

# NORMALIZAÇÃO DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE AO AR DE JANELAS VOLTADA AO CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES.

Fúlvio Vittorino, MSc em Engenharia Mecânica;  
Maria Akutsu, MSc em Engenharia Civil  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - Divisão de Engenharia Civil  
Av. Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária - CEP 05508-901 - São Paulo/ SP  
Fone (011) 268 2211 R- 258/553 - Fax (011) 869 6890 E-mail: fulviov@ipt.br; akutsuma@ipt.br

## RESUMO

É apresentada uma análise da adequação da Normalização técnica brasileira relativa aos ensaios de estanqueidade ao ar de janelas como elemento a ser considerado na avaliação do seu desempenho térmico, sob o enfoque do conforto térmico e da racionalização do consumo de energia no condicionamento térmico de ambientes. Comenta-se a possibilidade de utilização dos resultados de ensaios em programas de simulação da resposta térmica de edificações e de fluido-dinâmica. Faz-se uma comparação com Normas Técnicas existentes no exterior, comentando-se pontos discordantes. Finalmente, são apresentados também, os resultados já obtidos em ensaios realizados no IPT, bem como as implementações que serão executadas nas instalações laboratoriais existentes.

## ABSTRACT

This paper presents an analysis of the brazilian national standards related to the air tightness of windows, as an element on the thermal performance evaluation, considering thermal comfort conditions and the rationalization of energy consumption on **heating and air conditioning**. The possibilities of utilization of test results on building and fluid-dynamics simulation programs are commented. Comparisons with Technical Standards of other countries are also made, along with comments about disagreeing points. Finally, the results obtained from tests made at IPT and the implementation that would be made on the actual laboratory equipment are also presented.

## INTRODUÇÃO

A estanqueidade ao ar de elementos de fachada de edificações é uma característica de vital importância para quatro áreas de avaliação de desempenho de edificações: conservação de energia; salubridade; conforto térmico; e durabilidade.

Em edificações condicionadas, o ideal é que as janelas funcionem como uma barreira à entrada de ar externo, que em geral apresentam valores de temperatura e umidade muito diferentes daqueles existentes no interior dos recintos. Neste aspecto, janelas com altas taxas de infiltração podem chegar a ser o fator que mais contribui para o consumo de energia em sistemas de ar condicionado.

Em edificações não condicionadas, é desejável que a estanqueidade ao ar das janelas não seja extremada, tendo em vista garantir a qualidade e a pureza do ar sem a necessidade de se lançar mão de outras aberturas que permitam operar este controle, de forma a manter o ambiente livre de odores, de gases nocivos à saúde, e do acúmulo de umidade que pode propiciar o desenvolvimento de fungos e a proliferação de ácaros.

Para o conforto térmico, a estanqueidade ao ar das janelas tem grande importância no inverno, uma vez que correntes de ar frio que se infiltram pelas janelas, atingindo o ocupante, causam grande desconforto.

## ENFOQUES COM RELAÇÃO À ESTANQUEIDADE AO AR

Tradicionalmente, a estanqueidade ao ar é avaliada sob dois enfoques: o do componente isoladamente e o de fachadas.

Os ensaios do componente consistem, basicamente, em se instalar o elemento sob avaliação na fachada de uma câmara que é mantida a uma pressão e temperatura diferentes daquelas exteriores à câmara e medir a vazão de ar que atravessa este elemento. Nestas condições, consegue-se determinar a performance do componente isoladamente, sem a influência de fatores decorrentes da instalação na obra. Este enfoque é adequado para o desenvolvimento e a certificação do produto.

A verificação da permeabilidade ao ar de fachadas na própria edificação faz parte de auditorias energéticas de edificações em uso, como ocorre nos Estados Unidos, ou no recebimento de obras, como é feito regularmente na França, por força de legislação.

## A NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA

No Brasil, três Normas Técnicas tratam do assunto: NBR 6485 - "Caixilho para edificação - Janela, fachada-cortina e porta externa. Verificação da penetração de ar."; NBR 10821 - "Caixilho para edificação - Janela."; NBR 7202 - "Desempenho de janelas de alumínio em edificações de uso residencial e comercial.". Estas Normas tratam do tema no nível do componente isoladamente e exposto apenas a um diferencial de pressão de 135 Pa, sem considerar a instalação "in loco" ou os efeitos de diferença de temperatura.

