos produtos e serviços de interesse para a saúde ou que envolvam risco à saúde pública, é ela a responsável pelo controle e fiscalização de, entre outros, cigarros, cigarrilhas, charutos ou qualquer outro produto fumígeno derivado ou não do tabaco. Cabe à Anvisa o

estabelecimento de normas e padrões sobre limites de contaminantes, resíduos tóxicos e outros que envolvam risco à saúde. A PTA é citada na orientação técnica sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo (resolução RE 9) como agente químico [ANVISA, 2003]. As medidas de correção recomendadas são o aumento da quantidade de ar externo admitido para renovação e/ou exaustão dos poluentes e a restrição do fumo, sendo o proprietário do estabelecimento o responsável pela correção. O fumo também é citado como fonte de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrogênio e material particulado. A medida de correção recomendada é, novamente, a restrição. É estabelecido o teto de 1000 ppm para dióxido de carbono e de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado (aerodispersóides).

Em setembro de 2006 a Anvisa instituiu pela portaria 527 um grupo de trabalho com o objetivo de elaborar uma resolução sobre o funcionamento das áreas com fumo permitido pela lei federal proibitiva de 1996 [ANVISA, 2006a]. Também instituiu pela portaria 528 um grupo para capacitar os profissionais de vigilância sanitária para a fiscalização da lei (cabe a ela o acompanhamento e a execução das políticas, diretrizes e ações de vigilância sanitária) [ANVISA, 2006b]. A proposta de resolução entrou em consulta pública em abril de 2007 (consulta pública 29), propondo uma abordagem de áreas para fumantes em ambientes separados e isolados: propondo o total isolamento das áreas, estabelecendo padrões mínimos para seu uso — somente para fumar — e especificando um sistema de ventilação [ANVISA, 2007]. Porém, a proposta não teve desfecho.

3.5 Análise

A base científica é clara quanto à poluição tabagística ambiental: a fumaça do tabaco é agente cancerígeno em humanos e não há nível seguro de exposição a ela. A ventilação não soluciona o problema da exposição, e a abordagem eficiente no controle da qualidade do ar de ambientes interiores é a proibição do fumo.

A lei federal 9.294 de 1996, ao não fazer especificações sobre o isolamento e o arejamento das áreas para fumantes, estabeleceu uma abordagem de áreas para fumantes em ambientes separados mas não isolados (ou mesmo de fumantes e não-fumantes em um mesmo ambiente), que se sabe não ser eficiente na redução da exposição à PTA no ambiente comum onde o fumo não é permitido. A norma referente à qualidade do ar de ambientes interiores menciona restrição do fumo mas também não faz especificações. A abordagem proposta pela

Anvisa em 2007, de áreas para fumantes em ambientes separados e isolados, se posta em prática de maneira correta seria eficiente na redução da exposição à PTA no ambiente comum onde o fumo não é permitido (e só nele, não na área para fumantes), mas a proposta não teve desfecho e segue estabelecida por lei uma abordagem ineficaz. Com a promulgação da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco no país em 2006, porém, as discussões sobre como fazer a separação de áreas para fumantes em ambientes interiores tornaram-se fora de propósito, pois foi firmando compromisso político de implementar medidas efetivas para proteger a população da exposição à fumaça do tabaco, e os países parte do tratado, entre eles o Brasil, acordaram que a medida eficaz é a total eliminação do fumo em ambientes interiores, sem exceção para “fumódromos” de qualquer tipo.

Pelo acordo, o Brasil tem o prazo de até janeiro de 2011 para adequar a lei federal 9.294. O Ministério da Saúde encaminhou em fevereiro de 2008 um projeto de modificação da lei à Casa Civil, ainda sem desfecho. Enquanto a mudança não é posta em prática no nível federal, algumas cidades e estados se adiantam e estabelecem suas próprias leis locais de ambientes livres de fumo, medidas corretas muitas vezes suspensas com argumentos de inconstitucionalidade pela sobreposição à lei federal. Mas explica a Aliança de Controle do Tabagismo, organização não-governamental atuante no tema [ACT, 2008b, p. 3]:

O objetivo das legislações que promovem ambientes livres de fumo é proteger a saúde, a vida e o meio ambiente. Assim, para suplementar a legislação federal pode, o ente federativo, ampliar essa proteção de forma a ampliar os lugares em que não se pode fumar. Principalmente por haver tratado internacional exatamente nesse sentido, a CQCT. É o que decidiu o Supremo Tribunal Federal quando, na ação direta de inconstitucionalidade no. 3739, manteve liminarmente a Lei Paulista no. 12.684/2007, que proíbe o uso de amianto no Estado. De acordo com o Ministro Cezar Peluso, a questão não deveria ser posta no âmbito de eventual conflito de competência entre União e Estado, mas no reconhecido perigo à saúde quanto ao uso do amianto, fato atestado pelo Brasil no âmbito de uma convenção internacional.

O PL 577/2008, a exemplo das legislações que vêm sendo aprovadas no Brasil e no mundo, não proíbe o fumo nem afronta qualquer direito individual dos fumantes. O que faz a legislação é disciplinar os locais em que se pode, e aqueles em que não se pode fumar. E sua justificativa é justíssima: não se pode impor aos não fumantes, trabalhadores ou frequentadores de ambientes coletivos fechados, a exposição à fumaça do tabaco que, já se comprovou, é a terceira causa evitável de mortes no mundo. Da mesma forma que não se pode utilizar veículos automotores nas praias ou em ruas fechadas para o seu acesso, também não se pode fumar em locais coletivos fechados. Tanto o automóvel quanto o cigarro continuam sendo produtos lícitos, e seu uso autorizado, mas com as devidas limitações em razão dos malefícios que podem causar.

Sustentar a lei federal é atrapalhar a colocação em prática de um tratado internacional de saúde pública assinado e promulgado pelo país, e não se deve focar essa questão em outro ponto que não seja a saúde pública, principalmente a saúde dos que trabalham em ambientes onde o fumo é permitido e que não têm opção de não se exporem à PTA no ambiente de

trabalho. Quando o fumo é permitido no ambiente de trabalho, o responsável pelo estabelecimento não está atendendo à Consolidação das Leis Trabalhistas, que atribui à empresa o cumprimento das normas de segurança e medicina do trabalho e a instrução dos empregados quanto às precauções a tomar no sentido de evitar acidentes de trabalho ou doenças ocupacionais [INCA, 2005].

A base científica sobre a questão ventilação e PTA aponta a proibição do fumo em ambientes interiores, e a população é favorável às leis de ambientes livres de fumo. Argumenta a Aliança de Controle do Tabagismo [ACT, 2008b, p. 5]:

Mais do que o reconhecimento científico dos malefícios do fumo passivo, a restrição do fumo em lugares fechados conta com o apoio maciço da população. Pesquisa nacional realizada pelo Instituto Datafolha em Março de 2008 mostra que 88% da população brasileira e 80% dos fumantes reprovam o fumo em ambientes fechados, sendo que 95% têm conhecimento de que o tabagismo passivo traz malefícios à saúde. Em pesquisa anterior do mesmo instituto (novembro/2007), realizada com a população do estado de São Paulo, o resultado foi ainda mais contundente: 88% da população e 85% dos fumantes apóiam a restrição ao fumo em locais fechados. A Agência Estado divulgou recente pesquisa em que 90% da população paulista aprovam o PL 577/2008. A Folha de São Paulo acaba de divulgar mais uma pesquisa de opinião em apoio à medida contida no PL 577/2008: 81% dos brasileiros o aprovam. Por outro lado, 77% dos brasileiros acham que o Presidente Lula “agiu mal” ao defender o “uso do fumo em qualquer lugar”. A população está, portanto, plenamente preparada para a medida. A pergunta que fica é: a quem interessa impedir sua adoção?

O Instituto Nacional de Câncer compila a legislação referente ao tabagismo na publicação *Legislação Federal Vigente Sobre Tabaco no Brasil* [INCA, 2007].

3.6 Recapitulação e conclusão

Este capítulo revisou as leis e normas brasileiras referentes à qualidade do ar de ambientes interiores onde o fumo é permitido.

As leis e normas brasileiras, prevendo áreas para fumantes em ambientes separados mas não isolados, não estão alinhadas à base científica sobre a questão ventilação e poluição tabagística ambiental, que aponta a proibição do fumo nesses ambientes. Estando em vigor no país a Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco, promulgada por decreto em 2006, deveria estar em vigor uma lei federal de ambientes livres de fumo.

Capítulo 4

PROJETO CONVIVÊNCIA EM HARMONIA

Este capítulo analisa, por modelagem física e experimentação em escala reduzida, o sistema de separação de áreas para fumantes e não-fumantes por ventilação proposto pelo projeto Convivência em Harmonia. Um modelo físico foi construído para representação do protótipo da orientação do projeto, e a qualidade do ar das duas áreas foi comparada.

4.1 O projeto

Convivência em Harmonia (*Courtesy of Choice*) é um projeto da Philip Morris Internacional que visa à separação de ambientes em áreas para fumantes e para não-fumantes por ventilação (Figura 4.1). Iniciado nos Estados Unidos em 1989 como uma campanha de relações públicas (*Accommodation Program*), em 1994 ganhou apoio da então Associação Internacional de Hotéis e se espalhou pela América Latina, Ásia e Europa [Dearlove *et al.*, 2002].



Figura 4.1 — Símbolo do projeto Convivência em Harmonia [Souza Cruz, 1996a (Adaptado)]

O projeto chegou ao Brasil em 1996 patrocinado pela Souza Cruz, a empresa líder no mercado nacional de cigarros, e apoiado pela Associação Brasileira de Bares e Restaurantes (Abrasel), pela Associação Brasileira de Gastronomia, Hospedagem e Turismo (Abresi) e pela Associação Brasileira da Indústria de Hotéis (ABIH) [Sebrié e Glantz, 2007]. É apresentado como um trabalho de assessoria técnica para elaboração de projetos de separação de ambientes com ventilação adequada e envolvimento e treinamento dos funcionários de bares, restaurantes e hotéis em todos estados brasileiros [Souza Cruz, 2006]. Os sites das associações já não fazem menção a ele, mas a Abrasel lista a Souza Cruz como parceira e menciona seu conceito quando se pronuncia sobre leis de ambientes livres de fumo. Informações sobre o projeto e dois livretos são disponibilizados no site da Souza Cruz: *Administrando um Assunto em Evolução* e *O Uso Eficiente da Ventilação* [Souza Cruz, 1996a, 1996b]. A relação disponível de participantes é de 2003 e lista 1.305 restaurantes e 263 hotéis [Souza Cruz, 2003].

A orientação para a separação de ambientes está apoiada no princípio dos escoamentos darem-se de zonas de maior pressão para zonas de menor pressão. A indicação é localizar as áreas para não-fumantes nas zonas de insuflamento (maior pressão) e as para fumantes nas de exaustão (menor pressão), de modo ao escoamento do ar dar-se da área sem fumo para a área com fumo (Figura 4.2). A área entre as duas zonas é considerada uma área intermediária, a ser aumentada ou diminuída de acordo com a demanda dos clientes. Barreiras visuais entre as áreas são previstas, pois não sendo capazes de ver a fumaça seria menor a probabilidade dos não-fumantes se incomodarem. É sugerido o uso de vasos de plantas que possam ser mudados de posição, arranjos de flores e divisórias parciais (Figura 4.3). A orientação é aplicada para ventilação natural e mecânica. Diferentes sistemas são introduzidos, e o de ventilação por deslocamento térmico é destacado como altamente eficaz: o ar é insuflado ao nível do piso à baixa velocidade e à temperatura menor que a do ambiente, aquece-se pela presença de pessoas, luzes e equipamentos e ascende pela diferença de pressão, sendo o movimento dos poluentes direto para a exaustão (Figura 4.4). Independente do sistema utilizado é indicada a consulta a um profissional de ventilação para a análise de seu funcionamento e das conformidades com as normas vigentes [Souza Cruz, 1996a, 1996b].

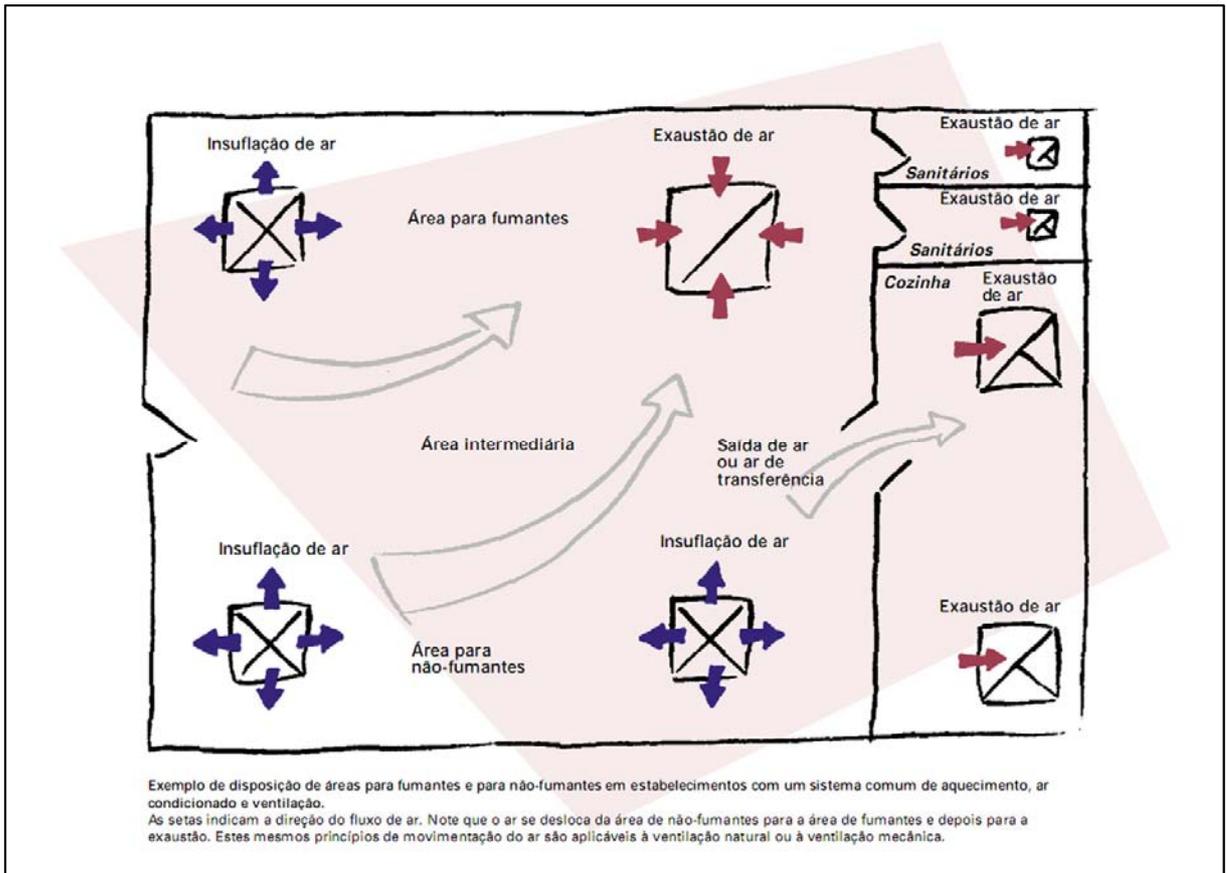


Figura 4.2 — Orientação para a separação das áreas [Souza Cruz, 1996b]



Figura 4.3 — Barreira visual entre as áreas [Souza Cruz, 1996a]

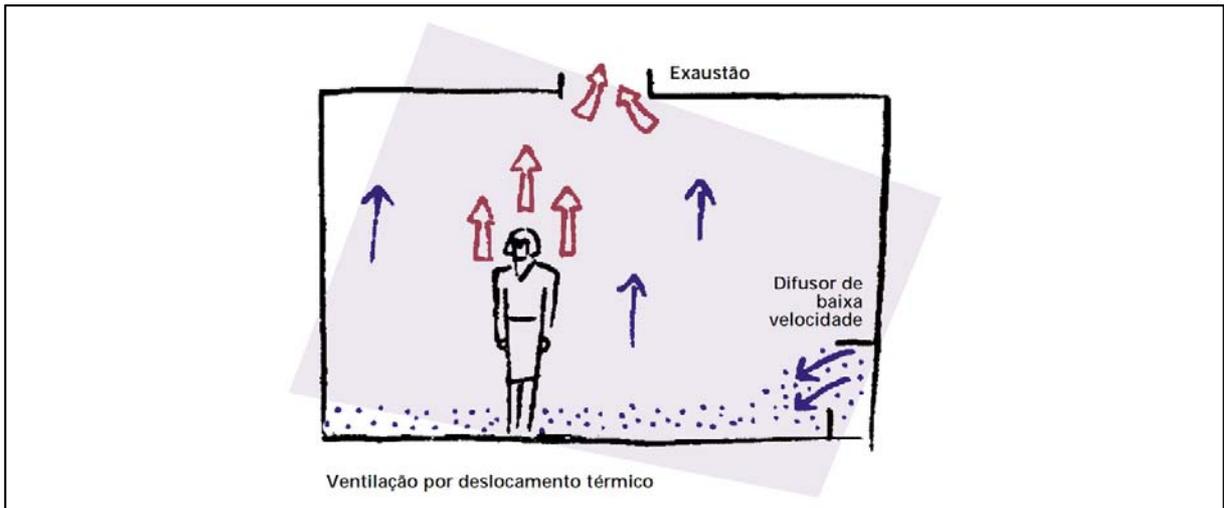


Figura 4.4 — Ventilação por deslocamento térmico [Souza Cruz, 1996b]

4.2 Estudo do sistema

A orientação do projeto para a separação de áreas para fumantes e não-fumantes por ventilação foi analisada por modelagem física e experimentação em escala reduzida. No estudo de ambientes interiores, experimentos em escala reduzida são interessantes, pois o espaço menor é de melhor controle. O estudo em escala facilita a aquisição de dados, que são posteriormente transpostos pela relação de escala para descreverem o fenômeno em tamanho real. Para que essa descrição seja válida, similaridade entre os dois tamanhos deve ser guardada [Walker, 2006]. As questões de similaridade e os parâmetros adimensionais relevantes para estudos em escala de qualidade do ar e poluição em ambientes interiores foram revisadas e uma metodologia para projetos desse tipo de experimento foi proposta. Um modelo físico em escala 1:5 foi construído no Laboratório de Ensaio Térmico e Aerodinâmico (LETA) para representação do protótipo da orientação do projeto, e a qualidade do ar das duas áreas foi comparada. As situações sem e com barreira de separação entre as áreas foram representadas. A escala reduzida possibilitou o uso do monóxido de carbono como marcador da PTA, em desuso em ambientes reais devido à sua rápida diluição no ar. A concentração de partículas finas também foi acessada.

4.2.1 Modelagem

O conceito de modelagem segundo Sedov [1993] é a substituição da investigação de um fenômeno em condições naturais (protótipo) pela investigação de um fenômeno similar em escala sob condições definidas (modelo). Dois fenômenos são similares se das características de um é possível inferir as características do outro por transposição por uma relação de escala. Essas características são relações entre variáveis relevantes do fenômeno, deduzidas por análise dimensional, gerando parâmetros adimensionais. Essa análise pode ser feita pelo teorema Pi de Buckingham, por análise da física do problema e por análise das equações governantes, dividindo as variáveis por suas respectivas referências [Gulliver, 2007]. Isso possibilita a identificação das forças dominantes [Fox *et al.*, 2006]. Identificados os parâmetros relevantes, relações empíricas podem ser estabelecidas entre eles, gerando curvas com formas semelhantes que teoricamente podem também ser utilizadas no estudo de outros fenômenos semelhantes — teoria da similaridade [Stull, 1988]. A condição necessária e suficiente para que dois fenômenos sejam similares é que os valores numéricos dos parâmetros adimensionais relevantes sejam constantes — critério de similaridade [Sedov, 1993].

A modelagem baseada na teoria da similaridade tornou-se conhecida com o trabalho de Reynolds em hidráulica, publicado em 1883 [Sedov, 1993]. O número de Reynolds, que relaciona forças inerciais e viscosas, tornou-se o parâmetro adimensional mais conhecido e útil da mecânica de fluidos [Ting, 2007]. Na simulação da qualidade do ar e da poluição atmosférica, a modelagem física iniciou na década de 70, com estudos em túneis de vento e em tanques de água [Wittwer, 2006]. Na simulação de ambientes interiores, a modelagem física é utilizada também pelo menos desde a década de 70 [Zhao *et al.*, 1999]. Os fluidos de trabalho comuns são o ar, a água e misturas de água salgada. As escalas variam de 1:1 a 1:120 e são geralmente definidas em função do espaço e do instrumental disponíveis para o experimento [Walker, 2006].

O critério de similaridade garante as condições de semelhança que devem ser guardadas para que o modelo em escala descreva corretamente o protótipo em tamanho real: semelhança geométrica (formas), semelhança cinemática (velocidades) e semelhança dinâmica (forças). Semelhança cinemática requer semelhança geométrica, e semelhança dinâmica requer semelhança cinemática, mas é assegurada apenas se os valores numéricos dos parâmetros adimensionais relevantes ao fenômeno forem constantes entre modelo e protótipo [Fox *et al.*, 2006]. A similaridade completa é garantida, então, se o modelo e o protótipo forem

geometricamente semelhantes e os parâmetros adimensionais forem os mesmos para os dois [Ting, 2007]. Um projeto de experimento em escala para estudos de qualidade do ar e poluição em ambientes interiores deve começar, então, pelas considerações para a semelhança geométrica, e então passar aos parâmetros relativos à qualidade do ar, aos relativos à poluição e às considerações sobre o tempo.

- Semelhança geométrica: A semelhança geométrica é a condição mais simples de ser guardada entre modelo e protótipo: definida a escala de redução ($1:e$), basta dividir todas dimensões lineares do protótipo pelo valor numérico da escala (e) para ter as dimensões do modelo. Todas dimensões devem ser diminuídas proporcionalmente nos três eixos pelo mesmo fator: todas dimensões das superfícies e também das aberturas (Figura 4.5). A falta de semelhança geométrica implica em diferentes padrões de escoamento do ar entre modelo e protótipo [Walker, 2006].

