



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
FACULDADE DE METEOROLOGIA

**A VENTILAÇÃO E A FUMAÇA AMBIENTAL DE CIGARROS — UM ESTUDO  
SOBRE A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA QUALIDADE  
DO AR DE AMBIENTES FECHADOS**

Marina Fonseca Seelig

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Cláudia Rejane Jacondino de Campos, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Meteorologia para obtenção do título de Mestre em Ciências.

PELOTAS  
Rio Grande do Sul, Brasil  
Março de 2005

Dados de catalogação na fonte:

Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901

Biblioteca de Ciência & Tecnologia UFPel

s452v Seelig, Marina Fonseca

A ventilação e a fumaça ambiental de cigarros — um estudo sobre a influência das condições meteorológicas na qualidade do ar de ambientes fechados / Marina Fonseca Seelig; orientador Cláudia Rejane Jacondino de Campos. – Pelotas, 2005. – 97 f. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2005.

1. Meteorologia. 2. Qualidade do ar de ambientes fechados. 3. Ventilação. 4. Fumaça ambiental de cigarros. I. Campos, Cláudia Rejane Jacondino de. II. Título.

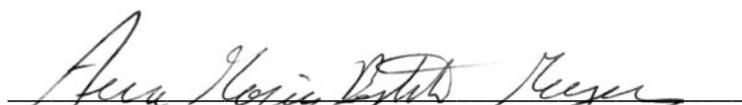
CDD: 613.5

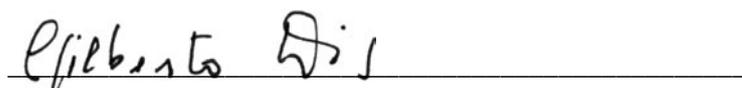
Marina Fonseca Seelig

A VENTILAÇÃO E A FUMAÇA AMBIENTAL DE CIGARROS — UM ESTUDO  
SOBRE A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA QUALIDADE  
DO AR DE AMBIENTES FECHADOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob  
a orientação da Prof.<sup>a</sup> Cláudia Rejane Jacondino de Campos,  
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em  
Meteorologia para obtenção do título de Mestre em Ciências.

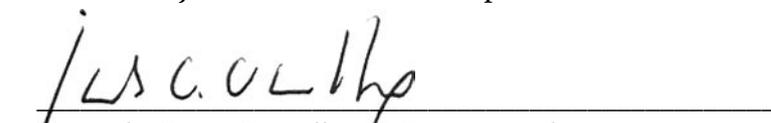
Aprovada em nove de março de 2005.

  
\_\_\_\_\_  
Ana Maria Baptista Menezes

  
\_\_\_\_\_  
Gilberto Barbosa Diniz

  
\_\_\_\_\_  
Paulo Smith Schneider

  
\_\_\_\_\_  
Cláudia Rejane Jacondino de Campos — Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Jonas da Costa Carvalho — Co-orientador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e muitíssimo à minha orientadora, professora Cláudia Rejane Jacondino de Campos, por ter me deixado seguir com essa idéia de pesquisa, tão abstrata no começo do curso, e por ter demonstrado plena confiança em mim em todos momentos. Agradeço também ao meu co-orientador, professor Jonas da Costa Carvalho, pela motivação. Considero-os enormemente.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro.

Agradeço à professora Simone Vieira de Assis, minha orientadora durante a graduação e tutora no Programa Especial de Treinamento, por ter me introduzido à pesquisa científica, apresentando-me o caminho que pretendo seguir dentro da profissão.

Agradeço aos membros da banca, professores Ana Maria Baptista Menezes, Gilberto Barbosa Diniz e Paulo Smith Schneider, pelas críticas e contribuições e pelo empréstimo de material, tudo visando a melhoria do trabalho. Também pelas contribuições, agradeço aos senhores Hazim Awbi, James Repace, Neil Klepeis e Wayne Ott, pelo envio de material chave, e aos membros da lista de discussão sobre o modelo COMIS, especialmente aos senhores Hans Phaff e Peter Schild, pela ajuda com a estruturação da simulação.

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.

*Powered by Google*

## RESUMO

A fumaça ambiental de cigarros (FAC) é uma das principais contribuintes para o aumento da concentração e da exposição a partículas em ambientes fechados. A indústria do tabaco e a da hospitalidade vendem a ventilação como a solução desse problema, mas estudos indicam que ela não o é. Neste trabalho, estudou-se a influência das condições meteorológicas na ventilação natural e, logo, na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC. Para acessar essa influência, utilizou-se um modelo de escoamento de ar em prédios e um de concentração de poluentes originados do ato de fumar. As concentrações simuladas foram submetidas a uma análise de risco. Constatou-se que velocidade do vento e temperatura são as variáveis meteorológicas que mais influenciam na ventilação natural, sendo o inverno a estação com tendência às maiores taxas de ventilação e, logo, à melhor qualidade do ar, por ter as menores temperaturas. Constatou-se também que mesmo altas taxas de ventilação não reduzem o risco de vida imposto pela FAC ao aceitável: taxas altíssimas, inaceitáveis em termos de conforto, seriam necessárias para essa redução. Ao estimar a velocidade do vento que induziria tais taxas, verificou-se que ventos da ordem de mil quilômetros por hora seriam necessários para tal. Concluiu-se que a ventilação não soluciona o problema imposto pela FAC em ambientes fechados e que a única solução viável é a proibição do fumo.

**Palavras-chave:** qualidade do ar de ambientes fechados, ventilação, fumaça ambiental de cigarros

## ABSTRACT

Environmental tobacco smoke (ETS) is a major contributor to indoor air concentrations and exposure to particles. Tobacco and hospitality industries maintain ventilation as a solution for this problem, but studies indicate that it is not the appropriate solution. In this research, the influence of meteorological conditions on natural ventilation and, therefore, on indoor air quality of places where smoking is allowed was studied. In order to access this influence, a building airflow model and a model for predicting pollutant concentrations from smoking were used. Simulated concentrations were submitted to risk assessment. It was evidenced that wind velocity and temperature are the meteorological variables that have more influence on natural ventilation. Winter is the season with tendency to higher flow rates and, consequently, to better indoor air quality, due to lower temperatures. It was also evidenced that even high flow rates do not reduce life risk imposed by ETS to the acceptable level: this reduction demands very high flow rates, unacceptable in terms of comfort. When estimated the wind velocity that would induce these flow rates, it was verified that winds of the order of thousands kilometers per hour would be necessary for that. It was concluded that ventilation does not solve the problem imposed by ETS on indoor environments and that the only viable solution is the prohibition of smoking.

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

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

1	Efeito do vento em um prédio	8
2	Ventilação de lado único	9
3	Ventilação cruzada	10
4	Parede de Trombe	10
5	Chaminé solar	12
6	Teto solar	12
7	Estrutura	25
8	Fluxograma do estudo sazonal	26
9	Área de trabalho do modelo com a estrutura da simulação	30
10	Janela de configuração das saídas	31
1A	Janela de parametrização do elemento de zona	76
2A	Janela de parametrização do elemento de janela	77
3A	Janela de parametrização do elemento externo	80
4A	Janela de parametrização do elemento de fachada	80
5A	Orientação da estrutura	80
6A	Janela de parametrização da estrutura	82
7A	Janela de parametrização do ambiente externo	83

### GRÁFICOS

1	Dispersão entre velocidade do vento e taxa de ventilação	50
2	Dispersão entre temperatura e taxa de ventilação	50
3	Taxa de troca de ar, velocidade do vento e temperatura dos casos com as maiores taxas de ventilação de cada estação	58
4	Taxa de troca de ar, velocidade do vento e temperatura dos casos com as menores taxas de ventilação de cada estação	58

## LISTA DE TABELAS

1	Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação temperada fria _____	34
2	Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação temperada fria _____	35
3	Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação fria _____	36
4	Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação fria _____	37
5	Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação temperada quente _____	38
6	Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação temperada quente _____	39
7	Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação quente _____	40
8	Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação quente _____	41
9	Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para as médias sazonais _____	42
10	Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para as médias sazonais _____	43
11	Correlação entre velocidade do vento e taxa de ventilação _____	44
12	Correlação entre temperatura e taxa de ventilação _____	45
13	Regressão da seqüência em função da velocidade do vento _____	46
14	Regressão da seqüência em função da temperatura _____	47
15	Casos com as maiores taxas de ventilação de cada estação _____	57
16	Casos com as menores taxas de ventilação de cada estação _____	57
17	Taxas de ventilação necessárias para manter o risco aceitável para câncer de pulmão e doenças cardiovasculares para diferentes números de cigarros fumados _____	62
18	Resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para as médias sazonais com ventos norte de 8m/s _____	63

19	Resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para as médias sazonais com ventos norte de 2320m/s _____	63
1B	Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação temperada fria _____	85
2B	Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação fria _____	86
3B	Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação temperada quente _____	87
4B	Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação quente _____	88
5B	Médias sazonais _____	89
1C	Comparação entre os resultados do COMIS e os calculados pelo equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação para configurações de ventilação de lado único _____	94
2C	Comparação entre os resultados do COMIS e os do AIOLOS _____	96

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
COMIS	Conjunction of Multizone Infiltration Specialists
DFC	Dinâmica de Fluidos Computacional
EPA	Environmental Protection Agency
FAC	Fumaça Ambiental de Cigarros
HVAC	Heating, Ventilation and Air-conditioning
IISiBat	Interface Intelligente pour la Simulation de Bâtiments
OMS	Organização Mundial da Saúde
PSR	Partículas Suspensas Respiráveis

## LISTA DE NOTAÇÕES

A	área da janela
$Ar_D$	número de Archimedes
c	concentração média no local
$c_i$	concentração interna tolerada
$c_{in}$	concentração do ar inserido
$c_o$	concentração externa
$c_{out}$	concentração do ar retirado
$cte_1$	coeficiente dependente da abertura da janela
$cte_2$	constante de flutuabilidade
$cte_3$	constante de turbulência do vento
CF	fator de correção
$C_p$	coeficiente de pressão
d	distância entre a parede da abertura e a parede oposta
dpSt	flutuabilidade térmica
D	direção do vento
e	pressão parcial do vapor
$e_s$	pressão de saturação do vapor
g	aceleração da gravidade
$g_{cig}$	taxa de emissão do cigarro
G	taxa de geração do poluente
Gr	número de Grashoff
H	altura da janela
$H_s$	umidade específica
m	fator de mistura
n	número de cigarros fumados
$n_{ave}$	número médio de cigarros acesos
N	nebulosidade
p	fator de dissipação
P	pressão
$P_v$	pressão imposta pelo vento
PR	precipitação

$r$	razão de mistura
$Re$	número de Reynolds
$s$	número de fumantes
$S$	emissão do cigarro
$t$	tempo
$t_f$	tempo da fumada
$T$	temperatura média do ar
$T_n$	temperatura mínima
$T_x$	temperatura máxima
$UR$	umidade relativa
$v$	volume
$V$	velocidade do vento
$V_{eff}$	velocidade efetiva
$V_{ref}$	velocidade do vento na altura de referência de $C_p$
$w$	taxa de ventilação
$z$	concentração de material particulado
$z(t)$	concentração média
$Z_{link}$	altura da abertura
$Z_{ref}$	altura de referência de $C_p$
$Z_v$	altura de coleta dos dados de vento
$\alpha$	expoente do perfil do vento
$\Delta T$	diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo
$\Delta z$	diferença entre as concentrações inicial e final
$\varepsilon_v$	eficácia da ventilação
$\nu$	coeficiente de viscosidade
$\rho$	densidade do ar
$\rho_z$	densidade do ar da zona
$\phi$	taxa de troca de ar

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA	2
Qualidade do ar de ambientes fechados	2
Ventilação	4
Tipos de ventilação	6
Ventilação natural	7
Ventilação mecânica	11
Técnicas de ventilação	11
Ventilação por mistura de ar	11
Ventilação por deslocamento de ar	12
Modelos de escoamento de ar em prédios	13
Modelos de escala microscópica	13
Modelos de escala macroscópica	14
Modelos multizonais	14
Modelos zonais	15
Acoplamento de modelos	15
Fumaça ambiental de cigarros	15
Questão da saúde	16
Questão da poluição	17
Problemática	18
Modelos de concentração de poluentes originados do ato de fumar	21
METODOLOGIA	24
Escopo	24
Modelo de escoamento de ar em prédios	26
Descrição do modelo	26
Simulação	29
Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar	29
Descrição do modelo	30
Simulação	30

Análise de risco _____	30
Ventilação necessária para manter o risco aceitável _____	32
<b>RESULTADOS</b> _____	<b>33</b>
Estudo sazonal _____	33
Estudo sazonal médio _____	33
Análise estatística _____	33
<b>DISCUSSÃO</b> _____	<b>49</b>
Análise estatística _____	49
Estudo sazonal _____	52
Estação temperada fria _____	52
Modelo de escoamento de ar em prédios _____	52
Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar _____	53
Análise de risco _____	53
Estação fria _____	53
Modelo de escoamento de ar em prédios _____	53
Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar _____	54
Análise de risco _____	54
Estação temperada quente _____	54
Modelo de escoamento de ar em prédios _____	54
Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar _____	55
Análise de risco _____	55
Estação quente _____	55
Modelo de escoamento de ar em prédios _____	55
Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar _____	55
Análise de risco _____	56
Confrontação das estações _____	56
Estudo sazonal médio _____	58
Modelo de escoamento de ar em prédios _____	59
Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar _____	59
Análise de risco _____	59
Ventilação necessária para manter o risco aceitável _____	60
<b>CONCLUSÃO</b> _____	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> _____	<b>65</b>
<b>APÊNDICE A</b> — Parametrização do modelo de escoamento de ar em prédios _____	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B</b> — Dados meteorológicos utilizados _____	<b>84</b>
<b>APÊNDICE C</b> — Avaliação do modelo de escoamento de ar em prédios _____	<b>90</b>

## INTRODUÇÃO

Desde a pré-história, o homem compreende que é dependente de abrigo. Nas cavernas, protegia-se de outros animais e do tempo adverso. Hoje, o homem compreende esse ponto ainda mais: depende de abrigo para proteger-se (a moradia) e também para socializar (estudar, trabalhar, divertir-se). Não é surpreendente, então, o fato de o homem moderno passar a maior parte do dia em ambientes fechados.

Segundo Klepeis *et al.* (2001), em média, 87% do dia é passado em ambientes fechados (69% em residências) e 6% é passado em veículos fechados, sendo apenas 7% passado ao ar livre. Como a maior parte do ar inalado é ar contido nesses ambientes, a exposição aos poluentes aí contidos constitui a maior parte da exposição à poluição. Assim, o monitoramento desse ar é importante, sendo os estudos sobre a sua qualidade — a qualidade do ar *indoor* — importantíssimos.

A ventilação é o meio essencial de manutenção da qualidade do ar *indoor*. Ela é a responsável pela oxigenação do ar e pela diluição e remoção dos poluentes. Também é usada para refrigeração. Uma boa ventilação contribui para a saúde e o conforto dos ocupantes. Tal é sua importância que se tornou uma ciência entre os projetistas e estudiosos de prédios, existindo várias conferências a seu respeito. Grande atenção tem sido dada à ventilação natural, pois é uma tecnologia econômica em termos financeiros e energéticos, além de ser uma opção ecologicamente correta.

A fumaça ambiental de cigarros (FAC) é uma das principais contribuintes para o aumento da concentração e da exposição a partículas em ambientes fechados. É comprovado que muitos de seus compostos químicos são tóxicos ou cancerígenos e que sua inalação pode causar vários danos à saúde. Embora, salvo em áreas especificadas, proibido por lei, o fumo em recintos coletivos é comum no Brasil, e, na maioria dos casos, as áreas destinadas a ele, quando existentes, não são devidamente isoladas, prejudicando os não-fumantes. A indústria do tabaco e a da hospitalidade vendem a ventilação como a solução desse problema, mas estudos indicam que ela não o é.

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência das condições meteorológicas na ventilação natural e, logo, na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC. Visa estimar a velocidade necessária do vento para induzir a ventilação necessária para manter o risco de exposição à FAC aceitável.

## REVISÃO DE LITERATURA

As palavras-chave do trabalho são qualidade do ar de ambientes fechados, ventilação e fumaça ambiental de cigarros. Esses tópicos são apanhados, as definições são apresentadas e trabalhos relacionados são citados.

### **Qualidade do ar de ambientes fechados**

O corpo humano necessita de ar para seu funcionamento. Seu metabolismo (reações bioquímicas que ocorrem no organismo) depende do uso do oxigênio, captado pelo sistema respiratório, e dos nutrientes, degradados no sistema digestivo, para prover a energia necessária para energizar as atividades celulares. Tortora e Grabowski (2002) explicam:

Células usam oxigênio ( $O_2$ ) continuamente para as reações metabólicas que liberam energia a partir das moléculas de nutrientes e produzem ATP [adenosina trifosfato, molécula de troca de energia]. Ao mesmo tempo, essas reações liberam dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Como a quantidade excessiva de  $CO_2$  produz acidez, que pode ser tóxica para as células, o excesso de  $CO_2$  precisa ser eliminado, rápida e eficientemente. Os dois sistemas que cooperam para fornecer  $O_2$  e eliminar  $CO_2$  são os sistemas cardiovascular e respiratório. O sistema respiratório proporciona trocas gasosas — ingestão de  $O_2$  e eliminação de  $CO_2$  — enquanto o sistema cardiovascular transporta sangue, contendo os gases, entre os pulmões e as células do corpo. Deficiência em ambos os sistemas interrompe a homeostasia [condição de equilíbrio no ambiente interno do corpo], causando morte rápida das células a partir da privação de oxigênio e a formação de produtos residuais. (TORTORA; GRABOWSKI, 2002, p. 709.)

Porém, o ar não é composto apenas por oxigênio: além dele, o sistema respiratório capta vários outros elementos. Alguns, por poderem causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e à flora, são classificados como poluentes (ou contaminantes) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985 *apud* MAGRINI; ROSA; XAVIER;

SANTOS, 2001). A qualidade do ar é definida pela concentração desses: se acima do aceitável determinado, ela é inadequada; se abaixo, ela é adequada. O ar tem qualidade adequada quando a concentração dos poluentes não ultrapassa os níveis aceitáveis determinados e a grande maioria das pessoas expostas (80% ou mais) não tem reclamações (LIMB, 1992).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera a poluição do ar um dos principais problemas de saúde ambiental. Ela é associada ao aumento no número de consultas, internações e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares. Estimativas mostram que, globalmente, 4-8% das mortes prematuras são devidas à exposição a material particulado e que 20-30% de todas as doenças respiratórias devem ser causadas pela poluição. Grande atenção tem sido dada à poluição *indoor*, devido ao maior tempo de permanência do homem em ambientes fechados (WORLD HEALTH ORGANIZATION — WHO, 2000a). Na verdade, sabe-se que se trata de um problema bem mais antigo: dados arqueológicos evidenciam que ela deve ter causado grandes problemas aos primeiros humanos, devido ao uso de fogo em ambientes fechados (BRIMBLECOMBE, 1987 *apud* WHO, 2000a).

A má qualidade do ar *indoor* está ligada a uma série de danos à saúde, que podem se manifestar logo após ou mesmo anos após a exposição. Os efeitos imediatos podem manifestar-se após uma ou repetidas exposições. Incluem irritações nos olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, tonturas e fadiga. Quando não desaparecem na ausência do poluente, usualmente o tratamento é rápido. Sintomas de doenças como a asma e a pneumonia por hipersensibilidade também podem aparecer após a exposição. Os efeitos remotos incluem outras doenças do aparelho respiratório, doenças do coração e cânceres, que podem ser debilitantes ou mesmo fatais (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY — EPA, 1995). A OMS definiu dois quadros clínicos relacionados à poluição *indoor*: a síndrome dos edifícios doentes (*sick building syndrome*) e a doença do ambiente interno (*building related illness*) (WHO, 1983 *apud* SIQUEIRA *et al.*, 2002).

- Síndrome dos edifícios doentes: Quando os efeitos parecem ser ligados ao tempo de permanência em um local, mas uma causa ou doença específica não é identificada. São indicadores: os ocupantes experimentarem desconforto (dores de cabeça, irritação nos olhos, nariz e garganta, tosse seca, pele seca, coceiras, tonturas, náuseas, dificuldade de concentração, fadiga, sensibilidade a odores); a causa dos sintomas ser desconhecida; os sintomas desaparecerem quando se deixa o local (EPA, 1991).

- Doença do ambiente interno: Quando os efeitos são identificados como sintomas de doenças diagnosticadas e podem ser atribuídos à poluição de um local freqüentado. São indicadores: os ocupantes experimentarem sintomas como tosse, peito apertado, febre, resfriados e dores musculares; os sintomas poderem ser clinicamente definidos e terem causas identificáveis; os sintomas levarem muito tempo para desaparecer (EPA, 1991).

Sua ligação com a diminuição de produtividade é clara: a má qualidade do ar *indoor* pode prejudicar o desempenho em atividades mentais que requerem concentração, cálculo e/ou memória (EPA, 2003).

Os poluentes *indoor* podem ser classificados de diferentes maneiras. Aqui, a abordagem será sobre sua inevitabilidade. Os poluentes inevitáveis são os associados aos ocupantes: associados ao metabolismo e às atividades essenciais. Os poluentes metabólicos são o dióxido de carbono, provindo da expiração, e os odores, emitidos do suor, de secreções sebáceas da pele e do sistema digestivo (AIR INFILTRATION AND VENTILATION

CENTRE — AIVC, 2004; AWBI, 1998). A maior fonte de CO<sub>2</sub> são os ocupantes, com taxa de produção diretamente proporcional à taxa metabólica. Seu nível aceitável é mil partes por milhão (ppm): acima disso os ocupantes podem experimentar dores de cabeça e letargia. Os odores, além dos ocupantes, podem provir do uso de cozinha, banheiro e do lixo. Embora a sensação dos odores possa não ser agradável, ela normalmente não afeta a saúde (AWBI, 1998). Os poluentes evitáveis são os associados a emissões excessivas de materiais e equipamentos. São os clássicos: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxido nítrico (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>), material particulado e chumbo (WHO, 2000a). A poluição por produtos de combustão de biomassa é comum em países menos desenvolvidos, onde fornos inapropriados e braseiros são amplamente usados (BRUCE; PEREZ-PADILLA; ALBALAK, 2002). Obviamente, a composição de poluentes depende das atividades dos ocupantes e do padrão de ocupação do prédio. Nos residenciais, o poluente dominante é geralmente a umidade. Nos quartos e salas, o dominante são os metabólicos. Nos prédios comerciais e públicos, o dióxido de carbono (metabólico) é na maioria das vezes o dominante. Também são fontes importantes a mobília (compostos orgânicos voláteis) e impressoras e copiadoras (carbono e ozônio) (AIVC, 2004). Locais com fumantes são problemáticos: a fumaça ambiental de cigarros é uma das principais contribuintes para o aumento da concentração e da exposição a partículas em ambientes fechados (NAZAROFF; KLEPEIS, 2004). A OMS apresenta um bom apanhado dos poluentes *indoor*, com suas fontes e efeitos à saúde, na publicação *Guidelines for Air Quality*, de 2000 (WHO, 2000a). Veja também *The Inside Story: a Guide to Indoor Air Quality* (EPA, 1995).

As fontes *indoor* são as principais causas do acúmulo de poluentes que leva à poluição. Porém, fontes localizadas no ambiente externo também podem ser responsáveis (EPA, 2002). O ar exterior entra em (e sai de) um ambiente por infiltração e por ventilação (EPA, 1995). O controle das fontes é a maneira mais direta de manutenção da qualidade do ar, mas não é prática e nem sempre possível. Nesses casos, a ventilação passa a ser o meio essencial, já que pode ser controlada, o que não acontece com a infiltração (AIVC, 2004; EPA, 2002).

## Ventilação

O escoamento de ar em um dado local é regido pela distribuição da pressão ao redor e dentro dele. O ar exterior entra em (e sai de) um ambiente por infiltração e por ventilação (EPA, 1995). A infiltração é o escoamento incontrolado de ar para dentro de um local através de aberturas e frestas desintencionais na superfície do prédio (para fora, exfiltração). É freqüentemente ignorada pelos projetistas, mas pode aumentar consideravelmente a quantidade de ar que entra no local e distorcer o padrão de escoamento projetado. Já a ventilação é um processo intencional de troca de ar: ar exterior é inserido, ar interior é removido (AIVC, 2004). Por ser controlável, é um meio útil e eficiente para a manutenção da qualidade do ar. Na impossibilidade do controle das fontes de poluição, ela é o meio essencial para esse fim.

A principal função da ventilação é a diluição e a remoção dos poluentes inevitáveis. Ela é muito útil no controle dos demais, porém alguns podem não responder ou mesmo ser estimulados por ela: aqueles quimicamente reativos, absorvíveis por superfícies e/ou com determinadas características de emissão (alguns compostos orgânicos voláteis, gases provindos do solo e umidade, por exemplo). Esse é um dos motivos pelos quais o controle das fontes é a melhor estratégia. Deve-se ter atenção, também, com os poluentes contidos no ar insuflado. São problemas típicos: a poluição externa, a

poluição do sistema de ventilação e fontes localizadas na frente da insuflação. No caso da poluição externa, filtros podem ser úteis. Ela também é usada para refrigeração, pois frequentemente o calor é o problema dominante (AIVC, 2004).

A quantidade de ventilação necessária depende da composição de poluentes. Para a determinação da taxa de ventilação, é necessário estimar a taxa de produção dos poluentes conhecidos. A taxa de ventilação é determinada para cada poluente e o maior valor é utilizado. Ela deve satisfazer dois critérios: saúde e conforto. O critério de saúde exige uma taxa suficiente para que a concentração seja tolerável, considerando os limites de exposição de curto e longo prazo. É geralmente aplicado a prédios domésticos, comerciais e públicos. O critério de conforto exige uma taxa suficiente para minimizar os odores e a irritação sensorial. É aplicado a prédios industriais. A determinação da taxa pode dar-se por um procedimento prescritivo ou por um analítico. O primeiro utiliza tabelas com taxas determinadas para diluir poluentes em diferentes tipos de prédios. O segundo utiliza equações que levam em conta dados das fontes e a eficácia da ventilação. Awbi (1998) sugere a seguinte equação (taxa de ventilação necessária para manter a concentração de um certo poluente em um certo nível):

$$w = \frac{G}{\varepsilon_v (c_i - c_o)} 10^6$$

$$1 \quad \varepsilon_v = \frac{c_{out} - c_{in}}{c - c_{in}} 100$$

onde:

w taxa de ventilação [m<sup>3</sup>/s, kg/s]

G taxa de geração do poluente [m<sup>3</sup>/s, kg/s]

$\varepsilon_v$  eficácia da ventilação [%]

$c_i$  concentração interna tolerada [ppm, mg/kg]

$c_o$  concentração externa [ppm, mg/kg]

$c_{out}$  concentração do ar retirado [ppm, mg/m<sup>3</sup>]

$c_{in}$  concentração do ar inserido [ppm, mg/m<sup>3</sup>]

c concentração média no local [ppm, mg/m<sup>3</sup>]

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 — regulamenta as taxas de ventilação necessárias para manter a qualidade do ar em diferentes ambientes na norma *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, de 2001. Estipula valores em pés cúbicos por minuto (cfm, *cubic feet per minute*, 1cfm = 1,7m<sup>3</sup>/h) por pessoa sob certas condições de ocupação. Estipula, por exemplo, 15cfm para salas de recepção de escritórios, 20cfm para escritórios e salas de conferência, 50cfm para banheiros públicos e 60cfm para ambientes onde o fumo é permitido (AMERICAN STANDARD, 2002).

Além de m<sup>3</sup>/s, kg/s e cfm, a taxa de ventilação pode ser expressa em outras unidades. Também são comuns l/s (escoamento volumétrico, o caso de m<sup>3</sup>/s), l/s p (litros por segundo por ocupante, escoamento por ocupante), l/s m<sup>2</sup> (escoamento por unidade de área) e ach (*hourly air change rate*, taxa de troca de ar por hora, que é a taxa volumétrica de escoamento dividida pelo volume do local). A unidade kg/s expressa a taxa de escoamento em termos de escoamento de massa (AIVC, 2004). A eficácia da ventilação é dada em porcentagem. Descreve a habilidade da ventilação na remoção dos poluentes (LIMB, 1992). Também pode ser medida ou simulada ou ter seu valor retirado de tabelas válidas para certos casos (AWBI, 1998). Todo o processo de ventilação

(padrão de escoamento, transporte de poluentes, taxas, eficácia, etc.) pode ser avaliado por meio de simulações feitas por modelos numéricos. Ren (2002) apresenta uma boa revisão sobre modelagem *indoor*. No final desse tópico há um apanhado sobre esse assunto.

### **Tipos de ventilação**

A ventilação pode dar-se por meios naturais e mecânicos. Antes da escolha de sua estratégia, considerações sobre sua relação custo/benefício devem ser feitas.

A escolha da estratégia de ventilação é geralmente ditada pelas condições climáticas e pelo tipo do prédio (DIAMOND; FEUSTEL; MATSON, 1999). O uso da ventilação natural é muitas vezes subestimado. Em pesquisa sobre sistemas de ventilação apresentada por Limb (1994 *apud* AWBI, 1994), os resultados mostraram que a ventilação natural é mais comum nos prédios residenciais e a mecânica nos comerciais, e que nestes a escolha da estratégia não é necessariamente relacionada ao clima, mesmo se esse torna plausível o uso da ventilação natural. Segundo Erhorn (1988), em prédios com ventilação mecânica, o tempo que as janelas permanecem abertas é um quarto do tempo correspondente em prédios com ventilação natural. Awbi (1994) especula sobre os motivos dessa subestimação: localização indesejável do prédio, menor controle sobre o sistema ou mesmo a idéia do sistema não passar uma imagem tecnológica/moderna.

O advento da ventilação mecânica deu-se em torno de 1950. A possibilidade de controle do clima dos ambientes popularizou essa tecnologia e, desde então, a maioria dos programas, códigos e regulamentações para prédios é baseada em sistemas mecânicos (WILSON, 2001). Segundo Awbi (1996), até meados da década de 60 a maioria dos prédios comerciais do Reino Unido era ventilada naturalmente. Com a disponibilidade da energia fóssil, barata, e a já comentada melhor possibilidade de controle dos ambientes, houve um grande aumento no uso de condicionadores de ar, tanto em prédios novos quanto em reformados. Em torno do início da década de 90, porém, com as evidências de que o uso desses era prejudicial ao meio ambiente (emissão de gases prejudiciais à camada de ozônio e de gases estufa), os projetistas começaram a considerar outros sistemas. Pesou também o gasto energético (logo financeiro) com os sistemas mecânicos.

A ventilação é associada a 30–60% do total de energia consumido por prédios modernos/reformados (valor usual). Esse alto gasto deve-se principalmente a três razões: primeiro, os prédios são geralmente bem isolados (prédios modernos), logo o ganho e a perda de calor pela estrutura são baixos; segundo, materiais, equipamentos e a mobília emitem grande quantidade de compostos orgânicos voláteis, logo uma taxa maior de ventilação é necessária para sua diluição; terceiro, devido à preocupação com a qualidade do ar e aos quadros clínicos relacionados à poluição *indoor*, maiores taxas de ventilação têm sido projetadas (AWBI, 1998). Há, claro, maneiras de reduzir os gastos energéticos (ver AIVC, 2004 e AWBI, 1998). Mesmo assim, hoje, uma das exigências em projetos de prédios energeticamente econômicos é o uso da ventilação natural (AWBI, 1996). Caso isso não seja totalmente plausível, pode-se projetar o uso dos dois tipos (ventilação mista), com ambos sistemas atuando simultaneamente ou alternando-se, dependendo do clima e da demanda de ocupação. Isso requer um estudo maior, já que pode ser mais dispendioso devido à duplicação de sistemas (WILSON, 2001).

Aqui, o enfoque será no tipo natural, por ser dependente das condições meteorológicas e por ser uma opção ecologicamente correta.

## Ventilação natural

Na ventilação natural, o escoamento é regido pelo vento e pela temperatura. Mais especificamente, é regido pelas diferenças de pressão entre os ambientes interno e externo impostas pelo vento e pelas diferenças de densidade do ar (flutuabilidade térmica ou efeito chaminé — *stack effect* —, função principalmente da temperatura e do conteúdo de umidade do ar) (AIVC, 2004; ALLARD; HERRLIN, 1989 *apud* FEUSTEL; RAYNOR-HOSEN, 1990; FEUSTEL; RAYNOR-HOSEN, 1990) (lembrando: o movimento do ar é da maior para a menor pressão e temperatura e pressão são inversamente proporcionais). Essas imposições podem atuar separadamente ou em conjunto, sempre dependendo das condições meteorológicas e do formato do prédio. Na maioria dos casos, elas atuam em conjunto, mas acessar esse efeito conjunto é complicado, já que elas podem atuar em sentidos opostos. Os sistemas de ventilação natural são geralmente baseados na flutuabilidade térmica, devido à variabilidade do vento (ALLOCCA; CHEN; GLICKSMAN, 2003; AWBI, 1998; OLGAY, 1998). Ela pode ser pouco significativa no verão, já que a diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo geralmente é pouca ou é negativa (interior mais frio). No inverno, as condições são geralmente propícias a ela (interior mais quente que o exterior) (WILSON, 2001). O efeito da flutuabilidade térmica é significativo especialmente quando o do vento não o é (FEUSTEL; RAYNOR-HOSEN, 1990). Quando o efeito do vento é significativo, o da flutuabilidade térmica pode ser desprezado. Não há um consenso sobre o ponto em que o efeito do vento supera o da flutuabilidade térmica: Baptista, Bailey e Meneses (2001) encontraram trabalhos considerando as velocidades 1,5 e 3m/s. A Figura 1 mostra o efeito do vento. Sua principal desvantagem é o pouco controle oferecido: as condições do tempo podem levar a taxas inadequadas (AIVC, 2004). Mesmo assim ela é geralmente a preferida pelos ocupantes, por ser energeticamente eficiente, por ser facilmente integrada ao prédio e por fornecer um ambiente mais saudável e confortável (LIDDAMENT, 1996 *apud* ALLARD, 1998; WILSON, 2001).