Nessa pressão de ensaio, são considerados aprovados os elementos que apresentarem penetração de ar menor que:

- 60 m<sup>3</sup>/h por m<sup>2</sup> de área aberta;
- 12 m<sup>3</sup>/h por metro linear de juntas abertas.

No IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.), o ensaio é realizado em uma câmara pressurizada por ventiladores, utilizando-se manômetros de coluna para a medição da diferença de pressões entre o exterior e o interior da câmara, que é feita antes e após uma placa de orifício utilizada para a medição de vazão.

Segundo estes documentos, não é necessário que sejam feitas medidas da vazão de ar para outras pressões. Esta prática inviabiliza a realização de estudos acerca da deformação dos caixilhos, ou mesmo o desenvolvimento de equações de regressão que permitam caracterizar o comportamento da janela enquanto restrição ao escoamento de ar.

## NORMALIZAÇÃO INTERNACIONAL

Na normalização técnica internacional também são encontrados documentos que apresentam métodos de ensaio para a realização de avaliações de estanqueidade ao ar conforme é feito pelas normas brasileiras, tendo porém pressões de ensaio e exigências diferentes. A Norma ASHRAE 90 (ASHRAE, 1989) exige que a vazão de ar que atravessa os caixilhos de janelas seja de 2,8 m<sup>3</sup>/h por metro linear de juntas abertas quando submetida a uma pressão de ensaio de 75 Pa. Já a Norma ASTM E 1017 apresenta exigências segundo seu grau de desempenho pretendido, para três pressões de ensaio (27 Pa, 75 Pa e 300 Pa), conforme ilustrado na Tabela 4.1.

**TABELA 4.1: Vazões máximas admissíveis de ar (m<sup>3</sup>/h), em janelas apresentadas na Norma ASTM E 1017.**

Pressão/Grau	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
27 Pa	1,39	1,39	1,39	1,12	1,12	1,12	1,12	0,558	0,558	0,558
75 Pa	2,06	2,06	2,06	1,67	1,67	1,67	1,67	0,835	0,835	0,835
300 Pa	4,18	4,18	4,18	3,34	3,34	3,34	3,34	1,67	1,67	1,67

Em ambas as Normas há recomendações para que os testes sejam feitos segundo a Norma ASTM E1283, que é praticamente equivalente à Norma NBR 6485. Os resultados destes métodos são tabelas de vazões de ar como função das pressões, que permitem a criação de curvas do tipo:

$$Q = A \cdot C_d \cdot \Delta P^n \quad (\text{eq. 1}), \quad \text{onde}$$

$Q$  = vazão em m<sup>3</sup>/s;

$A$  = área do elemento em m<sup>2</sup>;

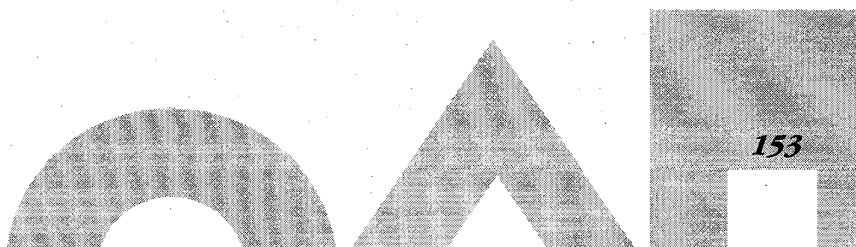
$C_d$  = coeficiente de descarga;

$\Delta P$  = diferença de pressões através do elemento, em Pa;

$n$  = expoente adimensional característico do escoamento.

Outras Normas estão voltadas para a determinação e limitação das taxas de infiltração de todo o ambiente ou até de uma edificação. Normalmente recomenda-se o uso tanto de método baseado no decaimento da concentração de um gás traçador como no método de pressurização de todo o ambiente (ASTM 1983 e ASTM 1987).

Na Suécia (ASHRAE, 1989) limita-se a taxa de infiltração das habitações unifamiliares isoladas a 3 renovações/hora quando submetidas a uma pressão de 50 Pa. Nos Estados Unidos (ASHRAE, 1988) as edificações residenciais são divididos em 10 classes de estanqueidade (de A até J), em função de um parâmetro que é equivalente ao seu número de renovações de ar por hora.



## POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Os diversos níveis de pressão de ensaio deveriam representar condições típicas de exposição das fachadas em seus países. Com base na equação (2), extraídas da Norma NBR 10821, é possível determinar-se que velocidades de vento são representadas pelas diversas pressões. Na Tabela 5.1 são apresentados os valores de velocidade do ar correspondentes às pressões apresentadas nas Normas ASHRAE, ABNT e ASTM.

$$P = \frac{V_c^2}{1,6} \quad (\text{eq. 2}), \quad \text{onde}$$

$P$  = Pressão, em Pa;

$V_c$  = velocidade do vento, em m/s.

**TABELA 5.1: Velocidades de vento correspondentes às pressões de ensaio.**

Norma	Pressão (Pa)	Velocidade de vento (m/s)
NBR 10821	135	14,7
ASHRAE 90	75	10,9
ASTM E 1017	27	6,6
ASTM E 1017	75	10,9
ASTM E 1017	300	21,9

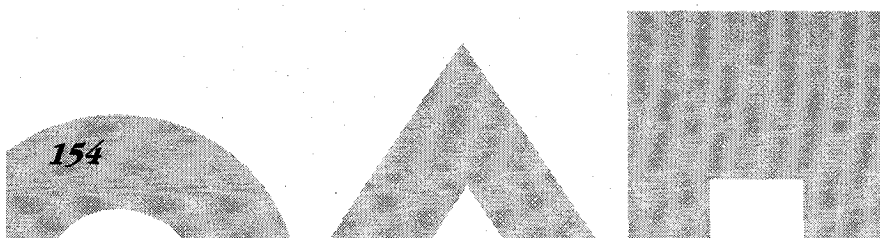
A ASHRAE (ASHRAE, 1989) recomenda que com estes resultados sejam determinadas vazões de ar transformadas para uma base comum de comparação correspondente a uma pressão de ensaio de 4 Pa. Mais especificamente, apresenta tabelas de *áreas equivalentes de infiltração de ar*, correspondentes às vazões de ar que seriam obtidas caso os ensaios tivessem sido realizados à pressão de 4 Pa. A vantagem de se trabalhar com estes dados está na possibilidade de comparação direta do desempenho de duas alternativas de janelas (produtos com menor *área equivalente de infiltração de ar* apresentam maior estanqueidade) quando submetidas a diferenciais de pressão que ocorrem com maior frequência, cotidianamente.

Os métodos de ensaio acima descritos determinam apenas a vazão total de ar que atravessa o elemento sob teste, sem identificar por qual parte está ocorrendo o fluxo de ar. Estes resultados são úteis para se realizar "retrofits" em edifícios e determinar cargas térmicas de condicionamento em balanços energéticos, porém deixam a desejar como elementos de entrada de dados de programas de fluido-dinâmica ou no desenvolvimento direto de produtos, pois não localizam, no componente sob avaliação, o ponto onde se dá a maior parte da infiltração do ar externo.

No uso de programas de fluido-dinâmica, principalmente quando utilizados na análise de ambientes com características especiais, essa limitação torna-se particularmente crítica, pois este seria um dos dados de entrada básicos para a realização de cálculos. Essa limitação pode ser contornada fazendo-se um levantamento do perfil de velocidades na face das janelas durante a realização dos ensaios utilizando-se anemômetros.

## RESULTADOS OBTIDOS COM JANELAS BRASILEIRAS

São ensaiadas normalmente no IPT janelas de diversos fabricantes, para controle da qualidade de sua linha de produção ou para atendimento de exigências específicas, em diversas pressões, não somente na pressão de 135 Pa, indicada pelas Normas brasileiras. Na Figura 6.1 são apresentadas as curvas de pressão x vazão de ar de três janelas de alumínio do tipo de correr, com estanqueidades que podem ser consideradas como "alta", "média" e "baixa". Na Figura 6.2 tem-se estas mesmas curvas comparando o desempenho da janela de alumínio de alta estanqueidade com o de uma janela de PVC. Na Tabela 6.1 tem-se as *áreas equivalentes de infiltração de ar* para estas 4 janelas.