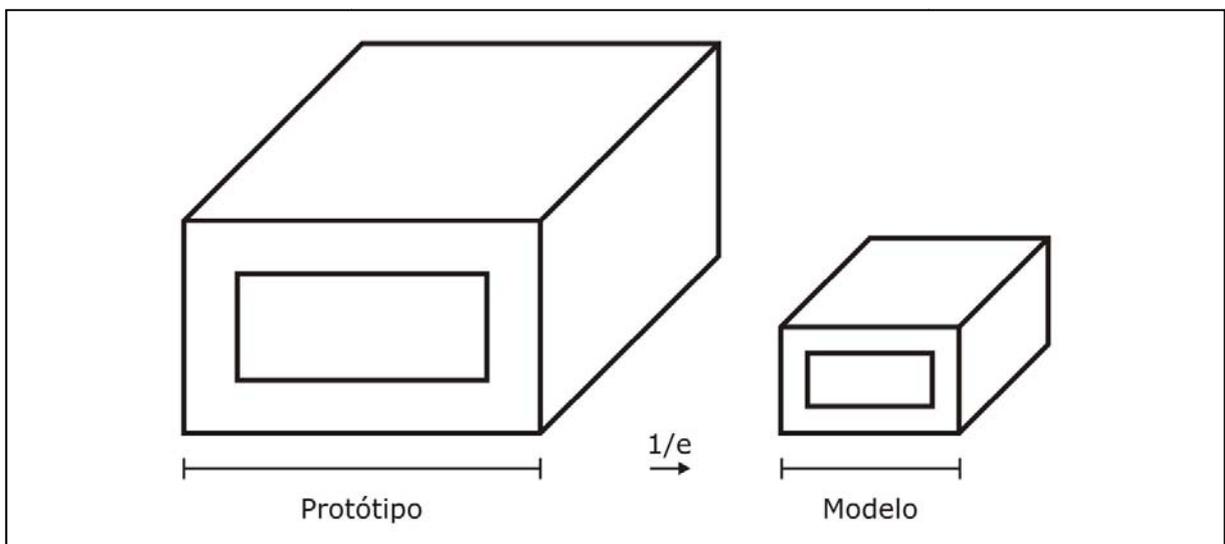


Figura 4.5 — Semelhança geométrica

- Parâmetros relativos à qualidade do ar: A qualidade do ar de um ambiente interior é diretamente influenciada pelo sistema de ventilação, que rege o escoamento do ar, sua mistura e a conseqüente dispersão dos poluentes. O padrão do escoamento será resultado da interação entre as características do ambiente, como tipo do insuflamento e da exaustão, disposição da mobília e ocupação [Sekhar e Willem, 2004]. Nessas circunstâncias de velocidades bem abaixo de 100 m/s, o ar é assumido um fluido incompressível [Gravemeier, 2003]. As equações governantes do escoamento de fluidos viscosos e newtonianos são as de

conservação da massa (continuidade), balanço de forças (Navier-Stokes) e conservação da energia. Na forma incompressível [Gulliver, 2007; Schlichting, 1979]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= \frac{1}{\rho} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= \frac{1}{\rho} Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= \frac{1}{\rho} Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\rho c} S \quad (3)$$

onde u , v e w são componentes da velocidade [m/s], x , y e z são coordenadas cartesianas [m], t é o tempo [s], ρ é a massa específica [kg/m³], X , Y e Z são forças de campo [N/m³], p é a pressão [N/m²], ν é a viscosidade cinemática [m²/s], T é a temperatura [K], α é a difusividade térmica [m²/s], c é o calor específico [J/kgK] e S é a fonte [J/m³s]. Considerando as variáveis de referência para a adimensionalização de velocidade, comprimento, tempo, pressão e temperatura, as equações governantes adimensionais são [Gulliver, 2007]:

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = 0 \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial u^*}{\partial z^*} \right) &= \frac{L}{U^2 \rho} X - \frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{\nu}{UL} \left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial z^{*2}} \right) \\ \left(\frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial v^*}{\partial z^*} \right) &= \frac{L}{U^2 \rho} Y - \frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{\nu}{UL} \left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial z^{*2}} \right) \\ \left(\frac{\partial w^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial w^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial w^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial w^*}{\partial z^*} \right) &= \frac{L}{U^2 \rho} Z - \frac{\partial p^*}{\partial z^*} + \frac{\nu}{UL} \left(\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial z^{*2}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\frac{UL}{\alpha} \left(\frac{\partial T^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right) = \left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial z^{*2}} \right) + \frac{L^2}{\rho c \theta \alpha} S \quad (6)$$

onde u^* , v^* , w^* , x^* , y^* , z^* , t^* , p^* e T^* são variáveis adimensionalizadas [-], U é a velocidade de referência [m/s], L é o comprimento de referência [m] e θ é a temperatura de referência [K]. Atuando somente a gravidade (g) em Z na Equação 5, do termo de força de campo resta:

$$\frac{L}{U^2 \rho} Z = \frac{L}{U^2 \rho} (\rho g) = \frac{gL}{U^2} \quad (7)$$

No caso de ventilação por deslocamento térmico, atua também o empuxo vertical por convecção térmica [Walker, 2006]:

$$\frac{L}{U^2 \rho} Z = \frac{L}{U^2 \rho} (\rho g \beta \Delta T) = \frac{g \beta \Delta T L}{U^2} \quad (8)$$

onde β é o coeficiente de expansão térmica [1/K].

Nesses termos de força resultantes para cada caso de ventilação, identifica-se o parâmetro adimensional número de Richardson (Ri). Nas equações governantes, também são identificados os números de Reynolds (Re), Peclet (Pe) e Prandtl (Pr) [Gulliver, 2007; Walker, 2006; White, 1998]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{gL}{U^2} &= \frac{1}{Fr^2} = Ri \\ \frac{g \beta \Delta T L}{U^2} &= \frac{g \beta \Delta T L^3}{v^2 U^2 L^2} = \frac{Gr}{Re^2} = Ri \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\frac{v}{UL} = \frac{1}{Re} \quad (10)$$

$$\frac{UL}{\alpha} = Pe \quad (11)$$

$$\frac{L^2}{\rho c \theta \alpha} = \frac{L^2}{\mu c \theta} \frac{\nu}{\alpha} = \frac{L^2}{\mu c \theta} Pr \quad (12)$$

onde Fr é o número de Froude [-], Gr é o número de Grashof [-] e μ é a viscosidade dinâmica [kg/ms]. O número de Froude, assim como o número de Richardson, relaciona forças inerciais e gravitacionais, e é usado no estudo de interfaces líquido-gás: escoamentos com superfície livre, sem tensões de cisalhamento [Staquet e Bouruet-Aubertot, 2001; White, 1998]. O número de Grashof relaciona empuxo e viscosidade. O número de Prandtl, que relaciona dissipação viscosa e dissipação térmica, é função intrínseca do fluido, logo, se mantido o ar com mesma temperatura como fluido de trabalho do modelo, já está constante entre modelo e protótipo. Os parâmetros relevantes são, então, os números de Peclet, de Reynolds e de Richardson.

O número de Peclet, que relaciona taxas de advecção e difusão de calor, e o número de Reynolds, que relaciona forças inerciais e viscosas, são função da velocidade e do comprimento de referência. Para guardar semelhança geométrica entre modelo e protótipo, o comprimento do modelo deve ser dividido pelo valor numérico da escala. Assim, para manter a constância, a velocidade do modelo deve ser multiplicada pelo valor numérico da escala (o índice M refere-se ao modelo e o índice P ao protótipo):

$$\left(eU \frac{L}{e} \right)_M = (UL)_M = (UL)_P \quad (13)$$

O número de Richardson é função do comprimento e da velocidade de referência. No caso de convecção térmica, relaciona convecção natural e forçada, e é função também da diferença de temperatura. Para guardar semelhança geométrica, a velocidade ao quadrado deve ser dividida pelo valor numérico da escala. Manter a constância dos números de Peclet e de Reynolds só é possível no caso de convecção térmica, multiplicando a diferença de temperatura pelo valor numérico da escala ao cubo para compensar a velocidade, pois no caso gravitacional os parâmetros são incompatíveis:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{1}{e^2 U^2} \frac{L}{e} \right)_M &= \left(\frac{L}{e^3 U^2} \right)_M \neq \left(\frac{L}{U^2} \right)_M \neq \left(\frac{L}{U^2} \right)_P \\ \left(\frac{e^3 \Delta T}{e^2 U^2} \frac{L}{e} \right)_M &= \left(\frac{\Delta T L}{U^2} \right)_M = \left(\frac{\Delta T L}{U^2} \right)_P \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Mesmo no caso de convecção térmica, dependendo da escala os parâmetros podem ser incompatíveis na prática. Walker [2006] exemplifica que em um modelo com escala 1:10 isso demandaria um aumento de dez vezes na velocidade e de mil vezes na diferença de temperatura.

Sendo impraticável manter todos parâmetros, o sistema de ventilação deve ser considerado para determinar quais devem ser mantidos: se o escoamento é sustentado por advecção ou por convecção térmica. As velocidades induzidas pela ventilação por deslocamento térmico são geralmente baixas e suprimidas pelas induzidas pela ventilação mecânica, a não ser que a velocidade do jato seja baixa. A preponderância é avaliada pelo número de Richardson: valores abaixo de 0,1 indicam preponderância da convecção forçada, acima de 10 da convecção natural e entre 0,1 e 10 não indicam preponderância [Kaminski e Jensen, 2005].

No caso de ventilação mecânica, provavelmente o escoamento regido pelo jato suprime o regido por possíveis diferenças de temperatura, então os números de Peclet e de Reynolds devem ser priorizados. No cálculo, a velocidade de referência deve ser a velocidade do jato e o comprimento de referência deve ser o diâmetro hidráulico do ambiente [Walker, 2006]. O diâmetro hidráulico (D_h) é dado por:

$$D_h = \frac{2xy}{x+y} \quad (15)$$

Semelhança incompleta do número de Richardson é mantida com números de Grashof entre 10^6 e 10^9 , tomando de comprimento de referência a altura do ambiente e de velocidade de referência a velocidade de empuxo [Walker, 2006]. A velocidade de empuxo (u_b) é dada por:

$$u_b = \sqrt{g\beta\Delta TL} \quad (16)$$

No caso de ventilação por deslocamento térmico, o escoamento é regido por diferenças de temperatura, então o número de Richardson deve ser priorizado, principalmente quando o escoamento for turbulento e completamente desenvolvido no modelo e no protótipo. No cálculo, o comprimento de referência deve ser a altura entre o insuflamento e a exaustão e a velocidade de referência deve ser a velocidade de empuxo. Semelhança incompleta do número de Reynolds é mantida para valores acima de 20.000, tomando também de velocidade

de referência a velocidade de empuxo e de comprimento de referência a altura entre o insuflamento e a exaustão. No cálculo para verificar se o escoamento é turbulento, o comprimento de referência deve ser o maior lado do insuflamento [Walker, 2006].

- Parâmetros relativos à poluição: A poluição em ambientes interiores também é influenciada pelo sistema de ventilação, pois ele rege o escoamento do ar, sua mistura e a consequente dispersão dos poluentes. Além das características do ambiente, a dispersão e logo a concentração são resultado das características da fonte de emissão e da natureza do poluente [Wittwer, 2006]. A equação governante da dispersão de poluentes é a de transporte de massa (difusão-advecção). Na forma incompressível [Gulliver, 2007; Riffel, 2007]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + S \quad (17)$$

onde C é a concentração [kg/m^3], D é a difusividade mássica [m^2/s] e S é a fonte [$\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$]. Considerando as variáveis de referência para a adimensionalização de concentração, tempo, velocidade e comprimento, a equação governante adimensional é [Gulliver, 2007]:

$$\frac{UL}{D} \left(\frac{\partial C^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial C^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial C^*}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial C^*}{\partial z^*} \right) = \left(\frac{\partial^2 C^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 C^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 C^*}{\partial z^{*2}} \right) + \frac{L^2}{DC_E} S \quad (18)$$

onde C^* é a variável adimensionalizada [-] e C_E é a concentração de equilíbrio [kg/m^3].

Analisando a equação resultante, o parâmetro adimensional número de Peclet é identificado [Gulliver, 2007]:

$$\frac{UL}{D} = Pe \quad (19)$$

O número de Peclet, que relaciona taxas de advecção e difusão, é função da velocidade e do comprimento de referência. Para guardar semelhança geométrica entre modelo e protótipo, o comprimento do modelo deve ser dividido pelo valor numérico da escala. Assim, para manter a constância, a velocidade do modelo deve ser multiplicada pelo valor numérico da escala:

$$\left(eU \frac{L}{e} \right)_M = (UL)_M = (UL)_P \quad (13)$$

Como comentado, essa condição é igual à da constância do número de Reynolds, e a mesma discussão sobre a impraticabilidade de conciliá-la com a constância do número de Richardson aplica-se. No cálculo, a velocidade de referência deve ser a velocidade de referência do parâmetro preponderante e o comprimento de referência deve ser o comprimento característico da dispersão (a altura do ambiente no caso de fumaças, por exemplo) [Gulliver, 2007].

Em estudos de poluição, a variável de interesse é a concentração, e o número de Peclet não é função dela. A concentração é geralmente dada em termos de massa por volume (M/V), e tendo o volume unidade de comprimento ao cubo ele deve ser dividido pelo valor numérico da escala ao cubo para guardar semelhança geométrica. Isso implica que a massa emitida deve também ser dividida pelo valor numérico da escala ao cubo para manter a constância:

$$\left(\frac{M}{e^3} \frac{e^3}{L^3} \right)_M = \left(\frac{M}{L^3} \right)_M = \left(\frac{M}{L^3} \right)_P \quad (20)$$

Diminuir a emissão pelo valor numérico da escala ao cubo pode ser outra condição impraticável. A literatura para similaridade de fontes trata de estudos em escala de dispersão atmosférica em túneis de vento, onde as fontes são chaminés construídas. Wittwer [2006] aponta como requisitos semelhança geométrica da fonte, igualdade do número de Froude, igualdade do número de Reynolds da fonte, igualdade da relação de massa específica e igualdade da relação entre as velocidades. Manter apenas a semelhança geométrica para, por exemplo, cigarros industrializados já seria complicado, ainda mais com uma redução do valor numérico da escala ao cubo. Um recurso é assumir os dados de concentração do modelo e^3 vezes maiores que os dados do protótipo, e na transposição dividi-los por e^3 . Essa lógica é a mesma da interpretação proposta por Obasaju e Robins [1998] para análise do campo de concentrações de estudos em escala de dispersão atmosférica (o índice P refere-se ao protótipo e o índice M ao modelo):

$$C_P = \left(\frac{Q}{uH^2} \right)_P \left(\frac{CuH^2}{Q} \right)_M \quad (21)$$

onde Q é a taxa de emissão [kg/s] e H é a profundidade do escoamento [m]. A taxa de emissão é uma vazão, dada em termos de massa por tempo. Em análise de escala, o tempo de referência é descrito em termos de comprimento por velocidade. Então:

$$C_P = \left(\frac{M}{L^3}\right)_P \left(\frac{C L^3}{M e^3}\right)_M \rightarrow C_P = \frac{C_M}{e^3} \quad (22)$$

- Considerações sobre o tempo: Como comentado, o tempo de referência é descrito em termos de comprimento por velocidade. A escala de tempo é proporcional a isso, e, sendo o comprimento reduzido no modelo, a escala de tempo é:

$$t_P = \left(\frac{L}{U}\right)_P \left(tU \frac{e}{L}\right)_M \rightarrow t_P = e t_M \quad (23)$$

Isso implica que o tempo no modelo é e vezes mais rápido que no protótipo: uma hora no protótipo equivale a e horas no modelo. Isso deve ser considerado no traçado das médias [Obasaju e Robins, 1998].

Assim, considerando a semelhança geométrica, os parâmetros relativos à qualidade do ar, os parâmetros relativos à poluição e o tempo, chegou-se a uma metodologia baseada na semelhança geométrica e nos parâmetros adimensionais número de Peclet, número de Reynolds e número de Richardson para estudos em escala de qualidade do ar e poluição em ambientes interiores. O modelo em escala deve ser geometricamente semelhante ao protótipo em tamanho real. Semelhança dos números de Peclet e de Reynolds deve ser guardada para ventilação mecânica e do número de Richardson para ventilação por deslocamento térmico. Os dados de concentração do modelo devem ser divididos pelo valor numérico da escala ao cubo na transposição para o protótipo. As médias devem ser traçadas considerando que o tempo no modelo é mais rápido que no protótipo, multiplicado pelo valor numérico da escala.

4.2.2 Protótipo

Considerou-se um ambiente com áreas separadas para fumantes e não-fumantes de acordo com a orientação do projeto, com a área para fumantes próximo da zona de exaustão e a área para não-fumantes próximo da zona de insuflamento de ar, de modo ao ar se deslocar da área sem fumo para a área com fumo. Considerou-se um sistema de ventilação por deslocamento por diferença de pressão, com insuflamento ao nível do piso (abertura 1 m por 0,5 m) e exaustão ao nível do teto (abertura 1 m por 0,5 m). Enquanto a orientação destaca a diferença de temperatura para o gradiente de pressão, por ser um estudo em escala assumiu-se o gradiente dado pelo insuflamento e a exaustão, o que também exclui a dificuldade do trabalho com o valor da diferença de temperatura multiplicado pelo valor numérico da escala ao cubo. Assumiu-se o ambiente isotérmico com 18 m^2 (6 m por 3 m), pé-direito de 3 m e 19 trocas de ar por hora. O dimensionamento deu-se com base na proposta para o funcionamento das áreas com fumo permitido pela lei federal 9.294 apresentada pela Anvisa em consulta pública em 2007: área mínima de $4,8 \text{ m}^2$ (área mínima por fumante de $1,2 \text{ m}^2$), vazão mínima de insuflamento por fumante de $108 \text{ m}^3/\text{h}$ e número mínimo de trocas de ar de 19 por hora [ANVISA, 2007]. As condições resultaram em uma vazão de $1.026 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,285 \text{ m}^3/\text{s}$) a uma velocidade de insuflamento de $0,57 \text{ m/s}$. As dimensões foram idealizadas para representar as adjacências da separação das áreas, como mostrado na Figura 4.3. As situações sem barreira de separação e com barreira de separação (1,5 m, barreira parcial) foram representadas.

4.2.3 Modelo

Um modelo físico em escala 1:5 foi construído para representação do protótipo. Essa escala foi escolhida por representar o protótipo em dimensões manejáveis na semelhança geométrica: área de $0,7 \text{ m}^2$ (1,2 m por 0,6 m) e pé-direito de 0,6 m (áreas separadas de 0,6 m por 0,6 m cada), aberturas de insuflamento e exaustão de 0,2 m por 0,1 m, barreira parcial de separação de 0,3 m. Tratando-se de ventilação mecânica, semelhança dos números de Peclet e de Reynolds deve ser guardada, multiplicando-se a velocidade pelo valor numérico da escala, o que resultou em uma velocidade de insuflamento de $2,85 \text{ m/s}$ e em uma vazão de $0,057 \text{ m}^3/\text{s}$.

O modelo foi construído em madeira com uma das faces em vidro para visualização. O sistema de insuflamento foi composto por um ventilador centrífugo com um variador de

frequência, ligado por uma tubulação reta de 4 m (diâmetro 10 cm) a um plenum de 1 m de altura, 0,3 m de largura e 0,65 m de comprimento, para organização do escoamento. A velocidade na abertura de insuflamento foi medida com um tubo de Pitot, e era garantida a uma frequência do ventilador de 21 rpm. As Figuras 4.6 a 4.9 mostram o modelo. O Apêndice A traz a planta.

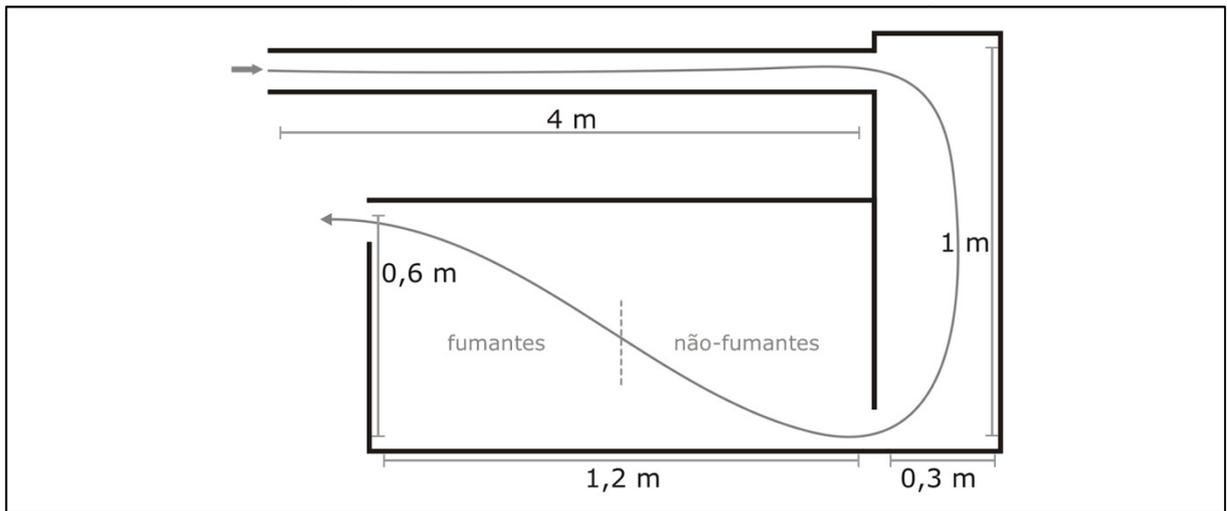


Figura 4.6 — Esquema do escoamento do modelo

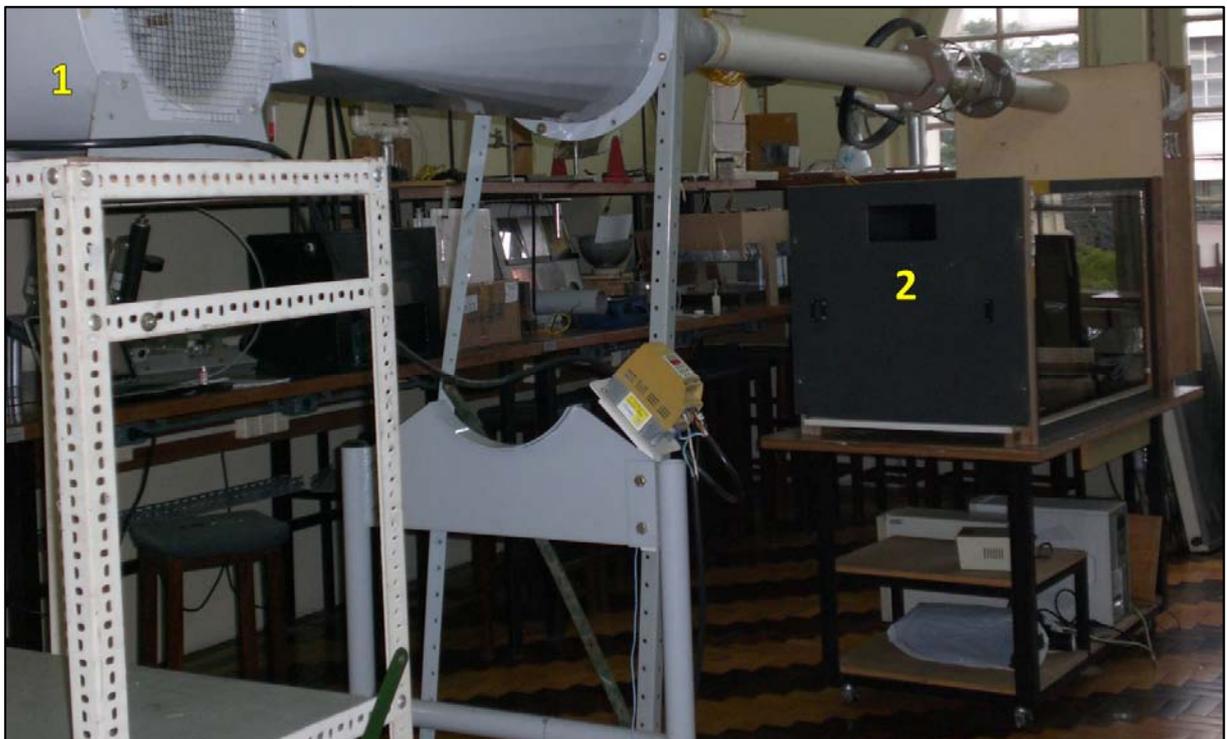


Figura 4.7 — Modelo, vista do ventilador (1 ventilador, 2 modelo)



Figura 4.8 — Modelo, vista do plenum (1 plenum, 2 modelo)



Figura 4.9 — Aberturas de insuflamento e exaustão

Para a transposição para o protótipo, os dados de concentração do modelo devem ser divididos pelo valor numérico da escala ao cubo (125), e as médias devem ser traçadas considerando que o tempo no modelo é mais rápido que no protótipo, multiplicado pelo valor numérico da escala (5). A transposição não foi feita, dado que o objetivo é avaliar se há ou não diferenças entre as duas áreas, e as diferenças manter-se-iam na transposição.