Um dos primeiros pontos a ser considerado no projeto de um prédio com sistema natural é sua localização. É necessário saber o clima da região para ter idéia das variações sazonais possíveis do ambiente externo: de temperatura, radiação, vento, umidade e qualidade do ar (AWBI, 1994). O tempo influencia o uso das janelas. O uso aumenta com o aumento da temperatura e da insolação e diminui com o aumento da chuva e da velocidade do vento (~8m/s é o máximo valor tolerado) (DUBRUL, 1988). Climas temperados com umidade média baixa são mais propícios para a ventilação natural. Em climas frios, ela é plausível no tipo misto. Climas quentes e úmidos são menos propícios, pois as condições podem comprometer o conforto do ambiente (WILSON, 2001). Também é importante considerar a ocupação do ambiente externo: em áreas urbanas, os prédios podem sofrer com a poluição do trânsito e de indústrias e com o barulho; nas rurais, podem sofrer com altas concentrações de pólen e esporos de fungos. Prédios adjacentes e outras obstruções (árvores, por exemplo) podem distorcer o padrão de escoamento e diminuir a exposição à chuva e à radiação. Os dados meteorológicos devem ser ajustados a esses efeitos para um estudo mais realístico. O formato do prédio e seus materiais é outro ponto importante. A altura e a profundidade das salas são fatores significativos: a dimensão da sala influencia a escolha do método de ventilação. A altura do prédio também: os andares altos são problemáticos, pois sofrem com as altas velocidades do vento. Outro ponto é o padrão de ocupação (AIVC, 2004; AWBI, 1994). Dubrul (1988) apresenta uma boa revisão sobre os fatores que influenciam o comportamento dos ocupantes com relação ao uso de janelas.

Há dois principais métodos de ventilação natural: a de lado único (*single-sided*

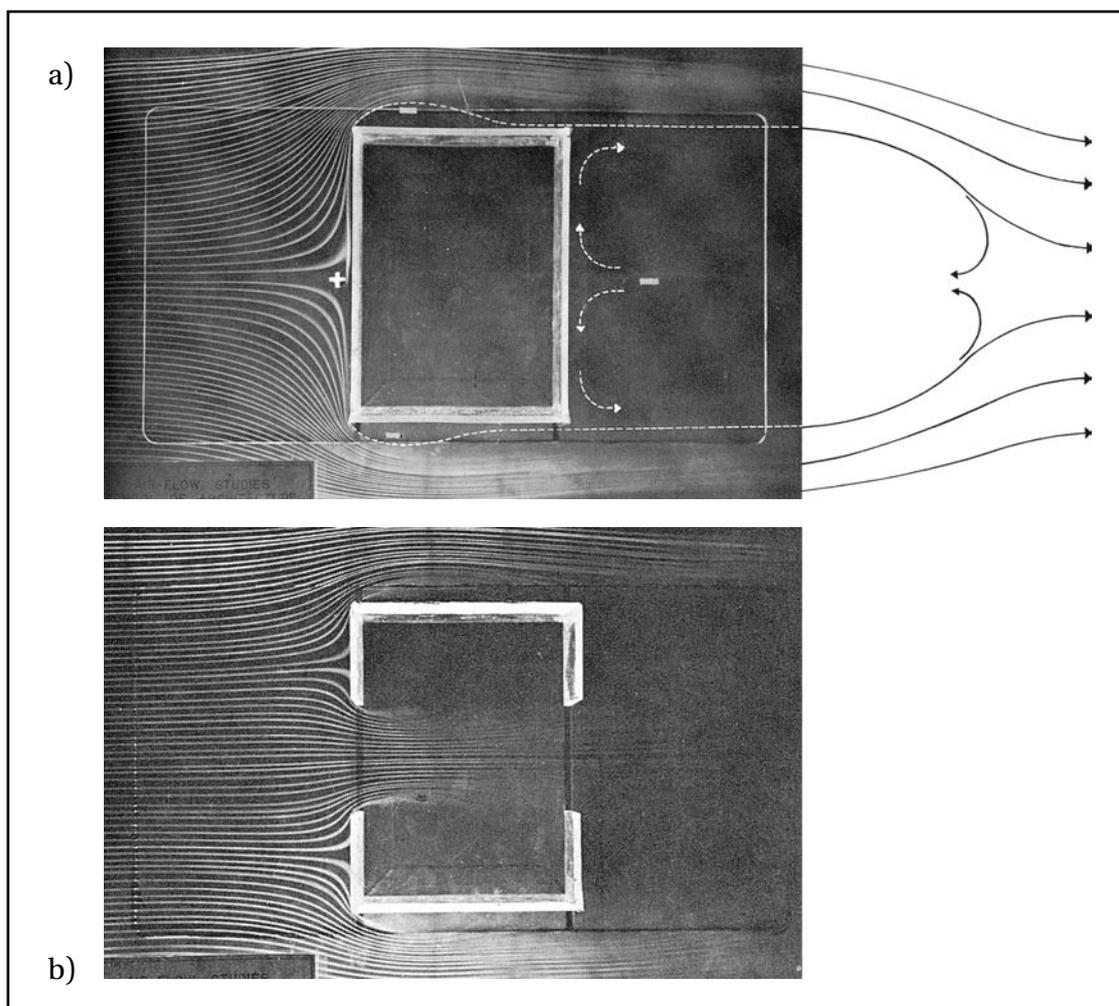


FIGURA 1 — Efeito do vento em um prédio.

a) Pressão imposta. Os sinais + e - mostram as áreas de maior e menor pressão, respectivamente. Como não há aberturas, o efeito não perturba o ambiente interno.

b) Movimento do ar ao redor de um prédio com aberturas. Olgyay (1998) apresenta outros exemplos com diferentes disposições de aberturas e diferentes configurações do ambiente interno.

Fonte: OLGAY, 1998, p. 103 e 105.

*ventilation*) e a cruzada (*cross ventilation*) (ALLOCCA; CHEN; GLICKSMAN, 2003). Se o prédio necessitar de taxas maiores que as conseguidas por esses, pode-se fazer uso de chaminés (*stack ventilation*) (AWBI, 1998).

- Ventilação de lado único: É o método mais simples. A ventilação dá-se por uma ou mais aberturas dispostas em um único lado do prédio. O efeito da fluatuabilidade faz com que o ar mais frio entre pela parte mais baixa e o mais quente saia pela mais alta. Se houver apenas uma abertura, o escoamento é bidirecional (Figura 2). Segundo Awbi (1994), é eficiente nos primeiros 6m a partir da abertura. É recomendado que a máxima profundidade do local seja 2,5 vezes o pé direito (medida do piso ao teto) (AWBI, 1998). Gan (2000) apresenta um estudo sobre o comprimento da eficiência. Allocca, Chen e Glicksman (2003) apresentam um estudo sobre a combinação das forçantes para esse

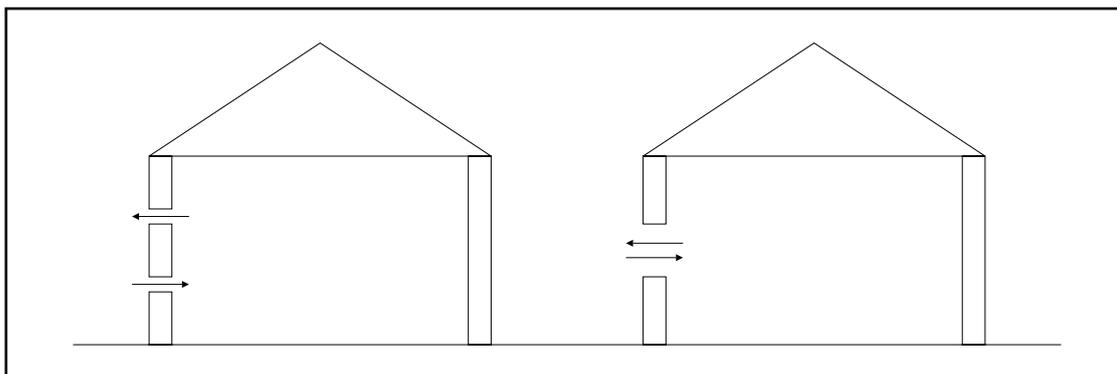


FIGURA 2 — Ventilação de lado único.

Fonte: AWBI, 1998, p. 174. (Adaptação do autor.)

tipo de configuração. Awbi (1998) mostra o equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação.

- Ventilação cruzada: A ventilação dá-se por uma ou mais aberturas dispostas em dois ou mais lados opostos do prédio (Figura 3). Como o escoamento atravessa o local, o comprimento da eficiência é maior que o do método anterior — ~12m, segundo Awbi (1994) —, logo é o método indicado para locais maiores. É recomendado que a máxima profundidade do local seja cinco vezes o pé direito (local com poucas obstruções) (AWBI, 1998). As aberturas devem ser posicionadas a barlavento e a sotavento para uma maior eficiência (OLGYAY, 1998). Olgyay (1998) apresenta várias figuras mostrando o comportamento do escoamento para com diferentes disposições de aberturas e diferentes configurações do ambiente interno. Awbi (1998) mostra o equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação.

- Ventilação por chaminés: A ventilação dá-se pelo efeito da fluutuabilidade térmica. O ar entra por aberturas situadas próximo ao chão e sai por aberturas próximo ao teto. Quanto mais alto o pé direito, mais eficiente o método é (viável a partir de 4m). Grande atenção deve ser dada ao vento, pois ele tanto pode contribuir para a eficiência como atrapalhá-la, revertendo o movimento do ar (AWBI 1994, 1998). Awbi (1998) mostra o equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação.

Quando a fluutuabilidade térmica normal não é suficiente para gerar a taxa de ventilação necessária, pode-se aumentar o escoamento por aquecimento solar de uma parte do prédio (*solar-induced ventilation*). Os métodos mais usados são a parede de Trombe, a chaminé solar e o teto solar (AWBI, 1998).

- Parede de Trombe: Originalmente projetada para aquecimento, a parede de Trombe consiste em uma parede de espessura moderada com uma abertura inferior e outra superior, com o lado externo totalmente coberto por um painel de vidro com separação de 5–10cm dela (Figura 4a). Para promover ventilação, a parede deve ter apenas a abertura inferior e o painel deve ter uma abertura superior. O ar exterior entra por outra abertura em outra parede e o interior, quente, sai pela parede de Trombe (Figura 4b) (AWBI, 1998). O equacionamento é mostrado por Awbi (1998).

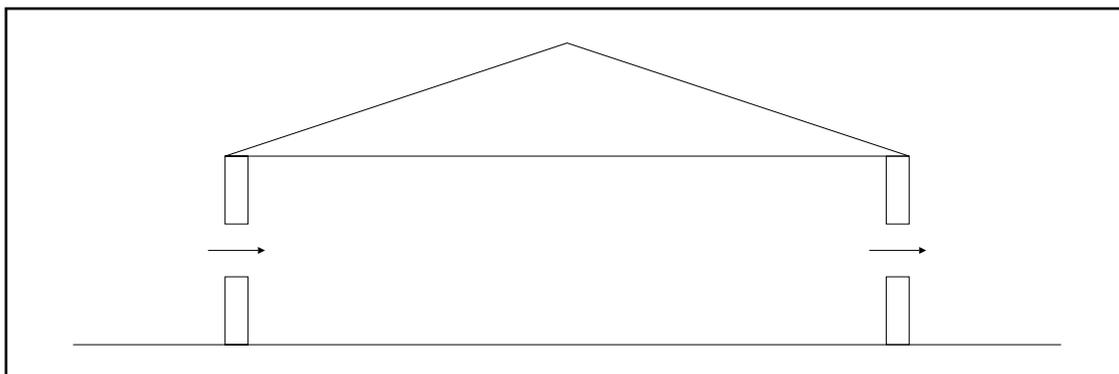


FIGURA 3 — Ventilação cruzada.  
 Fonte: AWBI, 1998, p. 175. (Adaptação do autor.)

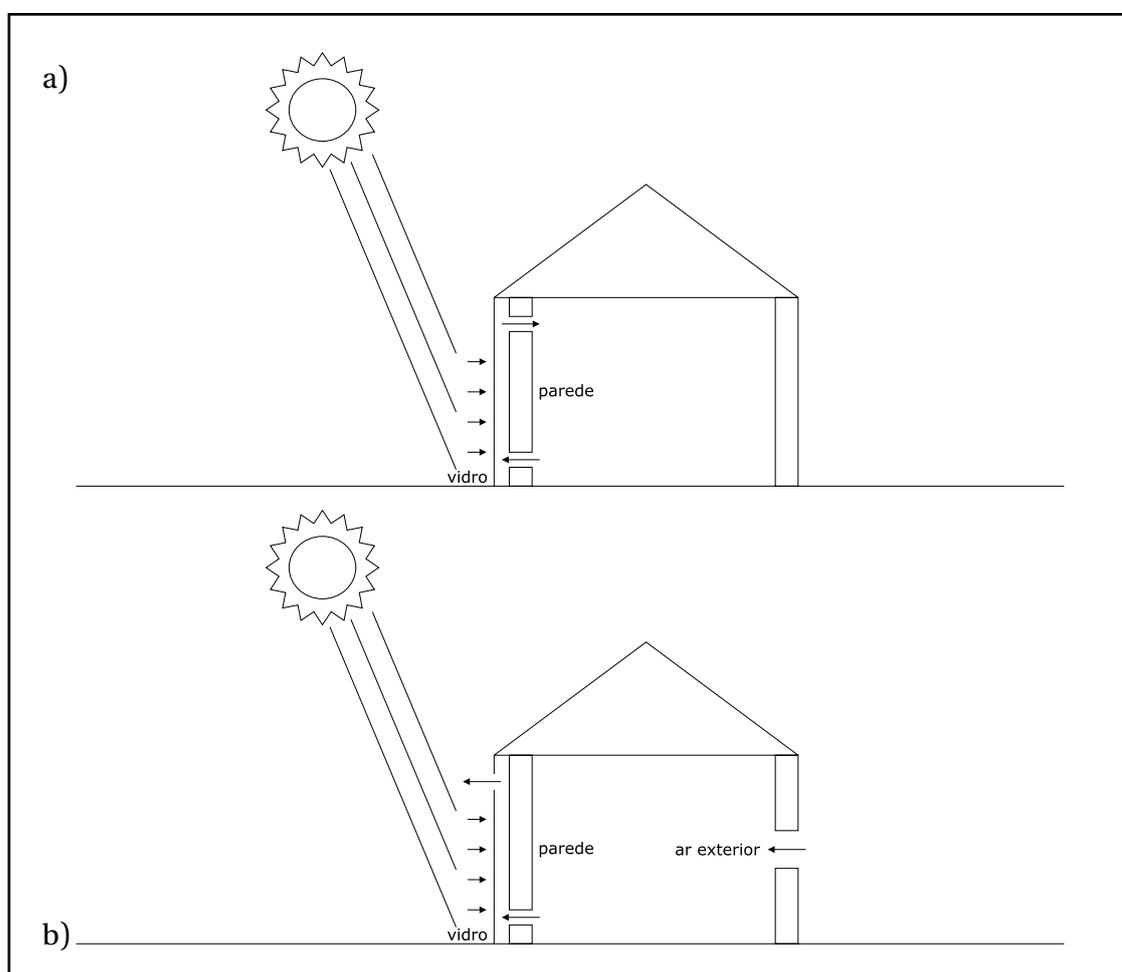


FIGURA 4 — Parede de Trombe.  
 a) Configuração para aquecimento.  
 b) Configuração para ventilação.  
 Fonte: AWBI, 1998, p. 178 e 179. (Adaptação do autor.)

- Chaminé solar: A chaminé solar funciona por armazenamento de calor. Sua parede externa, aquecida, promove convecção, e o ar sai pela sua abertura superior (Figura 5) (AWBI, 1998). O equacionamento é mostrado por Awbi (1998).
- Teto solar: É o método indicado para locais com altitude solar alta. O coletor fica situado no telhado, inclinado (Figura 6) (AWBI, 1998). O equacionamento é mostrado por Awbi (1998).

### Ventilação mecânica

Na ventilação mecânica, a entrada e a saída de ar dão-se por ventiladores. O escoamento é controlável e independente das condições meteorológicas. Sua principal desvantagem são os custos (AIVC, 2004; AWBI, 1998).

Há dois tipos de sistemas de ventilação mecânica: balanceados e não-balanceados. No primeiro, o ar é inserido e retirado simultaneamente; no segundo, o ar ou é inserido ou é retirado. Para a inserção, pressão positiva é criada no local e o ar estagnado sai por aberturas e exfiltra. O ar inserido pode ser filtrado, então é o tipo adequado para prédios em locais poluídos. Para remoção, os ventiladores retiram o ar do local e o ar exterior entra por aberturas e infiltra. É eficiente na remoção de poluentes, pois pode atuar perto da fonte (AWBI, 1998). Awbi (1998) apresenta uma descrição dos sistemas.

Os sistemas de condicionamento de ar (sistemas HVAC — *heating, ventilation and air-conditioning*, aquecimento, ventilação e condicionamento de ar) são amplamente usados. Sua função é filtrar e condicionar o ar — controlar sua temperatura e umidade. Eles requerem muito cuidado. Um sistema com manutenção inadequada ao invés de promover a boa qualidade do ar pode prejudicá-la, já que pode se tornar uma fonte de contaminação. Mais cuidado requer a água do sistema: ela pode propiciar o crescimento de organismos prejudiciais que podem ser distribuídos ao prédio. Entre eles está a bactéria *Legionella pneumophila*, responsável pela legionelose (EPA, 2002). Em 2002, um grande surto dessa doença ocorreu na cidade de Barrow-in-Furness, Inglaterra, contaminando 150 pessoas e matando sete. O sistema de condicionamento de ar de um centro social era a fonte de contaminação (DEATH..., 2004).

### Técnicas de ventilação

O ar inserido pode misturar-se ao ar interior ou deslocá-lo. São os princípios das técnicas de ventilação: ventilação por mistura de ar e ventilação por deslocamento de ar (AIVC, 2004).

#### Ventilação por mistura de ar

A ventilação por mistura de ar é a técnica mais antiga e a mais utilizada. A mistura é impulsionada pela turbulência natural do ar e pelos mecanismos de insuflamento. Os poluentes são diluídos: se a mistura é perfeita, a concentração é uniforme no local. A técnica pode ser usada para aquecimento e para refrigeração. Na maior parte dos sistemas, a corrente de inserção vem do teto ou de aberturas basculantes, para que as maiores velocidades do ar fiquem restritas às proximidades do teto e das paredes e que no centro do local e próximo ao chão a velocidade seja suficientemente pequena ( $< 0,25\text{m/s}$ ). A remoção dá-se, geralmente, próximo ao teto (AIVC, 2004; AWBI, 1998; REPACE, 2000a).

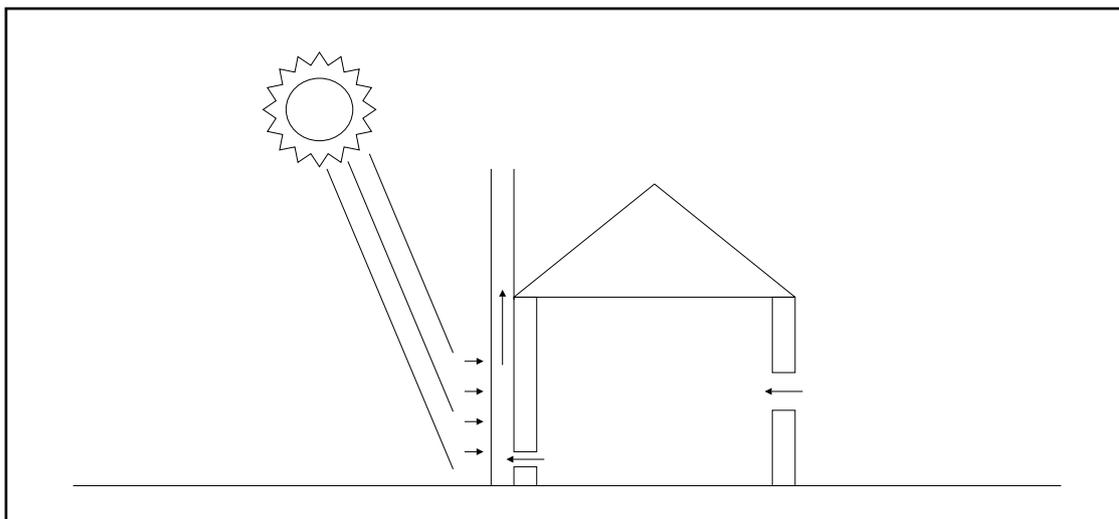


FIGURA 5 — Chaminé solar.

Fonte: AWBI, 1998, p. 180. (Adaptação do autor.)

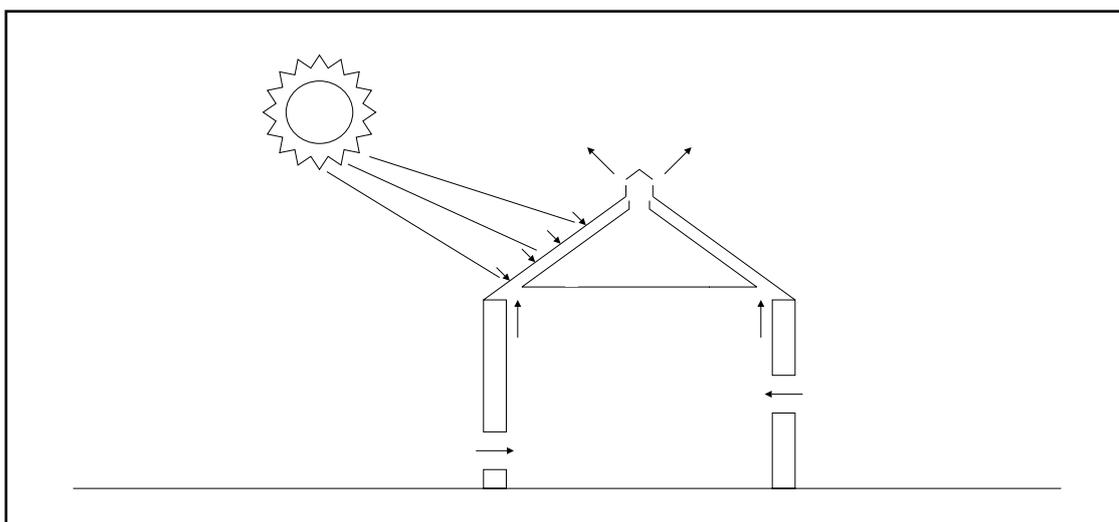


FIGURA 6 — Teto solar.

Fonte: AWBI, 1998, p. 180. (Adaptação do autor.)

#### Ventilação por deslocamento de ar

Na ventilação por deslocamento de ar, os poluentes são deslocados e retirados. Assim, a eficácia é maior que a da outra técnica. O deslocamento dá-se pelo insuflamento de ar mais frio (5-10°C mais frio, ~0,5m/s) que o interior: o ar mais frio desloca o mais quente, por ser mais denso, e vai aquecendo-se com as fontes de calor presentes no local (ocupantes, equipamentos). A configuração mais comum é a com ar insuflado próximo ao chão, com remoção próximo ao teto. Duas zonas são formadas: uma limpa, na parte inferior do local, e outra contendo os poluentes, na parte superior. A insuflação é direcionada para a zona de respiração para evitar o acúmulo de poluentes nela. O ar inalado tem, geralmente, melhor qualidade que o do resto da zona de respiração, devido à camada limite convectiva existente ao redor do corpo: o ar insuflado

próximo ao chão entranha-se nessa camada. Por inserir ar mais frio, não promove o aquecimento do local: promove a refrigeração, mas sua capacidade é limitada, já que para propósitos de conforto a temperatura da corrente não deve ser menor que 18°C. Deve-se ter cuidado com a estratificação do ar: caso o pé direito seja baixo, pode causar desconforto, deixando a parte inferior do corpo gelada e a superior quente (AIVC, 2004; AWBI, 1998; BJØRN *et al.*, 1997; REPACE, 2000a).

O sistema de ventilação deve ser bem projetado para evitar que o ar insuflado seja logo removido sem ter cumprido sua função. Isso pode ocorrer se os locais de insuflamento e de remoção de ar são próximos. No caso da ventilação por deslocamento de ar, pode ocorrer se a temperatura do ar insuflado for maior que a do ar interior (AIVC, 2004). Outro cuidado que se deve ter para com essa técnica é que haja poucos distúrbios para evitar muita mistura (um ventilador, por exemplo), já que é uma técnica de escoamento lento (REPACE, 2000a). Mesmo a movimentação de uma pessoa pode causar mistura (BJØRN *et al.*, 1997).

### **Modelos de escoamento de ar em prédios**

Para a determinação do escoamento de ar *indoor*, os métodos disponíveis são medições e modelagem matemática. As medições dão resultados apenas para as condições reinantes, enquanto que a modelagem para quaisquer condições simuladas, o que a torna uma ferramenta muito útil.

Como já comentado, o escoamento de ar em um dado local é regido pela distribuição da pressão ao redor e dentro dele. O vento, a flutuabilidade térmica e a ventilação mecânica causam essa distribuição, que também é influenciada pela disposição das aberturas e dos corredores e pela atividade dos ocupantes, entre outros fatores. A turbulência é caracterizante. Para um modelo ser eficiente, todos esses elementos devem estar presentes (FEUSTEL, 1999; LIDDAMENT, 1991; REN, 2002).

Os modelos de escoamento de ar em prédios são separados em dois principais tipos: os de escala microscópica, que utilizam a dinâmica de fluidos computacional (DFC) para calcular os valores dos parâmetros relevantes em pontos do campo de escoamento (malha), e os de escala macroscópica, que assumem zonas de ar bem misturado e calculam o escoamento entre essas (REN, 2002).

### **Modelos de escala microscópica**

Os modelos de escala microscópica têm base na dinâmica de fluidos computacional. Essa técnica de simulação consiste na solução de um conjunto de equações diferenciais parciais não-lineares que expressa as leis de conservação de massa (equação da continuidade), energia (equação da energia interna) e *momentum* (equações de Navier-Stokes). Utilizada em diversas áreas do conhecimento, foi introduzida aos estudos de ar *indoor* na década de 70. Primeiramente limitada devido à tecnologia da época, hoje possibilita estudos com altos níveis de detalhamento. Os parâmetros relevantes são calculados em pontos do campo de escoamento (malha). São, então, ferramentas eficientes para descrever as características microscópicas dos ambientes (escoamento entre dois pontos de uma sala, por exemplo), mas de operacionalização complicada: a configuração e a identificação das condições limite são difíceis e o cálculo das soluções requer muito tempo computacional (REN, 2002). Exemplos de aplicação são os trabalhos de Jiang e Chen (2001) — estudo por *large eddy simulation* do escoamento de ar em um prédio com ventilação natural — e de Papakonstantinou *et al.* (2003) — estudo

da qualidade do ar em uma garagem subterrânea. Exemplos de modelo são o CFX<sup>1</sup>, o FLOVENT<sup>2</sup>, o FLUENT<sup>3</sup> e o VORTEX<sup>4</sup>.

### Modelos de escala macroscópica

Os modelos de escala macroscópica assumem zonas de ar bem misturado e calculam o escoamento entre essas. Esse tipo abrange os modelos multizonais e os modelos zonais.

### Modelos multizonais

Os modelos multizonais são a ferramenta indicada para estudos do escoamento interambiental. Trabalham com a aproximação de que os diferentes ambientes de um local são zonas de ar bem misturado e calculam o escoamento entre essas. São o tipo mais avançado e preciso de modelo interambiental. O tipo mais simples, constituído pelos modelos de zona única, assume que locais sem divisórias são zonas de ar bem misturado e calcula o escoamento entre o interior e o exterior dessas. Essa aproximação, seja para um *loft* ou para uma casa com todas portas internas abertas, é, na maioria das vezes, grosseira. Mesmo construções sem divisórias devem ser caracterizadas como estruturas multizonais (FEUSTEL, 1999).

Esses modelos partem do princípio de que as construções são um complicado sistema entrelaçado de caminhos de escoamento de ar. Nessa malha, os pontos representam as zonas e as linhas de conexão representam os caminhos de escoamento, os quais incluem as resistências ao escoamento e à infiltração de ar, causadas por aberturas (abertas ou não). As condições limite para a distribuição da pressão são descritas por pontos de malha na zona externa. Sua base matemática é a equação de balanço de massa. Como uma pressão deve ser determinada para cada zona, o algoritmo é complexo. O número de zonas varia conforme a estrutura, sendo o máximo limitado pela capacidade computacional. A distribuição da pressão é calculada por um método iterativo, devido à dependência não-linear da taxa de escoamento na diferença de pressão. O método de Newton é o mais utilizado (FEUSTEL, 1999).

Feustel e Dieris (1992), em revisão de literatura, encontraram 50 modelos de escoamento de ar para estruturas multizonais. O pioneiro foi, provavelmente, o LEAK, de 1970. Hoje, o estado da arte da modelagem multizonal é, segundo Ren (2002), provavelmente representado pelos modelos COMIS<sup>5</sup> e CONTAM<sup>6</sup>. O COMIS, por ser internacional — a sigla significa *Conjunction of Multizone Infiltration Specialists*, Conjunção de Especialistas em Infiltração Multizonal —, é considerado padrão entre os modelos multizonais (FEUSTEL, 1999). Exemplos de aplicação são os trabalhos de Bossaer *et al.* (1999) — simulação da dispersão de poluentes em um apartamento com ventilação natural, com análise do comportamento com relação a portas internas abertas/fechadas

<sup>1</sup> <http://www-waterloo.ansys.com/cfx>

<sup>2</sup> <http://flovent.com>

<sup>3</sup> <http://fluent.com>

<sup>4</sup> <http://www.rdg.ac.uk/AcaDepts/kc/IEERG/www/vortex.htm>

<sup>5</sup> <http://epb1.lbl.gov/comis>

<sup>6</sup> <http://www.bfrl.nist.gov/LAQanalysis/CONTAMWdesc.htm>

— e de Blomsterberg *et al.* (1999) — simulação de escoamento de ar em residências, visando avaliar o funcionamento dos sistemas de ventilação instalados e determinar taxas de renovação do ar.

#### Modelos zonais

Os modelos zonais foram desenvolvidos visando a melhoria da modelagem do comportamento térmico dos prédios: supor isoterma em uma sala, como faz-se na modelagem multizonal, não é interessante. Eles dividem o ambiente em zonas, calculando o escoamento entre essas para descrever o escoamento dentro do ambiente. Quando o interesse está na descrição intra-ambiental mas a resolução não precisa ser tão alta quanto a utilizada na DFC, esses modelos são uma alternativa (REN, 2002). Exemplos de aplicação são os trabalhos de Haghighat, Li e Megri (2001) — desenvolvimento de um modelo para a simulação de padrões de escoamento de ar e distribuição térmica em salas — e de Mendonça *et al.* (2002) — desenvolvimento de um modelo de previsão de campos de temperatura e umidade para estudo da influência da adsorção/dessorção em materiais no ar *indoor*.

#### Acoplamento de modelos

Na procura de um modelo que descrevesse escoamento intra e interambiental, os diferentes tipos de modelo começaram a ser acoplados. Os de escala microscópica acoplados aos multizonais resultam em um modelo de alta resolução, mas com as desvantagens referentes ao uso da DFC. Os modelos zonais acoplados aos multizonais calculam o escoamento intra-ambiental com menor resolução, mas são de operacionalização mais fácil e rápida (REN, 2002).

O acoplamento de modelos zonais a multizonais é uma técnica nova. O modelo conhecido é o COWZ<sup>7</sup>, de 2002 (REN, 2002), que tem como base o COMIS — a sigla significa COMIS *with sub-zones*. Ele apresenta bons resultados no detalhamento do escoamento, mas, por ser muito recente, ainda não foi explorado e aperfeiçoado o bastante. Acredita-se que, com o tempo, essa técnica tomará espaço. Por enquanto, a ferramenta indicada para estudos do escoamento de ar *indoor* segue sendo a modelagem multizonal.

#### Fumaça ambiental de cigarros

A disseminação do tabaco iniciou com a chegada de Colombo às Américas, no final do século 15. Levado à Europa, o produto teve grande aceitação e difundiu-se pelo globo. Essa grande aceitação é explicada pelo alto poder aditivo da nicotina, alcalóide presente nas folhas da planta. A nicotina é o principal componente psicoativo do tabaco, responsável pelo estímulo de sensações prazerosas como redução de ansiedade e tensão. No século 18, o meio comum de provimento de nicotina era o tabaco em pó e, no século 19, charutos. Em 1881 foi inventada a máquina de manufatura de cigarros, e a partir daí o cigarro tornou-se o principal meio de provimento de nicotina. Apesar da nicotina

<sup>7</sup> <http://questor.qub.ac.uk/webpages/whatwedo/researchgroups/environmentalmodelling/ia/qcair6.html>

ser mais viciante que substâncias como cocaína, heroína, metanfetaminas e álcool e apesar do uso do tabaco provocar mais mortes que a combinação de mortes por AIDS, uso de drogas, acidentes de trânsito, assassinatos e suicídios, ele é lícito. Estima-se haja cerca de 1,3 bilhão de fumantes no mundo. A grande maioria dos usuários é do sexo masculino e é comum a iniciação na adolescência, com o uso experimental (MACKAY; ERIKSEN, 2002; VIEGAS, 2004; WHO, 2003a).

A fumaça ambiental de cigarros é uma mistura de gases e partículas provenientes da queima do tabaco no ato de fumar. É composta pela fumaça que sai da ponta do cigarro (ou charuto, cachimbo, etc. — aqui a abordagem será sobre o cigarro) quando ele não está sendo tragado (fumaça lateral ou secundária) e pela fumaça exalada pelo fumante (fumaça principal exalada). Sua presença é um problema para a manutenção da qualidade do ar *indoor*: ela é uma das principais contribuintes para o aumento da concentração e da exposição a partículas em ambientes fechados. Além disso, é comprovado que muitos de seus compostos químicos são tóxicos ou cancerígenos e que sua inalação pode causar vários danos à saúde (NAZAROFF; KLEPEIS, 2004; WHO, 2000b). Os fumantes, pessoas viciadas em nicotina, impõem, diretamente, custos aos não-fumantes: com relação à saúde, impondo danos e irritação sensorial (visão e olfato), e com relação à poluição, impondo a impregnação do cheiro e da sujeira (WORLD BANK, 1999).

