

A ventilação e a fumaça ambiental de cigarros – um estudo sobre a qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC

Ventilation and environmental tobacco smoke – a study on the indoor air quality of places subjected to ETS

RESUMO

A fumaça ambiental de cigarros (FAC) é um dos 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 da ventilação 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 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. Simulando ventilação natural, verificou-se que ventos da ordem de mil quilômetros por hora seriam necessários para induzir tais taxas. 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.

UNITERMOS: Fumaça Ambiental de Cigarros, Qualidade do Ar de Ambientes Fechados, Ventilação.

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 ventilation on indoor air quality of places subjected to ETS 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 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. Simulating natural ventilation, it was verified that winds of the order of thousands kilometers per hour would be necessary for induce these flow rates. 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: *Environmental Tobacco Smoke, Indoor Air Quality, Ventilation.*

MARINA FONSECA SEELIG – Mestre em Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.

CLÁUDIA REJANE JACONDINO DE CAMPOS – Doutora em Física da Atmosfera. Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.

JONAS DA COSTA CARVALHO – Doutor em Meteorologia. Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Luterana do Brasil.

Trabalho realizado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas.

✉ Endereço para correspondência:

Marina Fonseca Seelig

Av. Loureiro da Silva 1870 ap. 606
90050-240 – Porto Alegre, RS – Brasil
Fone: (51) 8168-5090

✉ marinaseelig@gmail.com

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 importantíssimos.

A ventilação é o meio essencial de manutenção da qualidade do ar de ambientes fechados. 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.

A fumaça ambiental de cigarros (FAC) é um dos 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

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.* (1), 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.

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 da ventilação na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC.

MATERIAL E MÉTODOS

Para acessar a influência da ventilação 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.

Modelo de escoamento de ar em prédios

Para o estudo do escoamento de ar, escolheu-se o modelo COMIS (*Conjunction of Multizone Infiltration Specialists*, Conjuração de Especialistas em Infiltração Multizonal). Optou-se por um modelo de escala macroscópica do tipo multizonal em função de o estudo não exigir grande detalhamento do escoamento na estrutura. 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. Simulou-se uma estrutura cúbica, representando uma sala, com uma janela com orientação norte em uma das paredes (ventilação natural 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 fecha-

da, e possíveis escoamentos devidos à infiltração foram desprezados. 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 9m² para salas de estar, jantar ou visitas (2), e nas considerações de Awbi (3, 4) 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 9m² (3 por 3m), totalizando um volume de 27m³. 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 de 21°C, valor relacionado a índices de desconforto térmico baixos mesmo para valores altos de umidade relativa, segundo Assis e Camargo (5). Para a caracterização do ambiente externo, 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) foram utilizados. Simulou-se a taxa de ventilação para dias favoráveis ao uso de janelas, conforme um critério baseado na descrição de Dubrul (6) sobre a influência do tempo no comportamento dos ocupantes para com o uso dessas (dias com temperaturas menores que 25°C, velocidade do vento abaixo de 8m/s, nebulosidade de até cinco décimos e sem chuva), verificando, assim, a influência das condições meteorológicas na ventilação natural. Maiores detalhes sobre o modelo e sobre a estruturação da simulação são dados por Seelig (7).

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 (8), por

retornar a concentração média de um espaço de tempo, critério geralmente utilizado nas normas de qualidade do ar. Utilizou-se a versão simplificada da equação, considerando desprezíveis as diferenças entre as concentrações inicial e final, desconsiderando o termo de correção ($z(t)$ é a concentração média [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], n_{ave} é o número médio de cigarros acesos [-], g_{cig} é a taxa de emissão [$\mu\text{g}/\text{min}$], w é a taxa de ventilação [m^3/min], n é o número de cigarros fumados [1/h], tf é o tempo da fumada [min] e t é o tempo [h, min]):

$$\overline{Z(t)} = \frac{n_{\text{ave}} g_{\text{cig}}}{w}$$

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

Simulou-se a concentração devida a médias de um a dez cigarros fumados por hora para as taxas de ventilação simuladas anteriormente, verificando, assim, a influência da ventilação na concentração de poluentes e, logo, a influência da ventilação na qualidade do ar de ambientes fechados sujeitos à FAC. Considerou-se o tempo da fumada dez minutos. A taxa média de emissão do cigarro utilizada foi 1.430 $\mu\text{g}/\text{min}$ (1,43mg/min) (9). Maiores detalhes sobre o modelo e sobre a estruturação da simulação são dados por Seelig (7).