4.2.4 Medições

As concentrações de monóxido de carbono e de partículas finas foram acessadas nos pontos médios relativos à área para fumantes e à área para não-fumantes do modelo, nas situações sem e com barreira de separação. Foram repetidas três medidas para cada área para cada situação (Figuras 4.10 e 4.11). A concentração do ar sem fumaça era armazenada por cinco minutos, então um cigarro era aceso por um isqueiro acoplado e o armazenamento prosseguia por mais 25 minutos, totalizando uma curva de concentração de 30 minutos (Figura 4.12). Os cigarros utilizados para a geração da fumaça foram os da marca Derby, por ser a mais vendida no país [Souza Cruz, 2009b]. As medidas de monóxido de carbono foram feitas com um analisador de gases Eurotron GreenLine 8000 (exatidão 10 ppm, 11,45 mg/m³). As medidas de partículas finas foram feitas com um monitor de aerossol TSI SidePak AM510 (sem exatidão declarada, ver Capítulo 5). A temperatura e a umidade relativa do laboratório foram controladas com um transmissor de umidade e temperatura Vaisala Humicap HMT330 (exatidão 1,0% UR e 0,2°C T), mantidas em torno de 20°C e 50%.



Figura 4.10 — Área para fumantes (1) e área para não-fumantes (2), sem e com separação

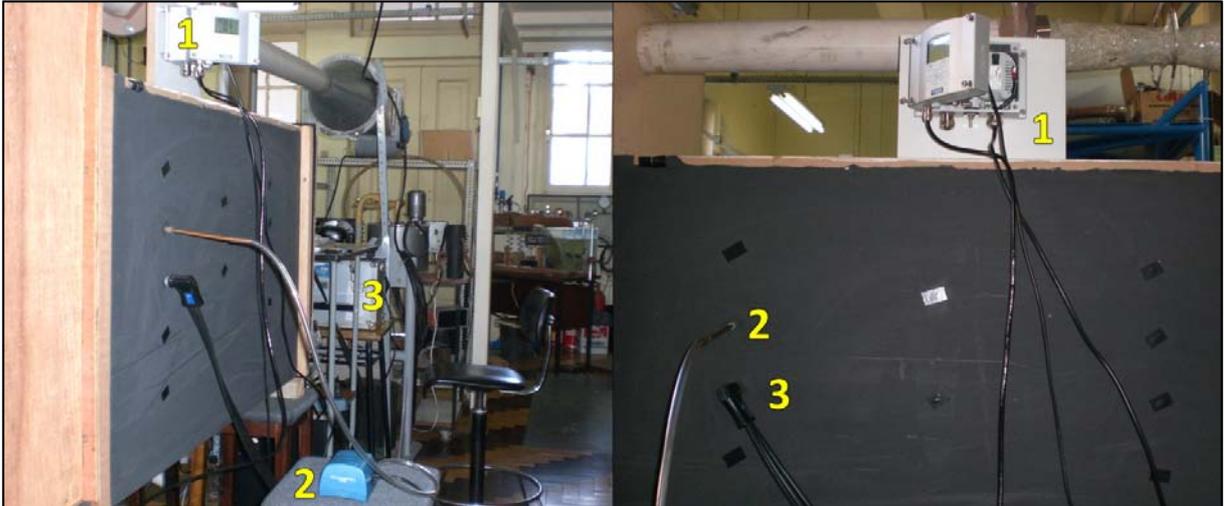


Figura 4.11 — Medidas de temperatura e umidade (1), partículas (2) e monóxido de carbono (3)

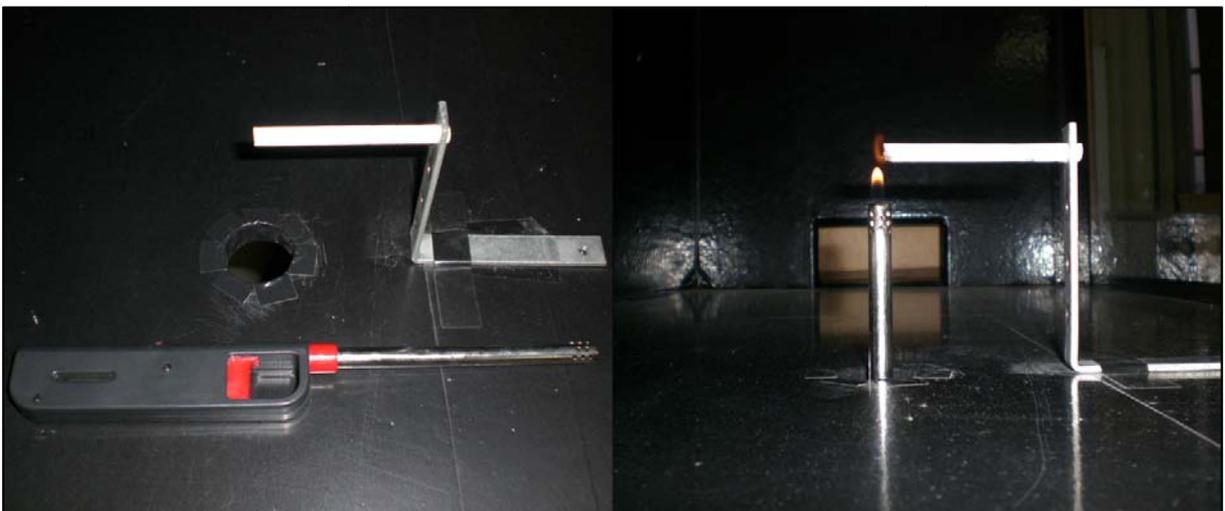


Figura 4.12 — Acendimento dos cigarros

4.3 Análise

As concentrações de monóxido de carbono relativas à área para fumantes e à área para não-fumantes do modelo foram comparadas nas situações sem e com barreira de separação, com base no teste de hipóteses de comparação de resultados (teste t de Student) [Barros *et al.*, 2007]. Foram os indicadores de comparação as médias e os picos de concentração.

A Figura 4.13 mostra uma das curvas da área para fumantes (gráfico superior) e uma da área para não-fumantes (gráfico inferior), ambas em miligramas por metro cúbico de monóxido de carbono, sem barreira de separação. Foi traçado um esboço da tendência para

ilustração do comportamento. As Figuras 4.14 e 4.15 mostram as três curvas de cada área. Nota-se pouca diferença entre as duas áreas. Em ambas, a concentração aumentou similarmente quando o cigarro foi aceso aos cinco minutos, e decaiu em torno dos 13 minutos, quando a queima extinguiu-se. A média de concentração das três repetições da medida relativa à área para fumantes foi de $1,9 \text{ mg/m}^3$, contra $2,2 \text{ mg/m}^3$ da relativa à área para não-fumantes. As médias dos picos foram iguais para as duas áreas, $16,3 \text{ mg/m}^3$. De acordo com o teste estatístico, não há diferença significativa entre os indicadores das duas áreas (95 e 99% de confiança), ou seja, não há diferença entre a concentração da área para fumantes e a da área para não-fumantes: a separação das áreas por ventilação proposta pelo projeto não é eficiente.

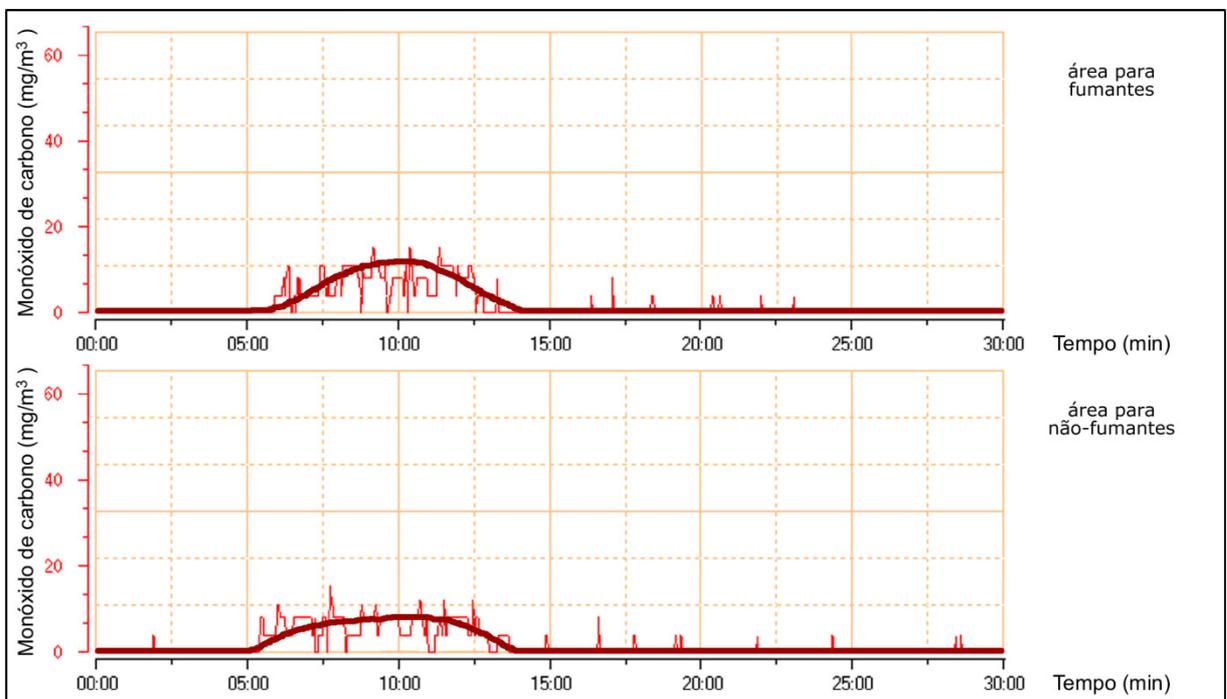


Figura 4.13 — Tendência das curvas de monóxido de carbono das áreas para fumantes (acima) e não-fumantes (abaixo), sem barreira de separação (gráfico Logman DBGas2004)

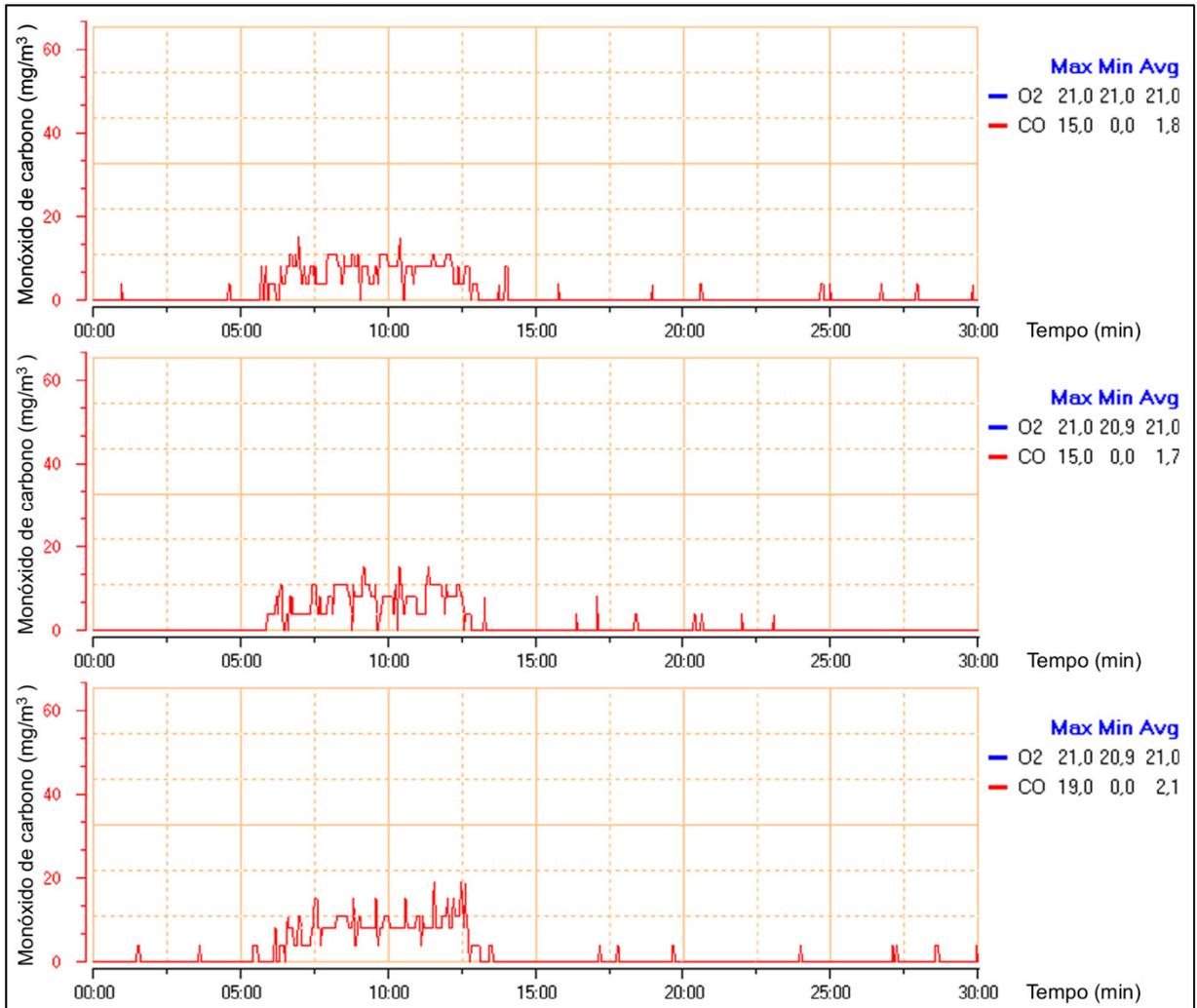


Figura 4.14 — Curvas de monóxido de carbono da área para fumantes do modelo, sem barreira de separação

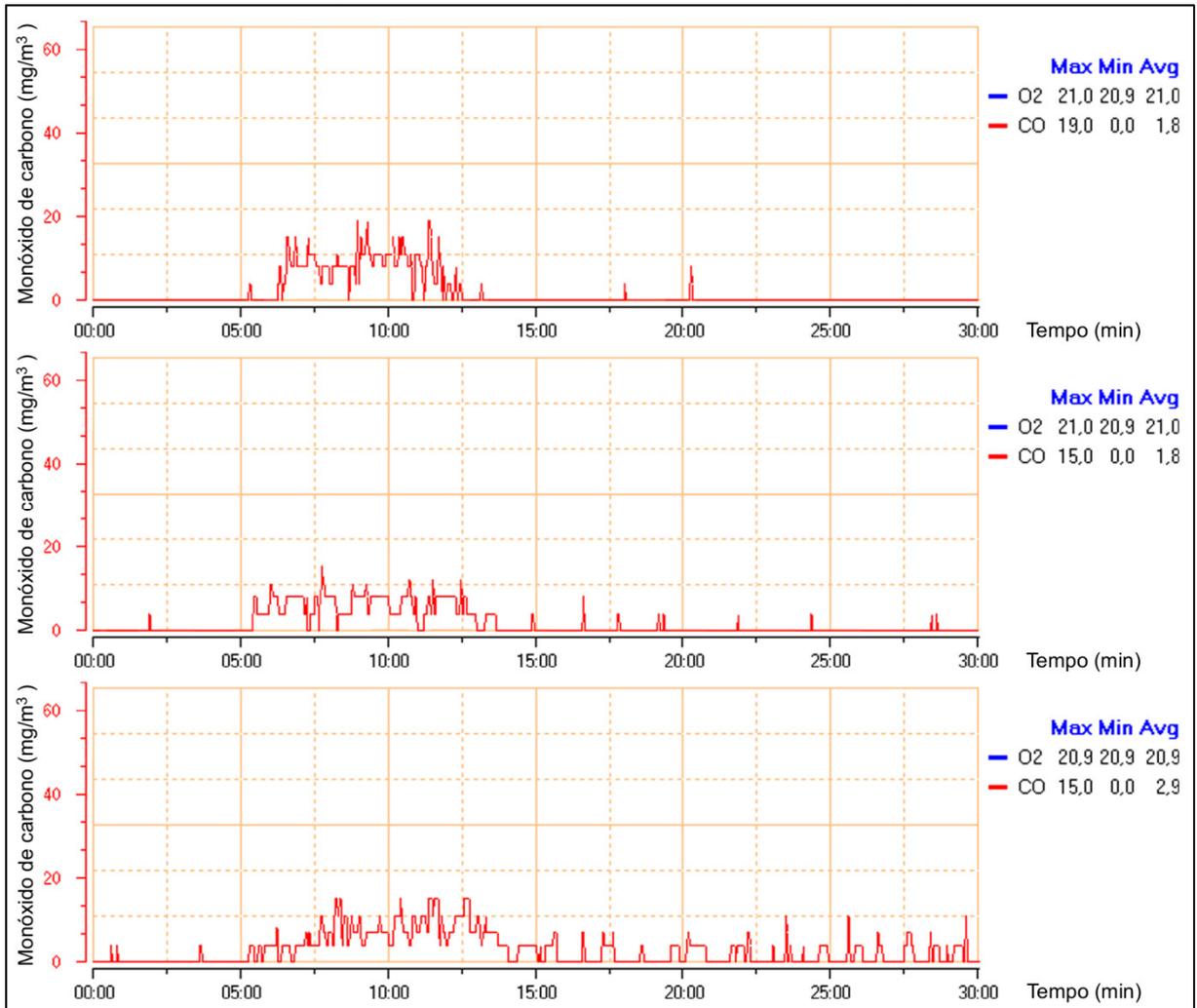


Figura 4.15 — Curvas de monóxido de carbono da área para não-fumantes do modelo, sem barreira de separação

A Figura 4.16 mostra uma das curvas da área para fumantes (gráfico superior) e uma da área para não-fumantes (gráfico inferior), com barreira de separação. Foi traçado um esboço da tendência para ilustração do comportamento. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram as três curvas de cada área.

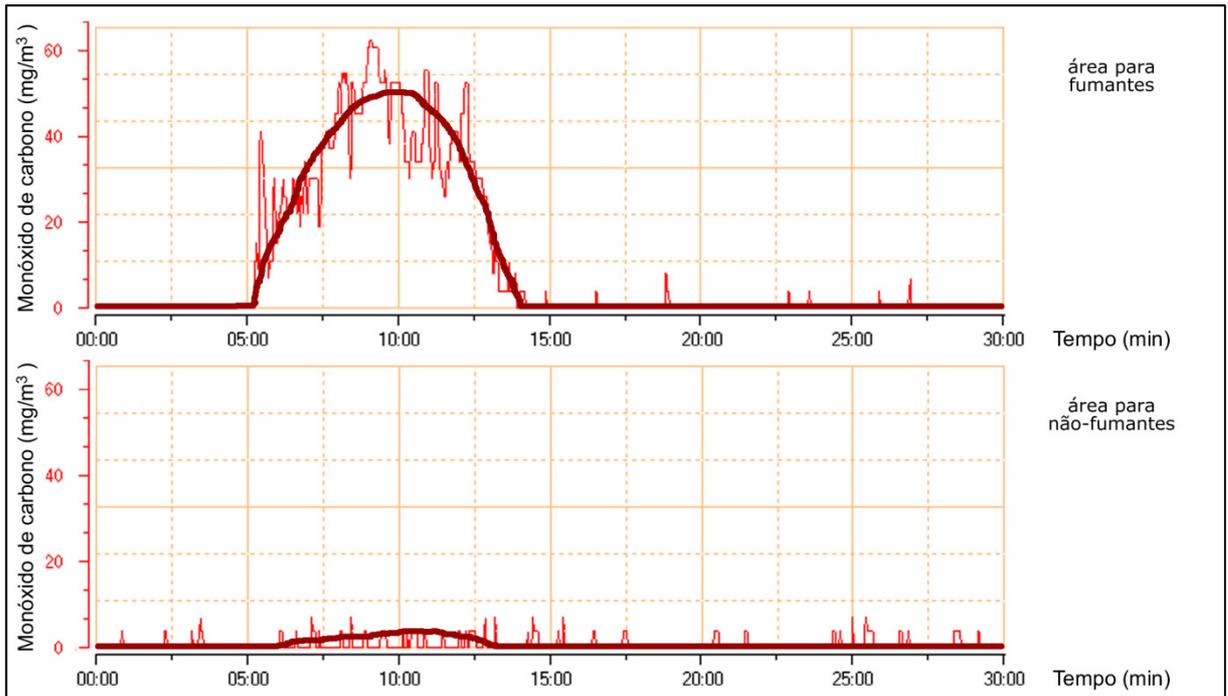


Figura 4.16 — Tendência das curvas de monóxido de carbono das áreas para fumantes (acima) e não-fumantes (abaixo), com barreira de separação (gráfico Logman DBGas2004)

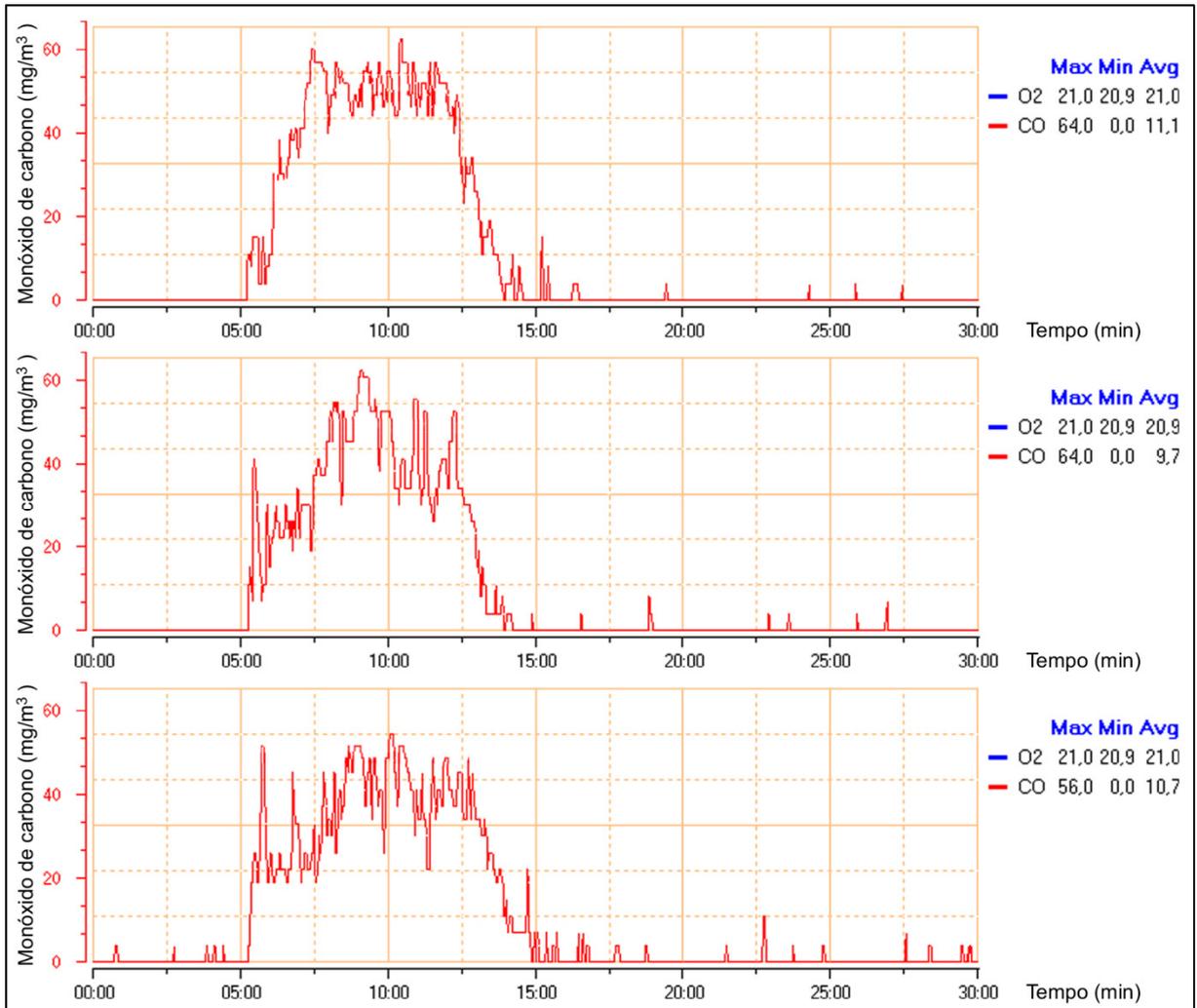


Figura 4.17 — Curvas de monóxido de carbono da área para fumantes do modelo, com barreira de separação



Figura 4.18 — Curvas de monóxido de carbono da área para não-fumantes do modelo, com barreira de separação

Diferentemente do caso anterior, agora nota-se muita diferença entre as duas áreas. Em ambas, a concentração aumentou quando o cigarro foi aceso aos cinco minutos, de maneira similar à do caso anterior na área para não-fumantes, mas muito acentuadamente na área para fumantes: a barreira impõe recirculação do ar na área, e a fumaça fica retida. A média de concentração das três repetições da medida relativa à área para fumantes foi de $10,5 \text{ mg/m}^3$, contra $0,7 \text{ mg/m}^3$ da relativa à área para não-fumantes. As médias dos picos foram $61,3$ e $8,7 \text{ mg/m}^3$, respectivamente. De acordo com o teste estatístico, há diferença entre os indicadores das duas áreas (95 e 99% de confiança), ou seja, há diferença entre a concentração da área para fumantes e a da área para não-fumantes. Porém, comparando os indicadores da área para não-fumantes com e sem cigarro queimado na área separada para fumantes (média de concentração $0,7$ e 0 mg/m^3 , média dos picos $8,7$ e 4 mg/m^3 , respectivamente, Figura 4.19), o teste estatístico indica que há diferença entre os indicadores das duas áreas (95% de

confiança). Ou seja, a barreira até diminui a concentração na área para não-fumantes, mas não a elimina: a separação das áreas por ventilação proposta pelo projeto, mesmo com uma barreira de separação, não é eficiente.