### Questão da saúde

A exposição à FAC comprovadamente aumenta o risco de várias doenças, principalmente em crianças, asmáticos e adultos com predisposição a doenças cardiovasculares. Em crianças, a exposição é relacionada ao aumento do risco de pneumonia, bronquite, bronquiolite e otite e à mortalidade pela síndrome da morte súbita infantil. Em crianças asmáticas, a exposição aumenta a frequência e a severidade dos ataques. Em adultos, a exposição é relacionada à diminuição da função pulmonar e ao aumento dos sintomas respiratórios. Em grávidas, a exposição está relacionada à diminuição do peso do recém-nascido. Há evidências de que a FAC seja relacionada ao câncer nasal. É comprovada a relação entre exposição e morbidade/mortalidade por câncer de pulmão e doenças cardiovasculares — doenças crônicas mais focadas (WHO, 2000b).

A nicotina e a cotinina (seu principal metabólito, produto final de seu metabolismo) são os melhores indicadores de exposição e dosagem de exposição à FAC (REPACE, 2000a). O nível de nicotina no ar pode ser medido por meio de filtros, por exemplo. Já para a medida da cotinina, é necessário amostras de fluidos corpóreos (soro sanguíneo, saliva, urina) e análise laboratorial. Mas o indicador mais utilizado é a concentração de partículas suspensas respiráveis (PSR, material particulado igual ou menor a  $3,5\mu\text{m}$ ), embora sua fonte não seja exclusivamente a FAC. Não há uma norma específica para a exposição à FAC. Para fins de referência, normas que abrangem seus componentes são usadas para comparação. Por exemplo, Moschandreas e Vuilleumier (1999) citam a norma da Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais, que especifica limites de exposição para alguns compostos. Os limites são estabelecidos com base na exposição contínua: são a concentração média a que uma pessoa exposta oito horas por dia e quarenta horas por semana (carga horária profissional) não sofre danos à saúde. Dessa norma, aproveita-se o limite especificado para a nicotina,  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ , e para PSR,  $3000\mu\text{g}/\text{m}^3$ , por exemplo.

Para fins de comparação de exposição segura, usualmente a norma para exposição a partículas finas (material particulado igual ou menor a  $2,5\mu\text{m}$ ) da Agência de Proteção Ambiental Americana — EPA, *Environmental Protection Agency*, órgão de referência

—, que estabelece um teto médio diário de  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$  (EPA, 1997), é a adotada, já que a maior parte das partículas da FAC estão nessa faixa (NAZAROFF; KLEPEIS, 2004). Ott (1999) comenta que o tempo de permanência típico de uma pessoa em um ambiente sujeito à FAC é oito horas, logo, caso não haja exposição a partículas finas no restante do dia, a exposição média seria um terço do teto diário, estando de acordo com a norma. Sugere como aceitável para oito horas uma exposição a  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas finas. Segundo Repace (2000a), uma exposição média à metade desse valor,  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PSR da FAC, durante oito horas por dia, 260 dias por ano, durante 40 anos (convivência contínua com fumantes, exposição profissional ou doméstica) corresponde a um risco de uma morte em mil por câncer de pulmão e de uma em cem por doenças cardiovasculares. Esses riscos são muito altos. Em análise de risco, dois termos importantes são os riscos *de manifestis* e *de minimis*. O risco *de manifestis* é um risco óbvio, alto, que exige normas regulamentadoras. O risco *de minimis* é um risco aceitável, baixo, raramente regulamentado. Segundo Travis *et al.* (1987 *apud* REPACE, 2000a), quando a população em risco é grande, como no caso da exposição à FAC, o risco *de manifestis* é três mortes em dez mil e o risco *de minimis* é uma morte por milhão. Os riscos considerados na relação de Repace (2000a) são bem maiores que esses dois riscos. Segundo ele, manter o risco aceitável para essas doenças é difícil, e mesmo se para essas o risco fosse mantido, ainda restariam várias outras, o que impossibilita essa manutenção. Para ele, a única solução viável é a proibição do fumo.

### Questão da poluição

A composição da FAC reúne mais de quatro mil componentes (entre eles, mais de quarenta cancerígenos, como benzeno e níquel, vários irritantes, como amônia, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, e intoxicantes cardiovasculares, como o monóxido de carbono e a nicotina) (WHO, 2000b). Seus gases e partículas, no ar, estão sujeitos a processos físico-químicos que alteram sua concentração, formato e composição, como a dispersão, a deposição em superfícies e a interação com outros materiais. A FAC é uma das principais contribuintes para o aumento da concentração e da exposição a partículas em ambientes fechados (NAZAROFF; KLEPEIS, 2004). Aqui, a abordagem será sobre suas partículas.

As partículas da FAC são, na maioria, compostos orgânicos na forma de pequeníssimas gotículas, suficientemente pequenas para serem levadas pelas correntes de ar, dispersando-se pelo ambiente. A maior parte está na faixa de  $0,1$  a  $2\mu\text{m}$ , que abrange a chamada faixa de acumulação, caracterizada por longos tempos de residência. Essa faixa engloba a do comprimento de onda visível ( $0,3$ – $0,7\mu\text{m}$ ), logo as partículas são eficientes no espalhamento da luz. Isso e o longo tempo de residência fazem com que o ar de ambientes sujeitos à FAC tenha um aspecto opaco (HINDS, 1998 *apud* NAZAROFF; KLEPEIS, 2004; NAZAROFF; KLEPEIS, 2004). A dispersão é rápida e a suposição de concentração média uniforme no local é válida após um certo tempo (10–80min, dependendo das condições — esse ponto é retomado no final desse tópico) (KLEPEIS, 1999).

A taxa de emissão de partículas por cigarro fumado varia de acordo com a marca e com a maneira com a qual o cigarro é fumado. Nazaroff e Klepeis (2004) encontraram uma média de 12mg de PSR por cigarro fumado ( $12000\mu\text{g}/\text{cig}$ ). Klepeis, Ott e Switzer (1996) consideram uma taxa de 1,43mg por minuto fumado ( $1430\mu\text{g}/\text{min}$ ). Essas taxas são muito altas, não apenas contribuindo para a alta concentração de PSR em ambientes fechados sujeitos à FAC como causando essa alta concentração (NAZAROFF; KLEPEIS, 2004). São suficientemente altas para ter impacto na poluição atmosférica: Rogge *et al.* (1994 *apud* NAZAROFF; KLEPEIS, 2004) constataram que o fumo é responsável por

1% da concentração de partículas finas da cidade de Los Angeles, Estados Unidos. Mas, obviamente, a maior exposição à FAC dá-se em ambientes fechados.

Repace (2004) mediu a concentração de PSR em um cassino, em um clube de bilhar e em seis bares da cidade de Delaware, Estados Unidos, e constatou que a FAC era responsável por 90–95% da poluição nesses. Ao comparar o nível de poluição encontrado com o normal encontrado em estradas e ruas movimentadas de grandes cidades, constatou que os ambientes eram muito mais poluídos que estes. Ott, Switzer e Robinson (1996) mediram a concentração de PSR antes e depois da proibição do fumo em uma taberna da cidade de Menlo Park, Estados Unidos, e constataram que houve uma diminuição de 90% da poluição com a proibição do fumo. Esses resultados confirmam que a presença da FAC é um problema para a manutenção da qualidade do ar *indoor*.

### **Problemática**

Os movimentos para a regulamentação do fumo em recintos coletivos começaram na década de 70 com o surgimento de evidências sobre os malefícios da inalação involuntária da FAC, o chamado fumo passivo. O ponto alto foi a publicação, em 1986, de um relatório do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, afirmando esses malefícios, ressaltando o câncer de pulmão, e concluindo que a separação do ambiente em área para fumantes e para não-fumantes sem a separação do ar poderia diminuir mas não eliminar a exposição dos não-fumantes à FAC (DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1986).

O problema que a FAC representa em ambientes fechados foi reconhecido pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar em 1981, quando, na revisão de uma norma, especificou maiores taxas de ventilação para as áreas onde o fumo é permitido, alegando que ela é um dos poluentes mais difíceis de ser controlado na fonte (GLANTZ; SCHICK, 2004). Em 2002, um adendo reforçou essa especificação, esclarecendo, porém, que a determinação dessa taxa não é possível até que autoridades de saúde especifiquem um nível seguro de exposição à FAC. Também proibiu a recirculação e a transferência de ar das áreas para fumantes para as áreas para não-fumantes (ASHRAE, 2002). Embora a Sociedade preze pela saúde dos ocupantes, o adendo contém um apêndice com um método para determinação da taxa necessária para garantir conforto em relação ao odor em áreas onde o fumo é permitido, que, em análise de Glantz e Schick (2004), é duvidoso. No Brasil, o fumo em recintos coletivos é proibido por lei, salvo em áreas especificadas, desde 1996 (BRASIL, 1996). Porém, o que se nota é que o fumo é uma atividade comum, e que, na maioria dos casos, as áreas destinadas a ele, quando existentes, não são devidamente isoladas, como determinado. Com relação à ventilação, a lei determina um “arejamento conveniente”, sem maiores especificações. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária também não faz maiores especificações sobre a ventilação em relação à FAC: apresenta como “medida de correção” maiores taxas e a restrição do fumo a áreas fechadas (BRASIL, 2000).

Todas essas exigências para com o fumo são, obviamente, inconvenientes para a indústria do tabaco e a da hospitalidade (hotéis, restaurantes, etc.). As implicações da FAC para com a saúde costumam ser subestimadas e a ventilação é vendida como a solução para o problema (ver SOUZA CRUZ, 2003). Um exemplo é o programa “Convivência em Harmonia”, criado pela Associação Internacional de Hotéis e Restaurantes e implantado no Brasil em 1996 pela Associação Brasileira de Gastronomia, Hospitalidade e Turismo, que prega uma separação idealizada do local de acordo com a pressão:

área para fumantes na zona de baixa pressão, área para não-fumantes na zona de alta pressão (INTERNATIONAL HOTEL AND RESTAURANT ASSOCIATION; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GASTRONOMIA, HOSPITALIDADE E TURISMO, [1996?]). Estabelecimentos de entretenimento, como bares e boates, porém, têm grande interação entre os clientes, e a separação pode não ser respeitada. E há o grande problema da dispersão: Cains *et al.* (2004) mediram a concentração de partículas finas, nicotina e dióxido de carbono em 17 estabelecimentos de entretenimento com áreas separadas da região metropolitana de Sydney, Austrália, e concluíram que a separação não é um meio de proteção eficiente para os não-fumantes, diminuindo, na melhor das hipóteses, 50% da exposição à FAC. Miller e Nazaroff (2001), estudando a dispersão da FAC em ambientes multizonais, concluíram que a separação pode ser eficiente se as áreas separadas estiverem em salas separadas por uma porta fechada ou se a área para fumantes possuir sistema de ventilação/exaustão próprio (redução de 85-95% da exposição). Ott, Klepeis e Switzer (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. Mas esse isolamento de áreas, conforme determina a lei brasileira, infelizmente não é o que se observa. E mesmo isso não resolveria uma questão complicada que é a exposição dos trabalhadores, caso semelhante ao dos não-fumantes que vivem com fumantes: a exposição é maior. Em 1998, especialistas em ventilação concluíram que a técnica de ventilação por mistura de ar, a mais utilizada, não é eficiente na redução da exposição dos trabalhadores à FAC e sugeriram a adoção da técnica por deslocamento de ar, com eficiência estimada em 90%. Segundo Repace (2000a), mesmo essa grande redução da exposição não reduziria o risco de vida imposto ao aceitável, sendo necessário, além disso, um aumento expressivo nas taxas de ventilação, impraticável por questões de conforto. Glantz e Schick (2004) observam que isso coloca a ASHRAE em uma posição indesejável: recomendar uma solução inviável para o problema.

A questão da saúde e a da poluição levam a concluir que a única solução viável para o problema do fumo em ambientes fechados é sua proibição. Experiências como o *Smoke-free Air Act* da cidade de Nova York, Estados Unidos, mostram que a proibição do fumo é uma solução viável para o problema, não acarretando em perdas econômicas, como pregado pelas indústrias do tabaco e da hospitalidade. Desde março de 2003 em vigência, seu relatório de um ano registra que há adesão de 97% dos restaurantes e bares da cidade e que houve um aumento drástico na qualidade do ar dos ambientes. Estima-se que 150 mil trabalhadores não são mais expostos à FAC no trabalho e observou-se uma diminuição de 85% nos níveis de cotinina nos trabalhadores não-fumantes. Em pesquisa, 16% da população diz ter passado a freqüentar mais os restaurantes e bares com a lei, 73% diz não ter mudado de comportamento e a minoria, 11%, diz que passou a freqüentar menos os restaurantes e bares com a proibição do fumo (NEW YORK CITY DEPARTMENT OF FINANCE *et al.*, 2004). Em julho de 2003, todo o estado de Nova York passou a ter o fumo proibido em ambientes coletivos fechados, com multas de até mil dólares por infração (NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH, 2003). E há movimentos para proibir o fumo também em ambientes coletivos abertos. Isso já é realidade, por exemplo, em algumas comunidades do estado da Califórnia, Estados Unidos. Em outubro de 2004, duas praias movimentadas do estado tiveram o fumo proibido (TIMES WIRE REPORTS, 2004). Em 17 de dezembro, o Butão tornou-se o primeiro país a ter a venda e o consumo em público de tabaco proibidos (BUTÃO..., 2004). Segundo Repace (2000b), a proibição do fumo em ambientes coletivos abertos como estádios,

pátios, entrada de prédios e eventos e restaurantes e bares ao ar livre é cientificamente justificável, dada a dispersão da FAC. E completa:

Have you ever had dinner in an outdoor café in Paris, Athens, Las Palmas, or Salt Lake City spoiled by smokers at adjacent tables? Have you ever had to move your blanket on a public beach because someone suddenly started smoking upwind, replacing clean salt air with irritating smoke? Smoking has no social value other than to create unnecessary work for physicians, and windfall profits for morticians. Even if outdoor environmental tobacco smoke were no more hazardous than dog excrement stuck to the bottom of a shoe, in many places laws require dog owners to avoid fouling public areas. Is this too much to ask of smokers? (REPACE, 2000b, p. 98.)<sup>8</sup>

Ciente dos problemas causados pelo fumo ativo e passivo, a Organização Mundial da Saúde elaborou a Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco, o primeiro tratado internacional de saúde pública da história. O objetivo da Convenção é “preservar as gerações, presentes e futuras, das devastadoras consequências sanitárias, sociais, ambientais e econômicas do consumo e da exposição à fumaça do tabaco”. Sobre a exposição à FAC:

1. Parties recognize that scientific evidence has unequivocally established that exposure to tobacco smoke causes death, disease and disability.
2. Each Party shall adopt and implement in areas of existing national jurisdiction as determined by national law and actively promote at other jurisdictional levels the adoption and implementation of effective legislative, executive, administrative and/or other measures, providing for protection from exposure to tobacco smoke in indoor workplaces, public transport, indoor public places and, as appropriate, other public places. (WHO, 2003b, p. 8.)<sup>9</sup>

Em elaboração desde 1999, o documento de consenso (*Framework Convention on Tobacco Control*) foi aprovado pelos países membros da OMS em maio de 2003 e entrou

---

<sup>8</sup> Você alguma vez jantou em um café ao ar livre de Paris, Atenas, Las Palmas ou de Salt Lake City incomodado pelos fumantes das mesas ao lado? Você já teve que mudar de lugar em uma praia pública por alguém repentinamente ter começado a fumar na direção do vento, substituindo seu ar limpo do mar pela irritante fumaça? O fumo não tem outro valor social que não seja o de criar trabalho desnecessário para os médicos e o de gerar grandes lucros para os agentes funerários. Mesmo se a fumaça ambiental de cigarros em ambientes abertos não fosse tão perigosa quanto excremento de cachorro grudado na sola do sapato, em muitos locais a lei exige que os donos dos cães não os permitam sujar as áreas públicas. É muito pedir isso dos fumantes? (REPACE, 2000b, p. 98. Tradução do autor.)

<sup>9</sup> 1. As partes reconhecem que a ciência estabeleceu de maneira inequívoca que a exposição à fumaça do tabaco causa morte, doenças e incapacidade.  
2. Cada parte deverá adotar e aplicar nas áreas de sua jurisdição nacional determinada por lei/promover ativamente em outros níveis jurisdicionais medidas legislativas, executivas, administrativas e/ou outras medidas eficazes para a proteção contra a exposição à fumaça do tabaco em locais fechados de trabalho, meios de transporte públicos, lugares públicos fechados e, se apropriado, em outros lugares públicos. (WHO, 2003b, p. 8. Tradução do autor.)

em vigor em 27 de fevereiro de 2005, pois dependia da ratificação de quarenta membros, número ultrapassado. O Brasil aprovou o documento mas até a presente data não o ratificou: a ratificação foi aprovada pela Câmara dos Deputados em maio de 2004 e espera a aprovação do Senado (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER, 2004; WHO, 2004).

Lembrando, o fumo em recintos coletivos é proibido por lei no Brasil desde 1996 (não há especificação sobre ambiente aberto/fechado). Trinta por cento dos brasileiros maiores de dezesseis anos fuma, o que representa aproximadamente trinta milhões de pessoas (FERREIRA, 2001). Sendo a questão do fumo em ambientes fechados um problema de saúde pública, é necessária uma maior fiscalização e educação da população a respeito dos malefícios da FAC. Dependendo somente do bom senso dos fumantes, a questão do fumo em ambientes fechados complica-se.

### Modelos de concentração de poluentes originados do ato de fumar

Os modelos de previsão da concentração de poluentes originados do ato de fumar são desenvolvidos há quatro décadas e hoje são ferramentas precisas. Em revisão de literatura, Repace (1987) aponta como pioneiro o trabalho de Hoegg (1972), que propôs equações derivadas de regressões dos resultados de experimentos sobre as características da FAC. O primeiro modelo foi (HOEGG, 1972):

$$2 \quad z = \frac{nSp}{wm} \left( 1 - e^{-\frac{wmt}{v}} \right)$$

onde:

$z$  concentração de material particulado [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$n$  número de cigarros fumados [ $1/\text{h}$ ]

$S$  emissão do cigarro [ $\text{mg}$ ]

$p$  fator de dissipação [-]

$w$  taxa de ventilação [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$m$  fator de mistura [-]

$t$  tempo [ $\text{h}$ ]

$v$  volume do local [ $\text{m}^3$ ]

Os modelos posteriores tiveram como base a lei da conservação da massa. A equação geral é (REPACE, 1987):

$$3 \quad z = \frac{snS}{v\phi}$$

onde:

$s$  número de fumantes [-]

$\phi$  taxa de troca de ar [ $1/\text{h}$ ]

Os modelos atuais seguem tendo como base a lei da conservação da massa. Calculam a concentração levando em conta a intensidade da fonte, o volume do local, a taxa de troca de ar por hora e a remoção por deposição ou reações, basicamente. Ott (1999) apresenta uma revisão sobre esses modelos e a derivação da equação. A forma geral é (OTT, 1999):

$$4 \quad \frac{dz}{\phi dt} + z = \frac{g_{\text{cig}}}{w}$$

onde  $g_{\text{cig}}$  é a taxa de emissão do cigarro (massa/tempo).

Há várias versões desse modelo, dependendo da aplicação. Uma versão interessante é a para a concentração média, já que as normas de qualidade do ar geralmente utilizam esse critério. A equação exata, derivada por Ott (1999), é:

$$5 \quad \overline{z(t)} = \frac{n_{ave} g_{cig}}{w} - \frac{\Delta z}{\phi t}$$

onde:

$z(t)$  concentração média [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$n_{ave}$  número médio de cigarros acesos [-]

$g_{cig}$  taxa de emissão do cigarro [ $\mu\text{g}/\text{min}$ ]

$w$  taxa de ventilação [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]

$\Delta z$  diferença entre as concentrações inicial e final [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

O número médio de cigarros acesos dá a idéia do padrão de fumo no local. Para essa medida, o ideal é que sejam observados os tempos em que os fumantes acendem e apagam cada cigarro, mas isso é complicado já que pode exigir vários observadores e é uma medida difícil se o local for repleto de fumantes. Utiliza-se, então, uma média, considerando apenas o número de cigarros fumados em um determinado tempo. O cálculo é (OTT, 1999):

$$6 \quad n_{ave} = \frac{n}{t(\text{h})} \frac{tf}{t(\text{min})}$$

onde  $tf$  é o tempo da fumada (tempo que o cigarro fica aceso) (min).

O último termo da Equação 5 é um termo de correção, função da diferença entre as concentrações inicial e final, da taxa de troca de ar e do tempo. A taxa de troca de ar, como já comentado, é a taxa de ventilação (taxa volumétrica de escoamento) dividida pelo volume do local. Tratando-se de partículas, pode-se embutir nela o efeito da deposição, tendo-se então a taxa efetiva de troca de ar. Para ambientes sujeitos à FAC, Klepeis, Ott e Switzer (1996) consideram que a taxa efetiva de troca de ar é 1,2 vez a taxa de troca de ar. Caso não haja diferença entre as concentrações inicial e final, o termo de correção anula-se. Caso o tempo seja muito maior que o inverso da taxa de troca de ar, pode ser desprezado, já que tenderá a zero. Assim (OTT, 1999):

$$7 \quad \overline{z(t)} = \frac{n_{ave} g_{cig}}{w}$$

ou seja, a concentração é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados e inversamente proporcional à taxa de ventilação.

Os modelos com base na lei da conservação da massa assumem que a concentração é uniforme no local. Dada a rápida dispersão da FAC, essa suposição é válida após um certo tempo. Mage e Ott (1996 *apud* OTT, 1999) 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 local 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 local não ser maior que 0,1 (coeficiente de variação espacial menor que 10%). Comentam que o cigarro se presta muito para a modelagem com base na lei da conservação da massa já que seu período alfa (6–11min) é muito pequeno em

relação ao seu período gama. 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 80min para uma sala de fumantes. 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.

Bons resultados têm sido encontrados com esse tipo de modelo. Exemplos de aplicação são os trabalhos de Klepeis, Ott e Switzer (1996) — modelagem da concentração em uma sala de fumantes de um aeroporto — e de Ott, Switzer e Robinson (1996) — modelagem da concentração em uma taberna.

## METODOLOGIA

Para acessar a influência das condições meteorológicas na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC, utilizou-se um modelo de escoamento de ar em prédios e um de concentração de poluentes originados do ato de fumar. O primeiro modelo resulta na taxa de ventilação, que é dado de entrada necessário no segundo modelo, que resulta na concentração. As concentrações simuladas foram submetidas a uma análise de risco.

### Escopo

Simulou-se uma estrutura cúbica, representando uma sala, com uma janela com orientação norte em uma das paredes (ventilação de lado único) e uma porta em outra. Assumiu-se abertura total da janela e inexistência de prédios adjacentes e de obstáculos para a ventilação. Assumiu-se a porta fechada e desprezou-se possíveis escoamentos devidos à infiltração. O dimensionamento da sala deu-se com base no plano diretor da cidade de Pelotas, Rio Grande do Sul, que estabelece um pé direito mínimo de 2,5m e uma área mínima de 9m<sup>2</sup> para salas de estar, jantar ou visitas (PELOTAS, 1980), e nas considerações de Awbi (1994, 1998) sobre a ventilação de lado único — comprimento da eficiência 6m, máxima profundidade 2,5 vezes o pé direito. Assumiu-se um pé direito de 3m e uma área de 9m<sup>2</sup> (3 por 3m), totalizando um volume de 27m<sup>3</sup>. Assumiu-se a janela com 2m de comprimento e 1,30m de altura, centrada horizontalmente em relação à parede, 1m acima do piso. A temperatura adotada para a sala foi 21°C, valor relacionado a índices de desconforto térmico baixos mesmo para valores altos de umidade relativa segundo Assis e Camargo (2002). Segundo Herrington (1950 *apud* OLGAY, 1998), 21°C é a temperatura preferida por animais quando submetidos a temperaturas variáveis. A temperatura da sala foi mantida constante. A estrutura pode ser visualizada na Figura 7.

Para a caracterização do ambiente externo, utilizou-se dados diários da Estação Agroclimatológica de Pelotas (latitude 31°52'S, longitude 52°21'24"O, altitude 13,24m) de pressão (média), temperatura do ar (média, máxima e mínima), vento a 2m (velocidade média e direção preferencial), nebulosidade (média), precipitação e umidade relativa

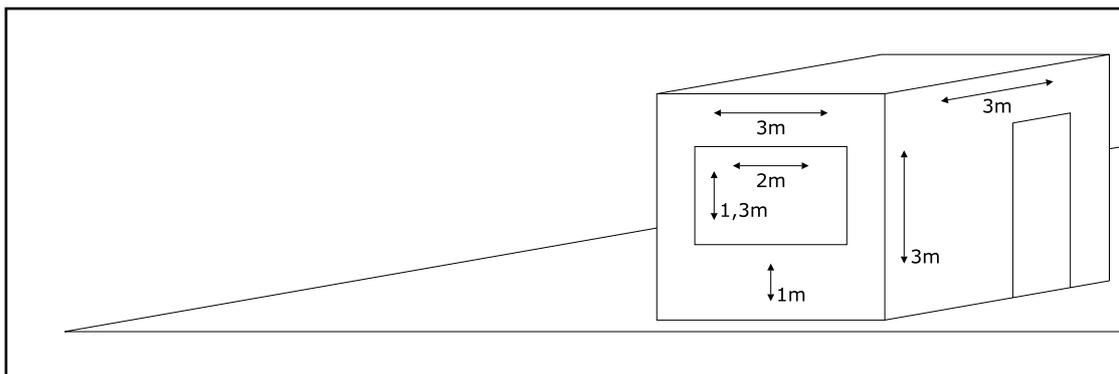


FIGURA 7 — Estrutura.

(média) (ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS, 2003a-j, 2004a, b). Formou-se quatro conjuntos, representando cada um uma estação do ano, tal qual a metodologia utilizada por Assis e Camargo (2002) para análise sazonal da cidade de Pelotas: estação temperada fria, relativa ao outono, composta pelos meses de março, abril e maio; estação fria, relativa ao inverno, composta pelos meses de junho, julho e agosto; estação temperada quente, relativa à primavera, composta pelos meses de setembro, outubro e novembro; estação quente, relativa ao verão, composta pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Analisou-se os dados do período de março de 2003 a fevereiro de 2004. Dois estudos foram feitos: um sazonal, sobre dados diários, e um sazonal médio, sobre médias sazonais.

- Estudo sazonal: Analisou-se os dados em busca de dias favoráveis ao uso de janelas utilizando-se um critério baseado na descrição de Dubrul (1988) sobre a influência do tempo no comportamento dos ocupantes para com o uso dessas: buscou-se dentro de cada estação os dias com temperaturas menores que 25°C, velocidade do vento abaixo de 8m/s, nebulosidade de até cinco décimos e sem chuva. Simulou-se a taxa de ventilação para cada dia, verificando, assim, a influência das condições meteorológicas na ventilação natural. Após, com a taxa de ventilação, simulou-se a concentração de poluentes originados do ato de fumar para cada dia, verificando, assim, a influência da ventilação na concentração de poluentes e, logo, a influência das condições meteorológicas na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC. As simulações foram feitas para médias de um a dez cigarros fumados por hora. Uma análise de risco foi feita, comparando as concentrações simuladas com uma norma para exposição a partículas finas e com uma relação de risco de vida para câncer de pulmão e doenças cardiovasculares. O fluxograma da Figura 8 ilustra o estudo.
- Estudo sazonal médio: Fez-se a média dos dados de cada estação e procedeu-se como no estudo anterior, utilizando essas médias. Repetiu-se as simulações para cada estação variando a velocidade do vento para uma estimativa da velocidade necessária para induzir a ventilação necessária para manter o risco de exposição à FAC aceitável.

Para melhor entendimento da influência das condições meteorológicas na ventilação natural, uma análise estatística foi feita, com foco na velocidade do vento e na temperatura. Ordenou-se os dados em função dessas duas variáveis e dividiu-se as seqüências em intervalos: até 1,5m/s, a partir de 1,5m/s, até 3m/s e a partir de 3m/s para a seqüência em função da velocidade do vento e de 1 em 1 e de 3 em 3°C para

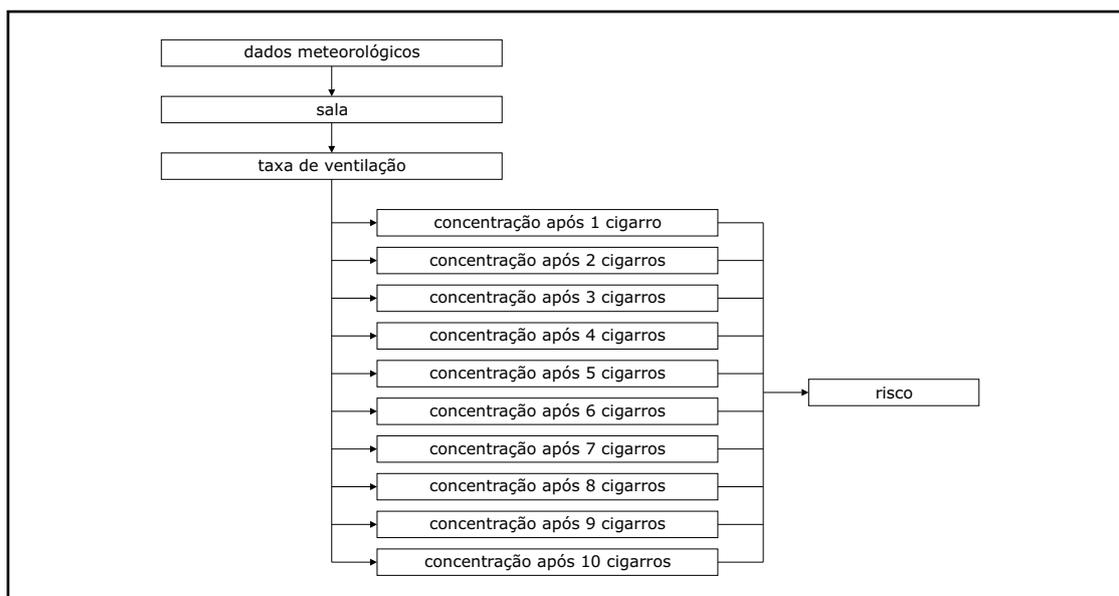


FIGURA 8 — Fluxograma do estudo sazonal.

a seqüência em função da temperatura. Para cada intervalo, determinou-se o coeficiente de correlação entre a variável da seqüência e a taxa de ventilação e fez-se uma regressão linear múltipla (padrão e estatística — *stepwise, backward*, P-valor 0,05), obtendo-se uma equação para a taxa de ventilação em função das variáveis mais significativas. Utilizou-se para os cálculos o pacote estatístico STATLETS, versão acadêmica 2.1, gratuita (<http://statlets.com>).

### Modelo de escoamento de ar em prédios

Para o estudo do escoamento de ar, escolheu-se o modelo COMIS. Optou-se por um modelo de escala macroscópica do tipo multizonal pelo estudo não exigir grande detalhamento do escoamento na estrutura. Como já comentado, a modelagem multizonal é uma ferramenta indicada para esse tipo de estudo, e o COMIS é considerado padrão entre os modelos multizonais. Optou-se pela versão 3.0, por ser gratuita, e pela interface IISIBat (*Interface Intelligente pour la Simulation de Bâtiments*, Interface Inteligente para Simulação de Prédios), por ser gráfica.

### Descrição do modelo

O COMIS foi o resultado do workshop homônimo realizado entre 1988 e 1989 no *Lawrence Berkeley National Laboratory* (Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, Estados Unidos). Entre 1990 e 1996, como parte de um projeto sobre modelagem multizonal de escoamento de ar conduzido pela Agência Internacional de Energia, um grupo de cientistas de nove países trabalhou na integração de novos módulos, na avaliação do código e dos resultados e no desenvolvimento de interfaces, trabalho esse que resultou na versão 3.0. Em 1998, a manutenção do código passou a ser responsabilidade do *Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt* (Laboratório Federal para Teste e Pesquisa de Materiais, Suíça) que, junto com o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (Centro Nacional de Ciência e Tecnologia de Prédios, França), desen-

volveu a versão 3.1, primeira versão comercial do modelo, lançada em janeiro de 2001 (HAAS *et al.*, 2002).

É um modelo de estrutura modular. A estruturação da simulação dá-se em cinco principais módulos: distribuição de pressão aplicada, componentes de escoamento de ar, sistemas HVAC, folhas de horário e transporte de poluentes (WARREN, 2000).

- Distribuição de pressão aplicada: Trata das diferenças de pressão impostas pelo vento e pela fluidez térmica. É o módulo que assimila as condições meteorológicas.

A pressão imposta pelo vento é dada por (DORER; WEBER, 1995a):

$$8 \quad P_v(i) = C_p(i) \frac{\rho}{2} V_{ref}^2$$

onde:

$P_v$  pressão imposta pelo vento no ponto  $i$  [Pa]

$C_p$  coeficiente de pressão no ponto  $i$  [-]

$\rho$  densidade do ar [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$V_{ref}$  velocidade do vento na altura de referência de  $C_p$  [m/s]

O valor do coeficiente de pressão depende de vários fatores e varia de ponto para ponto numa mesma fachada. Pode ser medido, estimado em testes em túneis de vento ou modelado, opção mais viável (GROSSO, 1992). Por ter variação pontual, deve ser escolhido um valor característico para a fachada.

A densidade do ar exterior pode ser calculada por (FEUSTEL; RAYNOR-HOSEN, 1990):

$$9 \quad \rho = \frac{P}{461,518(T+273,15)(H_s + 0,62198)} (1 + H_s)$$

onde:

$P$  pressão [Pa]

$T$  temperatura média do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$H_s$  umidade específica [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]

A velocidade do vento na altura de referência de  $C_p$  é dada por (DORER; WEBER, 1995a):

$$10 \quad V_{ref} = V \left( \frac{Z_{ref}}{Z_v} \right)^{\alpha}$$

onde:

$V$  velocidade do vento [m/s]

$Z_{ref}$  altura de referência de  $C_p$  [m]

$Z_v$  altura de coleta dos dados de vento [m]

$\alpha$  expoente do perfil do vento [-]

O valor do expoente do perfil do vento depende da rugosidade do terreno. A ASHRAE adota os valores 0,14 para terreno plano e 0,4 para áreas urbanas (ASHRAE, 1989 *apud* FEUSTEL, 1999). Grosso (1995) sugere os seguintes valores: 0,10 para terrenos planos, superfícies de água ou gramados, 0,14 para terrenos com poucas obstruções baixas, 0,22 para terrenos cobertos por árvores ou casas baixas, 0,28 para terrenos cobertos por obstáculos maiores que casas térreas, 0,34 para áreas urbanas pouco densas, 0,40 para áreas urbanas com densidade média e 0,45 para áreas urbanas muito densas. Pode

mudar de fachada para fachada.