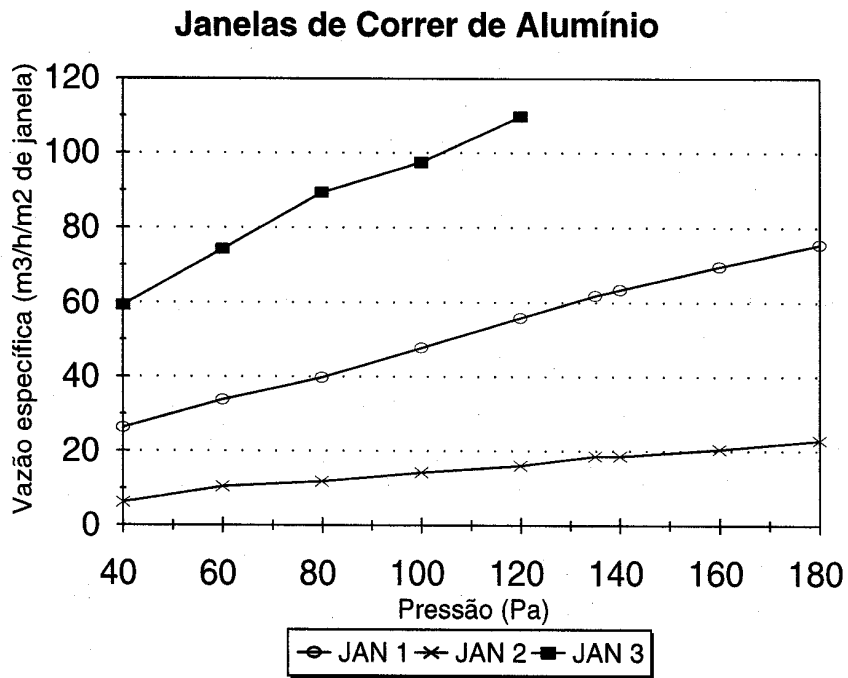


FIGURA 6.1: Curvas de pressão x vazão de ar de três janelas de alumínio do tipo de correr.

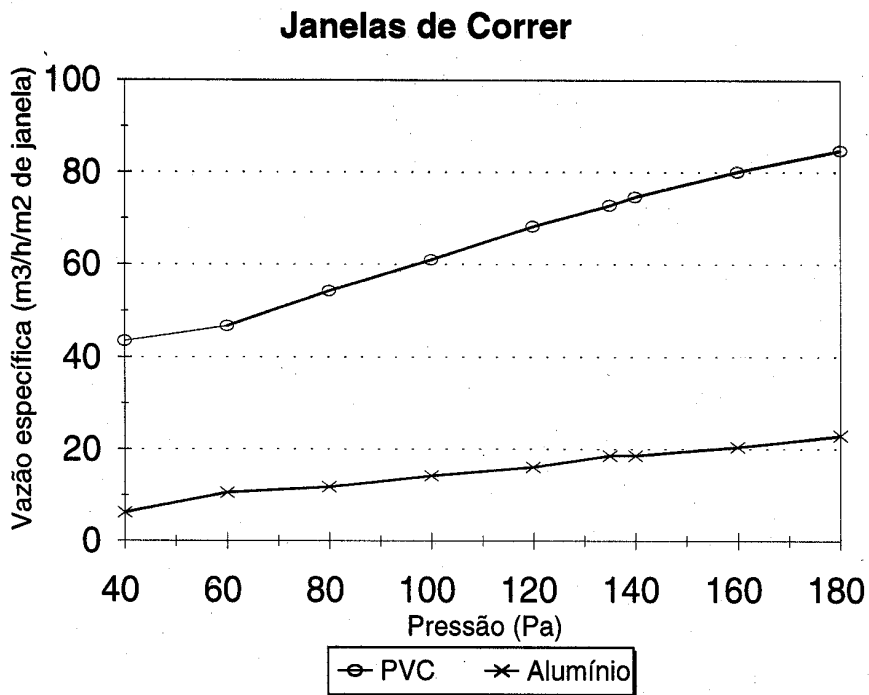


FIGURA 6.2: Curvas de pressão x vazão de ar para uma janela de alumínio e outra de PVC, ambas do tipo de correr.

TABELA 6.1: Áreas equivalentes de infiltração (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) das quatro janelas para uma pressão de 4 Pa.

Janela	Alumínio			PVC
	JAN1	JAN2	JAN3	
Pressão				
40	6,35	1,50	14,27	10,49
60	6,27	1,96	13,75	8,65
80	6,11	1,81	13,72	8,33
100	6,35	1,90	12,94	8,09
120	6,60	1,91	12,94	8,04
135	6,76	2,04	----	7,96
140	6,77	1,99	----	7,96
160	6,81	2,01	----	7,84
180	6,85	2,08	----	7,68
Média	6,54	1,91	7,51	8,34
Variacão	12,1%	39,2%	10,2%	36,6%

De maneira geral pode-se concluir que a estanqueidade ao ar das janelas hoje disponíveis no mercado brasileiro é muito variável, com algumas não atendendo ao requisito apresentado nas Normas NBR, que, por sua vez, são pouco exigentes quando comparada com os requisitos nas normas norte-americanas. Além disto, o desempenho das janelas não é função do material dos caixilhos e sim de cuidados na sua execução e projeto.