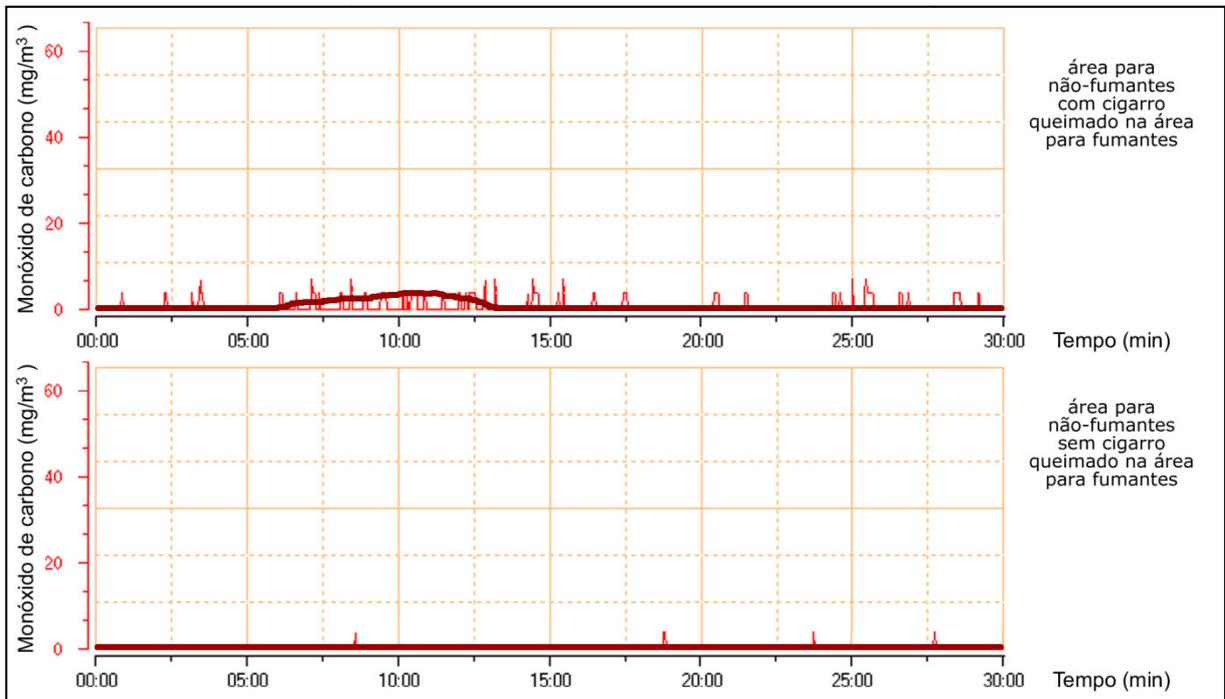


Figura 4.19 — Tendência das curvas de monóxido de carbono da área para não-fumantes com (acima) e sem (abaixo) cigarro queimado na área para fumantes, com barreira de separação (gráfico Logman DBGas2004)

As Figuras 4.20 a 4.22 mostram as curvas médias de partículas finas, para referência (ver Capítulo 5). As medidas foram simultâneas às anteriores, e nota-se que esse marcador é realmente bem mais sensível que o monóxido de carbono: a comparação das áreas é bem mais explícita (atenção para a diferença na escala dos gráficos, devido a isso). Em ambientes reais, com um volume de ar maior que o do modelo, ocupantes e outras fontes, essa menor sensibilidade do monóxido de carbono dificultaria a marcação da PTA, tanto que ele caiu em desuso como marcador dela.

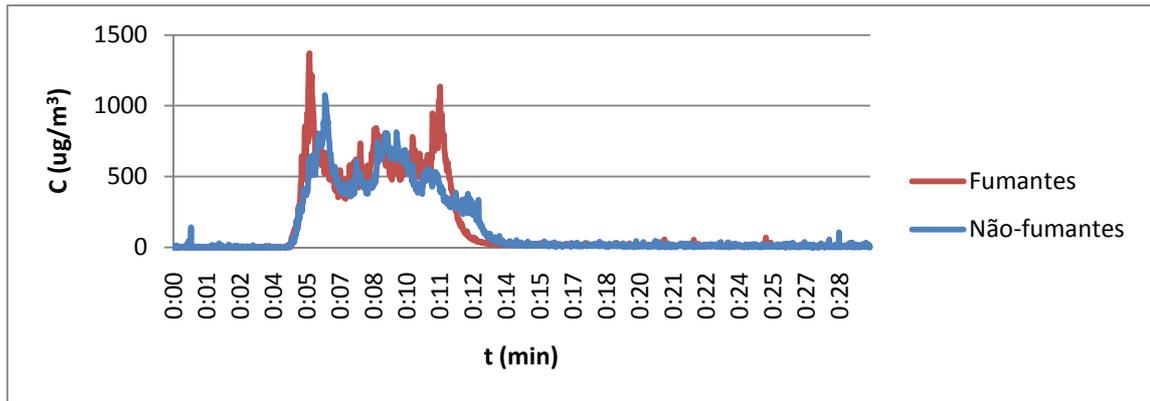


Figura 4.20 — Curva média de partículas finas da área para fumantes e da área para não-fumantes do modelo, sem barreira de separação

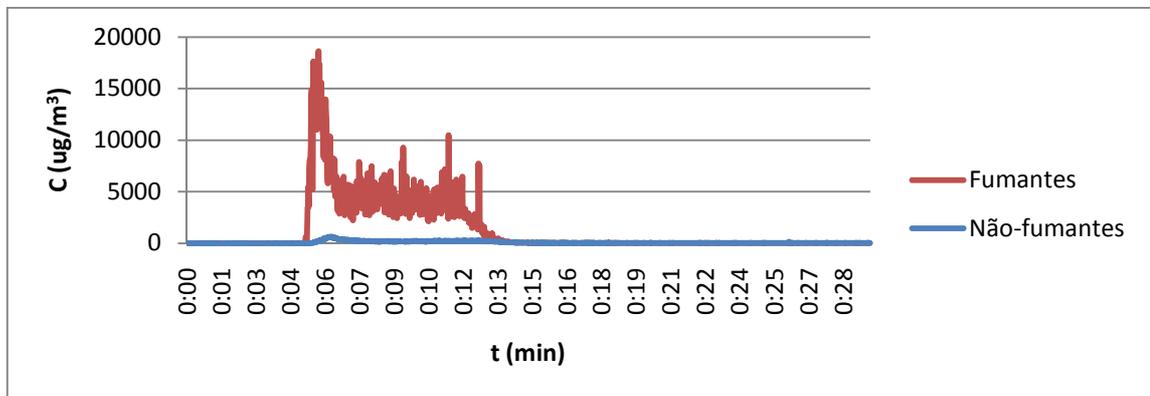


Figura 4.21 — Curva média de partículas finas da área para fumantes e da área para não-fumantes do modelo, com barreira de separação

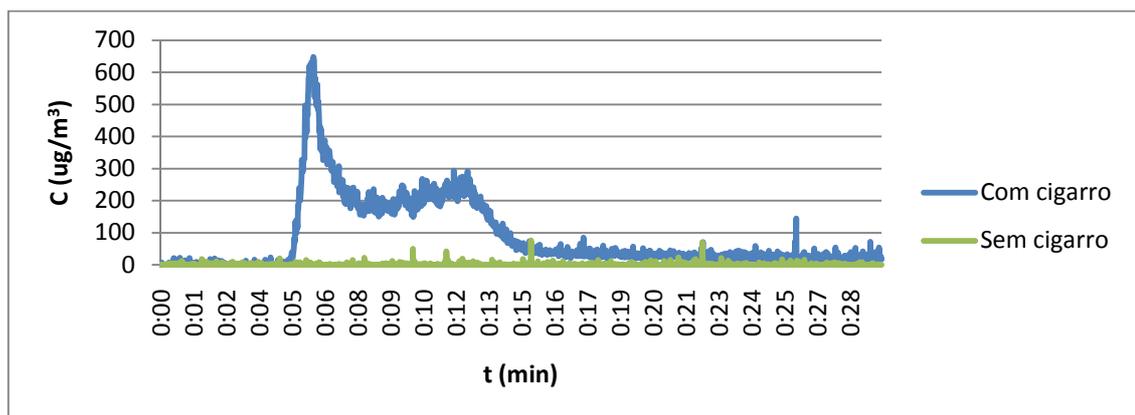


Figura 4.22 — Curva média de partículas finas da área para não-fumantes com barreira de separação, com e sem cigarro queimado na área separada para fumantes

4.4 Considerações

A análise mostrou que a separação das áreas por ventilação proposta pelo projeto não é eficiente. Na situação sem barreira de separação, que é a orientação do projeto, não houve diferença entre a qualidade do ar da área para fumantes e a da área para não-fumantes. A colocação de uma barreira de separação entre as áreas até reduziu a poluição na área para não-fumantes (e aumentou muito na área para fumantes), mas não impediu a dispersão da fumaça para ela, como visto na comparação com uma medida sem cigarro queimado na área para fumantes. Esse resultado já era esperado, pois o projeto adota a abordagem de áreas para fumantes em ambientes separados mas não isolados, que se sabe não ser eficiente na redução da exposição à PTA nas áreas onde o fumo não é permitido. Além do mais, a orientação para a separação das áreas é um tanto trivial: certamente o ar se desloca de zonas de maior pressão, onde as áreas para não-fumantes devem ser postas, para zonas de menor pressão, onde as áreas para fumantes devem ser postas, porém na prática há perturbação desse escoamento ideal teorizado, e o ar da área para fumantes retorna para a área para não-fumantes, como visto. Somando-se a isso a movimentação dos ocupantes entre as áreas, o escoamento projetado altera-se por completo (Figura 4.23). A orientação é, também, desatualizada: seu material é de 1996 e segue disponível afirmando que “a ferramenta mais poderosa para suprimir todo tipo de poluentes é a ventilação” e que “raramente a fumaça do cigarro é a causa real da má qualidade do ar”, mesmo após o órgão de referência dessa área da engenharia ter se posicionado a favor de ambientes livres de fumo, expondo que nenhuma tecnologia de engenharia de ventilação demonstra controlar os riscos impostos pela exposição à PTA, apenas pode reduzi-los e pode controlar questões de conforto relacionadas ao odor e à irritação sensorial impostos pela exposição [ASHRAE, 2005]. Ainda assim, o conceito do projeto é sempre mencionado em discussões sobre ambientes livres de fumo, e a ventilação é vendida como a solução do problema.

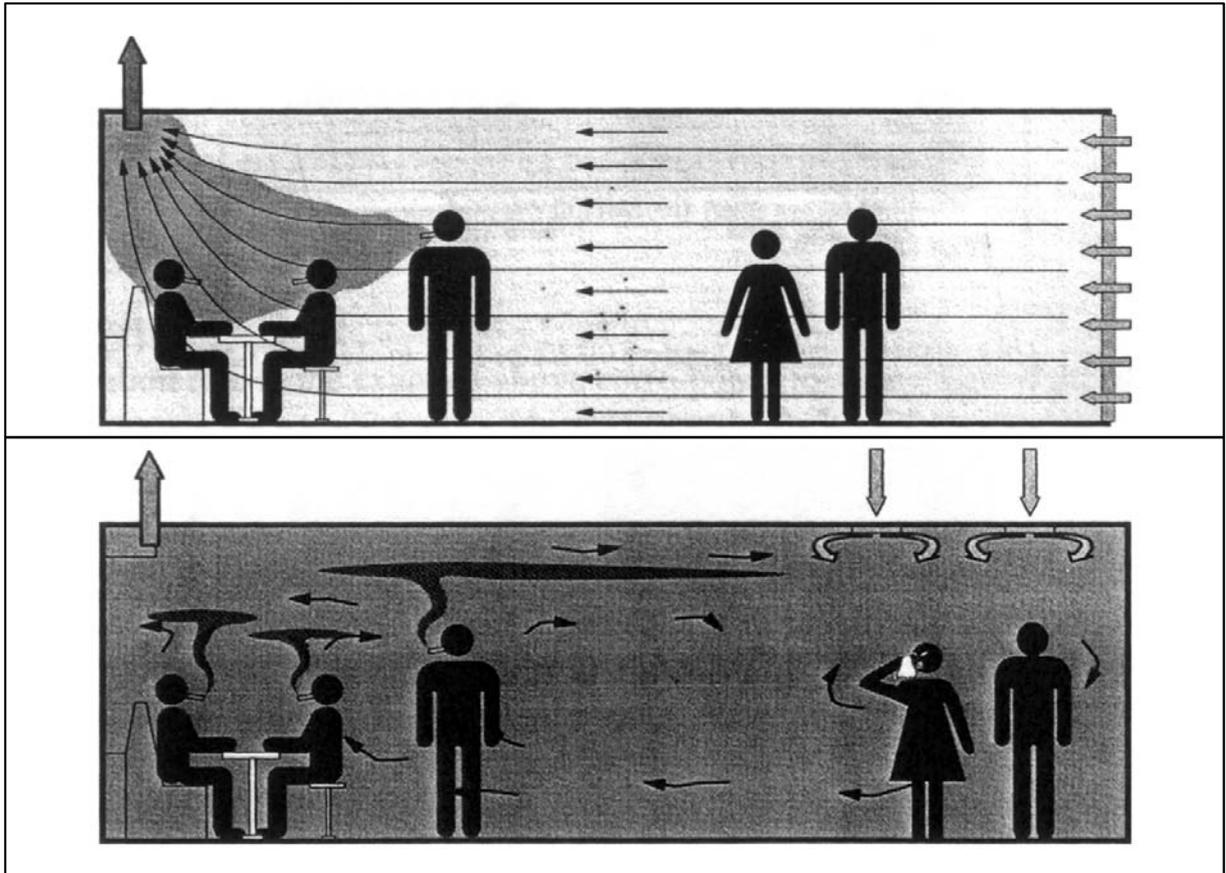


Figura 4.23 — Escoamento projetado: teoria e prática [REHVA, 2004 (Adaptado)]

O sistema de ventilação por deslocamento é destacado pelo projeto mesmo tendo falhado nos testes internos de avaliação: Drope *et al.* [2004], em pesquisa no arquivo de documentos da indústria, encontraram relatório de estudo de 1990 concluindo que o nível de nicotina em ambientes ventilados por esse sistema seria extremamente alto. Contudo, o divulgado foi que as primeiras experiências mostravam que o sistema reduzia a PTA a um décimo do encontrado em ambientes com sistemas convencionais. Essa estatística manteve-se: Repace [2000] relata que em 1998 especialistas em ventilação concluíram que o sistema por mistura de ar, o convencional, não era eficiente na redução da exposição ocupacional à PTA, e sugeriram a adoção do sistema por deslocamento, com eficácia estimada em 90%. Segundo ele, mesmo essa grande redução da exposição não reduziria o risco de vida imposto ao aceitável pelas normas ocupacionais, sendo necessário, além disso, um aumento expressivo nas taxas de ventilação, impraticável por questões de conforto. A orientação ignora que não há nível seguro de exposição à PTA e trata os riscos impostos como uma questão de preferência do cliente, desconsiderando os funcionários.

O livreto de apresentação do projeto expõe que seu objetivo é estabelecer uma estrutura de auto-regulamentação que possa servir como base para uma “legislação racional” nos lugares onde ela esteja em estudo, auxiliando os estabelecimentos a cumprirem as exigências legais onde elas já existam [Souza Cruz, 1996a]. Coincidentemente o projeto chegou ao país no mesmo ano em que a lei federal 9.294 foi promulgada. Como ela exclui da proibição áreas destinadas exclusivamente para fumar “devidamente isoladas e com arejamento conveniente” e não dá maiores especificações além do isolamento dever ser feito com um meio ou recurso não necessariamente material que impeça a transposição da fumaça e do arejamento dever ser tal que impeça o acúmulo dela, a lei ficou vaga, e nessa brecha o projeto encaixou-se: as entidades de classe indicam aos estabelecimentos suas referências.

Nota-se que a separação de ambientes em áreas para fumantes e para não-fumantes é uma questão muito importante para a indústria, pois para a disseminação do projeto as concorrentes British American Tobacco e R. J. Reynolds se uniram à Philip Morris Internacional nos patrocínios (a Souza Cruz, patrocinadora do projeto no país, é subsidiária da British American Tobacco) [Sebrié e Glantz, 2007]. Em 1988 a Philip Morris USA, a R. J. Reynolds e a Lorillard já haviam se unido na criação do CIAR, um centro de interesse em ar de interiores financiador de pesquisas em qualidade do ar e PTA que servissem de base para políticas públicas “apropriadas” [CIAR, 1993]. Na América Latina, onde suas subsidiárias controlam mais de 90% do mercado, a British American Tobacco e a Philip Morris Internacional já haviam se unido em 1991 em um projeto de retardamento da regulamentação do fumo, patrocinando pesquisas favoráveis sobre tabagismo passivo e qualidade do ar de ambientes interiores, organizando simpósios sobre o assunto para a comunidade científica e a mídia e procurando apoio político [Barnoya e Glantz, 2002]. Com forte atuação no Brasil, o chamado Projeto Latino estava em andamento na época da promulgação da lei federal 9.294, e talvez por isso ela tenha a brecha para o projeto Convivência em Harmonia. Todo esse interesse é justificado, pois o impacto econômico das leis proibitivas na indústria é enorme: se cada fumante deixar de consumir somente três cigarros por dia, a queda nos lucros anuais já será da ordem de bilhões [Dearlove *et al.*, 2002].

4.5 Recapitulação e conclusão

Este capítulo analisou, por modelagem física e experimentação em escala reduzida, o sistema de separação de áreas para fumantes e não-fumantes por ventilação proposto pelo projeto

Convivência em Harmonia. Um modelo físico foi construído para representação do protótipo da orientação do projeto, e a qualidade do ar das duas áreas foi comparada. As situações sem e com barreira de separação entre as áreas foram representadas. A escala reduzida possibilitou o uso do monóxido de carbono como marcador da PTA, em desuso em ambientes reais devido à sua rápida diluição no ar. A concentração de partículas finas também foi acessada.

A análise mostrou que o sistema de separação de áreas proposto pelo projeto, mesmo com uma barreira auxiliar de separação entre as áreas, não é eficiente. A separação por ventilação não impede a dispersão da fumaça da área para fumantes para a área para não-fumantes.

No processo de análise, também foi proposta uma metodologia para estudos em escala de qualidade do ar e poluição em ambientes interiores, e confirmou-se que o monóxido de carbono é um marcador pouco sensível para estudos de PTA em ambientes reais.

Capítulo 5

AMOSTRAGEM DE AR PARA PTA

Este capítulo avalia, por análise metrológica, as metodologias de amostragem de ar indicadas para o levantamento de dados de poluição tabagística ambiental para a mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo. Foram considerados os marcadores indicados pelo Instituto para o Controle Global do Tabaco: nicotina e partículas finas.

5.1 Estado atual

O Instituto para o Controle Global do Tabaco da Escola de Saúde Pública John Hopkins Bloomberg (Baltimore, Estados Unidos) atua na prevenção da mortalidade e da morbidade causadas pelo tabagismo, através de pesquisa, educação e desenvolvimento de regulamentações [JHSPH, 2009b]. Estabelecido em 1998 no Departamento de Epidemiologia da Universidade John Hopkins e com projetos em andamento em mais de 40 países, o Instituto é referência no desenvolvimento de políticas e intervenções em controle do tabaco. No Brasil, o Instituto é parceiro do Instituto Nacional de Câncer, estabelecido como um de seus centros de excelência para educação e capacitação em controle do tabaco (China e México também possuem centros de excelência).

O Instituto lançou em março deste ano, na 14ª Conferência Mundial sobre Tabaco ou Saúde, realizada em Mumbai, Índia, o site *Secondhand Smoke Monitoring*¹, com treinamento e suporte on-line para estudos de exposição. A abordagem de estudo de exposição por amostragem do ar trabalha com duas opções de marcador: nicotina e partículas finas [JHSPH, 2009a].

5.2 Nicotina

A nicotina ambiental é a primeira opção de abordagem de amostragem do ar para estudos de PTA apresentada. A amostragem é feita com um filtro tratado com bissulfato de sódio, que

¹ <http://shsmonitoring.org>

absorve o vapor da nicotina, posteriormente extraída em laboratório para levantamento da concentração (amostragem passiva, análise por cromatografia a gás) (Figura 5.1). Os filtros devem ser colocados altos 1–2 m do piso e a pelo menos um metro de entradas de ar, e devem permanecer no ambiente de cinco a sete dias. As dimensões do ambiente devem ser tomadas. O treinamento é feito pelo site *Secondhand Smoke Monitoring* e a análise dos dados coletados é feita pela equipe do projeto, no laboratório do Instituto (os filtros são remetidos para a coleta e devolvidos para a análise) [JHSPH, 2009c]. Não se tem conhecimento de laboratório nacional que faça esse tipo de análise.



Figura 5.1 — Filtro para coleta de nicotina [JHSPH, 2009c (Adaptado)]

5.3 Partículas finas

O processo de amostragem de partículas finas apresentado pelo Instituto é o desenvolvido pelo Instituto de Câncer Roswell Park (Buffalo, Estados Unidos), referência em estudos em PTA. Sua metodologia de monitoramento de qualidade do ar é considerada o estado-da-arte da área.