A flutuabilidade térmica é dada por (DORER; WEBER, 1995a):

$$II \quad dpSt = -g\rho_z Z_{link}$$

onde:

dpSt flutuabilidade térmica [Pa]

g aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

$\rho_z$  densidade do ar da zona [kg/m<sup>3</sup>]

$Z_{link}$  altura da abertura [m]

- Componentes de escoamento de ar: Trata dos constituintes da estrutura que possibilitam escoamento. O COMIS modela escoamento através de pequenas e grandes aberturas. As pequenas aberturas são constituídas por frestas como as juntas ao redor de janelas e portas, por exemplo. As grandes aberturas são constituídas pelas janelas e portas, sejam internas ou externas. Assim, na caracterização da estrutura, é necessário informar ao modelo o número de portas, janelas e outras aberturas e se elas estão fechadas ou abertas para o cálculo correto do escoamento.

As grandes aberturas têm papel significativo no regime de escoamento de uma estrutura. O escoamento através delas pode ser complexo, podendo haver movimento bidirecional. Dado o grande número de fenômenos físicos envolvidos, a modelagem é complicada. O algoritmo do COMIS assume escoamento constante, invíscido e incompressível e estratificação linear da densidade em ambos lados da abertura. Representa os efeitos da turbulência por um perfil de diferença de pressão equivalente e a contração do escoamento pela abertura por um coeficiente de descarga (Cd). Perfis de densidade são representados por valores de densidade ou pressão na base, topo e em pontos equidistantes ao longo da abertura e o escoamento é calculado para cada intervalo, sendo o escoamento total o resultado da soma do escoamento em cada intervalo. A parte média do escoamento é bem descrita pela equação de Bernoulli. Já a parte turbulenta não é bem descrita, dado o enorme número de parâmetros que influenciam o escoamento. O efeito da turbulência pode ser particularmente significativo tratando-se de ventilação de lado único, que é a configuração a ser modelada nesse trabalho. Para esse caso, o COMIS assume que a principal forçante é a flutuabilidade térmica. Melhores resultados são esperados, então, para situações de ventos fracos (DORER, 1995 *apud* FEUSTEL, 1999; FEUSTEL, 1999; FEUSTEL; SMITH, 1997; WARREN, 2000).

Feustel e Raynor-Hoosen (1990) apresentam a fundamentação teórica da modelagem de aberturas.

- Sistemas HVAC: Trata da parte mecânica da ventilação. Há algoritmos para dutos, ventiladores e alguns componentes especiais, como os depuradores para fogs.

- Folhas de horário: Trata da variação das condições da simulação. Os fatores que afetam o escoamento de ar podem ser variáveis no tempo. Essa variação pode ser informada ao modelo por folhas de horário, que incluem a ação (abertura de uma janela, por exemplo) e o horário de ocorrência. O COMIS possui folhas de horário para dados meteorológicos, abertura de janelas, uso de ventiladores, microclima das zonas, ocupantes e poluentes.

- Transporte de poluentes: Trata da modelagem da poluição. O COMIS simula o transporte de até cinco tipos de poluente, assumindo que a concentração é bem distribuída na zona (assume mistura perfeita).

Os cálculos são resolvidos pelo método iterativo de Newton-Raphson com algumas modificações. Suas saídas básicas são dados de escoamento de ar e transporte de poluentes. Cálculos como eficácia da ventilação também podem ser efetuados. Feustel e Raynor-Hoosen (1990) apresentam a fundamentação teórica do modelo. Dorer e Weber (1995b) detalham as opções de saída. Warren (2000) detalha a validação.

A organização do arquivo de entrada é descrita por Feustel e Smith (1997). Como originalmente o modelo não é acessível, algumas interfaces foram desenvolvidas. Junto com o modelo, foi desenvolvida a COMIN, primeira interface, já ultrapassada e não mais atualizada. Dentro do projeto que resultou no COMIS 3.0, foram desenvolvidas a COMERL, interface para sistemas operacionais DOS, e a IISIBat, interface gráfica para sistemas UNIX e Windows (COMIS..., 2003). Em 2003, o *Norges byggforskningssinstitutt* (Instituto Norueguês de Pesquisas de Prédios) disponibilizou a COMISexcel, interface que utiliza a ferramenta Excel da Microsoft (COMIS..., 1999). O COMIS 3.1 vem acompanhado pela interface IISIBat (HAAS *et al.*, 2002).

O COMIS 3.0 é disponibilizado no site <http://epb1.lbl.gov/comis>. Nesse, há informações sobre a disponibilidade das interfaces COMERL e IISIBat. A interface COMISexcel é disponibilizada no site da lista de discussão do modelo, <http://groups.yahoo.com/group/comis>. Todas são gratuitas.

### **Simulação**

Estruturou-se a simulação da seguinte forma: a sala foi representada por um elemento de zona, a janela foi representada por um elemento de janela e a parede da janela foi representada por um elemento externo e um de fachada. Os elementos de fachada são os responsáveis pela interface ambiente interno/externo. São sempre antecedidos por um elemento externo. A sala é ligada à janela que é ligada ao ambiente externo. Como assumiu-se a inexistência de infiltração pela porta, ela não entrou na simulação, já que apenas constituintes da estrutura que possibilitam escoamento são simulados. A estrutura da simulação é mostrada na Figura 9 (ver CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, 1997 para a descrição dos ícones). A caracterização de cada elemento é feita pela atribuição de parâmetros. A parametrização dos elementos é detalhada no Apêndice A, bem como a parametrização da estrutura e do ambiente externo. Feustel e Smith (1997) dão maiores informações sobre as parametrizações.

A Figura 10 mostra a janela de configuração das saídas. A saída utilizada foi o escoamento total pela zona ( $\text{m}^3/\text{h}$ ). Dorer e Weber (1995b) dão maiores informações sobre as opções de saída.

### **Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar**

Para o estudo da concentração de poluentes originados do ato de fumar, escolheu-se o modelo de Ott (1999), por retornar a concentração média de um espaço de tempo, critério geralmente utilizado nas normas de qualidade do ar.

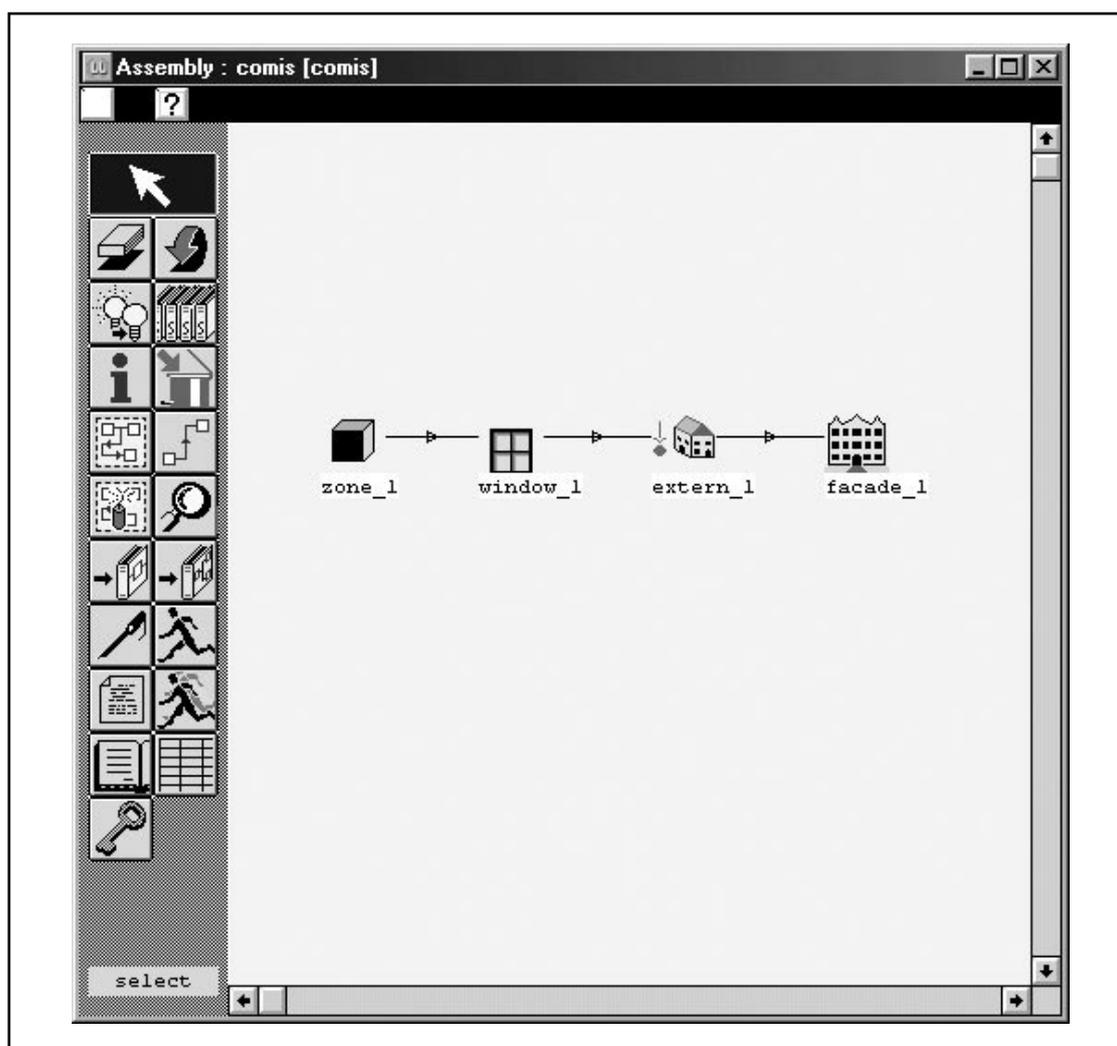


FIGURA 9 — Área de trabalho do modelo com a estrutura da simulação.

### Descrição do modelo

Utilizou-se a versão simplificada da equação de Ott (1999), considerando desprezíveis as diferenças entre as concentrações inicial e final, desconsiderando o termo de correção (Equação 7). O equacionamento foi descrito anteriormente.

### Simulação

Simulou-se a concentração devida a médias de um a dez cigarros fumados por hora para cada taxa de ventilação simulada no primeiro modelo, considerando o tempo da fumada 10min. A taxa média de emissão do cigarro utilizada foi  $1430\mu\text{g}/\text{min}$  ( $1,43\text{mg}/\text{min}$ ) (KLEPEIS; OTT; SWITZER, 1996).

### Análise de risco

Comparou-se as concentrações simuladas com a norma para exposição a partículas finas da EPA (1997) — teto médio diário  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$  — e com a concentração sugerida

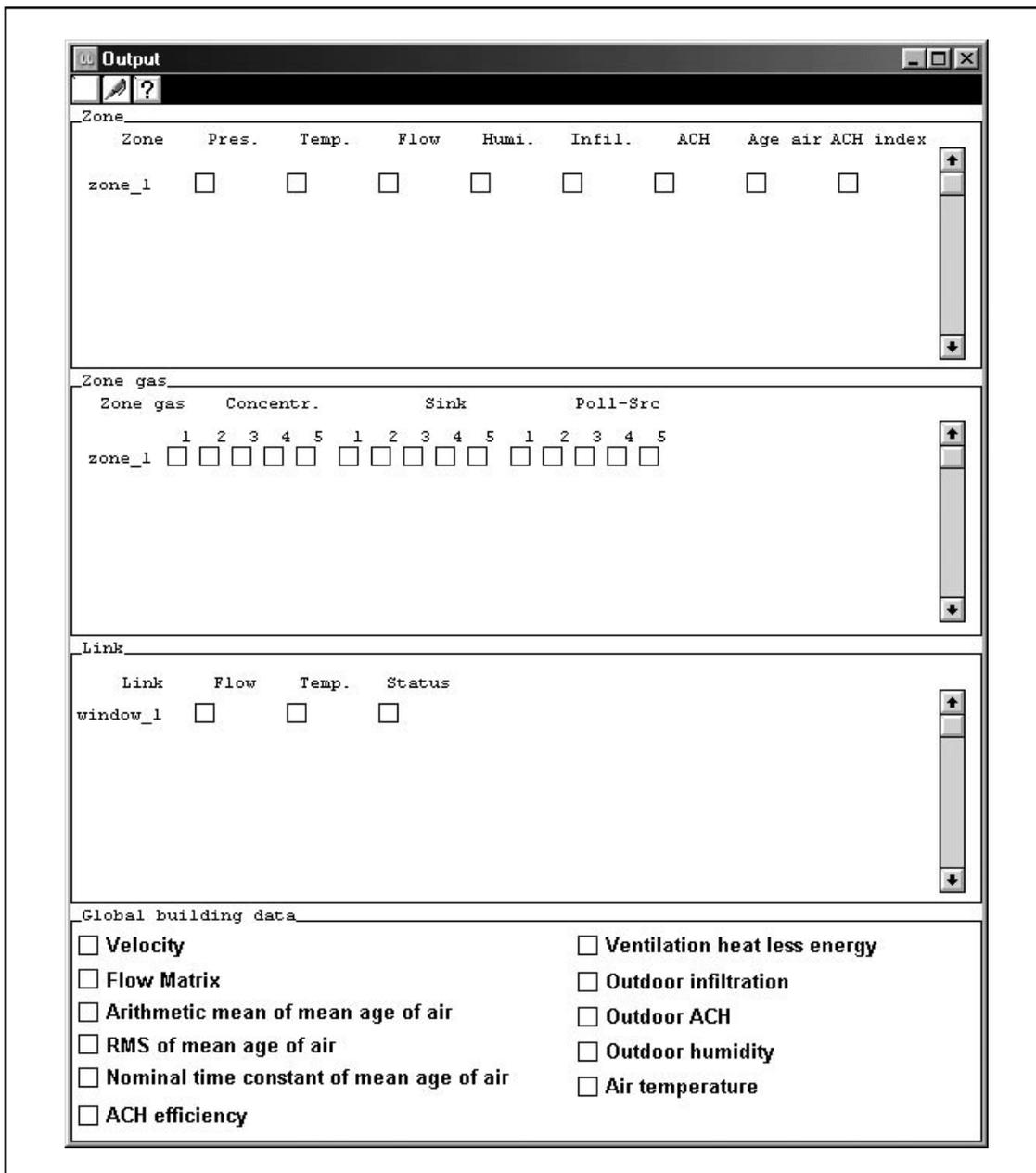


FIGURA 10 — Janela de configuração das saídas.

como aceitável por Ott (1999) para uma exposição de oito horas —  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Fez-se uma análise de risco com base na relação de risco de vida para câncer de pulmão e doenças cardiovasculares de Repace (2000a) — uma exposição média a  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PSR da FAC durante oito horas por dia, 260 dias por ano, durante 40 anos corresponde a um risco de uma morte em mil por câncer de pulmão e de uma em cem por doenças cardiovasculares. Os resultados foram confrontados com o risco aceitável — uma morte por milhão (TRAVIS *et al.*, 1987 *apud* REPACE, 2000a).

### **Ventilação necessária para manter o risco aceitável**

Para a estimativa da velocidade necessária do vento para induzir a ventilação necessária para manter o risco de exposição à FAC aceitável, fez-se o caminho inverso dos outros estudos: fez-se, primeiramente, a análise de risco para a determinação da concentração média de PSR que na relação de Repace (2000a) manteria o risco aceitável para câncer de pulmão e doenças cardiovasculares. Após, pelo modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar, determinou-se a ventilação necessária para manter a concentração que manteria o risco aceitável para cada doença, considerando médias de um a dez cigarros fumados por hora. Por fim, com o modelo de escoamento de ar em prédios, estimou-se a velocidade necessária do vento para induzir essa ventilação. Procurou-se a menor velocidade que satisfaria a condição em pelo menos uma estação para o menor risco aceitável para o menor número de cigarros fumados.

## RESULTADOS

São apresentadas as tabelas referentes aos resultados do modelo de escoamento de ar em prédios e do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar do estudo sazonal e do estudo sazonal médio. Também são apresentadas as tabelas referentes aos resultados da análise estatística. Comentários gerais são feitos. A discussão dos resultados é feita no próximo capítulo.

### **Estudo sazonal**

Os resultados relativos à estação temperada fria são apresentados nas Tabelas 1 e 2. São, respectivamente, os dados de entrada e os respectivos resultados do modelo de escoamento de ar em prédios e os resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar. Os resultados relativos à estação fria são apresentados nas Tabelas 3 e 4, os relativos à estação temperada quente nas Tabelas 5 e 6 e os relativos à estação quente nas Tabelas 7 e 8. Os dados meteorológicos utilizados são mostrados no Apêndice B.

### **Estudo sazonal médio**

Os dados de entrada e os respectivos resultados do modelo de escoamento de ar em prédios são apresentados na Tabela 9. Os resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar são apresentados na Tabela 10.

### **Análise estatística**

As correlações entre velocidade do vento e taxa de ventilação e entre temperatura e taxa de ventilação são apresentadas nas Tabelas 11 e 12, respectivamente. As regressões são apresentadas nas Tabelas 13 e 14.

TABELA 1

Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação temperada fria

Caso	Data	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m <sup>3</sup> /h)	φ (l/h)
01	22/03	101,9	18,5	1,1	90	11,0	-0,876	625,04	23,15
02	23/03	102,1	18,9	1,1	90	11,3	-0,876	573,44	21,24
03	01/04	101,9	18,3	2,1	180	10,8	-0,372	770,08	28,52
04	02/04	102,0	17,6	1,6	180	10,7	-0,372	731,34	27,09
05	06/04	101,3	17,9	1,6	180	10,9	-0,372	692,91	25,66
06	07/04	101,4	18,2	0,9	225	11,0	-0,403	658,69	24,40
07	11/04	101,3	14,1	5,4	270	6,5	-0,876	1769,90	65,55
08	12/04	102,0	14,2	2,7	225	8,4	-0,403	1054,09	39,04
09	13/04	102,5	15,2	0,9	180	9,2	-0,372	965,90	35,77
10	14/04	102,1	16,4	1,2	90	10,4	-0,876	853,83	31,62
11	20/04	101,6	15,4	1,3	270	7,8	-0,876	939,99	34,81
12	21/04	101,7	17,2	2,5	45	10,5	0,305	916,20	33,93
13	02/05	101,8	14,6	2,6	225	7,9	-0,403	1010,13	37,41
14	03/05	101,9	13,1	0,8	225	8,3	-0,403	1126,57	41,72
15	09/05	102,2	14,0	1,3	90	9,0	-0,876	1060,81	39,29
16	11/05	102,2	15,5	0,6	135	10,1	-0,403	936,90	34,70
17	26/05	101,4	13,2	1,8	225	6,8	-0,403	1113,28	41,23
18	27/05	101,8	12,2	1,8	225	6,1	-0,403	1190,42	44,09
19	28/05	101,9	11,8	1,6	225	7,2	-0,403	1219,60	45,17

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação, φ taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com maiores taxas de ventilação são aqueles com maiores velocidades do vento e/ou menores temperaturas.

TABELA 2

Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação temperada fria

Caso	w (m <sup>3</sup> /h)	$\phi$ (1/h)	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
			Cigarros fumados									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	625,04	23,15	23,3301	45,2879	68,6180	91,9482	113,9060	137,2361	160,5662	182,5240	205,8541	229,1843
02	573,44	21,24	25,4358	49,3754	74,8112	100,2469	124,1865	149,6223	175,0581	198,9977	224,4335	249,8693
03	770,08	28,52	18,9410	36,7678	55,7088	74,6498	92,4766	111,4176	130,3586	148,1855	167,1265	186,0675
04	731,34	27,09	19,9441	38,7151	58,6593	78,6034	97,3744	117,3185	137,2627	156,0336	175,9778	195,9219
05	692,91	25,66	21,0503	40,8623	61,9126	82,9629	102,7749	123,8252	144,8755	164,6876	185,7378	206,7881
06	658,69	24,40	22,1438	42,9850	65,1289	87,2727	108,1139	130,2577	152,4015	173,2428	195,3866	217,5304
07	1769,90	65,55	8,2411	15,9975	24,2386	32,4798	40,2361	48,4773	56,7184	64,4748	72,7159	80,9571
08	1054,09	39,04	13,8375	26,8611	40,6987	54,5362	67,5598	81,3973	95,2348	108,2584	122,0960	135,9335
09	965,90	35,77	15,1010	29,3137	44,4147	59,5157	73,7283	88,8293	103,9303	118,1430	133,2440	148,3450
10	853,83	31,62	17,0830	33,1611	50,2441	67,3271	83,4053	100,4883	117,5713	133,6494	150,7324	167,8154
11	939,99	34,81	15,5171	30,1215	45,6387	61,1558	75,7602	91,2773	106,7944	121,3988	136,9160	152,4331
12	916,20	33,93	15,9201	30,9037	46,8238	62,7439	77,7275	93,6476	109,5677	124,5513	140,4714	156,3915
13	1010,13	37,41	14,4398	28,0302	42,4700	56,9098	70,5002	84,9400	99,3798	112,9702	127,4100	141,8498
14	1126,57	41,72	12,9472	25,1329	38,0801	51,0273	63,2129	76,1602	89,1074	101,2930	114,2403	127,1875
15	1060,81	39,29	13,7499	26,6909	40,4408	54,1906	67,1317	80,8815	94,6314	107,5724	121,3223	135,0721
16	936,90	34,70	15,5683	30,2209	45,7892	61,3575	76,0100	91,5783	107,1467	121,7992	137,3675	152,9358
17	1113,28	41,23	13,1018	25,4330	38,5348	51,6367	63,9678	77,0696	90,1715	102,5026	115,6044	128,7063
18	1190,42	44,09	12,2529	23,7850	36,0378	48,2907	59,8228	72,0756	84,3285	95,8606	108,1135	120,3663
19	1219,60	45,17	11,9597	23,2158	35,1755	47,1352	58,3913	70,3510	82,3107	93,5668	105,5265	117,4862

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com menores concentrações são aqueles com maiores taxas de ventilação. A concentração é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados.

TABELA 3

Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação fria

Caso	Data	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m <sup>3</sup> /h)	$\phi$ (l/h)
01	06/06	101,7	13,8	2,2	225	8,5	-0,403	1071,39	39,68
02	08/06	102,4	8,3	0,8	225	5,4	-0,403	1453,19	53,82
03	22/06	101,4	12,4	1,6	45	8,1	0,305	1171,51	43,39
04	02/07	102,1	11,6	1,0	180	7,4	-0,372	1235,60	45,76
05	09/07	101,7	7,7	3,0	270	4,1	-0,876	1479,15	54,78
06	10/07	101,9	7,7	2,7	270	3,8	-0,876	1482,90	54,92
07	11/07	102,6	6,0	2,5	225	4,8	-0,403	1592,49	58,98
08	16/07	102,5	9,2	2,0	270	4,8	-0,876	1399,01	51,81
09	17/07	102,5	8,0	1,1	225	5,0	-0,403	1473,08	54,56
10	30/07	101,9	13,6	2,1	225	6,4	-0,403	1088,74	40,32
11	31/07	102,0	11,4	0,7	180	6,9	-0,372	1248,42	46,24
12	06/08	100,9	12,6	4,5	270	5,5	-0,876	1576,13	58,38
13	07/08	101,3	12,3	2,8	270	5,1	-0,876	1179,66	43,69
14	11/08	102,5	10,2	1,0	90	6,6	-0,876	1335,38	49,46
15	12/08	102,1	11,4	2,6	45	7,3	0,305	1249,58	46,28
16	17/08	102,3	9,6	1,3	225	5,8	-0,403	1370,40	50,76
17	18/08	102,0	12,9	1,9	45	7,2	0,305	1142,24	42,31
18	26/08	102,4	6,4	1,0	225	4,8	-0,403	1565,58	57,98
19	29/08	103,0	10,1	1,7	180	6,4	-0,372	1347,76	49,92
20	31/08	102,4	11,4	1,0	180	7,3	-0,372	1253,22	46,42

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com maiores taxas de ventilação são aqueles com maiores velocidades do vento e/ou menores temperaturas.

TABELA 4

Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação fria

Caso	w (m <sup>3</sup> /h)	$\phi$ (1/h)	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
			Cigarros fumados									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	1071,39	39,68	13,6114	26,4222	40,0336	53,6450	66,4558	80,0672	93,6786	106,4894	120,1008	133,7122
02	1453,19	53,82	10,0372	19,4840	29,5212	39,5584	49,0052	59,0424	69,0797	78,5264	88,5637	98,6009
03	1171,51	43,39	12,4506	24,1687	36,6193	49,0699	60,7881	73,2386	85,6892	97,4074	109,8579	122,3085
04	1235,60	45,76	11,8048	22,9152	34,7200	46,5248	57,6353	69,4401	81,2449	92,3553	104,1601	115,9649
05	1479,15	54,78	9,8610	19,1420	29,0031	38,8641	48,1451	58,0061	67,8672	77,1482	87,0092	96,8702
06	1482,90	54,92	9,8361	19,0937	28,9298	38,7659	48,0234	57,8596	67,6957	76,9532	86,7893	96,6255
07	1592,49	58,98	9,1593	17,7798	26,9390	36,0983	44,7188	53,8781	63,0373	71,6578	80,8171	89,9764
08	1399,01	51,81	10,4260	20,2387	30,6647	41,0906	50,9033	61,3293	71,7553	81,5680	91,9940	102,4199
09	1473,08	54,56	9,9017	19,2209	29,1226	39,0243	48,3435	58,2452	68,1469	77,4661	87,3678	97,2695
10	1088,74	40,32	13,3972	26,0062	39,4034	52,8005	65,4096	78,8068	92,2039	104,8130	118,2101	131,6073
11	1248,42	46,24	11,6835	22,6798	34,3634	46,0469	57,0432	68,7267	80,4102	91,4065	103,0901	114,7736
12	1576,13	58,38	9,2543	17,9642	27,2185	36,4728	45,1827	54,4370	63,6913	72,4012	81,6555	90,9098
13	1179,66	43,69	12,3646	24,0019	36,3665	48,7312	60,3684	72,7331	85,0977	96,7350	109,0996	121,4642
14	1335,38	49,46	10,9227	21,2029	32,1256	43,0484	53,3286	64,2513	75,1740	85,4542	96,3769	107,2996
15	1249,58	46,28	11,6727	22,6588	34,3316	46,0043	56,9904	68,6632	80,3359	91,3220	102,9948	114,6675
16	1370,40	50,76	10,6436	20,6612	31,3048	41,9485	51,9660	62,6097	73,2533	83,2709	93,9145	104,5582
17	1142,24	42,31	12,7696	24,7881	37,5578	50,3274	62,3459	75,1156	87,8852	99,9037	112,6733	125,4430
18	1565,58	57,98	9,3167	18,0853	27,4020	36,7187	45,4873	54,8040	64,1206	72,8893	82,2060	91,5226
19	1347,76	49,92	10,8224	21,0082	31,8305	42,6529	52,8387	63,6611	74,4835	84,6693	95,4916	106,3140
20	1253,22	46,42	11,6388	22,5930	34,2318	45,8706	56,8248	68,4636	80,1024	91,0566	102,6954	114,3342

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com menores concentrações são aqueles com maiores taxas de ventilação. A concentração é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados.

TABELA 5

Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação temperada quente

Caso	Data	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m <sup>3</sup> /h)	$\phi$ (l/h)
01	01/09	102,3	11,2	1,0	180	7,1	-0,372	1265,58	46,87
02	02/09	102,5	12,8	2,4	90	8,1	-0,876	1155,14	42,78
03	03/09	102,2	15,1	4,0	45	9,1	0,305	1393,56	51,61
04	10/09	102,4	9,6	2,8	225	5,6	-0,403	1371,38	50,79
05	11/09	102,2	10,8	1,3	225	5,1	-0,403	1291,59	47,84
06	12/09	101,8	12,9	1,8	0	6,1	0,955	1139,99	42,22
07	14/09	102,5	8,9	1,2	180	5,1	-0,372	1417,09	52,48
08	16/09	102,4	10,5	2,3	180	6,1	-0,372	1313,71	48,66
09	18/09	101,8	12,6	3,0	90	7,2	-0,876	1168,69	43,28
10	29/09	102,1	13,3	1,2	90	7,6	-0,876	1114,61	41,28
11	30/09	102,1	14,9	2,6	45	8,2	0,305	1007,25	37,31
12	11/10	102,5	11,0	1,9	180	5,5	-0,372	1281,26	47,45
13	12/10	102,6	10,8	1,4	180	6,0	-0,372	1296,40	48,01
14	13/10	102,5	13,1	1,4	90	7,3	-0,876	1132,99	41,96
15	14/10	102,4	16,5	3,2	45	9,1	0,305	1137,24	42,12
16	15/10	102,1	18,1	4,5	45	9,8	0,305	1387,54	51,39
17	22/10	101,3	17,0	1,7	180	7,3	-0,372	787,47	29,17
18	27/10	102,2	14,8	1,8	180	7,8	-0,372	996,38	36,90
19	02/11	102,3	13,6	1,7	180	7,4	-0,372	1093,04	40,48
20	03/11	102,2	14,7	1,6	180	7,9	-0,372	1004,70	37,21
21	07/11	101,3	20,4	3,7	45	12,1	0,305	758,92	28,11
22	14/11	101,6	16,4	1,5	90	8,0	-0,876	848,77	31,44
23	20/11	101,7	15,3	2,1	180	7,5	-0,372	949,63	35,17
24	21/11	101,8	17,7	3,1	45	8,7	0,305	1060,96	39,29

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com maiores taxas de ventilação são aqueles com maiores velocidades do vento e/ou menores temperaturas.

TABELA 6

Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação temperada quente

Caso	w (m <sup>3</sup> /h)	$\phi$ (1/h)	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
			Cigarros fumados									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	1265,58	46,87	11,5268	22,3755	33,9023	45,4291	56,2779	67,8046	79,3314	90,1802	101,7070	113,2338
02	1155,14	42,78	12,6271	24,5114	37,1385	49,7656	61,6499	74,2770	86,9041	98,7884	111,4155	124,0425
03	1393,56	51,61	10,4667	20,3177	30,7844	41,2511	51,1021	61,5688	72,0355	81,8866	92,3533	102,8200
04	1371,38	50,79	10,6360	20,6463	31,2823	41,9182	51,9286	62,5645	73,2005	83,2108	93,8468	104,4828
05	1291,59	47,84	11,2931	21,9219	33,2150	44,5081	55,1369	66,4300	77,7230	88,3518	99,6449	110,9380
06	1139,99	42,22	12,7949	24,8372	37,6321	50,4270	62,4692	75,2641	88,0591	100,1013	112,8962	125,6911
07	1417,09	52,48	10,2929	19,9804	30,2733	40,5662	50,2537	60,5466	70,8395	80,5270	90,8199	101,1128
08	1313,71	48,66	11,1029	21,5527	32,6556	43,7585	54,2084	65,3113	76,4142	86,8640	97,9669	109,0698
09	1168,69	43,28	12,4806	24,2270	36,7076	49,1882	60,9347	73,4153	85,8959	97,6423	110,1229	122,6035
10	1114,61	41,28	13,0862	25,4025	38,4887	51,5749	63,8912	76,9774	90,0635	102,3799	115,4661	128,5522
11	1007,25	37,31	14,4810	28,1101	42,5911	57,0721	70,7013	85,1823	99,6632	113,2924	127,7734	142,2544
12	1281,26	47,45	11,3841	22,0986	33,4827	44,8668	55,5813	66,9654	78,3496	89,0640	100,4482	111,8323
13	1296,40	48,01	11,2511	21,8405	33,0916	44,3428	54,9321	66,1832	77,4344	88,0237	99,2748	110,5260
14	1132,99	41,96	12,8739	24,9906	37,8645	50,7385	62,8551	75,7291	88,6030	100,7197	113,5936	126,4676
15	1137,24	42,12	12,8258	24,8971	37,7229	50,5487	62,6200	75,4458	88,2716	100,3429	113,1687	125,9945
16	1387,54	51,39	10,5122	20,4060	30,9181	41,4303	51,3241	61,8362	72,3484	82,2422	92,7544	103,2665
17	787,47	29,17	18,5227	35,9558	54,4785	73,0011	90,4342	108,9569	127,4796	144,9127	163,4354	181,9581
18	996,38	36,90	14,6390	28,4168	43,0558	57,6947	71,4726	86,1115	100,7505	114,5283	129,1673	143,8062
19	1093,04	40,48	13,3444	25,9038	39,2482	52,5926	65,1520	78,4964	91,8408	104,4002	117,7446	131,0890
20	1004,70	37,21	14,5178	28,1816	42,6994	57,2172	70,8810	85,3988	99,9166	113,5804	128,0982	142,6160
21	758,92	28,11	19,2194	37,3082	56,5276	75,7469	93,8357	113,0551	132,2745	150,3633	169,5827	188,8020
22	848,77	31,44	17,1849	33,3589	50,5437	67,7286	83,9026	101,0875	118,2723	134,4463	151,6312	168,8161
23	949,63	35,17	15,3596	29,8158	45,1754	60,5350	74,9911	90,3508	105,7104	120,1665	135,5262	150,8858
24	1060,96	39,29	13,7479	26,6871	40,4350	54,1829	67,1220	80,8699	94,6178	107,5570	121,3049	135,0528

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com menores concentrações são aqueles com maiores taxas de ventilação. A concentração é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados.

TABELA 7

Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para a estação quente

Caso	Data	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m <sup>3</sup> /h)	φ (l/h)
01	09/12	100,6	17,8	2,9	225	7,1	-0,403	993,23	36,79
02	12/12	101,4	17,9	1,6	90	8,4	-0,876	694,11	25,71
03	17/12	102,1	16,9	1,8	90	7,2	-0,876	805,39	29,83
04	18/12	102,0	20,5	4,7	45	10,6	0,305	700,02	25,93
05	23/12	101,6	18,1	5,7	180	8,9	-0,372	1650,26	61,12
06	29/12	101,4	17,4	1,4	180	7,9	-0,372	750,59	27,80
07	01/01	101,8	16,7	1,3	180	8,6	-0,372	822,51	30,46
08	02/01	101,7	17,7	1,5	90	9,3	-0,876	718,03	26,59

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação, φ taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com maiores taxas de ventilação são aqueles com maiores velocidades do vento e/ou menores temperaturas.