Outro aspecto que deve ser ressaltado é a deformação que pode sofrer o caixilho quando ensaiado nas pressões mais elevadas. Este fato pode ser identificado pela variação nas áreas equivalentes de infiltração determinadas nas diversas pressões de ensaio. Na Tabela 6.1 constata-se um aumento significativo deste parâmetro para a JAN2 com o aumento da pressão, indicando que a deformação resultou em um aumento das frestas. Para a janela de PVC, tem-se o fenômeno contrário, mostrando que o aumento de pressão resultou em uma diminuição das frestas.

## COMENTÁRIOS FINAIS

Os resultados obtidos com os ensaios em componentes isoladamente devem ser interpretados com cuidado, pois estes ensaios apresentam baixa repetitividade, chegando a se obter variabilidade de até 25% entre duas repetições, realizadas pelo mesmo operador na mesma instalação, (COLLIVER, 1997) não se tendo ainda uma explicação clara para esta variabilidade. Estes resultados podem ser decorrentes da hipótese de que não há deformações permanentes no produto sob avaliação, o que pode não ser verdadeiro, principalmente nos casos de pressões mais elevadas e de componentes de menor resistência mecânica.

Outro aspecto relevante é a forma de instalação dos componentes na câmara de ensaio. Resultados obtidos em condição de sobrepessão são, em geral, diferentes daqueles conseguidos em condição de sucção. Esta diferença se deve ao caráter assimétrico do turbilhonamento do fluxo de ar nas frestas.

De maneira geral, pode-se dizer que as especificações dos ensaios de estanqueidade ao ar devem ser aprimorados para que seus resultados possam ser utilizados mais diretamente em análises de conforto térmico e de desempenho energético de edificações. Nos laboratórios do IPT, conta-se atualmente com uma câmara de ensaios construída segundo as especificações da Norma NBR 6485. A médio prazo, estaremos instalando ventiladores e medidores de pressão nas câmaras utilizadas para medição de resistência térmica de janelas (uma câmara aquecida por resistências elétricas e outra resfriada por chiller a ar) para que a medição de estanqueidade ao ar possa ser feita nelas, passando assim a ser possível combinar-se os efeitos de diferença de pressão e de temperatura sobre um corpo de prova. Nesta situação estarão sendo usados anemômetros de fio quente para se proceder ao mapeamento da velocidade do ar nas janelas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE & AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Air leakage for detached single-family residential buildings. Atlanta, ASHRAE, 1988 (ANSI/ASHRAE 119)
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE & AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Energy conservation in new building design. Atlanta, ASHRAE, 1980 (ANSI/ASHRAE/IES 90).
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of fundamentals. New York, ASHRAE, 1989.
- American SOCIETY for TESTING and MATERIALS, Standard test method for rate of air leakage through exterior windows, curtain walls and doors. Filadélfia, ASTM, 1984. (ASTM E 283).
- American SOCIETY for TESTING and MATERIALS, Standard test method for determining air leakage rate by tracer dilution. Filadélfia, ASTM, 1983. (ASTM E 741).
- American SOCIETY for TESTING and MATERIALS, Standard specification for generic performance requirements for exterior residential window assemblies. Filadélfia, ASTM, 1988 (Reapproved 1994). (ASTM E 1017).
- American SOCIETY for TESTING and MATERIALS, Standard test method for determining air leakage rate by fan pressurization. Filadélfia, ASTM, 1987. (ASTM E 779).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Caixilho para edificação - Janela. Rio de Janeiro, ABNT, 1989. (ABNT NBR-10821).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho de janelas de alumínio em edificações de uso residencial e comercial. Rio de Janeiro, ABNT, 1982. (ABNT NBR-7202).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Caixilho para edificações - Janela, fachada-cortina e porta externa. Verificação da penetração de ar. Rio de Janeiro, ABNT, 1989. (ABNT NBR-6485).
- COLLIVER, D. G., MURPHY, W. E., SUN, W; Development of a building component air leakage data base. ASHRAE report. (RP 438), Atlanta, 1997.