A amostragem é feita com um monitor de aerossol modelo SidePak AM510 fabricado pela americana TSI, carregado em uma bolsa com uma mangueira acoplada à entrada de ar fazendo a ligação com o ambiente (amostragem ativa) (Figura 5.2). O monitor registra a concentração de partículas em tempo real (segundo a segundo) e armazena a média de cada minuto. Antes da entrada no local deve-se permanecer ao menos cinco minutos na rua para que o monitor registre a concentração ambiental de partículas. O horário, o número de pessoas

e o número de cigarros acesos devem ser anotados na entrada. A contagem do número de pessoas e do número de cigarros acesos deve ser repetida a cada 15 minutos e na saída do estabelecimento. A duração das coletas deve ser de ao menos meia hora. As dimensões do ambiente devem ser tomadas para cálculo do volume, e observações como aberturas, presença de aparelhos de condicionamento do ar, sinalização sobre fumo e presença de cinzeiros devem ser feitas. As coletas devem ser feitas de maneira discreta para não influenciar o comportamento dos ocupantes. O treinamento é também feito pelo site *Tobacco Free Air*² e a análise dos dados coletados é feita pela equipe do projeto (os arquivos de dados devem ser enviados) [JHSPH, 2009d, RPCI, 2006].



Figura 5.2 — Monitor para coleta de partículas finas [RPCI, 2008]

5.4 Norma nacional para material particulado

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária é a responsável pelo estabelecimento de normas e padrões nacionais sobre limites de contaminantes, resíduos tóxicos e outros que envolvam risco à saúde. Há uma orientação técnica com padrões referenciais para a qualidade do ar de ambientes climatizados de uso público e coletivo [ANVISA, 2003]. A fumaça do tabaco é citada como poluente químico fonte de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrogênio e material particulado, mas há especificação de valor máximo e de norma técnica apenas para dióxido de carbono (1000 ppm, NT 002) e material particulado (aerodispersóides, $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NT 004). Essa norma para material particulado pode, então, ser considerada o

² <http://tobaccofreeair.org>

processo nacional de amostragem do ar para estudos de PTA, já que material particulado engloba as partículas finas. Além do mais, a utilização de um padrão nacional fortalece a argumentação.

O método de amostragem é a coleta de aerodispersóides por filtração, procedimento de coleta MB-3422 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (Agentes Químicos no Ar — Coleta de Aerodispersóides por Filtração), com procedimento de calibração NBR-10.562 também da Associação e procedimento laboratorial NHO 17 da Fundacentro. A Figura 5.3 mostra a ficha técnica do amostrador. Basicamente, uma máquina de deslocamento positivo (“bomba de amostragem”) deve fazer passar o ar por um filtro, que deve reter as partículas e ser posteriormente pesado em laboratório em uma balança de precisão para levantamento da concentração (amostragem ativa, análise gravimétrica). O número de amostras a coletar depende do tamanho do local em estudo. As coletas devem ser feitas em pontos centrais, altas 1,5 m do piso. A exatidão de medição requerida é 5%.

Amostrador: Unidade de captação constituída por filtros de PVC, diâmetro de 37 mm e porosidade de 5 µm de diâmetro de poro específico para poeira total a ser coletada; Suporte de filtro em disco de celulose; Porta-filtro em plástico transparente com diâmetro de 37 mm.	
Aparelhagem: Bomba de amostragem, que mantenha ao longo do período de coleta, a vazão inicial de calibração com variação de 5%.	
Taxa de Vazão: 1,0 a 3,0 l/min, recomendado 2,0 l/min.	
Volume Mínimo: 50 l	
Volume Máximo: 400 l	
Tempo de Amostragem: relação entre o volume captado e a taxa de vazão utilizada	
Embalagem: Rotina	
Calibração: Em cada procedimento de coleta se operado com bombas diafragmáticas	Exatidão: ± 5% do valor medido

Figura 5.3 — Ficha técnica do amostrador requerido pela Anvisa [ANVISA, 2003]

5.5 Comparação das metodologias

Estudos de amostragem de ar envolvem a medição da quantidade do marcador utilizado para acessar sua qualidade. Na seleção de uma metodologia para um estudo, envolvendo ele medições ou não, aspectos técnicos, econômicos e logísticos devem ser considerados. Albertazzi e Sousa [2008] compilaram uma planilha de avaliação de sistemas de medição, resumida na Tabela 5.1. Os aspectos técnicos (características metrológicas) devem ser os primeiramente verificados. Adequação ao mensurando, faixa de medição, incerteza de medição, resolução e robustez operacional são indispensáveis. A seleção do instrumento deve levar em conta o desempenho geral da avaliação.

Tabela 5.1 — Lista de checagem para seleção de instrumentos de medição
[Albertazzi e Sousa, 2008 (Adaptado)]

Aspectos técnicos	Aspectos econômicos	Aspectos logísticos
Adequação ao mensurando Faixa de medição Incerteza de medição Resolução Velocidade de medição Taxa de medição Robustez operacional Praticidade operacional Nível de automação Recursos de processamento	Investimento inicial Custos operacionais	Prazo de entrega Atendimento pós-venda Atualizações

Com relação aos aspectos técnicos, as três metodologias de amostragem do ar para estudos de PTA apresentada anteriormente são adequadas ao mensurando (nicotina ou partículas) e têm faixa de medição adequada. Os dados da metodologia para nicotina e da metodologia para material particulado da Anvisa são provenientes de análise laboratorial (cromatografia a gás e gravimetria, respectivamente), com incerteza de medição de até 5%. Os dados da metodologia para partículas finas do Instituto, no entanto, são provenientes do monitor de aerossol, e o instrumento não tem incerteza de medição declarada. Na medição de qualquer grandeza física é necessário indicar a qualidade do resultado para garantir sua confiabilidade. A não ser que a medição tenha sido feita por um instrumento com excelente exatidão, em um ambiente completamente controlado e estável e por um operador impecável, o resultado terá algum grau de erro. A indicação dada pelo instrumento é apenas uma estimativa do resultado da medição, que se torna completo apenas acompanhado de uma declaração da incerteza de tal estimativa [Albertazzi e Sousa, 2008; International Organization for Standardization — ISO, 1995].

Com relação aos aspectos econômicos e logísticos, os filtros para nicotina são descartáveis e precisam ser importados para as coletas e enviados ao Instituto para análise (não se tem conhecimento de laboratório nacional que faça esse tipo de análise). O amostrador de material particulado requerido pela Anvisa também utiliza filtros descartáveis e necessita de análise em laboratório. Em termos de praticidade operacional, a melhor opção para o levantamento de dados de PTA é a metodologia para partículas finas do Instituto, tanto que ela é atualmente o estado-da-arte da área. O monitor de aerossol mostra a concentração de partículas em tempo real e armazena a curva, analisada em um software. As outras duas

opções dão apenas um valor de concentração para todo o tempo da amostragem e requerem análise em laboratório, o que demanda mais tempo para a resposta. O processo para nicotina ainda exige a permanência dos filtros por ao menos cinco dias no local em estudo. O investimento inicial com o monitor pode até ser mais alto, mas o processo todo é muito mais prático. Contudo, o processo falha no aspecto essencial que é a incerteza de medição do sistema de medição utilizado: sem a incerteza de medição do monitor, não se podem garantir os dados. Os dados podem até dar uma indicação da tendência, mas os valores não podem ser garantidos.

5.6 Ensaios com o monitor

Através da Aliança de Controle do Tabagismo³, uma organização não-governamental voltada à promoção de ações para a diminuição do impacto sanitário, social, ambiental e econômico gerado pela produção, consumo e exposição à fumaça do tabaco, teve-se acesso a dois monitores pertencentes ao projeto *Global Air Monitoring Study* do Instituto de Câncer Roswell Park. Dado que o instrumento não tem incerteza de medição declarada, ensaios sobre a qualidade de seus resultados foram conduzidos na bancada de ensaios de elementos filtrantes para material particulado do Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos.

5.6.1 O instrumento

O SidePak AM510 é um monitor de aerossol fabricado pela empresa americana TSI, que mede concentração de massa de partículas suspensas em miligramas por metro cúbico pelo sistema de fotometria a laser: uma máquina de deslocamento positivo suga ar para seu interior, e a concentração é determinada pela quantidade de luz espalhada pelas partículas nele suspensas (Figuras 5.4 a 5.6). A entrada de ar possui um separador de partículas que captura as acima de determinado diâmetro, com opção de corte abaixo de 1, 2,5 ou 10 μm [TSI, 2008]. As especificações do monitor estão no Anexo C. As aplicações citadas são monitoramento de exposição ocupacional, estudos epidemiológicos, estudos de engenharia e amostragem ambiental.

³ <http://actbr.org.br>



Figura 5.4 — Monitor de aerossol TSI SidePak AM510

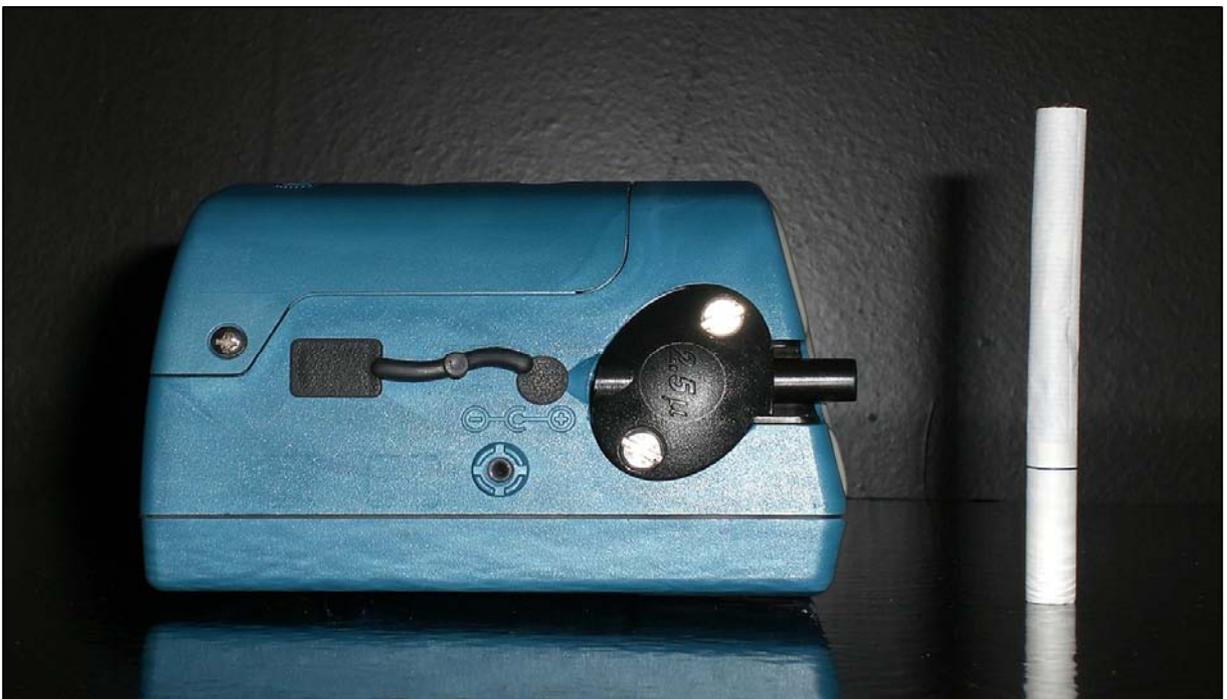


Figura 5.5 — Entrada e saída de ar do monitor

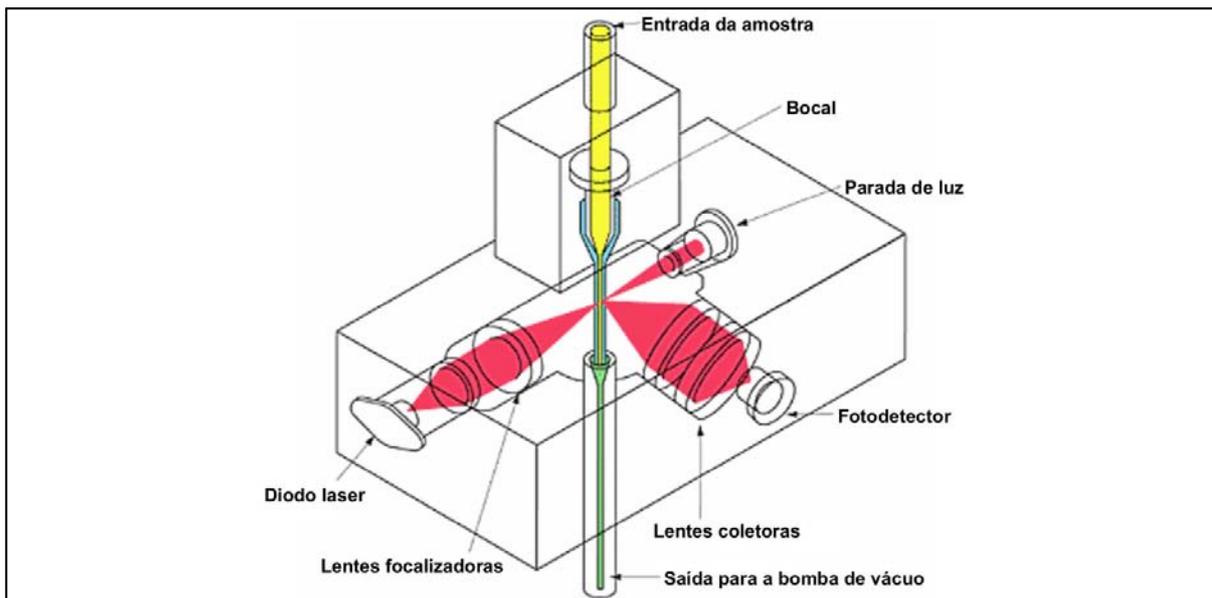


Figura 5.6 — Teoria de operação do monitor [TSI, 2006 (Adaptado)]

O monitor é calibrado com uma referência gravimétrica ajustada à fração respirável do padrão ISO 12103-1 (*AI test dust, Arizona dust*). De acordo com o fabricante⁴, a incerteza do monitor não pode ser determinada porque não há padrão definido pelo Instituto Americano de Padrões e Tecnologia para medidas ópticas de massa, e o que garante a exatidão dos resultados é a vazão de ar, que deve ser de 1,7 l/min (0,00003 m³/s). Recomenda-se calibração anual em fábrica do monitor e ajuste do zero e da vazão antes de cada medição. O ajuste do zero é feito com um filtro que acompanha o monitor (Figura 5.7). O ajuste da vazão deve ser feito com um calibrador adequado, que não acompanha o monitor (item opcional). Quanto aos parâmetros ambientais, apenas especificação para temperatura é dada. A faixa operacional do monitor é de 0 a 50°C, com acréscimo de aproximadamente 0,0005 mg/m³ por grau [TSI, 2008]. Variação com a umidade relativa é mencionada, mas sem especificação. De acordo com o fabricante⁵, a umidade afeta o zero do monitor, então o ajuste do zero com o filtro deve ser feito no local a ser monitorado para excluir essa variação. A faixa operacional seria de 0 a 95%. No entanto, no site de serviços de suporte do instrumento há um fator de correção sugerido, indicando que o desempenho do monitor é afetado com valores de umidade acima de 60% (Figura 5.8) [TSI, 2009].

⁴ Comunicação pessoal, 2008 — e-mail, 13/03/2008, Johnathan Morton (john.morton@tsi.com)

⁵ Comunicação pessoal, 2008 — e-mail, 11/07/2008, Johnathan Morton (john.morton@tsi.com)



Figura 5.7 — Ajuste do zero do monitor

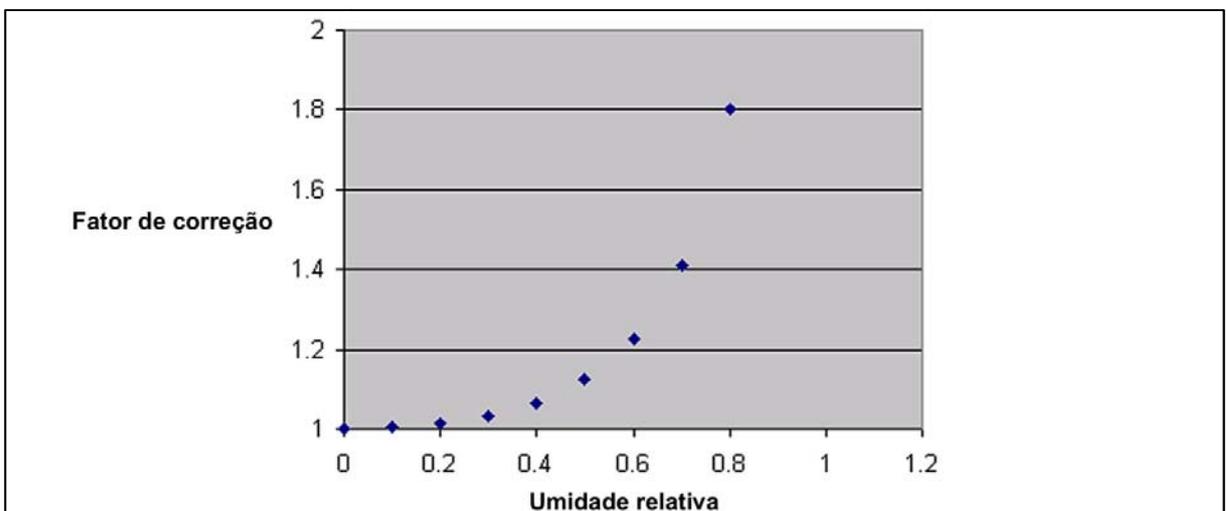


Figura 5.8 — Fator de correção da umidade relativa [TSI, 2009 (Adaptado)]

5.6.2 Análise do certificado de calibração

Analisando o certificado de calibração dos instrumentos, nota-se que há uma observação declarando que não há padrão definido pelo Instituto Americano de Padrões e Tecnologia para medidas ópticas de massa, e que as calibrações são feitas com um óleo e ajustadas à fração

respirável do padrão ISO 12103-1 (*AI test dust, Arizona dust*), com razão de calibração acima de 1.2:1. A Figura 5.9 mostra as condições ambientais e a curva de calibração de dois certificados. Nota-se que os quatro pontos de calibração foram medidos a condições extremamente baixas de umidade relativa: 22 e 19%, quando valores de umidade ambiental abaixo de 30% não são recomendados [EPA, 2008a]. Essas condições ambientais dificilmente serão encontradas em ambientes interiores normais. Também, a pressão barométrica estava abaixo de uma atmosfera padrão (1013.25 hPa), o que não é usual na calibração de instrumentos [Finnemore e Franzini, 2001; ISO, 1975].

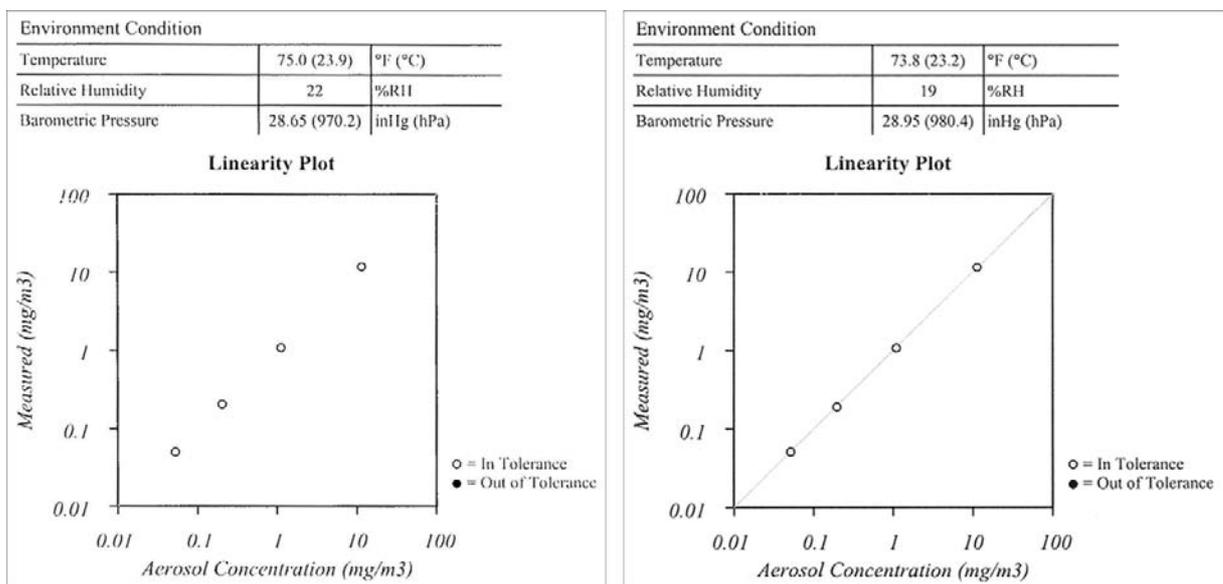


Figura 5.9 — Detalhe de dois certificados de calibração (10801009 01/2008, 10711003 11/2007)

5.6.3 Ensaios

Teve-se acesso a dois monitores pertencentes ao projeto *Global Air Monitoring Study* do Instituto de Câncer Roswell Park. O primeiro monitor recebido, com última calibração em fábrica em junho de 2007, foi substituído após os resultados preliminares, para eliminar a possibilidade de falha no instrumento. O monitor utilizado teve sua última calibração em fábrica em novembro de 2007.

Os ensaios foram conduzidos na bancada de ensaios de elementos filtrantes para material particulado do LETA (Figura 5.10). O ar admitido na bancada passa por um filtro de alta eficiência (HEPA H13, 99,95%) logo na entrada, e colocou-se outro filtro na sequência,

de modo que o ar amostrado era filtrado duas vezes. A bancada foi limpa para os ensaios (jato de ar comprimido e circulação de ar).



Figura 5.10 — Bancada de ensaios de elementos filtrantes para material particulado (1 primeiro filtro, 2 segundo filtro, 3 pontos de aquisição)

A resposta do monitor ao ar limpo filtrado na bancada foi analisada. O ventilador centrífugo da bancada era ligado para fazer o ar circular por ela por cinco minutos, então era desligado e a saída de ar era fechada para evitar contaminação, e os dados de concentração do ar confinado eram registrados por três horas. A temperatura e a umidade relativa do laboratório foram controladas, mantidas em torno de 20°C e 50%. Os ensaios foram repetidos três vezes, sem e com o filtro para ajuste do zero acoplado ao monitor (Figura 5.11). O procedimento de preparação do monitor foi repetido antes de cada teste (limpeza do separador de corte, verificação da vazão e ajuste do zero). O monitor foi configurado para registrar a concentração de partículas a cada segundo. As Figuras 5.12 e 5.13 mostram as curvas de concentração.