TABELA 8

Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para a estação quente

Caso	w (m <sup>3</sup> /h)	$\phi$ (1/h)	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
			Cigarros fumados									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	993,23	36,79	14,6888	28,5136	43,2024	57,8912	71,7160	86,4048	101,0937	114,9184	129,6073	144,2961
02	694,11	25,71	21,0139	40,7917	61,8056	82,8195	102,5973	123,6112	144,6251	164,4028	185,4167	206,4306
03	805,39	29,83	18,1106	35,1558	53,2664	71,3770	88,4222	106,5328	124,6434	141,6887	159,7992	177,9098
04	700,02	25,93	20,8364	40,4472	61,2836	82,1201	101,7308	122,5672	143,4037	163,0144	183,8509	204,6873
05	1650,26	61,12	8,8386	17,1573	25,9959	34,8344	43,1531	51,9917	60,8303	69,1490	77,9876	86,8262
06	750,59	27,80	19,4328	37,7226	57,1554	76,5882	94,8780	114,3108	133,7436	152,0334	171,4662	190,8990
07	822,51	30,46	17,7336	34,4241	52,1577	69,8913	86,5818	104,3154	122,0490	138,7395	156,4731	174,2067
08	718,03	26,59	20,3138	39,4326	59,7464	80,0602	99,1790	119,4928	139,8066	158,9254	179,2392	199,5530

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com menores concentrações são aqueles com maiores taxas de ventilação. A concentração é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados.

TABELA 9

Dados de entrada e resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para as médias sazonais

Estação	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m <sup>3</sup> /h)	φ (1/h)
T. fria	101,4	18,8	2,0	0	11,8	0,955	718,32	26,60
Fria	101,8	13,1	1,9	0	8,0	0,955	1124,64	41,65
T. quente	101,5	17,4	2,6	0	10,0	0,955	933,59	34,58
Quente	101,2	22,0	2,5	0	13,1	0,955	773,79	28,66

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação, φ taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com maiores taxas de ventilação são aqueles com maiores velocidades do vento e/ou menores temperaturas.

TABELA 10

Resultados do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar para as médias sazonais

Estação	w (m <sup>3</sup> /h)	φ (1/h)	Concentração (µg/m <sup>3</sup> )									
			Cigarros fumados									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T. fria	718,32	26,60	20,3091	39,4236	59,7327	80,0418	99,1562	119,4653	139,7744	158,8889	179,1980	199,5071
Fria	1124,64	41,65	12,9694	25,1760	38,1454	51,1148	63,3214	76,2908	89,2602	101,4668	114,4362	127,4057
T. quente	933,59	34,58	15,6236	30,3282	45,9519	61,5755	76,2801	91,9038	107,5274	122,2320	137,8557	153,4793
Quente	773,79	28,66	18,8502	36,5915	55,4416	74,2918	92,0331	110,8833	129,7334	147,4747	166,3249	185,1751

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: w taxa de ventilação, φ taxa de troca de ar. Nota-se que os casos com menores concentrações são aqueles com maiores taxas de ventilação. A concentração é diretamente proporcional ao número de cigarros fumados.

TABELA 11

## Correlação entre velocidade do vento e taxa de ventilação

Intervalo de velocidade	Número de casos	Coefficiente de correlação	P-valor
Até 1,5m/s	25	-0,0791	0,7071
A partir de 1,5m/s	46	0,4940	0,0005
Até 3m/s	60	0,0890	0,4988
A partir de 3m/s	11	0,4425	0,1729
<b>Total</b>	<b>142</b>	-	-

Nota: O coeficiente de correlação estima o grau de relação linear entre duas variáveis (SNEDECOR; COCHRAN, 1967). Varia entre  $-1$  e  $1$ , com valores positivos indicando relação diretamente proporcional e valores negativos indicando relação inversamente proporcional. Quanto mais próximo de  $\pm 1$  o coeficiente é, mais linear é a relação entre as variáveis. O P-valor indica a significância estatística da correlação. É a probabilidade de erro. A referência é 0,05: P-valores abaixo de 0,05 indicam confiança de 95%, ou seja, 5% de probabilidade de erro. No caso, os coeficientes de correlação indicam relação pouco linear e diretamente proporcional entre velocidade do vento e taxa de ventilação, no geral.

TABELA 12

## Correlação entre temperatura e taxa de ventilação

Intervalo de temperatura	Número de casos	Coefficiente de correlação	P-valor
6°C	2	-1,0000	0,0000
7°C	2	-	-
8°C	3	-0,9997	0,0156
9°C	3	-0,9995	0,0192
10°C	5	-0,9940	0,0006
11°C	7	-0,9973	0,0000
12°C	8	-0,0979	0,8176
13°C	7	-0,9828	0,0001
14°C	7	-0,5247	0,2266
15°C	5	-0,7443	0,1491
16°C	5	-0,3437	0,5712
17°C	9	-0,0951	0,8077
18°C	6	-0,6917	0,1279
20°C	2	-1,0000	0,0000
6, 7, 8°C	7	-0,9975	0,0000
9, 10, 11°C	15	-0,9982	0,0000
12, 13, 14°C	22	-0,3014	0,1728
15, 16, 17°C	19	-0,5718	0,0105
18, 19, 20°C	8	-0,4145	0,3073
<b>Total</b>	<b>142</b>	-	-

Nota: O coeficiente de correlação estima o grau de relação linear entre duas variáveis (SNEDECOR; COCHRAN, 1967). Varia entre  $-1$  e  $1$ , com valores positivos indicando relação diretamente proporcional e valores negativos indicando relação inversamente proporcional. Quanto mais próximo de  $\pm 1$  o coeficiente é, mais linear é a relação entre as variáveis. O P-valor indica a significância estatística da correlação. É a probabilidade de erro. A referência é 0,05: P-valores abaixo de 0,05 indicam confiança de 95%, ou seja, 5% de probabilidade de erro. No caso, os coeficientes de correlação indicam relação linear e inversamente proporcional entre temperatura e taxa de ventilação, no geral.

TABELA 13

## Regressão da seqüência em função da velocidade do vento

Intervalo de velocidade	Número de casos	Modelo	Coefficiente de determinação
Até 1,5m/s	25	$w = 616,845 + 36,691V + 1,32645P - 78,3805T + 0,0513951D - 3,97993N + 1,46474UR$ $w = 2135,68 - 79,015T$	98,97
A partir de 1,5m/s	46	$w = 187,812 + 169,375V + 1,35785P - 63,5922T + 0,0764264D + 2,90462N + 0,0505211UR$ $w = 1612,36 + 170,141V - 64,9389T$	98,84 86,16 86,10
Até 3m/s	60	$w = 4180,79 + 28,0595V - 2,10485P - 76,8243T - 0,0235521D + 4,63719N + 0,379008UR$ $w = 2046,03 + 28,4399V - 74,8874T$	97,35 97,25
A partir de 3m/s	11	$w = -12496 + 241,158V + 12,9318P - 63,797T + 0,927093D + 8,0445N + 6,9113UR$ $w = 1392,27 + 253,907V - 72,7085T$	78,48 76,81
<b>Total</b>	<b>142</b>	-	-

Nota: Em cada intervalo, a primeira linha refere-se à regressão padrão e a segunda à estatística. O modelo de regressão linear múltipla estima o impacto da mudança de valor de variáveis em outra variável, dependente daquelas (SNEDECOR; COCHRAN, 1967). Os pesos padronizados que multiplicam as variáveis independentes indicam a contribuição de cada uma para a variável dependente. O coeficiente de determinação de cada modelo indica o quanto a equação explica a variabilidade da variável dependente (%). No caso, os modelos, pelos pesos padronizados, indicam que as variáveis que mais contribuem para a taxa de ventilação são velocidade do vento e temperatura.

TABELA 14

Regressão da seqüência em função da temperatura (Continua)

Intervalo de temperatura	Número de casos	Modelo	Coefficiente de determinação
6°C	2	-	-
7°C	2	-	-
8°C	3	-	-
9°C	3	-	-
10°C	5	-	-
11°C	7	$w = -609,812 - 68,5309T + 2,57266P - 0,859962V - 0,0156403D - 1,92558N + 0,264267UR$	100,00
12°C	8	$w = 23435,6 + 439,791T - 27,9463P - 38,5159V + 1,60725D + 30,8809N + 6,13565UR$ $w = 892,677 + 130,422V$	88,62 73,26
13°C	7	$w = 1143,91 - 73,6443T + 0,933088P - 1,39673V - 0,00724434D - 0,00426842N - 0,00213197UR$	100,00
14°C	7	$w = -73750,6 - 729,729T + 84,9678P + 124,943V + 0,330214D + 158,884N - 26,4429UR$	100,00
15°C	5	-	-
16°C	5	-	-
17°C	9	$w = -14785,6 - 9,15994T + 15,217P + 257,9V + 0,864998D - 34,3867N - 2,84982UR$ $w = 407,97 + 205,202V$	98,81 94,72
18°C	6	-	-
20°C	2	-	-

TABELA 14

## Regressão da seqüência em função da temperatura (Conclusão)

Intervalo de temperatura	Número de casos	Modelo	Coefficiente de determinação
6, 7, 8°C	7	$w = 98,4114 - 59,0636T + 1,79739P - 0,827256V + 0,0696769D - 0,521862N - 0,107225UR$	100,00
9, 10, 11°C	15	$w = 473,024 - 66,4472T + 1,5068P - 0,49217V - 0,0139489D - 0,326082N - 0,00920239UR$ $w = 527,276 - 66,1139T + 1,44538P$	99,99
12, 13, 14°C	22	$w = 4709,18 - 69,8882T - 2,93604P + 121,776V + 0,140416D + 20,1629N + 0,263612UR$ $w = 1797,56 - 70,9195T + 138,618V$	75,39
15, 16, 17°C	19	$w = 1228,11 - 100,417T + 0,90624P + 153,585V + 0,0160749D + 4,23552N + 1,59263UR$ $w = 2427,68 - 108,789T + 151,505V$	73,95
18, 19, 20°C	8	$w = 28755,9 - 279,947T - 24,8723P + 133,1V - 0,671365D + 383,7N + 11,2678UR$ $w = 5047,53 - 250,567T + 192,408V$	91,24
<b>Total</b>	<b>142</b>		90,18
			99,47
			96,50

Nota: Em cada intervalo, a primeira linha refere-se à regressão padrão e a segunda à estatística. O modelo de regressão linear múltipla estima o impacto da mudança de valor de variáveis em outra variável, dependente daquelas (SNEDECOR; COCHRAN, 1967). Os pesos padronizados que multiplicam as variáveis independentes indicam a contribuição de cada uma para a variável dependente. O coeficiente de determinação de cada modelo indica o quanto a equação explica a variabilidade da variável dependente (%). No caso, os modelos, pelos pesos padronizados, indicam que as variáveis que mais contribuem para a taxa de ventilação são velocidade do vento e temperatura.

## DISCUSSÃO

A análise estatística foi feita para melhor entendimento da influência das condições meteorológicas na ventilação natural. Ela é comentada primeiramente para incorporar a discussão do estudo sazonal e do estudo sazonal médio.

### **Análise estatística**

Comparando as correlações entre velocidade do vento e taxa de ventilação (Tabela 11) e entre temperatura e taxa de ventilação (Tabela 12), vê-se que os coeficientes relacionados à velocidade do vento são positivos (exceto no intervalo até 1,5m/s) e os relacionados à temperatura são negativos. Isso indica que velocidade do vento e taxa de ventilação têm relação diretamente proporcional e que temperatura e taxa de ventilação têm relação inversamente proporcional, comportamento descrito na literatura (AIVC, 2004; FEUSTEL; RAYNOR-HOSEN, 1990). Vê-se também que os módulos são maiores, em média, nas correlações entre temperatura e taxa de ventilação, indicando que a relação entre essas aproxima-se mais da linearidade que entre velocidade do vento e taxa de ventilação. Essas duas constatações são evidenciadas nos Gráficos 1 e 2.

A menor velocidade do vento do estudo foi 0,6m/s no dia 11 de maio e a maior foi 5,7m/s no dia 23 de dezembro. Dos 71 casos, dividindo a seqüência em até e a partir de 1,5m/s, a maioria, 46, 64,8%, foi de dias com velocidade média do vento acima de 1,5m/s. Dividindo a seqüência em até e a partir de 3m/s, a maioria, 60, 84,5%, foi de dias com velocidade média do vento inferior a 3m/s. O intervalo com menor correlação com a taxa de ventilação foi o até 1,5m/s, com coeficiente  $-0,0791$ . Esse valor negativo indica uma relação inversamente proporcional entre as variáveis nesse intervalo, o que não é condizente com o comportamento descrito na literatura. Porém, esse valor é muito próximo de zero, sendo a correlação bem fraca. Além do mais, o P-valor correspondente é muito alto (o mais alto), 0,7071, ou seja, a probabilidade de erro é 70,71%, não sendo um resultado significativo. O intervalo com maior correlação com a taxa de ventilação foi o a partir de 1,5m/s, com coeficiente 0,4940, indicando uma correlação moderada. O P-valor correspondente é muito próximo de zero, sendo o resultado altamente significativo. Esperava-se que o intervalo com maior correlação com a taxa de

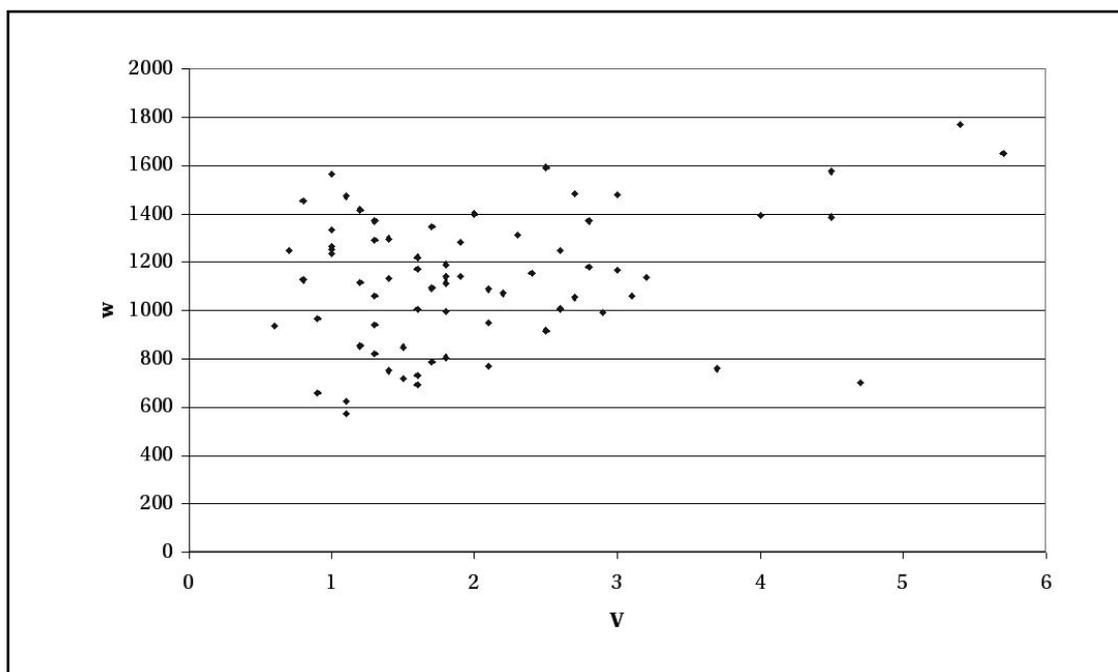


GRÁFICO 1 — Dispersão entre velocidade do vento e taxa de ventilação.

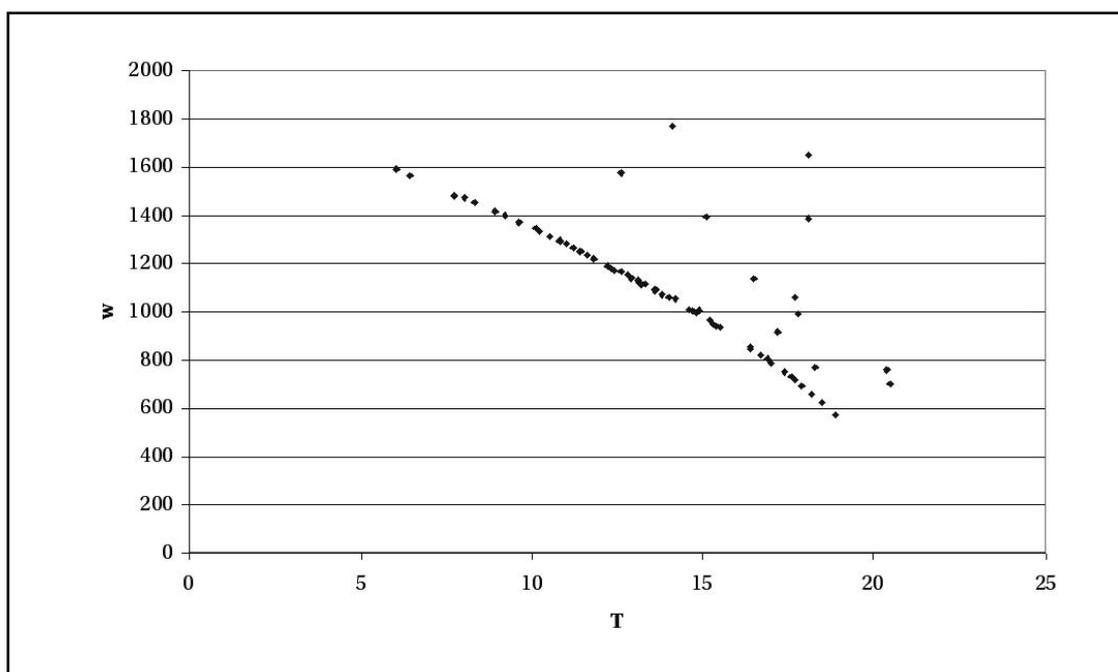


GRÁFICO 2 — Dispersão entre temperatura e taxa de ventilação.

ventilação fosse o a partir de 3m/s, correspondente às maiores velocidades. Porém, o valor do coeficiente, 0,4425, não foi muito diferente daquele, também indicando uma correlação moderada. Além do mais, o número de casos desse (11) foi bem menor (o menor) que os daquele (46), e o ideal para a comparação seria que não houvesse tanta diferença. O p-valor correspondente, 0,1729, é alto, não sendo um resultado significativo. Na verdade, o único resultado significativo foi o do intervalo a partir de 1,5m/s.

Como mostra o Gráfico 1, a relação entre velocidade do vento e taxa de ventilação não se aproxima da linearidade, logo isso é justificado. A dispersão dos pontos não sugere qualquer relação entre velocidade do vento e taxa de ventilação. Apenas 15,5% dos casos foram de dias com velocidade média do vento acima de 3m/s. Caso houvesse um percentual dominante, uma relação linear provavelmente seria sugerida, já que o efeito do vento provavelmente superaria o da fluutuabilidade térmica. Essa falta de relação sugerida pela dispersão dos pontos sugere um efeito dominante da fluutuabilidade térmica.

A menor temperatura do estudo foi 6°C no dia 11 de julho e a maior foi 20,5°C no dia 18 de dezembro. Esta temperatura é menor que a adotada para a sala, 21°C, o que faz com que em todos casos a menor pressão esteja no ambiente interno, garantindo um escoamento para dentro da sala devido à fluutuabilidade térmica. Dos 71 casos, dividindo a seqüência de 1 em 1°C, foram mais freqüentes os dias com temperatura média no intervalo de 17°C, porém com pouca diferença em relação aos outros intervalos: 9 casos, 12,7%. Dividindo a seqüência de 3 em 3°C, foram mais freqüentes os dias com temperatura média no intervalo de 12, 13 e 14°C, porém também com pouca diferença em relação aos outros intervalos: 22 casos, 31%. Com relação às correlações, nota-se que a tendência é uma diminuição conforme o aumento do intervalo de temperatura, mas mantendo-se moderada, no geral. Como mostra o Gráfico 2, a relação entre temperatura e taxa de ventilação aproxima-se bastante da linearidade: as menores taxas estão relacionadas às maiores temperaturas; as maiores taxas às menores. Na divisão de 1 em 1°C, a maioria dos valores foi muito próximo de -1 — foi -1 no menor e no maior intervalo —, sendo a correlação muito forte. Os p-valores correspondentes são na maioria próximos de zero, sendo resultados altamente significativos. Para o intervalo de 7°C, o coeficiente não pôde ser calculado, pois os dois casos desse têm o mesmo valor de temperatura, o que resulta em uma divisão por zero no cálculo. Na divisão de 3 em 3°C, nos dois intervalos com menores temperaturas os coeficientes foram muito próximos de -1, -0,9975 e -0,9982, respectivamente, indicando correlações muito fortes. Os p-valores correspondentes são zero, sendo os resultados altamente significativos. Essa análise é mais correta, já que há um maior número de casos por intervalo.

A análise das regressões possibilitou um bom entendimento da influência das condições meteorológicas na ventilação natural. Os modelos resultantes para as duas seqüências (Tabelas 13 e 14) foram bastante explicativos, com coeficientes de determinação bastante altos, explicando, a maioria, mais de 90% da variação da taxa. Vê-se que nos modelos da regressão padrão, que levam em conta todas variáveis, os maiores pesos padronizados (módulos) são na maioria das vezes os da velocidade do vento e os da temperatura, e que nos modelos da regressão estatística, que levam em conta somente as variáveis significativas, as variáveis significativas são na maioria das vezes velocidade do vento e temperatura. Isso indica que velocidade do vento e temperatura são as variáveis meteorológicas que mais influenciam na ventilação natural, como suposto da literatura. Vê-se também que na maioria das vezes os pesos padronizados da velocidade do vento são positivos e que os da temperatura são negativos. Isso indica, novamente, que velocidade do vento e taxa de ventilação têm relação diretamente proporcional e que temperatura e taxa de ventilação têm relação inversamente proporcional, comportamento descrito na literatura.

Nas regressões padrão da seqüência em função da velocidade do vento, em todos intervalos os maiores pesos padronizados foram os da velocidade do vento e os da temperatura: os da velocidade do vento nos intervalos correspondentes às maiores velocidades e os da temperatura nos correspondentes às menores. Esse comportamento é descrito na literatura: o efeito da fluutuabilidade térmica é significativo espe-

cialmente quando o do vento não o é (FEUSTEL; RAYNOR-HOUSEN, 1990). Não há um consenso sobre o ponto em que o efeito do vento supera o da fluabilidade térmica: Baptista, Bailey e Meneses (2001) encontraram trabalhos considerando as velocidades 1,5 e 3m/s. As variáveis significativas foram velocidade do vento e temperatura, exceto no intervalo até 1,5m/s, onde apenas a temperatura foi variável significativa, o que é justificado. No intervalo até 3m/s, a velocidade do vento foi variável significativa, mas seu peso padronizado foi bem menor que o da temperatura. O maior peso padronizado da velocidade do vento foi no intervalo acima de 3m/s, referente às maiores velocidades, e o maior da temperatura foi no até 1,5m/s, referente às menores velocidades, como esperado.

As regressões da seqüência em função da temperatura foram prejudicadas pois a maioria dos intervalos tem menos de sete casos, principalmente os da divisão de 1 em 1°C, e esse é o número mínimo que o pacote estatístico aceita para o cálculo (oito para a regressão estatística). Analisando, então, para melhor comparação, as regressões padrão da seqüência dividida de 3 em 3°C, vê-se que nos dois intervalos correspondentes às menores temperaturas os maiores pesos padronizados foram os da temperatura, seguidos pelos da pressão e então pelos da velocidade do vento. Como menores valores de temperatura são relacionados a maiores valores de pressão, isso é justificado. Também, esses são os intervalos em que o efeito da fluabilidade térmica é maior, já que as diferenças de temperatura entre os ambientes interno e externo são maiores. Nos outros intervalos, os maiores pesos padronizados foram os da velocidade do vento, exceto no intervalo de 18, 19 e 20°C, onde foi o da temperatura. Esse é o intervalo correspondente às maiores temperaturas, logo o em que o efeito da fluabilidade térmica é menor, já que as diferenças de temperatura entre os ambientes interno e externo são menores. Esse resultado mostra a grande influência das temperaturas altas na taxa de ventilação: a contribuição da fluabilidade térmica é fraca, logo há necessidade de ventos fortes, senão a taxa de ventilação será baixa. Nota-se um aumento do peso padronizado da temperatura conforme o aumento do intervalo. Nos extremos, sua influência superou a da velocidade do vento: nos intervalos relativos às menores temperaturas, sua contribuição para a taxa de ventilação foi maior que a da velocidade do vento; no relativo às maiores, sua pouca contribuição foi mais relevante que a da velocidade do vento. As variáveis significativas foram velocidade do vento e temperatura, exceto no intervalo de 9, 10 e 11°C, onde foram temperatura e pressão.

## **Estudo sazonal**

### **Estação temperada fria**

#### **Modelo de escoamento de ar em prédios**

Os dados de entrada e os respectivos resultados para a estação temperada fria estão na Tabela 1. A maior taxa de ventilação foi a do caso 7, 1769,90m<sup>3</sup>/h. Esse dia teve velocidade do vento alta — 5,4m/s, a mais alta da estação — e temperatura relativamente baixa — 14,1°C. A menor taxa de ventilação foi a do caso 2, 573,44m<sup>3</sup>/h. Esse dia teve velocidade do vento baixa — 1,1m/s — e temperatura alta — 18,9°C, a mais alta da estação. Os resultados foram condizentes com o visto na análise estatística: a maior taxa de ventilação ocorreu em um dia com velocidade do vento alta e temperatura baixa e a menor ocorreu em um dia com velocidade do vento baixa e temperatura alta, que são, respectivamente, a melhor e a pior combinação de velocidade do vento e temperatura para

a taxa de ventilação. A maior taxa deu-se no dia com maior velocidade do vento, um valor bem acima de 3m/s, e a menor deu-se no dia com maior temperatura.

#### **Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar**

Os resultados estão na Tabela 2. Lembrando, a concentração é inversamente proporcional à taxa de ventilação e diretamente proporcional ao número de cigarros fumados (Equação 7). Assim, as maiores concentrações foram as do caso 2, devido à menor taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 25,44\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 249,87\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados. As menores concentrações foram as do caso 7, devido à maior taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 8,24\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 80,96\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados.

#### **Análise de risco**

Analisando as concentrações por cigarro fumado da Tabela 2, vê-se que o valor  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ , teto médio diário para exposição a partículas finas da EPA (1997), foi mantido para até dois cigarros fumados no caso 2 e para até oito cigarros fumados no caso 7. O valor  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ , adotado como aceitável, foi mantido para até seis cigarros fumados no caso 2 e não foi alcançado no caso 7. A menor taxa de troca de ar que manteve a concentração abaixo de  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados foi 35,77/h (caso 9).

Segundo a relação de Repace (2000a), que considera que uma exposição média a  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas suspensas respiráveis da FAC durante oito horas por dia, 260 dias por ano, durante 40 anos corresponde a um risco de uma morte em mil por câncer de pulmão e de uma em cem por doenças cardiovasculares, a menor concentração simulada,  $8,24\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a um cigarro fumado no caso com maior taxa de ventilação (7), implica em um risco de 0,11 morte em mil por câncer de pulmão e de 0,11 em cem por doenças cardiovasculares. Esses riscos são 109,88 e 1098,81 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável, uma morte por milhão. A maior concentração simulada,  $249,87\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a dez cigarros fumados no caso com menor taxa de ventilação (2), implica em um risco de 3,33 mortes em mil por câncer de pulmão e de 3,33 em cem por doenças cardiovasculares, riscos 3331,59 e 33315,91 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável.

#### **Estação fria**

##### **Modelo de escoamento de ar em prédios**

Os dados de entrada e os respectivos resultados para a estação fria estão na Tabela 3. A maior taxa de ventilação foi a do caso 7,  $1592,49\text{m}^3/\text{h}$ . Esse dia teve velocidade do vento relativamente alta — 2,5m/s — e temperatura baixa — 6,0°C, a mais baixa da estação. A menor taxa de ventilação foi a do caso 1,  $1071,39\text{m}^3/\text{h}$ . Esse dia, apesar de ter tido velocidade do vento relativamente alta — 2,2m/s —, teve a temperatura mais alta da estação — 13,8°C. Os resultados foram condizentes com o visto na análise estatística: a maior taxa de ventilação ocorreu em um dia com velocidade do vento alta e temperatura baixa e a menor ocorreu em um dia com temperatura alta. A primeira combinação de velocidade do vento e temperatura é a melhor para a taxa de ventilação. A segunda, por ter temperatura alta, não é boa, mas por ter velocidade do vento relativamente alta não é a pior. A maior taxa deu-se no dia com menor temperatura e a menor deu-se no dia com maior temperatura, apesar de ter tido velocidade do vento relativamente alta.

Esse resultado mostra novamente a grande influência das temperaturas altas na taxa de ventilação: a contribuição da fluidez térmica é fraca, logo há necessidade de ventos fortes, senão a taxa de ventilação será baixa. No caso, a velocidade do vento, mesmo sendo relativamente alta, não foi suficiente.

#### **Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar**

Os resultados estão na Tabela 4. As maiores concentrações foram as do caso 1, devido à menor taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 13,61\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 133,71\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados. As menores concentrações foram as do caso 7, devido à maior taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 9,16\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 89,98\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados.

#### **Análise de risco**

Analisando as concentrações por cigarro fumado da Tabela 4, vê-se que o valor  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até quatro cigarros fumados no caso 1 e para até sete cigarros fumados no caso 7. O valor  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  não foi alcançado em nenhum caso.

Segundo a relação de Repace (2000a), a menor concentração simulada,  $9,16\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a um cigarro fumado no caso com maior taxa de ventilação (7), implica em um risco de 0,12 morte em mil por câncer de pulmão e de 0,12 em cem por doenças cardiovasculares. Esses riscos são 122,12 e 1221,24 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável. A maior concentração simulada,  $133,71\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a dez cigarros fumados no caso com menor taxa de ventilação (1), implica em um risco de 1,78 morte em mil por câncer de pulmão e de 1,78 em cem por doenças cardiovasculares, riscos 1782,83 e 17828,29 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável.

#### **Estação temperada quente**

##### **Modelo de escoamento de ar em prédios**

Os dados de entrada e os respectivos resultados para a estação temperada quente estão na Tabela 5. A maior taxa de ventilação foi a do caso 7,  $1417,09\text{m}^3/\text{h}$ . Esse dia, apesar de ter tido velocidade do vento baixa —  $1,2\text{m}/\text{s}$  —, teve a temperatura mais baixa da estação —  $8,9^\circ\text{C}$ . A menor taxa de ventilação foi a do caso 21,  $758,92\text{m}^3/\text{h}$ . Esse dia, apesar de ter tido velocidade do vento alta —  $3,7\text{m}/\text{s}$  —, teve a temperatura mais alta da estação —  $20,4^\circ\text{C}$ . Os resultados foram condizentes com o visto na análise estatística: a maior taxa de ventilação ocorreu em um dia com temperatura baixa e a menor ocorreu em um dia com temperatura alta. A primeira combinação de velocidade do vento e temperatura, por ter velocidade do vento baixa, não é boa para a taxa de ventilação, mas por ter temperatura baixa não é a pior. A segunda, por ter temperatura alta, não é boa, mas por ter velocidade do vento relativamente alta não é a pior. A maior taxa deu-se no dia com menor temperatura e a menor deu-se no dia com maior temperatura, apesar de ter tido velocidade do vento alta. Esse resultado mostra novamente a grande influência das temperaturas altas na taxa de ventilação: a contribuição da fluidez térmica é fraca, logo há necessidade de ventos fortes, senão a taxa de ventilação será baixa. No caso, a velocidade do vento, mesmo sendo alta, não foi suficiente.

### **Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar**

Os resultados estão na Tabela 6. As maiores concentrações foram as do caso 21, devido à menor taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 19,22\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 188,80\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados. As menores concentrações foram as do caso 7, devido à maior taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 10,29\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 101,11\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados.

### **Análise de risco**

Analisando as concentrações por cigarro fumado da Tabela 6, vê-se que o valor  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até três cigarros fumados no caso 21 e para até seis cigarros fumados no caso 7. O valor  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até sete cigarros fumados no caso 21 e não foi alcançado no caso 7. A menor taxa de troca de ar que manteve a concentração abaixo de  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados foi  $36,90/\text{h}$  (caso 18).

Segundo a relação de Repace (2000a), a menor concentração simulada,  $10,29\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a um cigarro fumado no caso com maior taxa de ventilação (7), implica em um risco de 0,14 morte em mil por câncer de pulmão e de 0,14 em cem por doenças cardiovasculares. Esses riscos são 137,24 e 1372,39 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável. A maior concentração simulada,  $188,80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a dez cigarros fumados no caso com menor taxa de ventilação (21), implica em um risco de 2,52 mortes em mil por câncer de pulmão e de 2,52 em cem por doenças cardiovasculares, riscos 2517,36 e 25173,60 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável.

### **Estação quente**

#### **Modelo de escoamento de ar em prédios**

Os dados de entrada e os respectivos resultados para a estação quente estão na Tabela 7. A maior taxa de ventilação foi a do caso 5,  $1650,26\text{m}^3/\text{h}$ . Esse dia, apesar de ter tido temperatura alta —  $18,1^\circ\text{C}$  —, teve a velocidade do vento mais alta do estudo —  $5,7\text{m}/\text{s}$ . A menor taxa de ventilação foi a do caso 2,  $694,11\text{m}^3/\text{h}$ . Esse dia teve velocidade do vento relativamente baixa —  $1,6\text{m}/\text{s}$  — e temperatura relativamente alta —  $17,9^\circ\text{C}$ . Os resultados foram condizentes com o visto na análise estatística: a maior taxa de ventilação ocorreu em um dia com velocidade do vento alta e a menor ocorreu em um dia com velocidade do vento baixa e temperatura alta. A primeira combinação de velocidade do vento e temperatura, por ter temperatura alta, não é boa para a taxa de ventilação, mas por ter velocidade do vento alta não é a pior. A segunda é uma combinação bastante ruim para a taxa de ventilação. A maior taxa deu-se no dia com a maior velocidade do vento do estudo, um valor bem acima de  $3\text{m}/\text{s}$ , e a menor deu-se em um dia com velocidade do vento baixa e temperatura alta.