Análise de risco

Segundo Repace (10), uma exposição média a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas suspensas respiráveis (PSR, material particulado igual ou menor a 3,5 μm) 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. Segundo Travis *et al.* (11), quando a população em risco é grande, como no caso da exposição à FAC, o risco aceitável (*de minimis*) é uma morte por milhão. Os riscos considerados na re-

lação de Repace são bem maiores que esse. A concentração de poluentes e, logo, o risco imposto pela exposição são inversamente proporcionais à taxa de ventilação. Segundo ele, para reduzir o risco ao aceitável seria necessário um aumento expressivo nas taxas de ventilação, impraticável por questões de conforto. Procurou-se, então, um modo de reduzir o risco ao aceitável. Fez-se, primeiramente, uma análise de risco para a determinação da concentração média de PSR, que na relação de Repace 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 para o menor risco aceitável para o menor número de cigarros fumados (ou seja, câncer de pulmão, um cigarro fumado por hora).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando as razões de Repace 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 do modelo de concentração de poluentes originados do ato de fumar, as taxas de ventilação necessárias para manter essas concentrações para diferentes números de cigarros fumados foram calculadas (Tabela 1). Os valores são bastante altos, indicando que taxas de ventilação bas-

tante altas são necessárias para manter o risco de exposição à FAC aceitável.

Segundo Dubrul (6), o uso de janelas diminui com o aumento da velocidade do vento, sendo velocidades em torno de $8\text{m}/\text{s}$ as máximas toleradas. Utilizando dados médios de inverno (estação com tendência às maiores taxas de ventilação natural, segundo Seelig (7)), e considerando o vento com essa velocidade máxima e contra a janela (direção norte), fez-se a simulação da taxa de ventilação (Tabela 2, linha 1). A taxa resultante é aproximadamente 79 vezes menor que a menor taxa de ventilação que manteria o risco aceitável para câncer de pulmão para um cigarro fumado por hora. Repetiu-se a simulação 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, ou seja, a menor velocidade que

satisfaria a condição para o menor risco aceitável para o menor número de cigarros fumados. A taxa de ventilação foi alcançada com uma velocidade altíssima: $2.320\text{m}/\text{s}$, $8.352\text{km}/\text{h}$ (Tabela 2, linha 2). 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, $249\text{km}/\text{h}$ (12).

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

Tabela 1 – 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^3/h) | |
|------------------|------------------|--|---------------|
| | | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
| n | n_{ave} | 0,075 | 0,0075 |
| 1 | 0,17 | 190.666,67 | 1.906.666,67 |
| 2 | 0,33 | 381.333,33 | 3.813.333,33 |
| 3 | 0,50 | 572.000,00 | 5.720.000,00 |
| 4 | 0,67 | 762.666,67 | 7.626.666,67 |
| 5 | 0,83 | 953.333,33 | 9.533.333,33 |
| 6 | 1,00 | 1.144.000,00 | 11.440.000,00 |
| 7 | 1,17 | 1.334.666,67 | 13.346.666,67 |
| 8 | 1,33 | 1.525.333,33 | 15.253.333,33 |
| 9 | 1,50 | 1.716.000,00 | 17.160.000,00 |
| 10 | 1,67 | 1.906.666,67 | 19.066.666,67 |

Tabela 2 – Estimativa da velocidade necessária do vento para induzir a taxa de ventilação necessária para manter o risco aceitável para câncer de pulmão para um cigarro fumado

| Velocidade do vento (m/s) | Taxa de ventilação (m^3/h) |
|---|--|
| 8,0 | 2.423,62 |
| 2.320,0 | 190.757,50 |

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 (10), a única solução viável é sua proibição:

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. ((10), p. 5. Tradução dos autores.)

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. ((10), p. 5. Tradução dos autores.)

Os resultados aqui obtidos mostram 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 pré-

dios 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. Conclui-se que, realmente, a única solução viável para o problema do fumo em ambientes fechados é sua proibição.

CONCLUSÃO

Com a discussão dos resultados, concluiu-se 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. 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.

AGRADECIMENTOS

Este artigo é parte da dissertação do primeiro autor (7), trabalho orientado pelos demais autores. Agradecimentos à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.

2. PELOTAS. Lei n. 2565 de 1980. Institui o II Plano Diretor de Pelotas.
3. AWBI, Hazim. Design considerations for naturally ventilated buildings. *Renewable Energy*, v. 5, n. 5-8, p. 1081-1090, Aug. 1994.
4. AWBI, Hazim. Chapter 7—Ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 2, n. 1-2, p. 157-188, June 1998.
5. 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.
6. DUBRUL, Carine. Inhabitant behaviour with respect to ventilation – a summary report of IEA Annex VIII. Coventry: AIVC, 1988. 63 p.
7. 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. 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.
8. OTT, Wayne. Mathematical models for predicting indoor air quality from smoking activity. *Environmental Health Perspectives*, v. 107, n. S2, p. 375-381, May 1999.
9. 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.
10. REPACE, James. Can ventilation control secondhand smoke in the hospitality industry? 2000. 56 p.
11. 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? 2000. 56 p.
12. NATIONAL HURRICANE CENTER. The Saffir-Simpson hurricane scale. 2003.