Figura 5.11 — Ensaio na bancada
(1 monitor, 2 transmissor de T e UR, 3 pontos de aquisição, 4 monitor com filtro auxiliar)

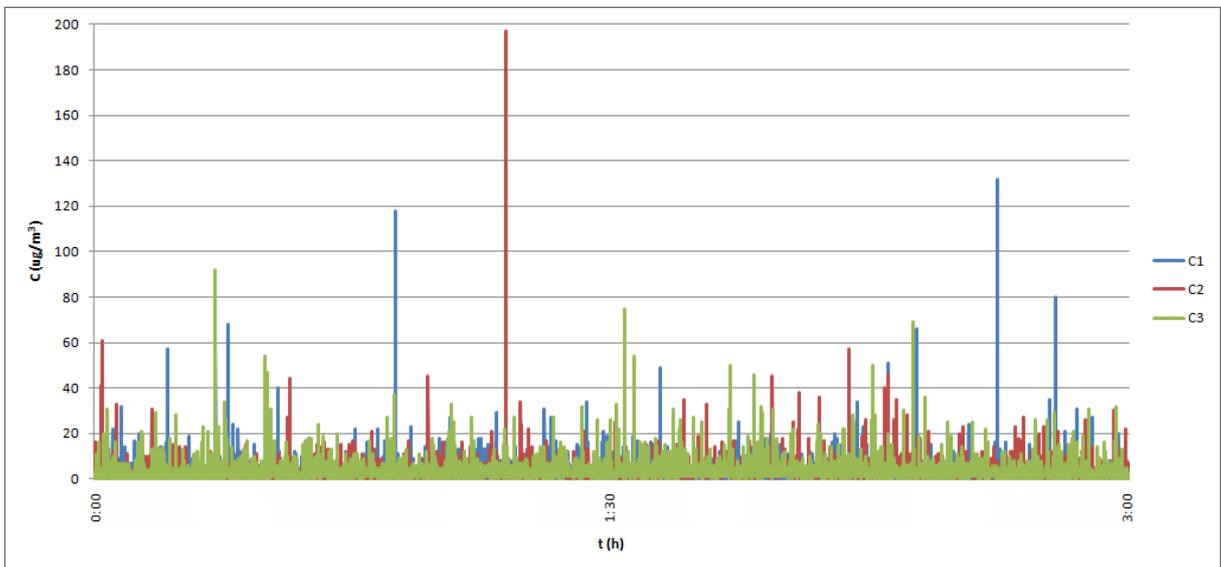


Figura 5.12 — Indicações de concentração dos três testes (C1, C2 e C3), sem filtro auxiliar

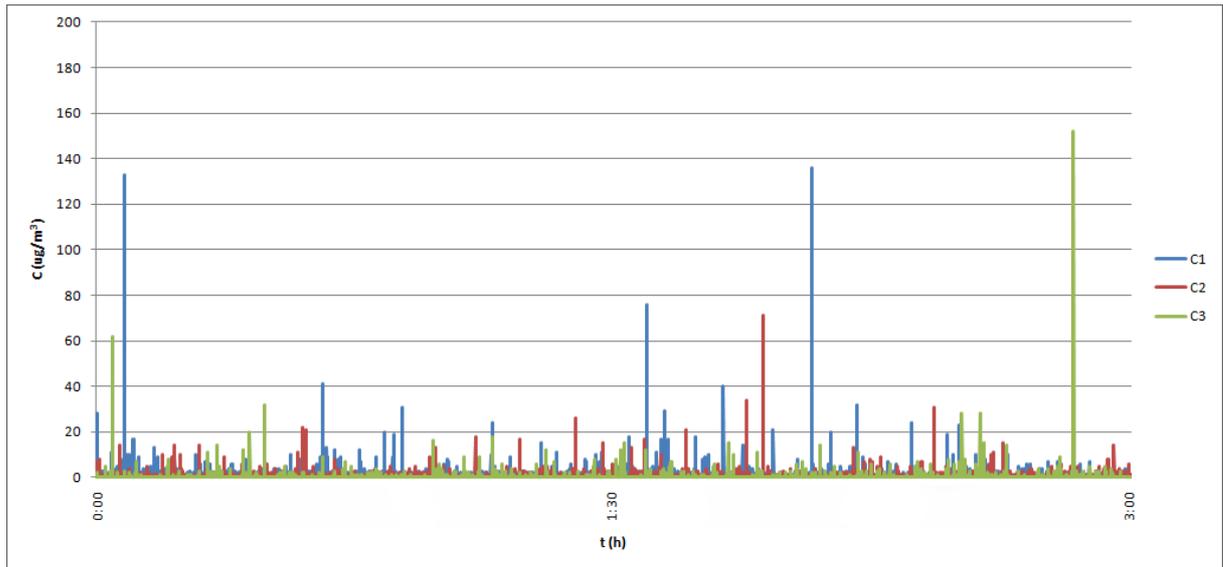


Figura 5.13 — Indicações de concentração dos três testes (C1, C2 e C3), com filtro auxiliar

A Figura 5.12 mostra as indicações de concentração dos três testes sem o filtro auxiliar acoplado ao monitor. Como o ar confinado foi filtrado por dois filtros de alta eficiência, era esperado que as indicações de concentração fossem próximas de zero, mas houve grandes variações: valores de até $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram registrados (o primeiro nível do índice de qualidade do ar para partículas finas da EPA vai até $15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ — Tabela 2.1). O coeficiente de variação dos testes foi calculado para acessar a dispersão dos dados. O coeficiente de variação é a razão entre o desvio padrão e a média da amostra: resultados abaixo de 0,2 indicam pouca dispersão, resultados acima de 1 indicam dispersão extrema [Bastos e Duquia, 2007]. Todos coeficientes dos testes foram acima de 1 (1,88, 1,50 e 1,38, respectivamente), indicando muita dispersão nos dados. Como os testes foram feitos sob as mesmas condições, estáveis, era esperada pouca dispersão nos dados. Esse resultado indica que a repetibilidade do instrumento não é boa. Valores acima de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram considerados espúrios, e essa percentagem foi acima de 10% nos três testes (11,12%, 13,30% e 17,30%, respectivamente), o que é um valor alto. O raciocínio inverso confirma a limpeza da bancada, já que a grande maioria dos valores foi abaixo de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mesmo aplicando nos dados a técnica de exclusão de pontos espúrios de Chauvenet, que também considera o desvio padrão e a média da amostra [Oliveira, 2008], e recalculando os coeficientes de variação dos testes, ainda houve indicação de muita dispersão: todos coeficientes seguiram próximos de 1 (1,17, 0,88, 0,91, respectivamente). Isso confirma a alta dispersão dos dados.

A Figura 5.13 mostra as indicações de concentração dos três testes com o filtro auxiliar acoplado ao monitor. Com o ar confinado filtrado por dois filtros de alta eficiência e com

outro filtro de alta eficiência acoplado diretamente à entrada de ar do monitor, era esperado que as indicações de concentração fossem zero, mas também houve grandes variações: valores de até $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram registrados (o pico do teste sem filtro auxiliar foi de $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O coeficiente de variação de todos testes foi acima de 5 (5,72, 5,88 e 15,20, respectivamente), indicando extrema dispersão nos dados. Esses maiores coeficientes também podem ser explicados pelos menores valores das médias de cada teste no denominador do cálculo. Esse resultado, novamente, indica que a repetibilidade do instrumento não é boa. Valores acima de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram considerados espúrios, e essa percentagem foi acima de 1% nos três testes (5,56%, 3,19% e 1,81%, respectivamente). O raciocínio inverso confirma a limpeza da bancada, já que a grande maioria dos valores foi abaixo de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mesmo aplicando nos dados a técnica de exclusão de pontos espúrios de Chauvenet e recalculando os coeficientes de variação dos testes, ainda houve indicação de muita dispersão: todos coeficientes seguiram acima de 2 (2,55, 3,49, 7,53, respectivamente). Isso confirma a alta dispersão dos dados.

Sem a declaração da incerteza de medição do monitor, não há indicação da qualidade dos resultados de concentração de partículas, e sua confiabilidade não pode ser garantida. Essa falha seria suficiente para não considerar esse instrumento para estudos. Com os testes mostrando muita dispersão e falta de repetibilidade nos dados, sua confiabilidade realmente não parece poder ser garantida. Para comparação de situações com muita diferença de concentração, os dados podem até dar uma indicação da tendência, como mostraram as análises do capítulo anterior, mas os valores não podem ser garantidos.

5.7 Considerações sobre o monitoramento de partículas finas

Dado que o monitoramento de partículas finas envolve medições, o delineamento de uma metodologia para isso deve considerar primeiramente os aspectos técnicos das opções de instrumento monitor. Claramente os aspectos técnicos não foram priorizados no delineamento da metodologia que é hoje o estado-da-arte em estudos em PTA. Embora o monitor utilizado dê uma indicação da tendência na comparação de situações com muita diferença de concentração de partículas, que é o caso da maioria dos estudos em PTA (comparação dos níveis de concentração em locais com e sem fumo), os valores não podem ser garantidos, e isso é uma enorme desvantagem. Já que o investimento foi feito, e já que há essa indicação da tendência, uma alternativa é que coletas de partículas por filtragem sempre acompanhem o

monitoramento: a amostragem por filtração é a abordagem clássica para isso. A análise do filtro por gravimetria dará o valor médio da amostragem, e pode ser comparado com o valor médio dado pelo instrumento. Não é o ideal, mas dada a situação é uma alternativa. Além dessa falha na metodologia, outras questões foram verificadas no processo dos ensaios:

- Segundo o fabricante, o que garante a exatidão dos resultados do monitor é a vazão de ar, que deve ser de 1,7 l/min. O calibrador de vazão não acompanha o instrumento, é item opcional. De acordo com o Instituto, os monitores são enviados com a vazão ajustada, porém a recomendação do fabricante é que a verificação seja feita antes de cada medição. Na ocasião da substituição do monitor que foi enviado para os estudos no país, solicitou-se o aparato para calibração e então se teve acesso ao procedimento utilizado pelos desenvolvedores da metodologia: um rotâmetro ligado a uma espécie de câmara (Figura 5.14). Como essa câmara não é acoplada ao monitor nas coletas, a calibração não deveria ser feita com ela, já que ela impõe perda de carga: a vazão cai de 1,7 para 1,2 l/min com ela acoplada ao rotâmetro. Nos novos materiais dos desenvolvedores da metodologia e no treinamento dado pelo site do Instituto, a calibração já é mostrada somente com o rotâmetro. Na verdade, o ideal seria utilizar o verificador digital recomendado pelo fabricante, para reduzir os erros de leitura.



Figura 5.14 — Calibração da vazão: maneira inadequada e maneira mais adequada de uso do rotâmetro [RPCI, 2008; JHSPH, 2009d]

- Segundo o fabricante, o ajuste do zero do monitor deve ser feito no local a ser monitorado para compensar a influência dos parâmetros ambientais, principalmente da umidade relativa. Na metodologia, o monitor é preparado antes da chegada aos locais.

- Sendo um estudo de amostragem de ar, deveria haver acompanhamento pelo menos dos parâmetros básicos temperatura e umidade relativa — até porque esses parâmetros influenciam a resposta do monitor.

O correto seria a troca do instrumento. A Agência de Proteção Ambiental Americana mantém uma lista de métodos de referência para alguns marcadores de qualidade do ar, incluindo material particulado [EPA, 2008b]. Ela é um bom guia de fabricantes desse tipo de instrumento. Analisando apenas as informações do site, uma boa opção parece ser o monitor Thermo Scientific pDR-1500⁶: é adequado às partículas finas, tem ampla faixa de medição (1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 400 mg/m^3), tem incerteza de medição declarada (5% mais a precisão, dependente do tempo de armazenamento da média), tem resolução adequada (0,1%) e parece robusto (boa faixa operacional de temperatura e umidade relativa, portátil, 1,2 kg). O instrumento também mede temperatura, umidade relativa e pressão barométrica. Há compensação dos efeitos da umidade relativa e da pressão e um filtro auxiliar que permite validação gravimétrica dos dados.

Aqui no país, outra opção é considerar a metodologia de filtragem de material particulado da Anvisa. Ela tem peso de argumentação, por ser o padrão nacional, mas não é prática como o uso desses monitores de aerossol, já requer análise em laboratório e dá apenas um valor de concentração para todo o tempo da amostragem. Além do mais, a Anvisa apenas indica a ficha técnica do amostrador requerido, e não indica opções de instrumento pronto.

É bom deixar claro que os monitores enviados à Aliança de Controle do Tabagismo para o levantamento de dados de poluição tabagística ambiental no país, com os resultados preliminares dos ensaios, não foram utilizados e foram devolvidos. Atualmente, a Aliança está coletando dados de qualidade do ar em São Paulo para avaliar o impacto da lei de ambientes livres de fumo: dados de nicotina pela metodologia do Instituto e dados de partículas finas por filtragem, em parceria com o Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da USP.

⁶ http://thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_4327.pdf

5.8 Recapitulação e conclusão

Este capítulo avaliou, por análise metrológica, as metodologias de amostragem de ar indicadas para o levantamento de dados de poluição tabagística ambiental para a mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo. Foram considerados os marcadores indicados pelo Instituto para o Controle Global do Tabaco: nicotina e partículas finas. Foram consideradas as metodologias para nicotina e partículas finas do Instituto e a metodologia para material particulado da Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

A avaliação mostrou que a metodologia para partículas finas, atualmente o estado-da-arte da área, embora mais prática que as outras não atende ao aspecto essencial que é a incerteza de medição do sistema de medição utilizado. Ensaio em bancada de ar filtrado mostraram pela dispersão dos dados que o instrumento nela utilizado não pode ter seus resultados garantidos. Outras questões técnicas relacionadas à vazão e aos parâmetros ambientais foram consideradas, e sugeriu-se a troca do instrumento.

No processo de avaliação, também foi identificada a necessidade da especificação de um instrumento em conformidade com a ficha técnica do amostrador requerido pela norma nacional para material particulado, que pode ser considerada o processo nacional de amostragem do ar para estudos de PTA.

Capítulo 6

RECAPITULAÇÃO E CONCLUSÃO

Este trabalho versou o problema da qualidade do ar de ambientes onde o fumo é permitido. Objetivou compilar uma base científica sobre a questão ventilação e poluição tabagística ambiental para embasar argumentações para o estabelecimento de leis de ambientes interiores livres de fumo.

- O primeiro capítulo introduziu o tema e revisou a literatura relacionada.
- O segundo capítulo compilou as bases da poluição tabagística ambiental: o cigarro, o fumar, a fumaça e a questão ventilação e PTA. Mostrou que a base científica é clara quanto à poluição tabagística ambiental: a fumaça do tabaco é agente cancerígeno em humanos e não há nível seguro de exposição a ela. A ventilação não soluciona o problema da exposição, e a abordagem eficiente no controle da qualidade do ar de ambientes interiores é a proibição do fumo.
- O terceiro capítulo revisou as leis e normas brasileiras referentes à qualidade do ar de ambientes interiores onde o fumo é permitido. Mostrou que as leis e normas brasileiras, prevendo áreas para fumantes em ambientes separados mas não isolados, não estão alinhadas à base científica sobre a questão ventilação e poluição tabagística ambiental, que aponta a proibição do fumo nesses ambientes. Estando em vigor no país a Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco, promulgada por decreto em 2006, deveria estar em vigor uma lei federal de ambientes livres de fumo.
- O quarto capítulo analisou, por modelagem física e experimentação em escala reduzida, o sistema de separação de áreas para fumantes e não-fumantes por ventilação proposto pelo projeto Convivência em Harmonia. Um modelo físico foi construído para representação do protótipo da orientação do projeto, e a qualidade do ar das duas áreas foi comparada. As situações sem e com barreira de separação entre as áreas foram representadas. A escala reduzida possibilitou o uso do monóxido de carbono como marcador da PTA, em desuso em ambientes reais devido à sua rápida diluição no ar. A concentração de partículas finas também

foi acessada. A análise mostrou que o sistema de separação de áreas proposto pelo projeto, mesmo com uma barreira auxiliar de separação entre as áreas, não é eficiente. A separação por ventilação não impede a dispersão da fumaça da área para fumantes para a área para não-fumantes. No processo de análise, também foi proposta uma metodologia para estudos em escala de qualidade do ar e poluição em ambientes interiores, e confirmou-se que o monóxido de carbono é um marcador pouco sensível para estudos de PTA em ambientes reais.

- O quinto capítulo avaliou, por análise metrológica, as metodologias de amostragem de ar indicadas para o levantamento de dados de poluição tabagística ambiental para a mobilização para a implementação de leis de ambientes livres de fumo. Foram considerados os marcadores indicados pelo Instituto para o Controle Global do Tabaco: nicotina e partículas finas. Foram consideradas as metodologias para nicotina e partículas finas do Instituto e a metodologia para material particulado da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. A avaliação mostrou que a metodologia para partículas finas, atualmente o estado-da-arte da área, embora mais prática que as outras não atende ao aspecto essencial que é a incerteza de medição do sistema de medição utilizado. Ensaio em bancada de ar filtrado mostraram pela dispersão dos dados que o instrumento nela utilizado não pode ter seus resultados garantidos. Outras questões técnicas relacionadas à vazão e aos parâmetros ambientais foram consideradas, e sugeriu-se a troca do instrumento. No processo de avaliação, também foi identificada a necessidade da especificação de um instrumento em conformidade com a ficha técnica do amostrador requerido pela norma nacional para material particulado, que pode ser considerada o processo nacional de amostragem do ar para estudos de PTA.

Espera-se com isso contribuir para o controle do tabagismo no Brasil. Novas possibilidades de contribuição observadas:

- ensaios com outros monitores de partículas finas sobre amostragem de PTA e ajuste de metodologia;
- desenvolvimento de um amostrador em conformidade com a norma para material particulado da Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

REFERÊNCIAS

ACT — ALIANÇA DE CONTROLE DO TABAGISMO. **Pesquisa Datafolha revela que brasileiros querem proibição total do fumo em ambientes fechados.** 2008a. 3 p.

ACT — ALIANÇA DE CONTROLE DO TABAGISMO. **Carta aos deputados do estado de São Paulo sobre as emendas ao projeto de lei 577/2008.** 2008b. 9 p.

AFUBRA — ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL. **Fumicultura regional.** 2008. Disponível em: <http://www.afubra.com.br/principal.php?acao=conteudo&u_id=1&i_id=1&menus_site_id=24>. Acesso em: 16 junho 2009.

AIVC — AIR INFILTRATION AND VENTILATION CENTRE. **Rationale and background to ventilation.** 2009. Disponível em: <<http://www.aivc.org>>. Acesso em: 16 junho 2009.

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. **Fundamentos de metrologia científica e industrial.** Barueri: Manole, 2008. 407 p.

ANVISA — AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Consulta Pública n. 29 de 2 de abril de 2007.** Dispõe sobre o funcionamento das salas destinadas exclusivamente para o uso de cigarros, cigarrilhas, charutos, cachimbos ou de qualquer outro produto fumígeno derivado do tabaco que produza fumaça ambiental do tabaco (FAT) nos recintos coletivos, públicos ou privados. Diário Oficial da União, Brasília, 3 abr. 2007.

ANVISA — AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria n. 527, de 22 de setembro de 2006.** Institui Grupo de Trabalho com o objetivo de elaborar proposta de Regulamento Técnico sobre o funcionamento dos recintos coletivos, privados ou públicos, destinados, exclusivamente, para o uso de cigarros, cigarrilhas, charutos, cachimbos ou de qualquer outro produto fumífero. Diário Oficial da União, Brasília, 25 set. 2006a.

ANVISA — AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria n. 528, de 22 de setembro de 2006.** Institui Grupo de Trabalho visando a implantação do Programa "Ambientes Livres de Fumo". Diário Oficial da União, Brasília, 25 set. 2006b.

ANVISA — AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RE n. 9, de 16 de janeiro de 2003.** Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Diário Oficial da União, Brasília, 20 jan. 2003.

ASHRAE — AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Ventilation for acceptable indoor air quality (ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007).** Atlanta: 2007. 41 p.

ASHRAE — AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Environmental tobacco smoke: position document.** Atlanta: 2005. 10 p.

BAKER, R. Smoke generation inside a burning cigarette: modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 32, p. 373–385, 2006.

BAKER, R.; ROBINSON, D. **Tobacco combustion: the last ten years.** Southampton: British-American Tobacco Fundamental Research Centre, 1990. 47 p.

BAKER, R. Product formation mechanisms inside a burning cigarette. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 7, n. 2, p. 135–153, 1981.

BALIGA, V.; THURSTON, M.; MISER, D.; SHARMA, R.; CHAN, W.; HAJALIGOL, M. Physical characterization of the cigarette coal: part 2—puff burn. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 72, n. 1, p. 83–96, 2004.

BALIGA, V.; MISER, D.; SHARMA, R.; THURSTON, M.; CHAN, W.; HAJALIGOL, M. Physical characterization of the cigarette coal: part 1—smolder burn. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 68–69, p. 443–465, 2003.

BARNOYA, J.; GLANTZ, S. Tobacco industry success in preventing regulation of secondhand smoke in Latin America: the “Latin Project”. **Tobacco Control**, v. 11, n. 4, p. 305–314, 2002.

BARON, P.; WILLEKE, K. (Ed.). **Aerosol measurement: principles, techniques, and applications**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2005. 1131 p.

BARROS, B.; SCARMINIO, I.; BRUNS, R. **Como fazer experimentos**. 3. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2007. 480 p.

BASTOS, J.; DUQUIA, R. Medidas de dispersão: os valores estão próximos entre si ou variam muito? **Scientia Medica**, v. 17, n. 1, p. 40–44, 2007.

BAUKAL, C. **Industrial combustion pollution and control**. New York: Marcel Dekker, 2004. 904 p.

BIALOUS, S.; GLANTZ, S. ASHRAE Standard 62: tobacco industry’s influence over national ventilation standards. **Tobacco Control**, v. 11, n. 4, p. 315–328, 2002.

BRASIL. **Decreto n. 5.658, de 2 de janeiro de 2006**. Promulga a Convenção-Quadro sobre Controle do Uso do Tabaco, adotada pelos países membros da Organização Mundial de Saúde em 21 de maio de 2003 e assinada pelo Brasil em 16 de junho de 2003. Brasília, 2006.

BRASIL. **Decreto não numerado, de 1º de agosto de 2003**. Cria a Comissão Nacional para Implementação da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco e de seus Protocolos. Brasília, 2003.

BRASIL. **Lei n. 10.167, de 27 de dezembro de 2000.** Altera dispositivos da Lei no 9.294, de 15 de julho de 1996, que dispõe sobre as restrições ao uso e à propaganda de produtos fumígenos, bebidas alcoólicas, medicamentos, terapias e defensivos agrícolas. Diário Oficial da União, Brasília, 28 dez. 2000.

BRASIL. **Lei n. 9.782, de 26 de janeiro de 1999.** Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 27 jan. 1999.

BRASIL. **Lei n. 9.294 de 15 de julho de 1996.** Dispõe sobre as restrições ao uso e à propaganda de produtos fumígenos, bebidas alcoólicas, medicamentos, terapias e defensivos agrícolas, nos termos do § 4º do art. 220 da Constituição Federal. Diário Oficial da União, Brasília, 16 jul. 1996a.

BRASIL. **Decreto n. 2.018, de 1º de outubro de 1996.** Regulamenta a Lei nº 9.294, de 15 de julho de 1996, que dispõe sobre as restrições ao uso e à propaganda de produtos fumígenos, bebidas alcoólicas, medicamentos, terapias e defensivos agrícolas, nos termos do § 4º do art. 220 da Constituição. Brasília, 1996b.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, 1988.

BRASIL. **Lei n. 7.488, de 11 de junho de 1986.** Institui o "Dia Nacional de Combate ao Fumo". Diário Oficial da União, Brasília, 11 jun. 1986.

CAINS, T.; CANNATA, S.; POULOS, R.; FERSON, M.; STEWART, B. Designated "no smoking" areas provide from partial to no protection from environmental tobacco smoke. **Tobacco Control**, v. 13, n. 1, p. 17–22, 2004.

CARVALHO, E. **Investigação sobre incandescência em madeira.** 1999. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Combustão) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, 1999.

CARVALHO, J.; MCQUAY, M. **Princípios de combustão aplicada.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2007. 176 p.