### **Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar**

Os resultados estão na Tabela 8. As maiores concentrações foram as do caso 2, devido à menor taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 21,01\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 206,43\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados. As menores concentrações foram as do caso 5, devido à maior taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 8,84\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 86,83\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados.

### Análise de risco

Analisando as concentrações por cigarro fumado da Tabela 8, vê-se que o valor  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até três cigarros fumados no caso 2 e para até sete cigarros fumados no caso 5. O valor  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até sete cigarros fumados no caso 2 e não foi alcançado no caso 5. A menor taxa de troca de ar que manteve a concentração abaixo de  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados foi  $36,79/\text{h}$  (caso 1).

Segundo a relação de Repace (2000a), a menor concentração simulada,  $8,84\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a um cigarro fumado no caso com maior taxa de ventilação (5), implica em um risco de 0,12 morte em mil por câncer de pulmão e de 0,12 em cem por doenças cardiovasculares. Esses riscos são 117,85 e 1178,48 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável. A maior concentração simulada,  $206,43\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a dez cigarros fumados no caso com menor taxa de ventilação (2), implica em um risco de 2,75 mortes em mil por câncer de pulmão e de 2,75 em cem por doenças cardiovasculares, riscos 2752,41 e 27524,08 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável.

### Confrontação das estações

Os casos com as maiores e as menores taxas de ventilação de cada estação são mostrados nas Tabelas 15 e 16, ilustradas nos Gráficos 3 e 4, respectivamente.

Dentre as maiores taxas de ventilação, a maior foi a do caso da estação temperada fria. Como comentado, esse dia teve velocidade do vento alta —  $5,4\text{m}/\text{s}$ , a mais alta da estação — e temperatura relativamente baixa —  $14,1^\circ\text{C}$ . Essa velocidade do vento foi a segunda mais alta do estudo e essa temperatura foi mais baixa que a média normal das mínimas para o mês correspondente —  $14,4^\circ\text{C}$ . Não foi o caso com a maior velocidade do vento nem o com a menor temperatura, mas foi o que teve a melhor combinação dessas variáveis: o caso com a maior velocidade, não muito diferente dessa, teve temperatura maior e o caso com a menor temperatura teve velocidade do vento bem menor que essa. Vê-se que as duas maiores taxas de ventilação foram as dos casos com maiores velocidades do vento. Embora também sejam os casos com as maiores temperaturas, as velocidades do vento foram bem altas, bem acima de  $3\text{m}/\text{s}$ , sendo mais eficientes que as temperaturas baixas. A menor taxa de ventilação foi a do caso da estação temperada quente. Foi o caso com menor velocidade do vento. As concentrações, obviamente, foram as mais baixas de cada estação e, logo, também os riscos impostos. As taxas de troca de ar variaram de  $52,48$  a  $65,55/\text{h}$ . Em nenhum desses casos a concentração referente a dez cigarros fumados ultrapassou  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ . As menores taxas de troca de ar que mantiveram a concentração abaixo desse valor para esse número de cigarros fumados foram sempre em torno de  $36,5/\text{h}$ , e a menor desses casos foi bem maior que esse valor.

Dentre as menores taxas de ventilação, a menor foi a do caso da estação temperada fria. Como comentado, esse dia teve velocidade do vento baixa —  $1,1\text{m}/\text{s}$  — e temperatura alta —  $18,9^\circ\text{C}$ , a mais alta da estação. Foi o caso com a menor velocidade do vento, mas não o com a maior temperatura: o com a maior temperatura teve a maior velocidade do vento. A maior taxa de ventilação foi a do caso da estação fria. Foi o caso com a menor temperatura e a segunda maior velocidade do vento. As concentrações, obviamente, foram as mais altas de cada estação e, logo, também os riscos impostos. As taxas de troca de ar variaram de  $21,24$  a  $39,68/\text{h}$ . As concentrações referentes a dez cigarros fumados ultrapassaram  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a não ser no caso da estação fria, em que a taxa de troca de ar foi acima de  $36,5/\text{h}$ .

TABELA 15

Casos com as maiores taxas de ventilação de cada estação

Estação	Caso	Data	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m³/h)	$\phi$ (1/h)
T. fria	07	11/04	101,3	14,1	5,4	270	6,5	-0,876	1769,90	65,55
Fria	07	11/07	102,6	6,0	2,5	225	4,8	-0,403	1592,49	58,98
T. quente	07	14/09	102,5	8,9	1,2	180	5,1	-0,372	1417,09	52,48
Quente	05	23/12	101,6	18,1	5,7	180	8,9	-0,372	1650,26	61,12

TABELA 16

Casos com as menores taxas de ventilação de cada estação

Estação	Caso	Data	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m³/h)	$\phi$ (1/h)
T. fria	02	23/03	102,1	18,9	1,1	90	11,3	-0,876	573,44	21,24
Fria	01	06/06	101,7	13,8	2,2	225	8,5	-0,403	1071,39	39,68
T. quente	21	07/11	101,3	20,4	3,7	45	12,1	0,305	758,92	28,11
Quente	02	12/12	101,4	17,9	1,6	90	8,4	-0,876	694,11	25,71

† Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar.

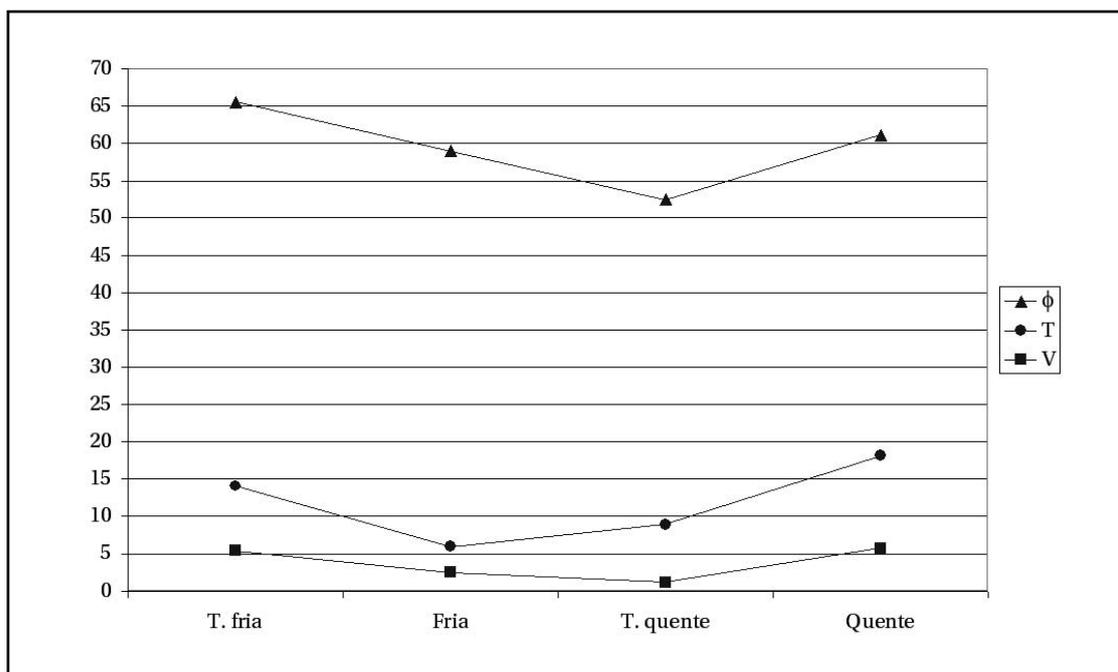


GRÁFICO 3 — Taxa de troca de ar, velocidade do vento e temperatura dos casos com as maiores taxas de ventilação de cada estação.

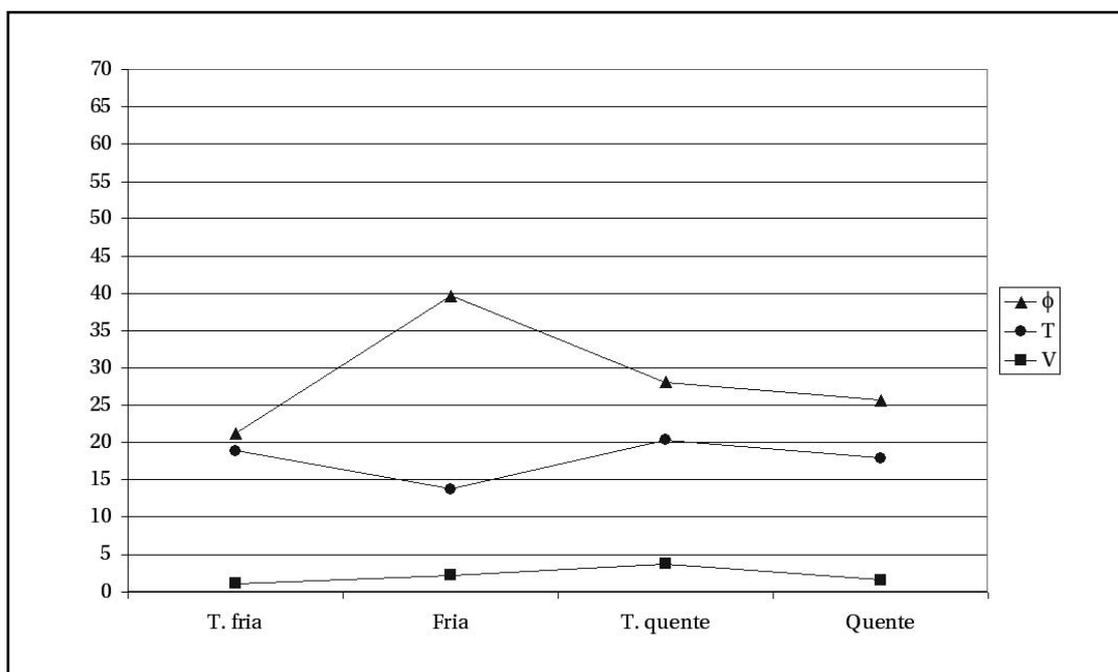


GRÁFICO 4 — Taxa de troca de ar, velocidade do vento e temperatura dos casos com as menores taxas de ventilação de cada estação.

### Estudo sazonal médio

As médias sazonais do período analisado são mostradas no Apêndice B.

### **Modelo de escoamento de ar em prédios**

Os dados de entrada e os respectivos resultados estão na Tabela 9. A maior taxa de ventilação foi a da estação fria,  $1124,64\text{m}^3/\text{h}$ , e a menor foi a da estação temperada fria,  $718,32\text{m}^3/\text{h}$ . A taxa de ventilação da estação fria foi bem maior que as das outras estações, o que era esperado, já que sua média de temperatura foi bem menor que as das outras estações. Esperava-se que a estação quente apresentasse a menor taxa de ventilação, já que foi a estação com a maior média de temperatura. Porém, sua média de velocidade do vento foi maior que a da estação temperada fria, a segunda estação com maior média de temperatura. O efeito da temperatura seria melhor acessado se todas estações tivessem a mesma média de velocidade do vento (ver Tabelas 18 e 19 no final desse tópico).

Os sistemas de ventilação natural são geralmente baseados na flutuabilidade térmica, devido à variabilidade do vento (ALLOCCA; CHEN; GLICKSMAN, 2003). A sazonalidade tem efeito sob a flutuabilidade térmica: segundo Wilson (2001), ela pode ser pouco significativa no verão, já que a diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo geralmente é pouca ou é negativa (interior mais frio); já no inverno as condições são geralmente propícias a ela (interior mais quente que o exterior). Pode-se dizer que a estação com tendência às maiores taxas de ventilação é o inverno, por ter as menores temperaturas, e que a estação com tendência às menores taxas de ventilação é o verão, por ter as maiores temperaturas. Porém, há de se considerar que o básico para a ventilação natural é que haja aberturas, e no inverno a tendência é haver mais janelas fechadas para manter os ambientes aquecidos, o que pode anular o efeito da força. Isso deve ser considerado no projeto do sistema.

### **Modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar**

Os resultados estão na Tabela 10. As maiores concentrações foram as da estação temperada fria, devido à menor taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 20,31\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 199,51\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados. As menores concentrações foram as da estação fria, devido à maior taxa de ventilação. Variaram de  $\sim 12,97\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um cigarro fumado a  $\sim 127,41\mu\text{g}/\text{m}^3$  para dez cigarros fumados. Pode-se dizer que ambientes fechados sujeitos à FAC ventilados naturalmente tendem a apresentar menores concentrações no inverno, por ser a estação com tendência às maiores taxas de ventilação, por ter as menores temperaturas. Logo, pode-se dizer que o inverno é a estação com tendência à melhor qualidade do ar.

### **Análise de risco**

Analisando as concentrações por cigarro fumado da Tabela 10, vê-se que o valor  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até três cigarros fumados na estação temperada fria e para até cinco cigarros fumados na estação fria. O valor  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  foi mantido para até sete cigarros fumados na estação temperada fria e não foi alcançado na estação fria (a estação fria foi a única a não alcançar esse valor).

Segundo a relação de Repace (2000a), a menor concentração simulada,  $12,97\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a um cigarro fumado na estação com maior taxa de ventilação (estação fria), implica em um risco de 0,17 morte em mil por câncer de pulmão e de 0,17 em cem por doenças cardiovasculares. Esses riscos são 172,93 e 1729,25 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável. A maior concentração simulada,  $199,51\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referente a dez cigarros fumados na estação com menor taxa de ventilação (estação temperada

fria), implica em um risco de 2,66 mortes em mil por câncer de pulmão e de 2,66 em cem por doenças cardiovasculares, riscos 2660,09 e 26600,95 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável. Pode-se dizer que ambientes fechados sujeitos à FAC ventilados naturalmente tendem a impor menores riscos no inverno, por ser a estação com tendência às menores concentrações, por tender às maiores taxas de ventilação, por ter as menores temperaturas. Logo, pode-se dizer que o inverno é a estação com tendência à melhor qualidade do ar.

### **Ventilação necessária para manter o risco aceitável**

Conforme visto, todos riscos calculados foram bem maiores que o risco aceitável, de uma morte por milhão (os menores foram os referentes a um cigarro fumado no caso com maior taxa de ventilação da estação temperada fria, 109,88 e 1098,81 vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável). Isso era esperado, já que mesmo os riscos considerados na relação de Repace (2000a) — uma morte em mil por câncer de pulmão e uma morte em cem por doenças cardiovasculares — já ultrapassam o risco aceitável. Comparando as razões de Repace (2000a) com a do risco aceitável, vê-se que os riscos considerados são muito maiores: mil e dez mil vezes maiores, respectivamente, que o risco aceitável. Logo, para manter o risco aceitável, a relação teria que considerar uma exposição média mil vezes menor para câncer de pulmão e dez mil vezes menor para doenças cardiovasculares:  $0,075\mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $0,0075\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Partindo da Equação 7, calculou-se as taxas de ventilação necessárias para manter essas concentrações para diferentes números de cigarros fumados. Os resultados são mostrados na Tabela 17. Os valores são bastante altos, indicando que taxas de ventilação bastante altas são necessárias para manter o risco de exposição à FAC aceitável.

Segundo Dubrul (1988), o uso de janelas diminui com o aumento da velocidade do vento, sendo velocidades em torno de 8m/s as máximas toleradas. Utilizando as médias sazonais e considerando o vento com essa velocidade máxima e contra a janela (direção norte), fez-se a simulação da taxa de ventilação. Os resultados são mostrados na Tabela 18. A maior taxa de ventilação,  $2423,62\text{m}^3/\text{h}$  na estação fria, é aproximadamente 79 vezes menor que a menor taxa de ventilação apresentada na Tabela 17, a que manteria o risco aceitável para câncer de pulmão para um cigarro fumado por hora.

Repetiu-se as simulações para cada estação variando a velocidade do vento para uma estimativa da velocidade necessária para induzir a ventilação necessária para manter o risco de exposição à FAC aceitável. Procurou-se a velocidade aproximada que manteria o risco aceitável para câncer de pulmão para um cigarro fumado pelo menos para uma estação, ou seja, a menor velocidade que satisfaria a condição em pelo menos uma estação para o menor risco aceitável para o menor número de cigarros fumados. A taxa de ventilação foi alcançada primeiro na estação fria, como esperado, com uma velocidade altíssima: 2320m/s, 8352km/h. Fazendo uma analogia com furacões, essa velocidade é 33,5 vezes maior que a velocidade a partir da qual um furacão é classificado como de categoria cinco na escala de intensidade de furacões Saffir-Simpson, que vai de um a cinco, 249km/h (NATIONAL HURRICANE CENTER, 2003). Os resultados são mostrados na Tabela 19.

Deve-se ressaltar que essa velocidade estimada induziria a ventilação necessária para manter o risco de exposição à FAC aceitável apenas para câncer de pulmão e para apenas um cigarro fumado em uma hora, apenas na estação com tendência às maiores taxas de ventilação. Para manter o risco aceitável também para doenças cardiovasculares, a taxa de ventilação teria que ser ainda maior, já que o risco imposto pela exposição é maior. Mantendo esses dois riscos aceitáveis, ainda restariam várias outras

doenças relacionadas à exposição à FAC, além da irritação imposta. Para manter o risco aceitável também para essas, a taxa de ventilação teria que ser ainda maior, necessitando de velocidades ainda maiores.

A questão do fumo em ambientes fechados é complicada. Segundo Repace (2000a), a única solução viável é sua proibição:

While no official ETS [environmental tobacco smoke] indoor air quality (IAQ) standards have been adopted in the U.S., proposed NESHAPS-style [National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants] ETS IAQ standards have been published, and are based on limiting ETS lung cancer and heart disease risk to *de minimis* levels. Application of these putative standards to restaurants, bars, and casinos shows that **tornado-like levels of ventilation would be required to control ETS**. Moreover, enforcement of an official ETS-ventilation standard would require establishment of costly new regulatory bureaucracies. Even if official standards for ETS were adopted for lung cancer and heart disease, protecting against the emerging risks of ETS-induced breast cancer, stroke, nasal sinus cancer, respiratory diseases, etc. would remain a formidable obstacle. (REPACE, 2000a, p. 5. Grifo do autor.)<sup>1</sup>

Smoking bans represent the most cost-effective, easiest-to-enforce, and lowest risk alternative for ETS control. They appear profitable for business, and are also the only control measure known which is capable of yielding *zero* risk. (REPACE, 2000a, p. 5.)<sup>2</sup>

Os resultados aqui obtidos mostraram que a taxa de ventilação necessária para a redução do risco ao aceitável é realmente muitíssimo alta, impraticável em termos de conforto. Caso o modelo de escoamento de ar em prédios tenha subestimado os resultados, a taxa necessária estimada para a redução, já altíssima, teria que ser ainda maior; caso tenha superestimado, significa que as taxas reais são menores, o que leva a maiores concentrações, logo o risco imposto pela FAC, já altíssimo, é ainda maior (ver uma avaliação dos resultados do modelo no Apêndice C). Conclui-se que, realmente, a única solução viável para o problema do fumo em ambientes fechados é sua proibição.

<sup>1</sup> Embora padrões oficiais para a FAC em ambientes fechados não tenham sido adotados nos Estados Unidos, foram publicados padrões no estilo dos NESHAPS (*National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants* — Padrões Nacionais de Emissão para Poluentes Perigosos do Ar), baseados na limitação do risco de câncer de pulmão e de doenças cardiovasculares ao *de minimis*. A aplicação desses padrões putativos a restaurantes, bares e cassinos mostra que uma taxa de ventilação “do nível da de um tornado” seria necessária para controlar a FAC. Além do mais, a adoção de um padrão de ventilação oficial para a FAC requereria o estabelecimento de novas e caras burocracias de regulamentação. E mesmo se padrões oficiais para câncer de pulmão e doenças cardiovasculares fossem adotados, os riscos induzidos de câncer de mama, derrame, câncer nasal, doenças respiratórias e de outras doenças ainda seriam um enorme obstáculo. (REPACE, 2000a, p. 5. Tradução do autor.)

<sup>2</sup> A proibição do fumo representa a alternativa mais eficiente em termos de custo, aplicabilidade e redução de risco para o controle da FAC. Parece lucrativa para o comércio e é a única medida de controle conhecida capaz de reduzir o risco a zero. (REPACE, 2000a, p. 5. Tradução do autor.)

TABELA 17

Taxas de ventilação necessárias para manter o risco aceitável para câncer de pulmão e doenças cardiovasculares para diferentes números de cigarros fumados

Cigarros fumados		Taxa de ventilação (m <sup>3</sup> /h)	
		Concentração (µg/m <sup>3</sup> )	
n	n <sub>ave</sub>	0,075	0,0075
1	0,17	190666,67	1906666,67
2	0,33	381333,33	3813333,33
3	0,50	572000,00	5720000,00
4	0,67	762666,67	7626666,67
5	0,83	953333,33	9533333,33
6	1,00	1144000,00	11440000,00
7	1,17	1334666,67	13346666,67
8	1,33	1525333,33	15253333,33
9	1,50	1716000,00	17160000,00
10	1,67	1906666,67	19066666,67

TABELA 18

Resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para as médias sazonais com ventos norte de 8m/s

Estação	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m³/h)	$\phi$ (1/h)
T. fria	101,4	18,8	8,0	0	11,8	0,955	1417,04	52,48
Fria	101,8	13,1	8,0	0	8,0	0,955	2423,62	89,76
T. quente	101,5	17,4	8,0	0	10,0	0,955	1841,11	68,19
Quente	101,2	22,0	8,0	0	13,1	0,955	1028,80	38,10

TABELA 19

Resultados do modelo de escoamento de ar em prédios para as médias sazonais com ventos norte de 2320m/s

Estação	P (kPa)	T (°C)	V (m/s)	D (graus)	r (g/kg)	Cp (-)	w (m³/h)	$\phi$ (1/h)
T. fria	101,4	18,8	2320,0	0	11,8	0,955	186360,70	6902,25
Fria	101,8	13,1	2320,0	0	8,0	0,955	190757,50	7065,09
T. quente	101,5	17,4	2320,0	0	10,0	0,955	187427,90	6941,78
Quente	101,2	22,0	2320,0	0	13,1	0,955	184011,10	6815,23

† Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, V velocidade do vento, D direção do vento, r razão de mistura, Cp coeficiente de pressão, w taxa de ventilação,  $\phi$  taxa de troca de ar.

## CONCLUSÃO

Com a discussão dos resultados, chegou-se às seguintes conclusões:

- Velocidade do vento e temperatura são as variáveis meteorológicas que mais influenciam na ventilação natural: velocidade do vento com relação diretamente proporcional e temperatura com relação inversamente proporcional. A melhor combinação dessas variáveis para a ventilação é velocidade alta e temperatura baixa. Velocidades altas são mais influentes que temperaturas baixas.
- A estação com tendência às maiores taxas de ventilação é o inverno, por ter as menores temperaturas. Logo, ambientes fechados sujeitos à FAC ventilados naturalmente tendem a apresentar menores concentrações e, logo, a impor menores riscos, no inverno. Logo, o inverno é a estação com tendência à melhor qualidade do ar. A estação com tendência às menores taxas de ventilação é o verão, por ter as maiores temperaturas.
- Mesmo altas taxas de ventilação não reduzem o risco de vida imposto pela FAC ao aceitável. Taxas altíssimas, inaceitáveis em termos de conforto, seriam necessárias para essa redução. Em ambientes ventilados naturalmente, ventos da ordem de mil quilômetros por hora seriam necessários para induzir tais taxas.
- A ventilação não soluciona o problema imposto pela FAC em ambientes fechados. A única solução viável é a proibição do fumo.

## REFERÊNCIAS

AIR INFILTRATION AND VENTILATION CENTRE. **Frequently asked questions**. 2004. Disponível em: <<http://www.aivc.org/Faq/faq.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ALLARD, F. (Ed.). **Natural ventilation in buildings: a design handbook**. London: James & James, 1998. 356 p.

ALLARD, F.; HERRLIN, M. Wind-induced ventilation. **ASHRAE Transactions**, v. 95, n. 2, 1989 *apud* FEUSTEL, Helmut; RAYNOR-HOSEN, Alison (Ed.). **Fundamentals of the multizone air flow model - COMIS**. Coventry: AIVC, 1990. 115 p.

ALLOCCA, Camille; CHEN, Qingyan; GLICKSMAN, Leon. Design analysis of single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 785-795, Sept. 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Addendum 620 to ANSI/ASHRAE Standard 62-2001**. 2002. Disponível em: <[http://xp20.ashrae.org/standards/62-2001\\_o.pdf](http://xp20.ashrae.org/standards/62-2001_o.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of fundamentals**. Atlanta: 1989 *apud* FEUSTEL, Helmut. COMIS—an international multizone air-flow and contaminant transport model. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 3-18, Apr. 1999.

AMERICAN STANDARD. **A guide to understanding ASHRAE standard 62-2001**. 2002. Disponível em: <<http://www.trane.com/commercial/issues/iaq/ashrae2001.asp>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ASSIS, Simone; CAMARGO, Claudia. Avaliação bioclimática da cidade de Pelotas, RS. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 4, n. 2-3, p. 24-32, maio/dez. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8969: Poluição do ar.** Rio de Janeiro, 1985 *apud* MAGRINI, Alessandra; ROSA, Luiz Pinguelli; XAVIER, Edna Elias; SANTOS, Marco Aurélio dos. **Monitoração de emissões de gases de efeito estufa em usinas termelétricas no Brasil — fase de diagnóstico.** Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia, 2001. Relatório.

AWBI, Hazim. Chapter 7—Ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2, n. 1-2, p. 157-188, June 1998.

AWBI, Hazim. Air movement in naturally-ventilated buildings. **Renewable Energy**, v. 8, n. 1-5, p. 241-247, May 1996.

AWBI, Hazim. Design considerations for naturally ventilated buildings. **Renewable Energy**, v. 5, n. 5-8, p. 1081-1090, Aug. 1994.

BAPTISTA, F.; BAILEY, B.; MENESES, J. Natural ventilation of greenhouses: comparison of measured and predicted ventilation rates. In: AGRIBUILDING, 2001, Campinas. **Proceedings...** Campinas: 2001. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/cigr/cd/proceedings/ab2001\\_3019.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/cigr/cd/proceedings/ab2001_3019.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

BJØRN, Erik *et al.* Displacement ventilation - effects of movement and exhalation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTHY BUILDINGS, 5., 1997, Bethesda. **Proceedings...** Disponível em: <[http://www.civil.auc.dk/i6/klima/papers/eb\\_hb97.pdf](http://www.civil.auc.dk/i6/klima/papers/eb_hb97.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

BLOMSTERBERG, Å. *et al.* Air flows in dwellings—simulations and measurements. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 87-95, Apr. 1999.

BOSSAER, A. *et al.* An example of model evaluation by experimental comparison: pollutant spread in an apartment. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 53-59, Apr. 1999.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE n. 176 de 24 de outubro de 2000. 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] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 out. 2000. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=7377>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 9.294 de 15 de julho de 1996. Dispõe sobre as restrições ao uso e à propaganda de produtos fumíferos, bebidas alcoólicas, medicamentos, terapias e defensivos agrícolas, nos termos do § 4º do art. 220 da Constituição Federal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 jul. 1996. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9294.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9294.htm)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

BRIMBLECOMBE, Peter. **The big smoke: a history of air pollution in London since medieval times.** London: Routledge Kegan & Paul, 1987. 185 p. *apud* WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for air quality.** Geneva: 2000a. 190 p.

BRUCE, Nigel; PEREZ-PADILLA, Rogelio; ALBALAK, Rachel. **The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries**. Geneva: WHO, 2002. 40 p. Disponível em: <[http://www.who.int/indoorair/publications/health\\_effects/en/](http://www.who.int/indoorair/publications/health_effects/en/)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

BUTÃO se torna o primeiro país do mundo a proibir o fumo. **Reuters**, 17 dez. 2004.

CAINS, T. *et al.* Designated “no smoking” areas provide from partial to no protection from environmental tobacco smoke. **Tobacco Control**, v. 13, n. 1, p. 17–22, Mar. 2004.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT. **COMIS 3.0 with iisibat user manual**. Sophia Antipolis: 1997. Disponível em: <<ftp://ftp.cstb.fr/pub/evl/iisibat/comis/v3/icomis3.exe>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

COMIS Multizone Air Flow Model. 2003. Disponível em: <<http://epb1.lbl.gov/comis/>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

COMIS - Multizone Infiltration Modelling. 1999. Disponível em: <<http://groups.yahoo.com/group/comis/>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

DASCALAKI, E. *et al.* Modeling large openings with COMIS. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 105–115, Apr. 1999.

DEATH charges over legionnaire’s. **Environmental Health News**, 12 fev. 2004.

DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **The health consequences of involuntary smoking: a report of the surgeon general**. Washington: Government Printing Office, 1986. 359 p. Disponível em: <[http://www.cdc.gov/tobacco/sgr/sgr\\_1986/](http://www.cdc.gov/tobacco/sgr/sgr_1986/)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

DIAMOND, Rick; FEUSTEL, Helmut; MATSON; Nance. **Energy-efficient ventilation for apartment buildings**. 1999. Disponível em: <<http://epb1.lbl.gov/Publications/multifamily.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

DORER, Viktor. **New large vertical opening and single-sided ventilation routines in COMIS**. International Energy Agency Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme: Annex 23 Report. Dübendorf: EMPA, 1995 *apud* FEUSTEL, Helmut. COMIS—an international multizone air-flow and contaminant transport model. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 3–18, Apr. 1999.

DORER, Viktor; WEBER, Andreas. **COMVEN Programmer’s guide**. 1995a. 60 p. Disponível em: <[ftp://epb1.lbl.gov/PROGUIDE/proguid.pdf](http://epb1.lbl.gov/PROGUIDE/proguid.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

DORER, Viktor; WEBER, Andreas. **Output options for COMIS**. International Energy Agency Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme: Annex 23 Report. Dübendorf: EMPA, 1995b.

DUBRUL, Carine. **Inhabitant behaviour with respect to ventilation — a summary report of IEA Annex VIII**. Coventry: AIVC, 1988. 63 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Indoor air quality and student performance.** 2003. Disponível em: <[http://www.epa.gov/iaq/schools/images/iaq\\_and\\_student\\_performance.pdf](http://www.epa.gov/iaq/schools/images/iaq_and_student_performance.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ventilation and air quality in offices.** 2002.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA's revised particulate matter standards.** 1997. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/oarpg/naaqsfm/pmfact.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The inside story: a guide to indoor air quality.** 1995. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sick building syndrome.** 1991. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/sbs.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ERHORN, Hans. Influence of meteorological conditions on inhabitants' behaviour in dwellings with mechanical ventilation. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1-3, p. 267-275, Mar. 1988.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, março de 2003.** 2003a. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Marco2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, abril de 2003.** 2003b. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Abril2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, maio de 2003.** 2003c. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Maio2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, junho de 2003.** 2003d. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Junho2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, julho de 2003.** 2003e. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Julho2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, agosto de 2003.** 2003f. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Agosto2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, setembro de 2003.** 2003g. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Setembro2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, outubro de 2003**. 2003h. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Outubro2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, novembro de 2003**. 2003i. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Novembro2003.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, dezembro de 2003**. 2003j. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Dezembro2003.zip>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, janeiro de 2004**. 2004a. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Janeiro2004.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico, fevereiro de 2004**. 2004b. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/estacao/boletins/Fevereiro2004.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

FERREIRA, Montezuma. **Tabagismo**. 2001. Disponível em: <[http://ids-saude.uol.com.br/psf/medicina/tema1/texto9\\_definicao.asp](http://ids-saude.uol.com.br/psf/medicina/tema1/texto9_definicao.asp)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

FEUSTEL, Helmut. COMIS—an international multizone air-flow and contaminant transport model. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 3–18, Apr. 1999.

FEUSTEL, Helmut; DIERIS, Juergen. A survey of airflow models for multizone structures. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 2, p. 79–100, 1992.

FEUSTEL, Helmut; RAYNOR-HOSEN, Alison (Ed.). **Fundamentals of the multizone air flow model - COMIS**. Coventry: AIVC, 1990. 115 p.

FEUSTEL, Helmut; SMITH, Brian (Ed.). **COMIS 3.0 - user's guide**. 1997. Disponível em: <<http://epbl.lbl.gov/comis/composite.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

GAN, Guohui. Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 31, n. 1, p. 65–73, Jan. 2000.

GIDS, W. de; PHAFF, H. Ventilation rates and energy consumption due to open windows—a brief overview of research in the Netherlands. **Air Infiltration Review**, v. 4, n. 1, p. 4–5, 1982 *apud* AWBI, Hazim. Chapter 7—Ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2, n. 1–2, p. 157–188, June 1998.

GLANTZ, Stanton; SCHICK, Suzaynn. Implications of ASHRAE's guidance on ventilation for smoking-permitted areas. **ASHRAE Journal**, v. 46, n. 3, p. 54–59, Mar. 2004. Disponível em: <[http://www.ashrae.org/content/ASHRAE/ASHRAE/PDF/20042258323\\_326.pdf](http://www.ashrae.org/content/ASHRAE/ASHRAE/PDF/20042258323_326.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

GROSSO, Mario. **cpCalc+ user's manual**. Turin: 1995.

GROSSO, Mario. Wind pressure distribution around buildings: a parametrical model. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 2, p. 101–131, 1992.

HAAS, Anne *et al.* COMIS v3.1 simulation environment for multizone air flow and pollutant transport modelling. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 9, p. 873–882, Oct. 2002.

HAGHIGHAT, Fariborz; LI, Yin; MEGRI, Ahmed. Development and validation of a zonal model — POMA. **Building and Environment**, v. 36, n. 9, p. 1039–1047, Nov. 2001.

HERRINGTON, L. Human factors in planning for climate control. In: BUILDING RESEARCH ADVISORY BOARD CONFERENCE, 1950, Washington. **Report...** Washington: 1950. n. 1, p. 85–91 *apud* OLGAY, Victor. **Arquitectura y clima**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998. 203 p. Título original: **Design with climate**.

HINDS, William. **Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 1998. 504 p. *apud* NAZAROFF, William; KLEPEIS, Neil. Environmental tobacco smoke particles. In: MORAWSKA, Lidia; SALTHAMMER, Tunga (Ed.). **Indoor environment: airborne particles and settled dust**. Hoboken: Wiley, 2004. cap. 3.5, p. 245–274.