CAVALCANTE, T. O controle do tabagismo no Brasil: avanços e desafios. **Revista de Psiquiatria Clínica**, v. 32, n. 5, p. 283–300, 2005.

CHARLES, S.; BATTERMAN, S.; JIA, C. Composition and emissions of VOCs in main- and side-stream smoke of research cigarettes. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 26, p. 5371–5384, 2007.

CIAR — CENTER FOR INDOOR AIR RESEARCH. **Charter membership proposal**. 1993. Disponível em: <<http://legacy.library.ucsf.edu/tid/qhj48e00>>. Acesso em: 16 junho 2009.

COALITION FOR FIRE-SAFE CIGARETTES. **Fast facts**. 2009. Disponível em: <<http://firesafecigarettes.org/itemDetail.asp?categoryID=86&itemID=1188&URL=About%20fire-safe%20cigarettes/Fast%20facts>>. Acesso em: 16 junho 2009.

COSTA, A.; FIGUEIREDO, V.; CAVALCANTE, T.; NORONHA, C.; COLOMBO, V.; ALMEIDA, L. **Mortalidade atribuível ao tabagismo passivo na população urbana do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Câncer, 2008. 17 p.

COSTA, F. Natural smoldering of cigarettes. In: ASME: SUMMER HEAT TRANSFER CONFERENCE, 2003, Las Vegas. **Proceedings...** Las Vegas: 2003.

DAVIS, D.; NIELSEN, M. (Ed.). **Tobacco: production, chemistry, and technology**. Hoboken: Wiley, 1999. 467 p.

DEARLOVE, J.; BIALOUS, S.; GLANTZ, S. Tobacco industry manipulation of the hospitality industry to maintain smoking in public places. **Tobacco Control**, v. 11, n. 2, p. 94–104, 2002.

DROPE, J.; BIALOUS, S.; GLANTZ, S. Tobacco industry efforts to present ventilation as an alternative to smoke-free environments in North America. **Tobacco Control**, v. 13, p. 41–47, 2004.

DRYSDALE, D. **An introduction to fire dynamic**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 1999. 470 p.

EPA — U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Particulate matter**. 2009. Disponível em: <<http://epa.gov/particles>>. Acesso em: 16 junho 2009.

EPA — U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Controlling moisture**. 2008a. Disponível em: <<http://epa.gov/iaq/homes/hip-moisture.html>>. Acesso em: 16 junho 2009.

EPA — U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **List of designated reference and equivalent methods**. Durham: 2008b. 48 p.

EPA — U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Final revisions to the national ambient air quality standards for particle pollution**. Washington: 2006. 8 p.

EPA — U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Air quality index: a guide to air quality and your health**. Washington: 2003. 16 p.

EPA — U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guideline for reporting of daily air quality**. Washington: 1999. 25 p.

FINNEMORE, E.; FRANZINI, J. **Fluid mechanics with engineering applications**. Columbus: McGraw-Hill, 2001. 816 p.

FOX, R.; MCDONALD, A.; PRITCHARD, P. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 798 p. Título original: **Introduction to fluid mechanics**.

GHABI, C.; REIN, G.; TICHA, H. SASSI, M. Bidimensional numerical model for polyurethane smoldering in a fixed bed. In: ICCHMT: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL HEAT AND MASS TRANSFER, 4., 2005, Paris-Cachan. **Proceedings...** Paris-Cachan: 2005.

GLANTZ, S.; SLADE, J.; BERO, L.; HANAUER, P.; BARNES, D. **The cigarette papers**. Berkeley: University of California Press, 1996. 560 p.

GRAVEMEIER, V. **The variational multiscale method for laminar and turbulent incompressible flow**. 2003. 207 f. Tese — Institut für Baustatik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany, 2003.

GULLIVER, J. **Introduction to chemical transport in the environment**. New York: Cambridge University Press, 2007. 288 p.

HARVARD SCHOOL OF PUBLIC HEALTH; ROSWELL PARK CANCER INSTITUTE; HEALTH SERVICE EXECUTIVE-WEST; RESEARCH INSTITUTE FOR A TOBACCO FREE SOCIETY; OFFICE OF TOBACCO CONTROL. **How smoke-free laws improve air quality: a global study of irish pubs**. 2006. 15 p.

HHS — U. S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **The health consequences of involuntary exposure to tobacco smoke: a report of the Surgeon General**. Rockville: 2006. 709 p.

HHS — U. S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **The health consequences of involuntary smoking: a report of the Surgeon General**. Rockville: 1986. 359 p.

HYLAND, A.; TRAVERS, M.; DRESLER, C.; HIGBEE, C.; CUMMINGS, K. A 32-country comparison of tobacco smoke derived particle levels in indoor public places. **Tobacco Control**, v. 17, p. 159–165, 2008.

IARC — INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: tobacco smoke and involuntary smoking, summary of data reported and evaluation**. Lyon: 2004.

IGLESIAS, R.; JHA, P.; PINTO, M.; COSTA E SILVA, V.; GODINHO, J. **Controle do tabagismo no Brasil**. Washington: The World Bank, 2007. 119 p.

INCA — INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco: histórico**. 2009. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br/tabagismo/frameset.asp?item=cquadro3&link=historico.htm>>. Acesso em: 16 junho 2009.

INCA — INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Legislação federal vigente sobre tabaco no Brasil.** 2007. 7 p.

INCA — INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Dia Nacional de Combate ao Fumo — manual de orientações.** 2005. 24 p.

ISO — INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Guide to the expression of uncertainty in measurement.** Geneva: 1995. 101 p.

ISO — INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2533: Standard atmosphere.** Geneva: 1975. 108 p.

JENKINS, R.; GUERIN, M.; TOMKINS, B. **The chemistry of environmental tobacco smoke: composition and measurement.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 467 p.

JHSPH — JOHNS HOPKINS BLOOMBERG SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. **Air monitoring.** 2009a. Disponível em: <<http://shsmonitoring.org/methods/air>>. Acesso em: 16 junho 2009.

JHSPH — JOHNS HOPKINS BLOOMBERG SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. **Institute for Global Tobacco Control.** 2009b. Disponível em: <http://www.jhsph.edu/global_tobacco>. Acesso em: 16 junho 2009.

JHSPH — JOHNS HOPKINS BLOOMBERG SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. **Air nicotine monitoring.** 2009c. Disponível em: <http://shsmonitoring.org/training/air_nicotine>. Acesso em: 16 junho 2009.

JHSPH — JOHNS HOPKINS BLOOMBERG SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. **Particulate matter (PM_{2.5}) air monitoring.** 2009d. Disponível em: <http://shsmonitoring.org/training/pm25_air>. Acesso em: 16 junho 2009.

KAMINSKI, D; JENSEN, M. **Introduction to thermal and fluids engineering.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. 800 p.

KILIÁN, Z. **Ash**. 2007. Foto. Disponível em: <<http://www.sxc.hu/photo/867417>>. Acesso em: 16 junho 2009.

KLEPEIS, N.; OTT, W.; SWITZER, P. Real-time measurement of outdoor tobacco smoke particles. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 57, p. 522–534, 2007.

KLEPEIS, N.; NAZAROFF, W. Modeling residential exposure to secondhand tobacco smoke. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 23, p. 4393–4407, 2006a.

KLEPEIS, N.; NAZAROFF, W. Mitigating residential exposure to secondhand tobacco smoke. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 23, p. 4408–4422, 2006b.

KLEPEIS, N.; OTT, W.; SWITZER, P. **Real-time monitoring of outdoor environmental tobacco smoke concentrations: a pilot study**. Stanford: Stanford University, Department of Statistics, 2004. 94 p.

KLEPEIS, N. Validity of the uniform mixing assumption: determining human exposure to environmental tobacco smoke. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, n. S2, p. 357–363, 1999.

KLEPEIS, N.; OTT, W.; REPACE, J. The effect of cigar smoking on indoor levels of carbon monoxide and particles. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 9, n. 6, p. 622–635, 1999.

KLEPEIS, N.; OTT, W.; SWITZER, P. A multiple-smoker model for predicting indoor air quality in public lounges. **Environmental Science & Technology**, v. 9, n. 30, p. 2813–2820, 1996.

LAW, C. **Combustion physics**. New York: Cambridge University Press, 2006. 722 p.

MAGE, D.; OTT, W. Accounting for nonuniform mixing and human exposure in indoor microenvironments. In: TICHENOR, B. (Ed.). **Characterizing sources of indoor air pollution and related sink effects**. West Conshohocken: ASTM International, 1996. p. 263–278.

MARCO, G.; KEPHALOPOULOS, S.; RUUSKANEN, J.; JANTUNEN, M. Personal carbon monoxide exposure in Helsinki, Finland. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 15, p. 2697–2707, 2005.

MATT, G.; QUINTANA, P.; HOVELL, M.; BERNERT, J.; SONG, S.; NOVIANTI, N.; JUAREZ, T.; FLORO, J.; GEHRMAN, C.; GARCIA, M.; LARSON, S. Households contaminated by environmental tobacco smoke: sources of infant exposures. **Tobacco Control**, v. 13, n. 1, p. 29–37, 2004.

MILLER, S.; NAZAROFF, W. Environmental tobacco smoke particles in multizone indoor environments. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 12, p. 2053–2067, 2001.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigitel Brasil 2008: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico**. Brasília: 2009. 111 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n. 300/GM, de 9 de fevereiro de 2006**. Institui o programa "Ministério da Saúde Livre do Tabaco", com a finalidade de elaborar e implementar ações educativas e curativas destinadas a conscientizar os funcionários e os visitantes da instituição em relação aos males provocados pelo uso do tabaco. Brasília, 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE; MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Portaria n. 1.498, de 22 de agosto de 2002**. Recomenda às instituições de saúde e de ensino a implantarem programas de ambientes livres da exposição tabagística ambiental. Brasília, 2002.

MINISTÉRIO DO TRABALHO; MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n. 3.257, de 22 de setembro 1988**. Recomenda medidas restritivas ao fumo nos ambientes de trabalho. Brasília, 1988.

MULCAHY, M.; EVANS, D.; HAMMOND, S.; REPACE, J.; BYRNE, M. Secondhand smoke exposure and risk following the Irish smoking ban: an assessment of salivary cotinine concentrations in hotel workers and air nicotine levels in bars. **Tobacco Control**, v. 14, n. 6, p. 384–388, 2005.

MULHOLLAND, G. Smoke production and properties. In: SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **SFPE handbook of fire protection engineering**. 2002. cap. 2-13, p. 258– 268.

NAVAS-ACIEN, A.; PERUGA, A.; BREYSSE, P.; ZAVALA, A.; BLANCO-MARQUIZO, A.; PITARQUE, R.; ACUÑA, M.; JIMÉNEZ-REYES, K.; COLOMBO, V.; GAMARRA, G.; STILLMAN, F.; SAMET, J. Secondhand tobacco smoke in public places in Latin America, 2002-2003. **Journal of the American Medical Association**, v. 291, n. 22, p. 2741–2745, 2004.

NAZAROFF, W.; KLEPEIS, N. Environmental tobacco smoke particles. In: MORAWSKA, L.; SALTHAMMER, T. (Ed.). **Indoor environment: airborne particles and settled dust**. Hoboken: Wiley, 2003. cap. 3.5, p. 245–274.

OBASAJU, E.; ROBINS, A. Simulation of pollution dispersion using small scale physical models—an assessment of scaling options. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 52, p. 239–254, 1998.

OHLEMILLER, T. Smoldering combustion. In: SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **SFPE handbook of fire protection engineering**. 2002. cap. 2-9, p. 200–210.

OLIVEIRA, E. Comparação das diferentes técnicas para a exclusão de "outliers". In: ENQUALAB: CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2008.

OTRU — ONTARIO TOBACCO RESEARCH UNIT. **Tobacco and public health: from theory to practice**. 2008. Disponível em: <<http://tobaccocourse.otru.org>>. Acesso em: 16 junho 2009.

OTT, W.; KLEPEIS, N.; SWITZER, P. Air change rates of motor vehicles and in-vehicle pollutant concentrations from secondhand smoke. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 18, p. 312–325, 2008.

OTT, W.; STEINEMANN, A.; WALLACE, L. **Exposure analysis**. Boca Raton: CRC Press, 2006. 533 p.

OTT, W.; KLEPEIS, N.; SWITZER, P. Analytical solutions to compartmental indoor air quality models with application to environmental tobacco smoke concentrations measured in a house. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 53, n. 8, p. 918–936, 2003.

OTT, W. Mathematical models for predicting indoor air quality from smoking activity. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, n. S2, p. 375–381, 1999.

PHILIP MORRIS. **Sidestream tobacco smoke dispersion and inhalability**. 1992.

Disponível em: <<http://tobaccodocuments.org/pm/2025362579.html>>. Acesso em: 16 junho 2009.

R. J. REYNOLDS. **Computational fluid dynamics modeling**. 1993. Disponível em: <<http://legacy.library.ucsf.edu/action/document/page?tid=ldg38c00&page=2>>. Acesso em: 16 junho 2009.

RABELO, E.; CARVALHO, J.; VERAS, C.; FERREIRA, M.; SANDBERG, D. Estudo paramétrico sobre incandescência em biomassa. In: ENCIT: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS, 9., 2002, Caxambu. **Anais...** Caxambu: 2002. CD-ROM.

REHVA — FEDERATION OF EUROPEAN HEATING AND AIR-CONDITIONING ASSOCIATIONS. **Ventilation and smoking: reducing the exposure to ETS in buildings**. Brussels: 2004. 144 p.

REPACE, J.; JOHNSON, K. Can displacement ventilation control secondhand ETS? **ASHRAE IAQ Applications**, v. 7, n. 4, p. 3–8, 2006.

REPACE, J. **Measurements of outdoor air pollution from secondhand smoke on the UMBC campus**. Baltimore: University of Maryland, Baltimore County, 2005. 10 p.

REPACE, J. Respirable particles and carcinogens in the air of Delaware hospitality venues before and after a smoking ban. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 46, n. 9, p. 887–905, 2004.

REPACE, J. **Can ventilation control secondhand smoke in the hospitality industry?**

Sacramento: California Tobacco Control Program, 2000. 56 p.

REPACE, J.; LOWREY, A. Indoor air pollution, tobacco smoke, and public health. **Science**, v. 208, p. 464–472, 1980.

REIN, G. **Computational model of forward and opposed smoldering combustion with improved chemical kinetics**. 2005. 169 f. Tese (Doctor of Philosophy in Engineering, Mechanical Engineering) — University of California, Berkeley, USA, 2005.

RIFFEL, M. **Simulação da dispersão de poluentes por modelo lagrangeano em condições de vento fraco**. 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2007.

ROSTAMI, A.; MURTHY, J.; HAJALIGOL, M. Modeling of smoldering process in a porous biomass fuel rod. **Fuel**, v. 83, p. 1527–1536, 2004.

ROSTAMI, A.; MURTHY, J.; HAJALIGOL, M. Modeling of a smoldering cigarette. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 66, p. 281–301, 2003.

RPCI — ROSWELL PARK CANCER INSTITUTE. **Tobacco Free Air**. 2008. Disponível em: <<http://tobaccofreeair.org>>. Acesso em: 16 junho 2009.

RPCI — ROSWELL PARK CANCER INSTITUTE. **Global air monitoring study indoor air monitoring protocol**. 2006. 13 p.

RPCI — ROSWELL PARK CANCER INSTITUTE; INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER; HARVARD SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. **A 24-country comparison of levels of indoor air pollution in different workplaces**. 2006. 17 p.

SAIDI, M.; HAJALIGOL, M.; MHAISEKAR, A.; SUBBIAH, M. A 3D modeling of static and forward smoldering combustion in a packed bed of materials. **Applied Mathematical Modelling**, v. 31, p. 1970–1996, 2007.

SAIDI, M.; HAJALIGOL, M.; RASOULI, F. Numerical simulation of a burning cigarette during puffing. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 72, p. 141–152, 2004.

SÃO PAULO. **Lei n. 13.541, de 7 de maio de 2009**. Proíbe o consumo de cigarros, cigarrilhas, charutos, cachimbos ou de qualquer outro produto fumígeno, derivado ou não do tabaco, na forma que especifica. Assessoria Técnico-Legislativa, São Paulo, 7 maio 2009.

SCHICK, S.; GLANTZ, S. Sidestream cigarette smoke toxicity increases with aging and exposure duration. **Tobacco Control**, v. 15, n. 6, p. 424–429, 2006.

SCHICK, S.; GLANTZ, S. Philip Morris toxicological experiments with fresh sidestream smoke: more toxic than mainstream smoke. **Tobacco Control**, v. 14, n. 6, p. 396–404, 2005.

SCHLICHTING, H. **Boundary-layer theory**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1979. 817 p.

SEBRIÉ, E.; GLANTZ, S. “Accommodating” smoke-free policies: tobacco industry’s Courtesy of Choice programme in Latin America. **Tobacco Control**, v. 16, n. 6, 2007.

SEDOV, L. **Similarity and dimensional methods in mechanics**. 10. ed. Boca Raton: CRC Press, 1993. 479 p.

SEELIG, M. **A ventilação e a fumaça ambiental de cigarros — um estudo sobre a influência das condições meteorológicas na qualidade do ar de ambientes fechados**. 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, 2005.

SEKHAR, S.; WILLEM, H. Impact of airflow profile on indoor air quality—a tropical study. **Building and Environment**, v. 39, n. 3, p. 255–266, 2004.

SENDZIK, T.; FONG, G.; TRAVERS, M.; HYLAND, A. **An experimental investigation of tobacco smoke pollution in cars**. Toronto: Ontario Tobacco Research Unit, 2008. 20 p.

SHAFEY, O.; ERIKSEN, M.; ROSS, H.; MACKAY, J. **The tobacco atlas**. 3. ed. Atlanta: American Cancer Society, 2009. 128 p.

SINDIFUMO — SINDICATO DA INDÚSTRIA DO FUMO. **Tipos de Fumo**. 2009. Disponível em: <http://temsite.com.br/sites/sindifumo/index.php?option=com_content&task=view&id=924&lid=1&Itemid=719>. Acesso em: 16 junho 2009.

SINGER, B.; HODGSON, A.; NAZAROFF, W. Gas-phase organics in environmental tobacco smoke: 2. Exposure-relevant emission factors and indirect exposures from habitual smoking. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 39–40, p. 5551–5561, 2003.

SOUZA CRUZ. **Ingredientes do fumo**. 2009a. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/OneWeb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/80256DAD006376DD80256D8700566F54?opendocument&SID=&DTC=>>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Mercado e distribuição**. 2009b. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/80256DAD006376DD80256D87004CC8D0?opendocument&SID=&DTC=>>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **O que é o cigarro**. 2008a. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/80256DAD006376DD80256D87004D01F3?opendocument&SID=&DTC=>>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Cigarro**. 2008b. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5RNHT4?opendocument&SID=&DTC=&TMP=1>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Colheita e cura**. 2008c. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/80256DAD006376DD80256D8700574A58?opendocument&SID=&DTC=>>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Como é o processamento**. 2008d. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/0604DAB1B3A18FDFC12570BB004810C9?opendocument&SID=&DTC=>>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Convivência em Harmonia**. 2006. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/OneWeb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/80256DAD006376DD80256DA20043DAE7?opendocument&SID=&DTC=>>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Programa Convivência em Harmonia: hotéis e restaurantes participantes por cidade**. 2003. Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5RNGQH/\\$FILE/medpo5rngy9.swf](http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5RNGQH/$FILE/medpo5rngy9.swf)>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Convivência em Harmonia — administrando um assunto em evolução**. 1996a. 16 p. Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5REGH9/\\$FILE/medMD5RMEB7.pdf](http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5REGH9/$FILE/medMD5RMEB7.pdf)>. Acesso em: 16 junho 2009.

SOUZA CRUZ. **Convivência em Harmonia — o uso eficiente da ventilação**. 1996b. 16 p. Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5REGH9/\\$FILE/medMD5RMEC8.pdf](http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5REGH9/$FILE/medMD5RMEC8.pdf)>. Acesso em: 16 junho 2009.

SPENGLER, J.; DOCKERY, D.; TURNER, W.; WOLFSON, J.; FERRIS, B. Long-term measurements of respirable sulfates and particles inside and outside homes. **Atmospheric Environment**, v. 15, n. 1, p. 23–30, 1981.

STAQUET, C.; BOURUET-AUBERTOT, P. Mixing in weakly turbulent stably stratified flows. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 34, n. 2–4, p. 81–102, 2001.

STULL, R. **An introduction to boundary layer meteorology**. Berlin: Springer, 1988. 680 p.

TING, C. **Dimensional analysis and modeling**. 2007. Apresentação. Disponível em: <http://www.esoe.ntu.edu.tw/course/50522100/ppt/Chapter_07.ppt>. Acesso em: 16 junho 2009.

TRIVERS, M.; HIGBEE, C.; HYLAND, A. **Vancouver Island outdoor smoking area air monitoring study**. Buffalo: Roswell Park Cancer Institute, 2007. 20 p.

TSI. **SidePak AM510 Personal Aerosol Monitor service and support**. 2009. Disponível em: <http://tsi.com/en-1033/products/2112/sidepak™_am510_personal_aerosol_monitor.aspx>. Acesso em: 16 junho 2009.

TSI. **SidePak Personal Aerosol Monitor user guide**. Shoreview: 2008. 71 p.

TSI. **SidePak AM510 Personal Aerosol Monitor theory of operation**. Shoreview: 2006. 2 p.

VAN LOO, S.; KOPPEJAN, J. (Ed.). **The handbook of biomass combustion and co-firing**. London: Earthscan, 2008. 442 p.

VARDAVAS, C.; LINARDAKIS, M.; KAFATOS, A. Environmental tobacco smoke exposure in motor vehicles: a preliminary study. **Tobacco Control**, v. 15, p. 415, 2006.

WALKER, C. **Methodology for the evaluation of natural ventilation in buildings using a reduced-scale air model**. 2006. 211 f. Tese (Doctor of Philosophy in Building Technology) — Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 2006.

WAYMACK, B.; KELLOGG, D.; MCRAE, D.; DWYER, R. **Watts in a cigarette: thermophysical properties of smoldering cigarettes**. Richmond: Philip Morris USA Research Center, 1993. 24 p.

WHITE, F. **Fluid mechanics**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 1998. 826 p.

WHO — WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Framework Convention on Tobacco Control**. 2009a. Disponível em: <<http://who.int/fctc>>. Acesso em: 16 junho 2009.

WHO — WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Why is tobacco a public health priority?** 2009b. Disponível em: <http://who.int/tobacco/health_priority/en>. Acesso em: 16 junho 2009.

WHO — WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines on the protection from exposure to tobacco smoke.** 2007. Disponível em: <http://who.int/fctc/guidelines/article_8>. Acesso em: 16 junho 2009.

WITTWER, A. **Simulação do vento atmosférico e dos processos de dispersão de poluentes em túnel de vento.** 2006. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2006.

YAMASHITA, Y.; LEE, J.; KOBASHI, Y. **Studies on the thermal analysis of tobacco: determination of ignition temperature of tobacco and combustibility of cigarettes.** Japan Monopoly Corporation Central Research Institute, 1967.

YI, S.; HAJALIGOL, M. Product distribution from the pyrolysis modeling of tobacco particles. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 66, p. 217–234, 2003.

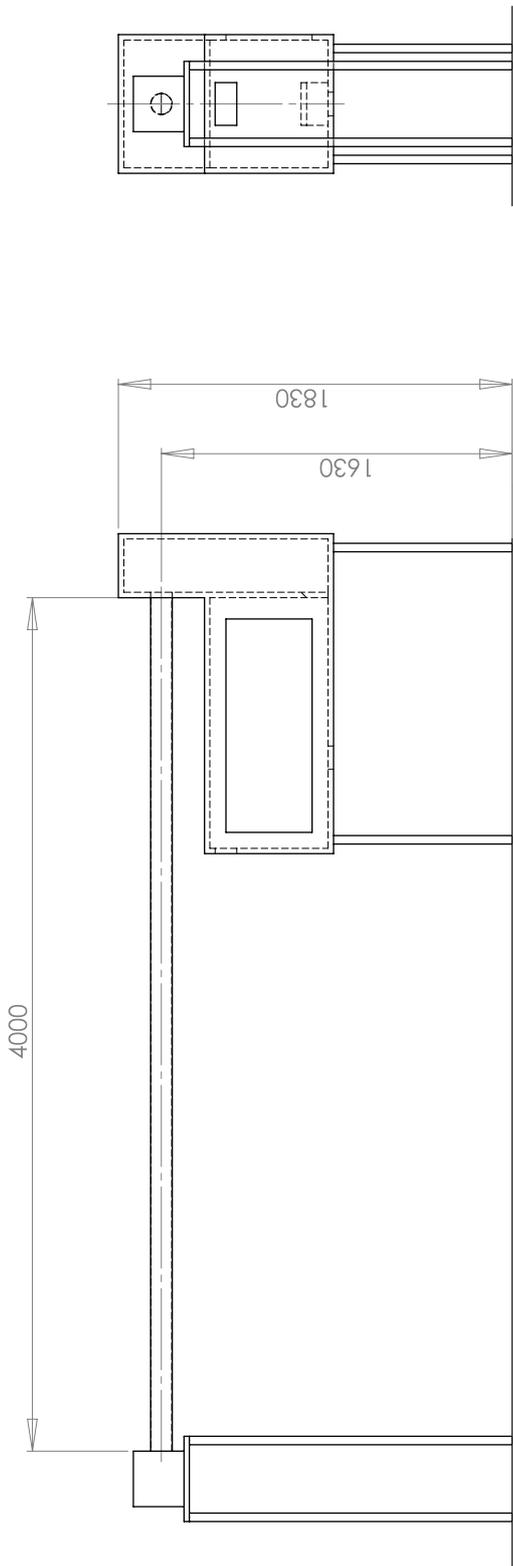
YI, S.; SONG, E.; HAJALIGOL, M. Mathematical model of smoldering combustion in a carbonaceous porous medium part 1—development of pyrolysis and combustion models for a cylindrical geometry. **Journal of Fire Sciences**, v. 19, p. 429–448, 2001.

ZHANG, J.; SMITH, K. Indoor air pollution: a global health concern. **British Medical Bulletin**, v. 68, p. 209–225, 2003.

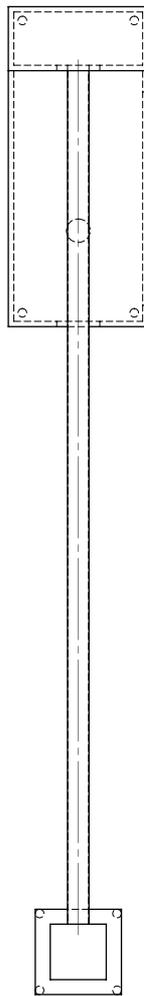
ZHAO, L.; ZHANG, Y.; WANG, X.; RISKOWSKI, G.; CHRISTIANSON, L. Measurement of airflow patterns in ventilated spaces using particle image velocimetry. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999, Toronto. **Proceedings...** Toronto: 1999.

Apêndice A — Plantas do modelo

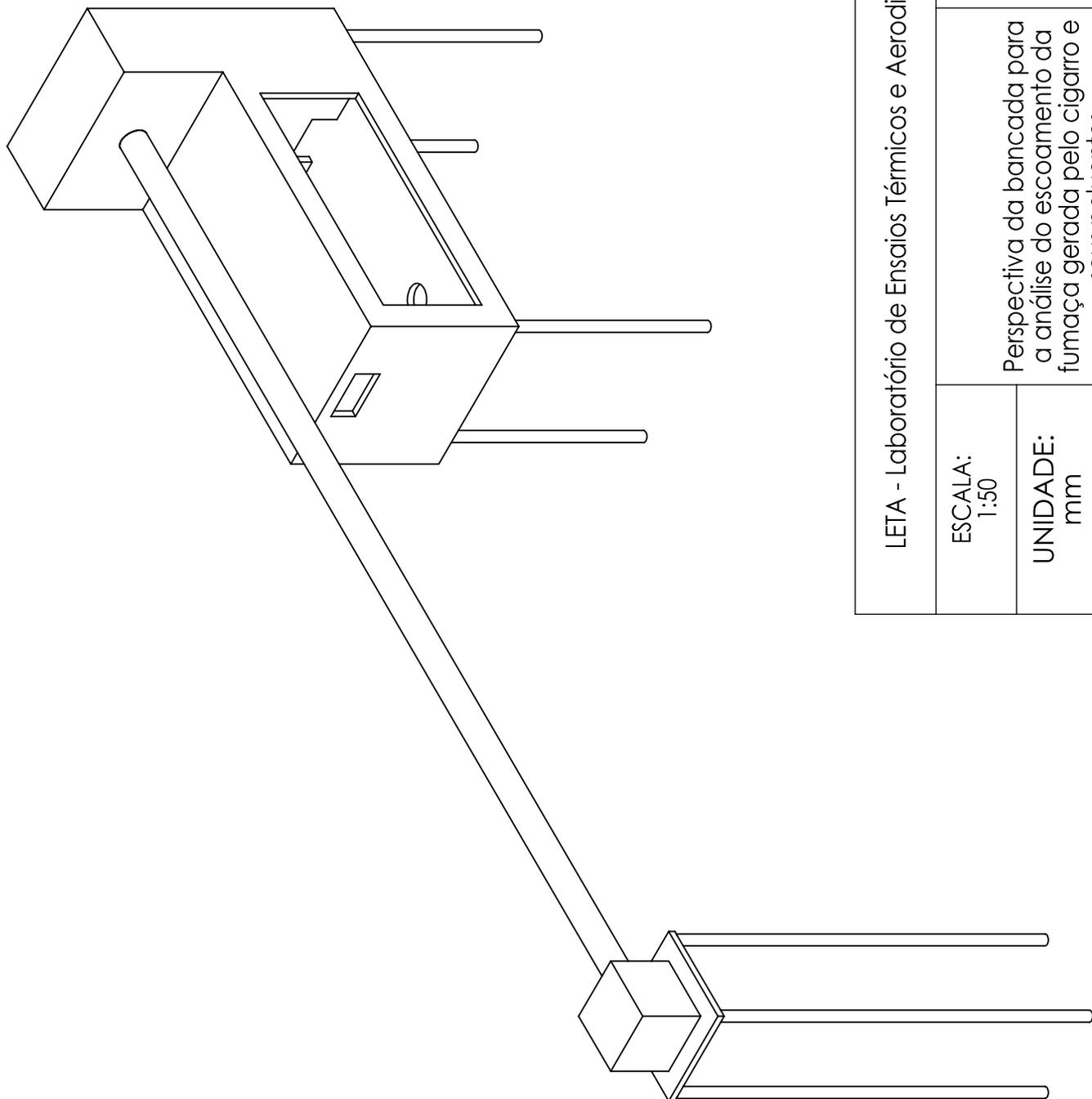
Páginas 102, 103 e 104.



Nota: todas as placas de madeira com espessura de 25,4 mm (1")



LETA - Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos - UFRGS		Código: F1
ESCALA: 1:25	Bancada para a análise do escoamento da fumaça gerada pelo cigarro e seus poluentes	
UNIDADE: mm		
Data: 04/11/2009		



LETA - Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos - UFRGS

ESCALA:
1:50

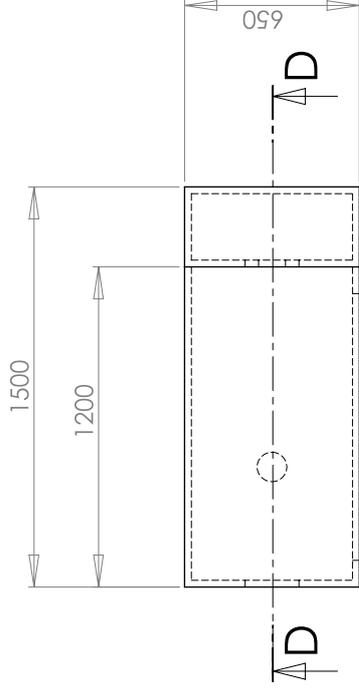
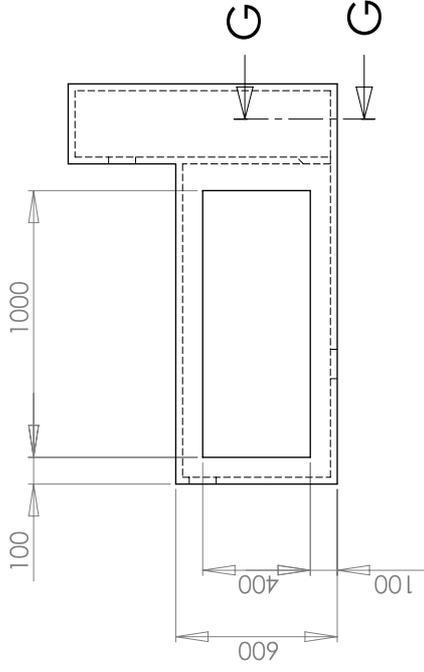
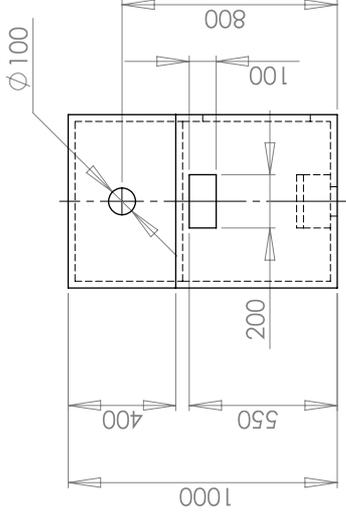
UNIDADE:
mm

Data:
04/11/2009

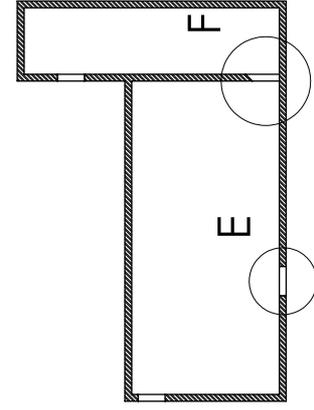
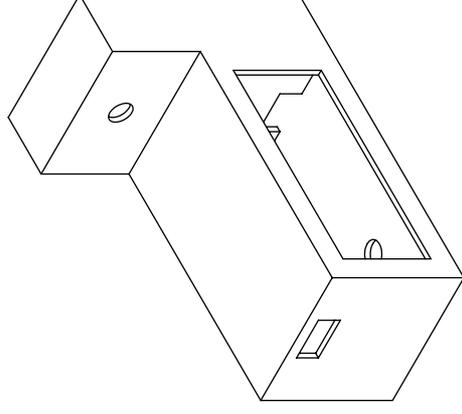
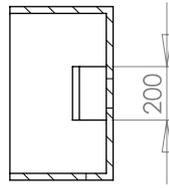
Código:

F2

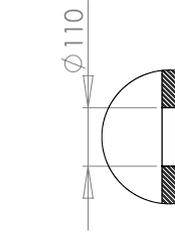
Perspectiva da bancada para
a análise do escoamento da
fumaça gerada pelo cigarro e
seus poluentes



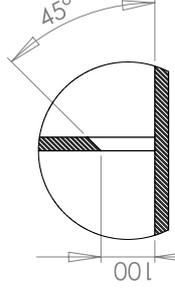
SEÇÃO G-G



SEÇÃO D-D



DETALHE E
ESCALA 1:10



DETALHE F
ESCALA 1:10

Nota: todas as placas de madeira com espessura de 25,4 mm (1")

LETA - Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos - UFRGS

ESCALA:
1:20

UNIDADE:
mm

Data:
04/11/2009

Seção de ensaio da bancada para a análise do escoamento da fumaça gerada pelo cigarro e seus poluentes

Código:
F3

Anexo A — Constituintes da fumaça lateral [Jenkins *et al.*, 2000 (Adaptado)]

Constituent	Kentucky Reference ^b	Experimental ^c	Commercial
Milligrams/cigarette			
Condensate			36-67
TPM	16.9		16-36, 20-23
Nicotine	5.6	3.2-5.8, 5.9-7.0	5.7-11.2, 2.7-6.1
Carbon Monoxide	54	49-63	41-67
Carbon Dioxide	474	422-598	
Nitrogen Oxides	0.9	1.8-2.7	
Ammonia	9.1	5.7-9.4	
Formaldehyde	0.7		
Acetaldehyde	4.2		
Acrolein	1.3, 1.4		0.7-1.0
Propionaldehyde	0.9		
Benzene	0.3, 0.4, 0.7		0.3-0.5
Toluene	0.8, 1.3		0.8-1.1
Styrene			
Pyrole	0.4	0.2-0.3	
Pyridine	0.3	0.1-0.2	
3-Vinylpyridine		0.3-0.4	
3-Hydroxypyridine		0.1-0.2	
Limonene	0.3	0.2-0.4	<0.1-0.4
Neophytadiene		0.2-0.4	0.1-0.2
Isoprene	2.5, 6.1		4.4-6.5
nC ₂₇ - n-C ₃₃	0.2-0.8		
Acetonitrile	1.0, 0.8 ^d	0.7-1.0	
Acrylonitrile	0.2		
Micrograms/cigarette			
Hydrogen Cyanide	53, 17 ^d	53-108, 14-25	
Phenol		69-241	44-371
o-Cresol		17-24	24-98
m + p-Cresol		49-70	59-299
Catechol		138-292	46-189
Hydroquinone		95-295	26-256
Naphthalene			53-177
Phenanthrene			2.4
Anthracene			0.7
Fluoranthene			0.7
Pyrene			0.5
Benz[a]anthracene	0.2		0.2
Benzo[a]pyrene	0.1		0.1
NNN ^e	0.2	1.7-6.1	1.7
NNK ^e	0.4	0.5-0.7	0.4
NAT ^e	0.1		
NAB ^e	<0.1		
DMNA ^e	0.3		0.7-1.0
EMNA ^e			<0.1
DENA ^e			<0.1-0.1
NPYR ^e	0.2		0.2-0.4
2-Naphthylamine			<0.1-1 ^f
4-Aminobiphenyl			<0.1-0.2 ^f
Nickel		<0.1-0.5	
Cadmium		<0.1-0.5	
Lead		<0.1-1.0	
Chromium		<0.1	

^aFrom Browne *et al.* 1980; Brunnemann *et al.* 1977, 1978, and 1990; Chortyk and Schlotzhauer 1989; Grimmer *et al.* 1987; Guerin 1991; Higgins *et al.* 1987; Johnson *et al.* 1973; O'Neill *et al.* 1987; R. J. Reynolds 1988; Rickert *et al.* 1984; Sakuma *et al.* 1983, 1984a, 1984b; Norman *et al.* 1983.

^bFilter 1R4F unless otherwise specified.

^cCigarettes containing a single common tobacco type (e.g., Burley, Bright, Turkish, etc.) with or without additives or containing blends of common tobaccos.

^dNonfilter 1R1.

^eN-Nitrosomnicotine (NNN), 4-Methylnitrosoamino-1-(3-pyridinyl)-1-butanone (NNK), -Nitrosoanatabine (NAT), N-Nitrosoanabasine (NAB), Dimethylnitrosamine (DMNA), Ethyl methyl nitrosamine (EMNA), Diethyl nitrosamine (DENA), N-Nitrosopyrrolidine (NPYR).

^fCalculated from NRC 1986. SS/MS ratio.

Anexo B — Composição química das partículas da FAT [Nazaroff e Klepeis, 2003]

Study	Source	Method ^b	Chemical Composition	
			Organics	Inorganics
Benner et al. (1989)	SS	C, M, F, D, GC-FID, NPD, GC-MS, IC	<p>main classes: n-alkanes, branched alkanes, bases, sterols, fatty acids, sterenes</p> <p>$\mu\text{mol/g}$ (std. dev.): nicotine 467 (144); myosmine 35 (21); nicotyrine 14 (11); cotinine 20 (11); cholesterol 1.41 (0.33); stigmasterol 2.9 (1.6); campersterol 1.53 (0.58); β-sitosterol 2.2 (1.8); 24-methylcholesta-3,5-diene 2.1 (2.0); 24-ethylcholesta-3,5,22-triene 1.60 (0.81); solanesol 22.2 (3.3)</p>	<p>species detected: Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺</p> <p>species detected above 50 $\mu\text{mol/g}$: Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺</p> <p>elements detected: K, Ca, Ti, Ba, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Se, Br</p> <p>elements detected above 50 $\mu\text{mol/g}$: Ca, K</p>
Hildemann et al. (1991)	MS+SS	H, HD, F, XRF, GC-MS	organic carbon: 59.5% by mass	species present above 0.01% by mass: S 0.14%; Cl 0.23%; K 0.41%; elemental carbon 0.49%; Cl ⁻ 0.28%; NO ₃ ⁻ 0.071%; SO ₄ ²⁻ 0.059%; NH ₄ ⁺ 0.04%
Kleeman et al. (1999)	MS+SS	H, C, MOUDI, F, FID, IC	ETS particles are predominantly organic compounds in every particle size range	elemental carbon and the following trace elements and other species were detected: Na, K, V, Mn, Br, Sb, La, Ce, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ ; the size distribution of these species, as for the total particle size distribution, had a single mode between 0.3 and 0.4 μm
Özkaynak et al. (1996) ^c	MS+SS	H, Fd, XRF		major elements associated with smoking were K, Cl, and Ca
Koutrakis et al. (1992) ^d	MS+SS	H, Fd, XRF		in 77 homes with smoking, smoking contributed the following mass percentages: S (11%); Cl (72%); K (70%); V (16%); Zn (14%); Br (44%); Cd (75%)
Rogge et al. (1994)	MS+SS	H, HD, F, GC-MS	the following classes of species were detected (with compounds having emission rates greater than 100 μg per cigarette listed in parentheses): n-alkanes (hentriacontane, tritriacontane); iso and anteisoalkanes; isoprenoid alkanes; n-alkanoic acids (hexadecanoic acid); n-alkenoic acids; dicarboxylic acids; other aliphatic and cyclic acids; n-alkanols; phenols (1,4-benzenediol); phytosterols (stigmasterol, β -sitosterol); N-containing compounds (nicotine, 3-hydroxypyridine, myosmine); polycyclic aromatic hydrocarbons	estimated emission rates (μg per cigarette): S (65); Cl (69); K (160); V (0.37); Zn (1.2); Br (3.0); Cd (0.32)

^a The listed studies all involved cigarettes (i.e., no cigars).

^b C = chamber; M = machine-smoked; F = filter-based sampling; D = Denuder; FID = flame ionization detector, NPD = nitrogen-phosphorus detector; GC-MS = gas chromatograph – mass spectrophotometer; H = human smoker; HD = emissions captured in a hood; FID = flame-ionization detector; MOUDI = micro-orifice uniform-deposit impactors; Fd = field sampling; XRF = X-ray fluorescence; IC = ion chromatography.

^c This effort was part of the USEPA's Particle Total Exposure Assessment Methodology (PTEAM) study of 178 homes in Riverside, CA

^d This effort was part of a New York State study carried out in Onondaga and Suffolk counties (see Sheldon et al. 1989).

Anexo C — Especificações do monitor de aerossol TSI SidePak AM510

Specifications

SidePAK AM510 Personal Aerosol Monitor

Sensitivity	
Sensor Type	90° light scattering, 670 nm laser diode
Aerosol Concentration Range	0.001 to 20 mg/m ³ (calibrated to respirable fraction of ISO 12103-1, A1 test dust)
Particle Size Range	0.1 to 10 micrometer (µm)
Minimum Resolution	0.001 mg/m ³
Zero stability	±0.001 mg/m ³ over 24 hours using 10-second time-constant
Temperature Coefficient	Approximately +0.0005 mg/m ³ per °C (for variations from temperature at which instrument was last zeroed)
Flow Rate	
Range	User-adjustable, 0.7 to 1.8 liters/min (lpm)
Temperature Range	
Operating Range	0 to 50°C (32 to 120°F)
Storage Range	-20 to 60°C (-4 to 140°F)
Time Constant (LCD display)	
Range	User-adjustable, 1 to 60 seconds
Data Logging	
Data Points	Approx. 31,000
Logging Interval	User-adjustable, 1 second to 1 hour
User-Select Calibration Factors	
Factory Setting	1.0 (non-adjustable)
User-defined Settings	3, with user-defined labels
Range	0.1 to 10.0, user-adjustable
Physical	
External Dimensions	
Dimensions	106 mm × 92 mm × 70 mm (4.2 in. × 3.7 in. × 2.8 in.) with 801723, 801724 or 801729 batteries
	130 mm × 92 mm × 70 mm (5.1 in. × 3.7 in. × 2.8 in.) with 801708, 801722, 801728 or 801736 batteries
Weight	0.46 kg (16 oz) with 801723, 801724 or 801729 batteries
	0.54 kg (19 oz) with 801708, 801722, 801728 or 801736 batteries
Display	2 line × 12 character LCD
Tripod Socket	1/4–20 female thread
Power Supply/Charger (P/N 2613210)	
Input Voltage Range	100 to 240 VAC, 50 to 60 Hz
Output Voltage	9 VDC @ 1.0 A

Specifications are subject to change without notice.
Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation.
Energizer is a registered trademark of Eveready Battery Company, Inc.

Maintenance

Factory Clean/Calibrate	Recommended annually
User Zero Calibration	Before each use
User Flow Calibration	As needed

Battery Performance

Battery Options	Charge Time* (hrs)	Safety Rating	Run Time (hrs @ 1.7 lpm)
1600 mAh NiMH Pack, 4.8 V (P/N 801723)	3.0	ATEX**	4.0
1650 mAh NiMH Pack, 4.8 V (P/N 801724 or 801729)	3.5	CSA**	9.2
2700 mAh NiMH Pack, 4.8 V (P/N 801722 or 801728)	5.5	CSA**	15.6
6-cell AA-size Alkaline Pack***, (P/N 801708, 801736 with six user-supplied AA cells)	NA	NA	22.5

* Of a fully depleted battery **Using Energizer® AA-size, E91 alkaline batteries.
** All dust plugs and gaskets must be installed.

Communications Interface

Type	USB 1.1
Connector, Instrument	USB Mini-B (socket)

Minimum Computer Requirements for TRAKPRO Software

Communications Port	Universal Serial Bus (USB) v1.1 or higher
Operating System	Microsoft Windows® 98, Me, 2000, XP (USB not supported in Windows 95 or NT)

Approvals

Intrinsic Safety	TSI Battery Pack P/Ns: 801722, 801724, 801728 or 801729
Rating Information	INTRINSICALLY SAFE CSA Exia Class I Groups A, B, C, D T2A with 801724 or 801729 T2C with 801722 or 801728 Class II Groups E, F, G Class III File: 200507 TSI Battery Pack P/N: 801708 or 801736 NOT INTRINSICALLY SAFE



TSI Incorporated
Corporate Headquarters—Tel: 651 490 2811 Toll Free: 1 800 874 2811 Fax: 651 490 3824 E-mail: info@tsi.com
TSI China—Tel: +86 10 8260 1595 Fax: +86 10 8260 1597 E-mail: tsibj@tsi.com
Contact TSI or visit www.tsi.com for information on specific office locations worldwide.

For current information
www.tsi.com