HOEGG, Ulrich. Cigarette smoke in closed spaces. **Environmental Health Perspectives**, v. 2, p. 117–128, Oct. 1972. Disponível em: <<http://ehp.niehs.nih.gov/members/1972/002/02010.PDF>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Convenção-Quadro**. 2004. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br/tabagismo/frameset.asp?item=cquadro&link=parcerias.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

INTERNATIONAL HOTEL AND RESTAURANT ASSOCIATION; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GASTRONOMIA, HOSPITALIDADE E TURISMO. **Convivência em Harmonia — o uso eficiente da ventilação**. [1996?] Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU\\_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5REGH9?opendocument&SID=B75780FF73113B861F251129FB42E17B&DTC=20050217&TMP=1](http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5REGH9?opendocument&SID=B75780FF73113B861F251129FB42E17B&DTC=20050217&TMP=1)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

JIANG, Yi; CHEN, Qingyan. Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 89, n. 13, p. 1155–1178, Oct. 2001.

KLEPEIS, Neil. Validity of the uniform mixing assumption: determining human exposure to environmental tobacco smoke. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, n. S2, p. 357–363, May 1999. Disponível em: <<http://ehp.niehs.nih.gov/members/1999/Suppl-2/357-363klepeis/klepeis-full.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

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

KLEPEIS, Neil *et al.* The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 11, n. 3, p. 231–252, May/June 2001.

LIDDAMENT, M. **A guide to energy efficient ventilation**. Coventry: AIVC, 1996 *apud* ALLARD, F. (Ed.). **Natural ventilation in buildings: a design handbook**. London: James & James, 1998. 356 p.

LIDDAMENT, M. **A Review of Building Air Flow Simulation**. Coventry: AIVC, 1991. 40 p.

LIMB, Mark. **Current ventilation and air conditioning systems and strategies**. Coventry: AIVC, 1994 *apud* AWBI, Hazim. Design considerations for naturally ventilated buildings. **Renewable Energy**, v. 5, n. 5-8, p. 1081-1090, Aug. 1994.

LIMB, Mark. **Air infiltration and ventilation glossary**. Coventry: AIVC, 1992. 37 p.

MACKAY, Judith; ERIKSEN, Michael. **The tobacco atlas**. Geneva: WHO, 2002. 128 p. Disponível em: <[http://www.who.int/tobacco/resources/publications/tobacco\\_atlas/en/](http://www.who.int/tobacco/resources/publications/tobacco_atlas/en/)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

MAGE, D.; OTT, W. Accounting for nonuniform mixing and human exposure in indoor microenvironments. In: TICHENOR, Bruce (Ed.). **Characterizing sources of indoor air pollution and related sink effects**. ASTM Intl., 1996. p. 263-278 *apud* OTT, Wayne. Mathematical models for predicting indoor air quality from smoking activity. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, n. S2, p. 375-381, May 1999.

MAGRINI, Alessandra; ROSA, Luiz Pinguelli; XAVIER, Edna Elias; SANTOS, Marco Aurélio dos. **Monitoração de emissões de gases de efeito estufa em usinas termelétricas no Brasil — fase de diagnóstico**. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia, 2001. Relatório. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/brasil/pdf/coppe.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

MENDONÇA, K. *et al.* A zonal model for predicting simultaneous heat and moisture transfer in buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, 9., 2002, Monterey. **Proceedings...** Disponível em: <[gundog.lbl.gov/dirpubs/katia\\_o2.pdf](http://gundog.lbl.gov/dirpubs/katia_o2.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

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

MOSCHANDREAS, D.; VUILLEUMIER, K. ETS levels in hospitality environments satisfying ASHRAE standard 62-1989: "ventilation for acceptable indoor air quality". **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 26, p. 4327-4340, Nov. 1999.

NATIONAL HURRICANE CENTER. **The Saffir-Simpson hurricane scale**. 2003. Disponível em: <<http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshs.shtml>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

NAZAROFF, William; KLEPEIS, Neil. Environmental tobacco smoke particles. In: MORAWSKA, Lidia; SALTHAMMER, Tunga (Ed.). **Indoor environment: airborne particles and settled dust**. Hoboken: Wiley, 2004. cap. 3.5, p. 245-274.

NEW YORK CITY DEPARTMENT OF FINANCE *et al.* **The state of smoke-free New York City: a one-year review**. 2004. Disponível em: <<http://www.nyc.gov/html/doh/pdf/smoke/sfaa-2004report.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH. **A guide to the New York State Clean Indoor Air Act**. 2003. Disponível em: <[http://www.health.state.ny.us/nysdoh/clean\\_indoor\\_air\\_act/general.htm](http://www.health.state.ny.us/nysdoh/clean_indoor_air_act/general.htm)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998. 203 p. Título original: **Design with climate**.

OTT, Wayne. Mathematical models for predicting indoor air quality from smoking activity. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, n. S2, p. 375–381, May 1999. Disponível em: <<http://ehp.niehs.nih.gov/members/1999/Suppl-2/375-381ott/ott-full.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

OTT, Wayne; KLEPEIS, Neil; SWITZER, Paul. 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, Aug. 2003.

OTT, Wayne; SWITZER, Paul; ROBINSON, John. Particle concentrations inside a tavern before and after prohibition of smoking: evaluating the performance of an indoor air quality model. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 46, n. 12, p. 1120–1134, Dec. 1996.

PAPAKONSTANTINOOU, K. *et al.* Air quality in an underground garage: computational and experimental investigation of ventilation effectiveness. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 9, p. 933–940, Oct. 2003.

PELOTAS. Lei n. 2565 de 1980. Institui o II Plano Diretor de Pelotas. Disponível em: <[http://www.pelotas.rs.gov.br/interesse\\_legislacao/leis/antigo/L1980/Lei\\_n\\_2565.sdw](http://www.pelotas.rs.gov.br/interesse_legislacao/leis/antigo/L1980/Lei_n_2565.sdw)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

REN, Zhengen. **Enhanced modelling of indoor air flows, temperatures, pollutant emission and dispersion by nesting sub-zones within a multizone model**. 2002. 269 f. Disponível em: <<http://questor.qub.ac.uk/webpages/whatwedo/researchgroups/environmentalmodelling/ia/qcair6.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005. Tese (PhD) — Faculdade de Engenharia, Queen's University Belfast, Belfast, 2002.

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

REPACE, James. **Can ventilation control secondhand smoke in the hospitality industry?** 2000a. 56 p. Disponível em: <<http://www.repace.com/reports.html>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

REPACE, James. Banning outdoor smoking is scientifically justifiable. **Tobacco Control**, v. 9, n. 1, p. 98, Mar. 2000b. Disponível em: <<http://tc.bmjournals.com/cgi/content/full/9/1/98/>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

REPACE, James. Indoor concentrations of environmental tobacco smoke: models dealing with effects of ventilation and room size. In: O'NEILL, I. *et al.* (Ed.). *Passive Smoking*. In: INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Environmental carcinogens: methods of analysis and exposure measurements**. Lyon: 1987. v. 9. cap. 3, p. 25-41.

ROGGE, Wolfgang *et al.* Sources of fine organic aerosol. 6. Cigaret smoke in the urban atmosphere. **Environmental Science & Technology**, v. 28, n. 7, p. 1375-1388, July 1994 *apud* NAZAROFF, William; KLEPEIS, Neil. Environmental tobacco smoke particles. In: MORAWSKA, Lidia; SALTHAMMER, Tunga (Ed.). **Indoor environment: airborne particles and settled dust**. Hoboken: Wiley, 2004. cap. 3.5, p. 245-274.

SANTAMOURIS, M.; DASCALAKI, E. Greek flat—single-sided ventilation. In: FURBRINGER, J.; ROULET, C.; BORCHIellini, R. (Ed.). **Evaluation of COMIS**. International Energy Agency Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme: Annex 23 Report. Dübendorf: EMPA, 1995 *apud* DASCALAKI, E. *et al.* Modeling large openings with COMIS. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 1, p. 105-115, Apr. 1999.

SIQUEIRA, Luiz Fernando *et al.* **O meio ambiente, a saúde do ser humano contemporâneo e a qualidade de vida. O conhecimento e a prevenção**. 2002. Disponível em: <[http://www.brasindoor.com.br/prog\\_artigo.php](http://www.brasindoor.com.br/prog_artigo.php)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

SNEDECOR, George; COCHRAN, William. **Statistical Methods**. 6. ed. Ames: The Iowa State University Press, 1967. 593 p.

SOUZA CRUZ. **Fumaça ambiental de Cigarros (FAC)**. 2003. Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU\\_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5R9DEC?opendocument&SID=EB2247B1ADAD003CAE5CF9DE335F7F79&DTC=20050217&TMP=1](http://www.souzacruz.com.br/oneweb/sites/SOU_5RRP92.nsf/vwPagesWebLive/DO5R9DEC?opendocument&SID=EB2247B1ADAD003CAE5CF9DE335F7F79&DTC=20050217&TMP=1)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

TIMES WIRE REPORTS. Council bans smoking on 2 popular beaches. **Los Angeles Times**, Los Angeles, 28 out. 2004.

TORTORA, Gerard; GRABOWSKI, Sandra. **Princípios de anatomia e fisiologia**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. 1047 p. Título original: **Principles of anatomy and physiology**.

TRAVIS, Curtis *et al.* Cancer risk management: a review of 132 federal regulatory decisions. **Environmental Science & Technology**, v. 21, n. 5, p. 415-420, May 1987 *apud* REPACE, James. **Can ventilation control secondhand smoke in the hospitality industry?** 2000a. 56 p.

TUCCI, Carlos (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. 943 p.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e climatologia**. 2. ed. Brasília: Pax, 2001. 532 p.

VIEGAS, Carlos Alberto (Coord.). Diretrizes para cessação do tabagismo. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 30, n. 2, p. S1-S76, ago. 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-37132004000800002&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-37132004000800002&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WARREN, Peter. **Multizone Air Flow Modelling (COMIS)**. Coventry: IEA, 2000. 39 p.

WILSON, Alex (Ed.). **Greening federal facilities: an energy, environmental, and economic resource guide for federal facility managers and designers**. 2 ed. Brattleboro: BuildingGreen, 2001. 201 p. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/femp/pdfs/29267.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WORLD BANK. **Curbing the epidemic: governments and the economics of tobacco control**. Washington: 1999. 122 p. Disponível em: <<http://www1.worldbank.org/tobacco/reports.asp>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Framework Convention on Tobacco Control**. 2004. Disponível em: <<http://www.who.int/tobacco/framework/en/>>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Tobacco control: in for the long haul. **Health First**, Jan. 2003a. Disponível em: <[www.wpro.who.int/tfi/docs/newsletter/TFI\\_2003\\_01.pdf](http://www.wpro.who.int/tfi/docs/newsletter/TFI_2003_01.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Framework Convention on Tobacco Control**. Geneva: 2003b. 36 p. Disponível em: <[http://www.who.int/entity/tobacco/framework/en/fctc\\_booklet\\_english.pdf](http://www.who.int/entity/tobacco/framework/en/fctc_booklet_english.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for air quality**. Geneva: 2000a. 190 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines for Europe**. 2. ed. Copenhagen: 2000b. Disponível em: <[http://www.euro.who.int/air/Activities/20020620\\_1/](http://www.euro.who.int/air/Activities/20020620_1/)>. Acesso em: 17 fev. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Indoor air pollutants: exposure and health effects**. Copenhagen: 1983 *apud* SIQUEIRA, Luiz Fernando *et al.* **O meio ambiente, a saúde do ser humano contemporâneo e a qualidade de vida. O conhecimento e a prevenção**. 2002.

## APÊNDICE A — Parametrização do modelo de escoamento de ar em prédios

Como comentado, estruturou-se a simulação da seguinte forma: a sala foi representada por um elemento de zona, a janela foi representada por um elemento de janela e a parede da janela foi representada por um elemento externo e um de fachada. A caracterização de cada elemento é feita pela atribuição de parâmetros. A parametrização dos elementos é detalhada a seguir, bem como a parametrização da estrutura e do ambiente externo.

### Elemento de zona

A Figura 1A mostra a janela de parametrização do elemento de zona, com os valores padrão de cada parâmetro.

- *Temperature*: Temperatura (°C). Como já comentado, a temperatura adotada para a sala foi 21°C.
- *Reference height*: Altura de referência (m). É a altura do plano de referência da zona medida a partir do plano de referência da estrutura. No caso, a estrutura é composta apenas pela zona, então os planos coincidem. Como a estrutura é térrea, esse parâmetro tem valor zero.
- *Volume*: Volume (m<sup>3</sup>). Deve ser informado do modo altura/profundidade/comprimento. No caso é 3/3/3, totalizando os 27m<sup>3</sup>.
- *Absolute humidity*: Umidade absoluta (g/kg). A umidade absoluta é a densidade de vapor na mistura de ar, ou seja, a relação entre a massa de vapor e o volume de ar úmido que a contém. Sendo a unidade requerida pelo modelo em termos de massa, na verdade o dado de umidade requerido é a umidade específica, relação entre a massa de vapor e a massa total de ar úmido que a contém. Na prática, considera-se a umidade específica igual à razão de mistura, relação entre a massa de vapor e a massa de ar seco que a contém, já que a porcentagem de vapor no ar é bem pequena (dificilmente ultra-

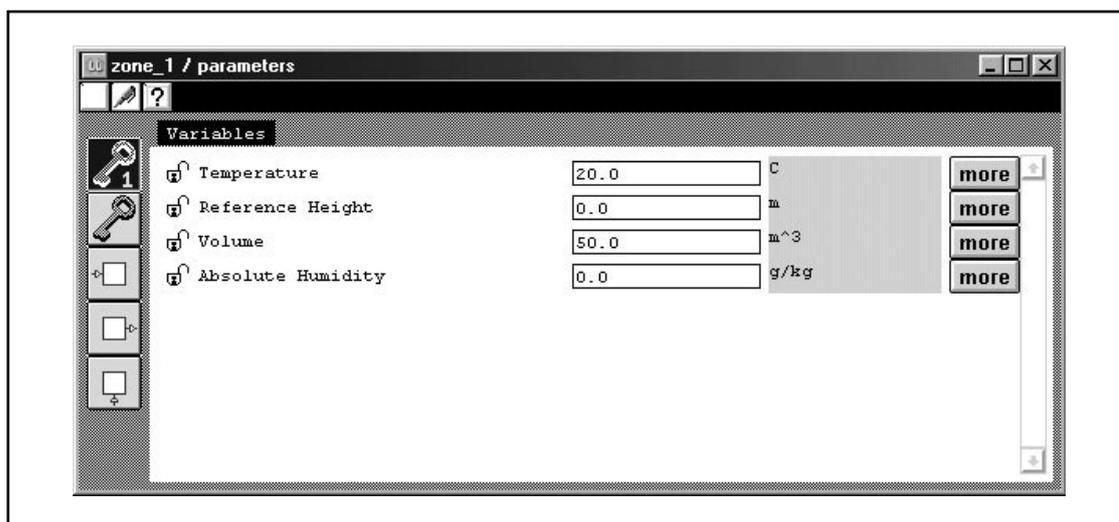


FIGURA 1A — Janela de parametrização do elemento de zona.

passa 4%). A razão de mistura é dada por (VAREJÃO-SILVA, 2001):

$$1A \quad r = 622 \frac{e}{P - e}$$

onde:

r razão de mistura [g/kg]

e pressão parcial do vapor [mb]

P pressão [mb]

A pressão parcial do vapor pode ser calculada a partir da equação da umidade relativa (VAREJÃO-SILVA, 2001):

$$2A \quad UR = 100 \frac{e}{e_s} \rightarrow e = \frac{e_s UR}{100}$$

onde:

UR umidade relativa [%]

$e_s$  pressão de saturação do vapor [mb]

e a pressão de saturação do vapor pela equação de Tetens para a água (TUCCI, 2000):

$$3A \quad e_s = 6,11 \cdot 10^{\frac{7,5T}{237,3+T}}$$

Considerou-se o valor padrão do parâmetro de umidade, og/kg.

### Elemento de janela

A Figura 2A mostra a janela de parametrização do elemento de janela, com os valores padrão de cada parâmetro.

- *Height from*: Altura do elemento de ligação em relação ao elemento que o antecede (m). No caso, é a altura da janela em relação à sala: 1m.

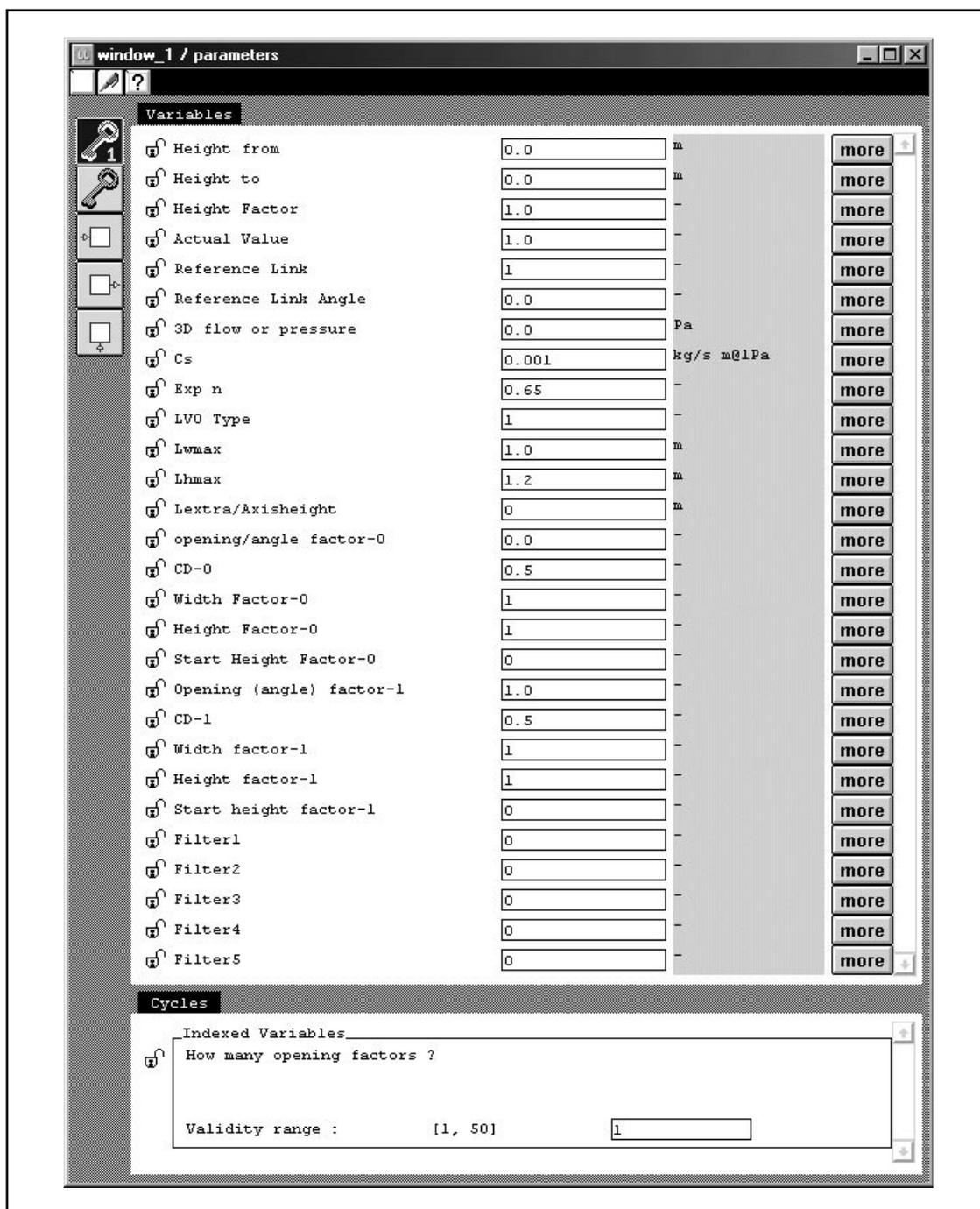


FIGURA 2A — Janela de parametrização do elemento de janela.

- *Height to*: Altura do elemento de ligação em relação ao elemento que o precede (m). No caso, é a altura da janela em relação ao ambiente externo: 1m.
- *Height factor*: Parâmetro relativo a janelas inclinadas. É o co-seno do ângulo entre o plano da abertura e o plano vertical. No caso, a janela não é inclinada. Quando o parâmetro não se aplica ao caso, seu valor padrão não é alterado.
- *Actual value*: Fator de abertura. É zero para janelas fechadas e um para janelas totalmente abertas. Como assumiu-se abertura total da janela, tem valor um.

- *Reference link*: Parâmetro relativo à existência de outros componentes de ventilação (um duto, por exemplo). É a identificação do elemento de ligação para tal componente. No caso, não há outro componente de ventilação, logo o valor padrão do parâmetro não foi alterado.
- *Reference link angle*: Parâmetro relativo à existência de outros componentes de ventilação. É o ângulo entre tal componente e o elemento de ligação para tal. No caso, não há outro componente de ventilação, logo o valor padrão do parâmetro não foi alterado.
- *3D flow or pressure*: Pressão adicional devida ao padrão do escoamento (Pa). Não foi considerada pressão adicional, logo tem valor zero.
- *Cs*: Parâmetro relativo a janelas fechadas. É o coeficiente de escoamento (kg/sm@1Pa). No caso, a janela está aberta, logo o valor padrão do parâmetro não foi alterado.
- *Exp n*: Parâmetro relativo a janelas fechadas. É o expoente do escoamento. No caso, a janela está aberta, logo o valor padrão do parâmetro não foi alterado.
- *LVO type*: Tipo da janela. É um para janelas retangulares e dois para janelas basculantes. Como a janela do caso é retangular, tem valor um.
- *Lwmax*: Comprimento da janela (m). No caso, 2m.
- *Lhmax*: Altura da janela (m). No caso, 1,3m.
- *Lextra/Axisheight*: No caso de janelas retangulares, é o comprimento adicional devido à existência de divisórias (m). No caso, a janela não possui divisórias, logo o valor padrão do parâmetro não foi alterado. O parâmetro *Validity range*, na parte inferior da Figura 2A, também refere-se à existência de divisórias. É o número de divisórias. Também não teve seu valor padrão alterado.

O parâmetro *Opening/angle factor* marca o início dos blocos de informação sobre a abertura da janela. É, no caso de janelas retangulares, o mesmo que o parâmetro *Actual value*, referente ao fator de abertura. Dois blocos devem ser informados, pelo menos: um iniciado por *Opening/angle factor-0*, com valor zero, referente à janela fechada, e outro iniciado por *Opening/angle factor-1*, com valor um, referente à janela totalmente aberta. Caso houver outros níveis de abertura, o que não é o caso, devem ser informados na folha de horário para janelas. A abertura inicial da janela é informada no parâmetro *Actual value*. No caso, como esse valor é um, o modelo considerará somente o bloco iniciado pelo parâmetro *opening/angle factor-1*, mas mesmo assim o outro bloco deve ser informado.

- *Opening/angle factor*: No caso de janelas retangulares, é o fator de abertura (mesmo que *Actual value*). É zero para *Opening/angle factor-0* e um para *Opening/angle factor-1*.
- *Cd*: Coeficiente de descarga, relacionado à contração do escoamento pela abertura. Caso o valor zero seja atribuído, o modelo calcula seu valor em função da velocidade do vento, da diferença entre as temperaturas do ambiente interior e exterior e da profundidade da zona. Atribuiu-se zero para *Cd-0* e *Cd-1*.

- *Width factor*: Parâmetro relativo a janelas parcialmente abertas. É o número que multiplica  $Lw_{max}$  para resultar na fração aberta. Como considerou-se a janela aberta totalmente, tem valor um (*Width factor-0* e *Width factor-1*).
- *Height factor*: Parâmetro relativo a janelas parcialmente abertas. É o número que multiplica  $Lh_{max}$  para resultar na fração aberta. Como considerou-se a janela aberta totalmente, tem valor um (*Height factor-0* e *Height factor-1*).
- *Start height factor*: Parâmetro relativo a janelas parcialmente abertas. É o número que multiplica  $Lh_{max}$  para resultar na altura da fração aberta. Como considerou-se a janela aberta totalmente, tem valor zero (*Start height factor-0* e *Start height factor-1*).

Os parâmetros *Filter1*, *Filter2*, *Filter3*, *Filter4* e *Filter5* referem-se à eficiência de filtragem da janela para poluentes. Como a poluição não está sendo simulada nesse modelo, os valores padrão não foram alterados.

### Elemento externo

A Figura 3A mostra a janela de parametrização do elemento externo, com os valores padrão de cada parâmetro. O parâmetro *Outside concentration* é a fração da concentração total de poluentes a qual a fachada está exposta. Como a poluição não está sendo simulada nesse modelo, o valor padrão do parâmetro não foi alterado.

### Elemento de fachada

A Figura 4A mostra a janela de parametrização do elemento de fachada, com os valores padrão de cada parâmetro. Devem ser informados o ângulo de incidência do vento e o valor do coeficiente de pressão relativo a esse ângulo. O número de blocos de informação dependerá do número de ângulos.

- *Number of angles*: Número de ângulos de incidência do vento. Considerou-se os oito pontos cardeais/colaterais.
- *Angle*: Ângulo de incidência do vento, medido em sentido horário a partir do eixo norte: norte 0°, nordeste 45°, leste 90°, sudeste 135°, sul 180°, sudoeste 225°, oeste 270°, noroeste 315° (graus).
- *Cp-value*: Valor do coeficiente de pressão relativo ao ângulo de incidência do vento.

Como já comentado, o valor do coeficiente de pressão depende de vários fatores e a opção mais viável para sua determinação é a modelagem. Utilizou-se o modelo *cpcalc+*, desenvolvido em conjunto com o COMIS, que considera no cálculo, além das características da estrutura, os seguintes parâmetros (GROSSO, 1992, 1995):

- *Azimuth angle of the building*: Refere-se à orientação da estrutura. É o ângulo entre o eixo norte e o eixo x, medido em sentido horário a partir do eixo norte (Figura 5A). Como já comentado, considerou-se a janela posicionada para o norte, logo esse ângulo é 270°.

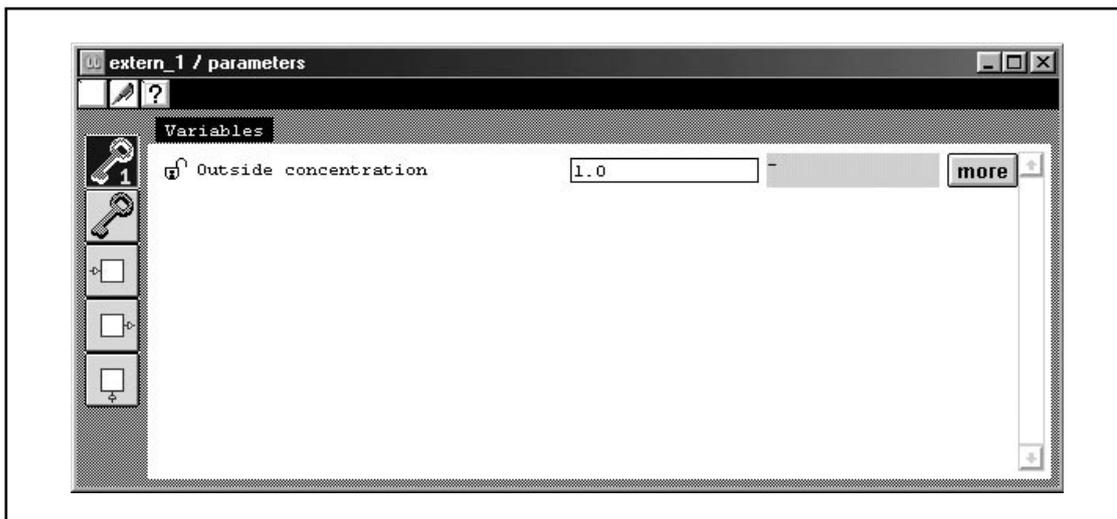


FIGURA 3A — Janela de parametrização do elemento externo.

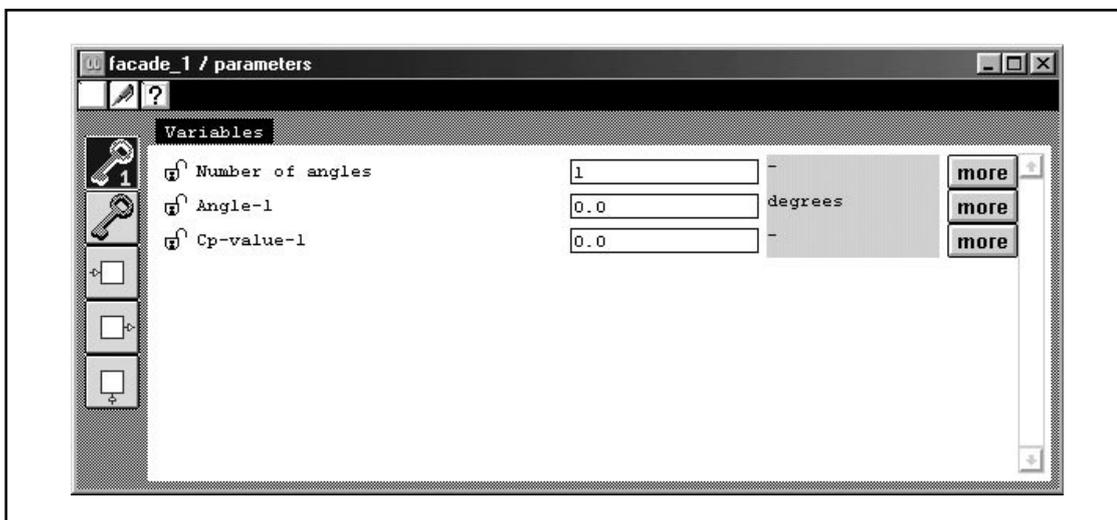


FIGURA 4A — Janela de parametrização do elemento de fachada.

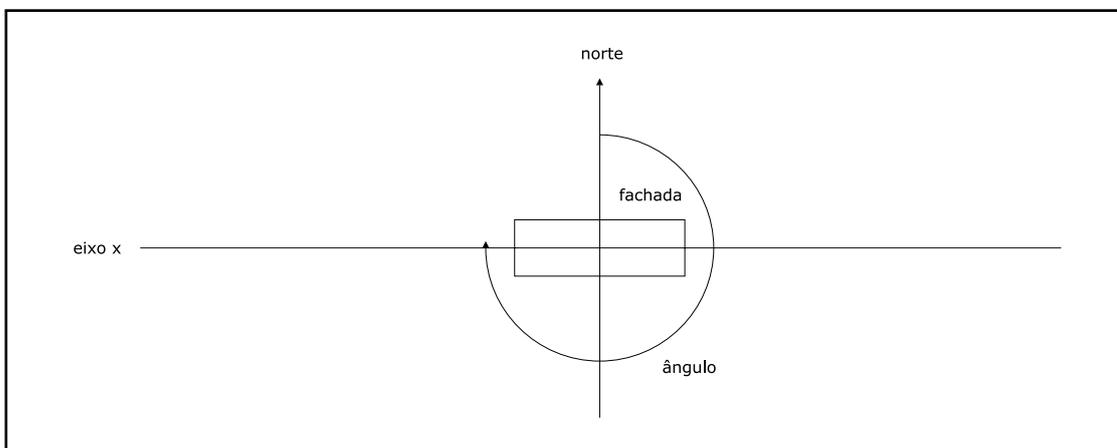


FIGURA 5A — Orientação da estrutura.

- *Wind direction*: Ângulo de incidência do vento, medido em sentido horário a partir do eixo norte (mesmo que o parâmetro *Angle* da Figura 4A).
- *Wind velocity profile exponent*: Expoente do perfil do vento para a fachada. Como assumiu-se inexistência de obstáculos para a ventilação, utilizou-se o valor adotado pela ASHRAE para terrenos planos: 0,14 (ASHRAE, 1989 *apud* FEUSTEL, 1999).
- *Plan area density*: É a porcentagem da área ocupada por prédios ao redor da estrutura. Como assumiu-se inexistência de obstáculos para a ventilação, utilizou-se o valor zero.
- *Surrounding buildings' height*: É a razão entre a altura da estrutura e a altura média das estruturas adjacentes. Quando *Plan area density* é zero, esse valor é a altura da estrutura, no caso 3m.

Escolheu-se como ponto característico da fachada o ponto central da janela. Assim, o valor do coeficiente de pressão foi calculado para o ponto (1,5, 1,65).

### **Parametrização da estrutura**

A Figura 6A mostra a janela de parametrização da estrutura, com os valores simulados de cada parâmetro. A parte superior refere-se às informações sobre a estrutura e a inferior à posição geográfica.

- *Height*: Altura: 3m.
- *Altitude*: Altitude (m). Utilizou-se a mesma da Estação Agroclimatológica de Pelotas: 13,24m.
- *Angle*: Ângulo entre o eixo norte e o eixo da estrutura, medido em sentido horário a partir do eixo norte (graus). O eixo da estrutura pode ser definido como convir. Definiu-se como norte, logo o ângulo é 0°.
- *Latitude*: Latitude (graus). Deve ser informado o valor decimal. Utilizou-se a mesma da Estação Agroclimatológica de Pelotas: 31°52'S (-31,87°).
- *Longitude*: Longitude (graus). Deve ser informado o valor decimal. Utilizou-se a mesma da Estação Agroclimatológica de Pelotas: 52°21'24"O (-52,36°).

### **Parametrização do ambiente externo**

A Figura 7A mostra a janela de parametrização do ambiente externo. A parte superior refere-se às informações sobre os dados de vento e a parte inferior refere-se aos dados em si.

- *Reference height for wind speed*: Altura de coleta dos dados de vento: 2m.
- *Altitude meteo station*: Altitude da estação: 13,24m.

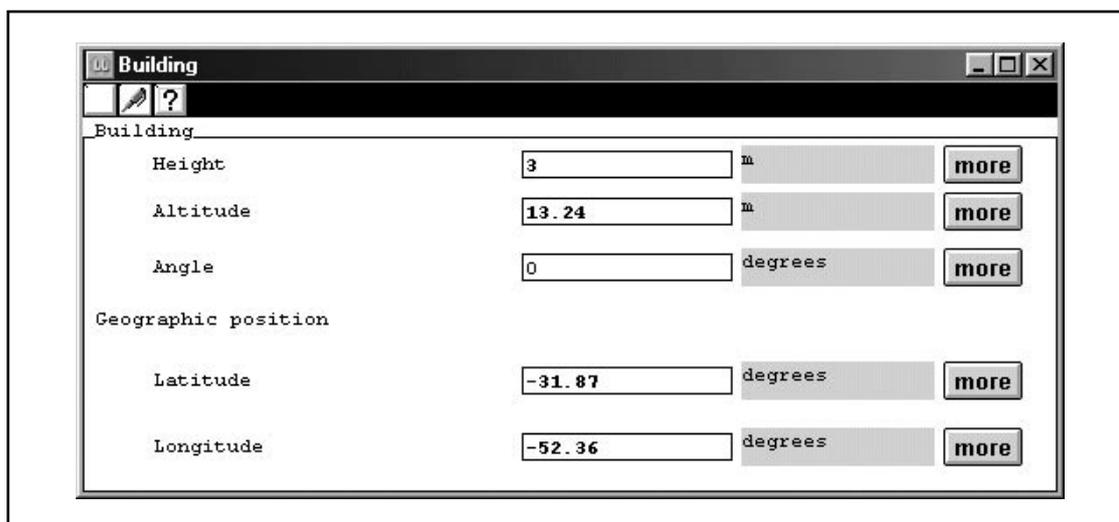


FIGURA 6A — Janela de parametrização da estrutura.

- *Wind velocity profile exp.*: Expoente do perfil do vento para a estação. Utilizou-se o mesmo valor do para a fachada (0,14).
- *Wind direction angle, Plan area density, Wind velocity profile exp., Surrounding building height*: Mesmos parâmetros e valores considerados no cálculo de  $C_p$ .
- *Time*: Data do conjunto de dados.
- *Wind speed*: Velocidade do vento (m/s).
- *Direction*: Direção do vento (graus).
- *Temp.*: Temperatura (°C).
- *Humidity*: Razão de mistura (g/kg). Os dados foram calculados conforme procedimento descrito anteriormente.
- *Barom. pres abs*: Pressão (kPa). Os dados de pressão analisados estão em milibares. A relação de conversão é  $1\text{mb} = 0,1\text{kPa}$ .

**Meteo**

Meteo

Wind

Ref. Height for Wind Speed  m **more**

Altitude Meteo Station  m **more**

Wind Velocity Profile Exp.  m **more**

	WIND DIRECTION ANGLE [deg]	PLAN AREA DENSITY [-]	WIND VELOCITY PROFILE EXP. [-]	SURROUNDING BUILDING HEIGHT [m]
1				
2				
3				
4				
5				

Schedule

File :   COMIS-format  
 DOE2-format

	TIME [-]	WIND SPEED [m/s]	DIRECTION [deg]	TEMP. [C]	HUMIDITY [g/kg]	BAROM. PRES abs [kPa]
1						
2						
3						
4						
5						
6						

FIGURA 7A — Janela de parametrização do ambiente externo.

## APÊNDICE B — Dados meteorológicos utilizados

Para a caracterização do ambiente externo, utilizou-se dados diários da Estação Agroclimatológica de Pelotas (latitude 31°52'S, longitude 52°21'24"O, altitude 13,24m) de pressão (média), temperatura do ar (média, máxima e mínima), vento a 2m (velocidade média e direção preferencial), nebulosidade (média), precipitação e umidade relativa (média) (ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS, 2003a-j, 2004a, b). Formou-se quatro conjuntos, representando cada um uma estação do ano, tal qual a metodologia utilizada por Assis e Camargo (2002) para análise sazonal da cidade de Pelotas: estação temperada fria, relativa ao outono, composta pelos meses de março, abril e maio; estação fria, relativa ao inverno, composta pelos meses de junho, julho e agosto; estação temperada quente, relativa à primavera, composta pelos meses de setembro, outubro e novembro; estação quente, relativa ao verão, composta pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Analisou-se os dados do período de março de 2003 a fevereiro de 2004 em busca de dias favoráveis ao uso de janelas utilizando-se um critério baseado na descrição de Dubrul (1988) sobre a influência do tempo no comportamento dos ocupantes para com o uso dessas: buscou-se dentro de cada estação os dias com temperaturas menores que 25°C, velocidade do vento abaixo de 8m/s, nebulosidade de até cinco décimos e sem chuva. Os dados dos dias selecionados para o estudo são mostrados nas tabelas a seguir, bem como as médias sazonais do período analisado.

TABELA 1B

Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação temperada fria

Caso	Data	P (mb)	T (°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	V (m/s)	D (-)	N (1/10)	PR (mm)	UR (%)
01	22/03	1019,1	18,5	24,0	13,6	1,1	E	3,7	0,0	83,0
02	23/03	1020,7	18,9	23,8	14,2	1,1	E	3,7	0,0	83,5
03	01/04	1018,7	18,3	22,6	14,6	2,1	S	3,7	0,0	82,3
04	02/04	1019,5	17,6	23,2	13,6	1,6	S	4,3	0,0	85,5
05	06/04	1013,3	17,9	23,0	15,0	1,6	S	3,3	0,0	85,0
06	07/04	1013,5	18,2	24,2	12,6	0,9	SO	3,3	0,0	84,5
07	11/04	1013,2	14,1	18,0	11,6	5,4	O	4,3	0,0	65,3
08	12/04	1019,9	14,2	19,6	11,0	2,7	SO	2,0	0,0	84,0
09	13/04	1024,9	15,2	21,0	10,8	0,9	S	1,7	0,0	86,0
10	14/04	1020,8	16,4	23,0	9,4	1,2	E	0,7	0,0	90,3
11	20/04	1015,5	15,4	21,6	11,0	1,3	O	1,3	0,0	72,0
12	21/04	1016,5	17,2	24,2	10,0	2,5	NE	1,3	0,0	86,3
13	02/05	1018,2	14,6	19,8	11,4	2,6	SO	3,3	0,0	76,5
14	03/05	1018,5	13,1	18,4	9,8	0,8	SO	3,7	0,0	89,3
15	09/05	1022,4	14,0	20,6	8,6	1,3	E	2,3	0,0	90,8
16	11/05	1022,3	15,5	23,0	10,4	0,6	SE	4,0	0,0	93,0
17	26/05	1013,6	13,2	20,0	7,6	1,8	SO	2,3	0,0	71,8
18	27/05	1018,0	12,2	18,4	8,8	1,8	SO	2,3	0,0	69,0
19	28/05	1019,4	11,8	18,4	9,2	1,6	SO	1,0	0,0	84,5

Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas, 2003a, b, c. (Adaptação do autor.)

† Símbolos utilizados nas tabelas: P pressão, T temperatura média do ar, Tx temperatura máxima, Tn temperatura mínima, V velocidade do vento, D direção do vento, N nebulosidade, PR precipitação, UR umidade relativa.

TABELA 2B

Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação fria

Caso	Data	P (mb)	T (°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	V (m/s)	D (-)	N (1/10)	PR (mm)	UR (%)
01	06/06	1016,7	13,8	18,8	11,8	2,2	SO	3,3	0,0	87,3
02	08/06	1024,1	8,3	13,0	4,2	0,8	SO	4,0	0,0	80,5
03	22/06	1013,7	12,4	18,2	6,2	1,6	NE	1,3	0,0	90,3
04	02/07	1021,2	11,6	16,6	8,6	1,0	S	3,3	0,0	87,8
05	09/07	1016,5	7,7	16,4	5,0	3,0	O	2,0	0,0	63,5
06	10/07	1018,5	7,7	14,4	1,8	2,7	O	3,0	0,0	59,5
07	11/07	1026,1	6,0	11,4	4,0	2,5	SO	1,0	0,0	83,3
08	16/07	1024,5	9,2	14,8	6,8	2,0	O	1,7	0,0	66,8
09	17/07	1024,8	8,0	15,4	3,0	1,1	SO	2,7	0,0	76,0
10	30/07	1019,3	13,6	19,4	9,0	2,1	SO	0,7	0,0	66,5
11	31/07	1019,7	11,4	17,0	8,4	0,7	S	1,3	0,0	83,5
12	06/08	1009,1	12,6	17,0	9,8	4,5	O	4,0	0,0	61,0
13	07/08	1013,2	12,3	18,0	9,4	2,8	O	1,3	0,0	57,8
14	11/08	1024,5	10,2	16,4	5,2	1,0	E	4,0	0,0	86,0
15	12/08	1021,0	11,4	18,4	6,0	2,6	NE	3,3	0,0	88,0
16	17/08	1022,9	9,6	16,4	5,2	1,3	SO	2,7	0,0	79,0
17	18/08	1020,0	12,9	23,6	4,6	1,9	NE	3,7	0,0	78,8
18	26/08	1023,9	6,4	12,8	0,2	1,0	SO	2,3	0,0	82,3
19	29/08	1029,5	10,1	15,4	6,4	1,7	S	3,7	0,0	84,5
20	31/08	1023,8	11,4	17,0	8,2	1,0	S	4,7	0,0	87,5

Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas, 2003d, e, f. (Adaptação do autor.)

TABELA 3B

Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação temperada quente

Caso	Data	P (mb)	T (°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	V (m/s)	D (-)	N (1/10)	PR (mm)	UR (%)
01	01/09	1023,4	11,2	17,0	6,0	1,0	S	4,7	0,0	86,3
02	02/09	1024,6	12,8	18,0	8,8	2,4	E	3,3	0,0	88,8
03	03/09	1021,5	15,1	20,4	11,2	4,0	NE	3,0	0,0	85,5
04	10/09	1023,5	9,6	14,2	7,2	2,8	SO	3,0	0,0	76,0
05	11/09	1022,1	10,8	17,4	5,0	1,3	SO	0,0	0,0	64,0
06	12/09	1017,9	12,9	22,2	4,6	1,8	N	3,0	0,0	66,8
07	14/09	1025,3	8,9	13,4	7,4	1,2	S	4,3	0,0	73,0
08	16/09	1023,5	10,5	15,2	8,4	2,3	S	3,3	0,0	78,5
09	18/09	1017,7	12,6	18,4	6,4	3,0	E	5,0	0,0	79,8
10	29/09	1021,0	13,3	18,0	8,6	1,2	E	4,0	0,0	80,8
11	30/09	1020,6	14,9	19,6	8,2	2,6	NE	4,0	0,0	78,0
12	11/10	1025,3	11,0	15,6	7,6	1,9	S	3,3	0,0	68,0
13	12/10	1026,4	10,8	16,4	5,4	1,4	S	4,7	0,0	76,3
14	13/10	1025,2	13,1	18,8	6,0	1,4	E	2,3	0,0	78,8
15	14/10	1023,5	16,5	21,6	8,6	3,2	NE	3,3	0,0	78,5
16	15/10	1020,7	18,1	22,8	14,6	4,5	NE	4,3	0,0	76,0
17	22/10	1012,8	17,0	23,2	11,8	1,7	S	2,7	0,0	60,3
18	27/10	1021,7	14,8	19,4	11,0	1,8	S	2,7	0,0	74,8
19	02/11	1023,0	13,6	19,4	9,0	1,7	S	4,0	0,0	77,3
20	03/11	1021,7	14,7	21,4	7,2	1,6	S	2,7	0,0	76,3
21	07/11	1012,6	20,4	25,0	17,6	3,7	NE	4,0	0,0	80,3
22	14/11	1015,8	16,4	21,1	10,6	1,5	E	3,7	0,0	68,8
23	20/11	1017,4	15,3	22,4	12,6	2,1	S	4,3	0,0	69,5
24	21/11	1017,5	17,7	23,6	8,4	3,1	NE	3,7	0,0	69,5

Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas, 2003g, h, i. (Adaptação do autor.)

TABELA 4B

Dias favoráveis à utilização de janelas dentro da estação quente

Caso	Data	P (mb)	T (°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	V (m/s)	D (-)	N (1/10)	PR (mm)	UR (%)
01	09/12	1006,4	17,8	23,4	14,0	2,9	SO	4,3	0,0	56,0
02	12/12	1014,3	17,9	23,2	14,4	1,6	E	2,3	0,0	66,0
03	17/12	1020,9	16,9	22,8	10,4	1,8	E	2,3	0,0	61,0
04	18/12	1019,5	20,5	25,0	13,6	4,7	NE	4,3	0,0	71,0
05	23/12	1015,8	18,1	24,0	14,0	5,7	S	4,7	0,0	69,3
06	29/12	1013,5	17,4	24,0	12,4	1,4	S	2,7	0,0	63,8
07	01/01	1017,8	16,7	22,6	12,0	1,3	S	4,0	0,0	73,0
08	02/01	1017,0	17,7	24,0	10,6	1,5	E	1,7	0,0	74,0

Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas, 2003j, 2004a. (Adaptação do autor.)

TABELA 5B

## Médias sazonais

Estação	P (mb)	T (°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	V (m/s)	D (-)	N (1/10)	PR (mm)	UR (%)
T. fria	1014,4	18,8	23,3	15,5	2,0	-	6,3	3,9	86,8
Fria	1018,1	13,1	17,8	9,7	1,9	-	7,1	4,8	86,4
T. quente	1014,7	17,4	22,4	13,5	2,6	-	6,4	2,9	80,6
Quente	1011,5	22,0	27,1	18,1	2,5	-	6,1	2,4	78,6

## APÊNDICE C — Avaliação do modelo de escoamento de ar em prédios

Diferentemente dos atuais modelos de concentração de poluentes originados do ato de fumar, que têm a mesma base e calculam a concentração levando em conta parâmetros similares, os modelos de escoamento de ar em prédios possuem diferenças quanto à base e aos parâmetros considerados no cálculo do escoamento. Para avaliar os resultados do modelo de escoamento de ar em prédios utilizado — o COMIS —, fez-se uma comparação dos resultados dos 71 casos do estudo com os resultados calculados pelo equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação para configurações de ventilação de lado único mostrado por Awbi (1998) e com os resultados do modelo AIOLOS (ALLARD, 1998), modelo de mesmo tipo com foco na ventilação natural.

### Equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação

Awbi (1998) mostra o seguinte equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação para configurações de ventilação de lado único:

$$w = 0,5AV_{\text{eff}}$$

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{\text{cte}_1 V^2 + \text{cte}_2 H \Delta T + \text{cte}_3}$$

1c

onde:

w taxa de ventilação [m<sup>3</sup>/s]

A área da janela [m<sup>2</sup>]

$V_{\text{eff}}$  velocidade efetiva [m/s]

$\text{cte}_1$  coeficiente dependente da abertura da janela [-]

V velocidade do vento [m/s]

$\text{cte}_2$  constante de flutuabilidade [-]

H altura da janela [m]

$\Delta T$  diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo [°C]

$\text{cte}_3$  constante de turbulência do vento [-]

A expressão da velocidade efetiva (velocidade do ar que entra pela janela) é empírica e foi proposta por Gids e Phaff (1982 *apud* Awbi, 1998) como resultado de seus experimentos de medição de escoamento por janelas abertas. Utilizou-se no cálculo os valores das constantes propostos por Awbi (1998): coeficiente dependente da abertura da janela 0,001, constante de fluatibilidade 0,0035, constante de turbulência do vento 0,01. Os resultados são mostrados na Tabela 1C. Os casos estão ordenados pelos dados de velocidade do vento. A diferença percentual refere-se à diferença dos resultados do COMIS em relação aos calculados.

Comparando os resultados, vê-se que o COMIS superestimou os resultados calculados na maioria dos casos, porém a diferença foi pouca: para 47,9% dos casos a variação foi abaixo de 10% (para mais ou para menos) e para 76,1% a variação foi abaixo de 15%. Apenas em oito casos a variação ultrapassou 20%. Desses oito, sete têm velocidade do vento acima de 3m/s. A maior variação, 49,43%, deu-se no caso com maior velocidade do vento, 5,7m/s. Como comentado, para configurações de ventilação de lado único o COMIS assume que a principal forçante é a fluatibilidade térmica, então melhores resultados são esperados para situações de ventos fracos. Nessa comparação, isso foi verificado.

Pela pouca diferença observada na maioria dos casos, considerou-se os resultados do COMIS satisfatórios.

## **Modelo AIOLOS**

O modelo AIOLOS é um modelo multizonal com foco na ventilação natural. Foi o resultado do projeto homônimo que tinha como objetivo o desenvolvimento de material educacional sobre o uso de ventilação natural em prédios. É gratuito, disponibilizado no livro *Natural Ventilation in Buildings: a Design Handbook* (ALLARD, 1998), também resultado do projeto. O AIOLOS é parte do programa ALTENER, programa da Comissão Européia para Energia responsável pela promoção de recursos de energia renovável. Por ter foco na ventilação natural, foi o modelo indicado para a comparação.

A base do AIOLOS é similar à do COMIS, exceto pela modelagem do efeito do vento em grandes aberturas. Segundo Feustel e Raynor-Hoosen (1990), há um consenso na literatura na utilização da equação de Bernoulli para a descrição do escoamento médio em grandes aberturas. Já a parte turbulenta, como comentado anteriormente, não é bem descrita, dado o enorme número de parâmetros que influenciam o escoamento, e o efeito da turbulência pode ser particularmente significativo tratando-se de ventilação de lado único. Como parte de um experimento sobre ventilação de lado único realizado no verão de 1993 em Atenas, Grécia, uma comparação dos dados de escoamento obtidos por medição com os resultados de cinco modelos multizonais — entre eles o COMIS 1.2 — foi feita, e os resultados dos cinco foram bastante parecidos, sendo as diferenças atribuídas aos diferentes métodos iterativos utilizados para os cálculos, mas superestimaram muito os dados obtidos. Essa superestimação foi atribuída justamente à falta da descrição da parte turbulenta do escoamento. Foi explicado que os modelos multizonais praticamente negligenciam o efeito do vento em casos de configuração de ventilação de lado único. Foi explicado ainda que, por isso, eles não são sensíveis às variações do vento nesse tipo de configuração, sendo as variações do escoamento função da raiz quadrada da diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo e da altura da abertura e o escoamento resultante função linear do coeficiente de descarga. Para contornar esse problema, um fator de correção foi derivado a partir dos dados do experimento. Sua expressão é (ALLARD, 1998; DASCALAKI *et al.*, 1999;

WARREN, 2000):

$$CF = 0,08(Ar_D)^{-0,38}$$

$$Ar_D = \frac{Gr}{Re^2}$$

2c

$$Gr = \frac{g\Delta TH^3}{Tv^2}$$

$$Re = \frac{Vd}{\nu}$$

onde:

CF fator de correção [-]

$Ar_D$  número de Archimedes [-]

Gr número de Grashoff [-]

Re número de Reynolds [-]

g aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ]

$\Delta T$  diferença de temperatura entre o ambiente interno e o externo [K]

H altura da janela [m]

T temperatura média do ar [K]

$\nu$  coeficiente de viscosidade [ $m^2/s$ ]

V velocidade do vento [m/s]

d distância entre a parede da abertura e a parede oposta [m]

O número de Archimedes é um valor adimensional que representa a razão entre as forças de flutuabilidade, representadas pelo número de Grashoff, e as inerciais, devidas ao vento, representadas pelo número de Reynolds. Os resultados dos modelos multiplicados pelo fator de correção aproximaram-se mais dos dados de escoamento obtidos por medição. O AIOLOS oferece a opção de incorporar o fator de correção nos resultados de modelagem de configurações de ventilação de lado único. Os resultados do COMIS foram comparados com os do AIOLOS incorporando e não o fator de correção. São mostrados na Tabela 2c. Os casos estão ordenados pelos dados de velocidade do vento. A diferença percentual refere-se à diferença dos resultados do COMIS em relação aos do AIOLOS.

Comparando os resultados, vê-se que o COMIS subestimou os resultados não corrigidos do AIOLOS e superestimou os multiplicados pelo fator de correção na maioria dos casos. A diferença foi grande: com relação aos não corrigidos, a variação esteve entre -30 e -25% em 83,1% dos casos; com relação aos multiplicados pelo fator de correção, em 77,5% dos casos a variação foi acima de 50%. Com relação aos não corrigidos, viu-se que os poucos casos em que o COMIS superestimou os resultados do AIOLOS têm velocidade do vento acima de 3m/s, mas não há uma relação entre aumento da velocidade e aumento da diferença nesses. Com relação aos multiplicados pelo fator de correção, parece haver uma relação inversamente proporcional entre velocidade do vento e a diferença, no geral.

Os resultados do COMIS ficaram, em média, entre os resultados multiplicados pelo fator de correção e os resultados não corrigidos do AIOLOS. Na época do experimento de Atenas, cujos dados serviram para derivar o fator de correção, a versão do COMIS utilizada na comparação, a 1.2, não possuía um algoritmo para a determinação do efeito do vento no escoamento por grandes aberturas. De acordo com Warren (2000), esse algo-

ritmo só foi incluído na versão 3.0 do modelo, versão utilizada nesse trabalho, logo a modelagem do COMIS foi melhorada, tanto que os resultados contrariam a observação de Santamouris e Dascalaki (1995 *apud* DASCALAKI *et al.*, 1999) sobre a falta de sensibilidade dos modelos multizonais às variações do vento em configurações de ventilação de lado único. Há dúvidas, portanto, se os resultados dessa versão do COMIS teriam que ser ainda corrigidos ou se já representam satisfatoriamente a realidade. Isso só seria confirmado com um experimento com medição de escoamento representando essa situação modelada. Diferenças entre os resultados do COMIS e do AIOLOS já eram esperadas também pelos diferentes parâmetros considerados no cálculo do escoamento: o COMIS considera velocidade e direção do vento, temperatura, razão de mistura e pressão, o AIOLOS considera velocidade e direção do vento, temperatura e radiação solar; o coeficiente de descarga é calculado para cada caso no COMIS em função da velocidade do vento, da diferença entre as temperaturas do ambiente interior e exterior e da profundidade da zona, e não é no AIOLOS (o modelo recomenda o valor 0,9 para aberturas externas).

Como a modelagem do COMIS possibilitou acessar a influência das condições meteorológicas na ventilação natural e os resultados foram condizentes com a literatura e como representou bem os resultados do equacionamento empírico para a estimativa da taxa de ventilação para configurações de ventilação de lado único, considerou-se seus resultados satisfatórios.

### **Considerações**

Os objetivos desse trabalho eram estudar a influência das condições meteorológicas na ventilação natural e, logo, na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC e estimar a velocidade necessária do vento para induzir a ventilação necessária para manter o risco de exposição à FAC aceitável. A modelagem do COMIS possibilitou acessar essa influência da parte meteorológica e os resultados foram condizentes com a literatura. Os resultados da parte da qualidade do ar também foram condizentes com a literatura, uma vez que se confirmou que taxas de ventilação altíssimas, inaceitáveis em termos de conforto, seriam necessárias para reduzir o risco de vida imposto pela FAC ao aceitável. Caso o COMIS tenha subestimado os resultados, a taxa necessária estimada para a redução, já altíssima, teria que ser ainda maior; caso tenha superestimado, significa que as taxas reais são menores, o que leva a maiores concentrações, logo o risco imposto pela FAC, já altíssimo, é ainda maior. As duas situações levam à mesma conclusão tirada: a única solução viável para o problema do fumo em ambientes fechados é sua proibição.

TABELA 1C

Comparação entre os resultados do COMIS e os calculados pelo equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação para configurações de ventilação de lado único  
(Continua)

Caso	V (m/s)	T (°C)	W (m <sup>3</sup> /h)		%
			eq.	COMIS	
11/mai	0,6	15,5	880,35	936,90	6,42
31/jul	0,7	11,4	1089,24	1248,42	14,61
3/mai	0,8	13,1	1010,11	1126,57	11,53
8/jun	0,8	8,3	1224,20	1453,19	18,71
7/abr	0,9	18,2	718,19	658,69	-8,29
13/abr	0,9	15,2	902,65	965,90	7,01
2/jul	1,0	11,6	1085,22	1235,60	13,86
11/ago	1,0	10,2	1147,70	1335,38	16,35
26/ago	1,0	6,4	1302,27	1565,58	20,22
31/ago	1,0	11,4	1094,36	1253,22	14,52
1/set	1,0	11,2	1103,43	1265,58	14,70
22/mar	1,1	18,5	703,32	625,04	-11,13
23/mar	1,1	18,9	674,39	573,44	-14,97
17/jul	1,1	8,0	1241,39	1473,08	18,66
14/abr	1,2	16,4	842,01	853,83	1,40
14/set	1,2	8,9	1206,81	1417,09	17,42
29/set	1,2	13,3	1008,92	1114,61	10,48
20/abr	1,3	15,4	902,28	939,99	4,18
9/mai	1,3	14,0	976,54	1060,81	8,63
17/ago	1,3	9,6	1179,88	1370,40	16,15
11/set	1,3	10,8	1128,06	1291,59	14,50
1/jan	1,3	16,7	827,38	822,51	-0,59
12/out	1,4	10,8	1130,68	1296,40	14,66
13/out	1,4	13,1	1024,32	1132,99	10,61
29/dez	1,4	17,4	787,85	750,59	-4,73
14/nov	1,5	16,4	852,48	848,77	-0,44
2/jan	1,5	17,7	772,77	718,03	-7,08
2/abr	1,6	17,6	783,53	731,34	-6,66
6/abr	1,6	17,9	764,22	692,91	-9,33
28/mai	1,6	11,8	1091,75	1219,60	11,71
22/jun	1,6	12,4	1064,02	1171,51	10,10
3/nov	1,6	14,7	950,22	1004,70	5,73
12/dez	1,6	17,9	764,22	694,11	-9,17
29/ago	1,7	10,1	1169,86	1347,76	15,21
22/out	1,7	17,0	825,19	787,47	-4,57
2/nov	1,7	13,6	1009,84	1093,04	8,24
26/mai	1,8	13,2	1033,10	1113,28	7,76
27/mai	1,8	12,2	1080,26	1190,42	10,20
12/set	1,8	12,9	1047,47	1139,99	8,83
27/out	1,8	14,8	952,81	996,38	4,57
17/dez	1,8	16,9	835,81	805,39	-3,64
18/ago	1,9	12,9	1051,33	1142,24	8,65
11/out	1,9	11,0	1137,83	1281,26	12,61

TABELA 1C

Comparação entre os resultados do COMIS e os calculados pelo equacionamento para a estimativa da taxa de ventilação para configurações de ventilação de lado único  
(Conclusão)

Caso	V (m/s)	T (°C)	w (m <sup>3</sup> /h)		%
			eq.	COMIS	
16/jul	2,0	9,2	1217,61	1399,01	14,90
1/abr	2,1	18,3	764,65	770,08	0,71
30/jul	2,1	13,6	1026,19	1088,74	6,10
20/nov	2,1	15,3	940,03	949,63	1,02
6/jun	2,2	13,8	1021,06	1071,39	4,93
16/set	2,3	10,5	1175,28	1313,71	11,78
2/set	2,4	12,8	1078,13	1155,14	7,14
21/abr	2,5	17,2	857,09	916,20	6,90
11/jul	2,5	6,0	1360,42	1592,49	17,06
2/mai	2,6	14,6	1002,44	1010,13	0,77
12/ago	2,6	11,4	1150,56	1249,58	8,61
30/set	2,6	14,9	987,41	1007,25	2,01
12/abr	2,7	14,2	1027,79	1054,09	2,56
10/jul	2,7	7,7	1305,42	1482,90	13,60
7/ago	2,8	12,3	1121,49	1179,66	5,19
10/set	2,8	9,6	1235,64	1371,38	10,99
9/dez	2,9	17,8	849,78	993,23	16,88
9/jul	3,0	7,7	1319,69	1479,15	12,08
18/set	3,0	12,6	1119,49	1168,69	4,39
21/nov	3,1	17,7	870,84	1060,96	21,83
14/out	3,2	16,5	944,33	1137,24	20,43
7/nov	3,7	20,4	760,70	758,92	-0,23
3/set	4,0	15,1	1075,84	1393,56	29,53
6/ago	4,5	12,6	1224,60	1576,13	28,71
15/out	4,5	18,1	975,47	1387,54	42,24
18/dez	4,7	20,5	867,57	700,02	-19,31
11/abr	5,4	14,1	1243,11	1769,90	42,38
23/dez	5,7	18,1	1104,37	1650,26	49,43

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: V velocidade do vento, T temperatura média do ar, w taxa de ventilação.

TABELA 2C

Comparação entre os resultados do COMIS e os do AIOLOS

(Continua)

Caso	V (m/s)	T (°C)	w (m <sup>3</sup> /h)			%	
			AIOLOS	CF	COMIS	AIOLOS	CF
11/mai	0,6	15,5	1278,53	575,13	936,90	-27,71	57,73
31/jul	0,7	11,4	1683,79	757,24	1248,42	-27,75	59,45
3/mai	0,8	13,1	1528,22	687,71	1126,57	-28,07	60,46
8/jun	0,8	8,3	1929,55	868,06	1453,19	-28,24	58,29
7/abr	0,9	18,2	914,51	411,38	658,69	-28,24	62,67
13/abr	0,9	15,2	1312,56	590,95	965,90	-28,46	62,59
2/jul	1,0	11,6	1666,34	749,58	1235,60	-28,50	57,79
11/ago	1,0	10,2	1783,83	802,31	1335,38	-28,32	59,55
26/ago	1,0	6,4	2067,66	929,91	1565,58	-27,53	61,06
31/ago	1,0	11,4	1682,87	757,99	1253,22	-27,47	60,07
1/set	1,0	11,2	1700,21	765,51	1265,58	-27,89	61,62
22/mar	1,1	18,5	864,36	388,82	625,04	-27,66	54,33
23/mar	1,1	18,9	792,47	356,47	573,44	-29,20	63,38
17/jul	1,1	8,0	1952,58	877,98	1473,08	-28,21	60,47
14/abr	1,2	16,4	1170,24	526,31	853,83	-28,14	58,10
14/set	1,2	8,9	1886,99	848,16	1417,09	-28,11	59,03
29/set	1,2	13,3	1508,93	679,84	1114,61	-27,58	58,77
20/abr	1,3	15,4	1289,98	580,59	939,99	-28,96	58,23
9/mai	1,3	14,0	1440,13	647,94	1060,81	-28,56	57,16
17/ago	1,3	9,6	1830,57	823,68	1370,40	-28,51	58,63
11/set	1,3	10,8	1734,85	780,35	1291,59	-28,60	59,47
1/jan	1,3	16,7	1132,06	508,33	822,51	-29,16	60,32
12/out	1,4	10,8	1734,06	779,57	1296,40	-28,34	60,03
13/out	1,4	13,1	1528,65	687,79	1132,99	-27,66	61,38
29/dez	1,4	17,4	1036,43	466,16	750,59	-28,72	63,53
14/nov	1,5	16,4	1170,53	526,49	848,77	-28,55	57,20
2/jan	1,5	17,7	992,55	446,30	718,03	-28,14	56,41
2/abr	1,6	17,6	1007,20	454,05	731,34	-28,71	59,35
6/abr	1,6	17,9	961,98	449,23	692,91	-28,72	50,94
28/mai	1,6	11,8	1648,44	741,02	1219,60	-28,30	61,32
22/jun	1,6	12,4	1594,74	717,26	1171,51	-28,87	60,70
3/nov	1,6	14,7	1368,94	616,01	1004,70	-28,44	61,78
12/dez	1,6	17,9	962,15	449,25	694,11	-28,58	51,24
29/ago	1,7	10,1	1791,48	805,06	1347,76	-27,65	61,03
22/out	1,7	17,0	1092,11	491,22	787,47	-28,85	62,06
2/nov	1,7	13,6	1480,85	665,45	1093,04	-27,71	61,92
26/mai	1,8	13,2	1518,72	683,40	1113,28	-28,91	58,58
27/mai	1,8	12,2	1612,86	725,10	1190,42	-28,89	57,46
12/set	1,8	12,9	1547,37	697,28	1139,99	-28,44	62,38
27/out	1,8	14,8	1357,98	611,06	996,38	-27,65	60,43
17/dez	1,8	16,9	1105,60	506,71	805,39	-28,98	57,00
18/ago	1,9	12,9	1548,70	695,66	1142,24	-28,29	56,70
11/out	1,9	11,0	1717,34	772,07	1281,26	-28,11	58,17

TABELA 2C

Comparação entre os resultados do COMIS e os do AIOLOS  
(Conclusão)

Caso	V (m/s)	T (°C)	w (m <sup>3</sup> /h)			%	
			AIOLOS	CF	COMIS	AIOLOS	CF
16/jul	2,0	9,2	1862,73	837,98	1399,01	-28,04	61,91
1/abr	2,1	18,3	898,11	543,61	770,08	-16,12	42,60
30/jul	2,1	13,6	1480,93	665,68	1088,74	-28,00	61,28
20/nov	2,1	15,3	1301,79	591,69	949,63	-28,22	59,86
6/jun	2,2	13,8	1461,02	656,99	1071,39	-27,85	58,72
16/set	2,3	10,5	1757,92	791,35	1313,71	-28,44	62,20
2/set	2,4	12,8	1557,81	700,56	1155,14	-27,49	58,44
21/abr	2,5	17,2	1064,41	645,47	916,20	-15,18	41,38
11/jul	2,5	6,0	2093,56	942,15	1592,49	-28,07	59,41
2/mai	2,6	14,6	1377,92	705,07	1010,13	-28,06	38,56
12/ago	2,6	11,4	1683,36	756,87	1249,58	-27,69	59,59
30/set	2,6	14,9	1346,16	700,59	1007,25	-26,84	38,19
12/abr	2,7	14,2	1419,72	730,72	1054,09	-27,70	39,43
10/jul	2,7	7,7	1974,31	887,59	1482,90	-28,68	61,53
7/ago	2,8	12,3	1603,86	771,25	1179,66	-28,38	50,66
10/set	2,8	9,6	1831,65	823,82	1371,38	-28,46	58,72
9/dez	2,9	17,8	977,46	708,54	993,23	-0,57	36,26
9/jul	3,0	7,7	1974,31	887,61	1479,15	-28,86	61,12
18/set	3,0	12,6	1575,30	809,89	1168,69	-27,87	39,61
21/nov	3,1	17,7	992,46	746,80	1060,96	6,19	40,32
14/out	3,2	16,5	1157,78	793,87	1137,24	-4,27	40,40
7/nov	3,7	20,4	425,02	701,70	758,92	75,69	8,12
3/set	4,0	15,1	1323,78	969,90	1393,56	3,22	39,49
6/ago	4,5	12,6	1576,36	1101,97	1576,13	-2,70	39,00
15/out	4,5	18,1	930,75	978,20	1387,54	46,83	38,89
18/dez	4,7	20,5	387,23	821,65	700,02	85,21	-16,35
11/abr	5,4	14,1	1429,95	1239,46	1769,90	21,39	39,47
23/dez	5,7	18,1	930,74	1170,75	1650,26	74,63	38,91

Nota: Símbolos utilizados nas tabelas: V velocidade do vento, T temperatura média do ar, w taxa de ventilação.