



M 2016

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO IN-SITU DA CONTRIBUIÇÃO DAS JANELAS PARA A ESTANQUIDADE AO AR DOS EDIFÍCIOS

JOÃO FRANCISCO DELGADO DE FIGUEIREDO SANTOS
DISSERTAÇÃO DE Mestrado APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
Mestrado INTEGRADO ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO IN-SITU DA CONTRIBUIÇÃO DAS JANELAS PARA A ESTANQUIDADE AO AR DOS EDIFÍCIOS

JOÃO FRANCISCO DELGADO DE FIGUEIREDO SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira
de Almeida

JULHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família

AGRADECIMENTOS

Chegando ao final do trabalho desenvolvido neste este último semestre, pretendo agradecer todo o apoio, dedicação e orientação que me foram transmitidos, sem os quais este trabalho teria enfrentado muito mais adversidades.

Ao Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos, orientador desta tese, por todos os conhecimentos, incentivo e dedicação presentes ao longo deste período.

Ao professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, coorientador desta tese, pela disponibilidade, conhecimentos transmitidos e conselhos partilhados durante estes meses.

Ao Engenheiro Fernando Pedro Pereira, pela disponibilidade prestada durante a campanha de ensaios, a qual foi imprescindível na execução deste trabalho.

Ao Laboratório de Física das Construções pela disponibilização dos materiais necessários à realização dos ensaios com porta ventiladora.

À Gaiurb pela disponibilização dos empreendimentos onde foram realizados os ensaios, sem os quais não seria possível a concretização deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio e presença constante e pela coragem que me deram para que conseguisse levar a cabo todos os esforços necessários à conclusão desta dissertação e do curso em geral.

Aos meus amigos e colegas que caminharam comigo ao longo desta etapa de cinco anos que agora termina.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

A estanquidade ao ar define-se como a resistência de um edifício às trocas de ar indesejadas. A evolução da tecnologia a todos os níveis da construção tem contribuído para o aumento, ainda que gradual, da estanquidade ao ar dos edifícios, o que na maioria dos casos conduz não só a uma melhoria do conforto interior, mas também a um aumento da eficiência energética. Em todo o caso, é necessário obter um valor da estanquidade ao ar equilibrado pois valores muito altos ou muito baixos poderão acarretar problemas de humidade.

Esta característica inerente ao edifício depende dos diversos elementos construtivos não sendo estes, no entanto, igualmente preponderante para o valor da estanquidade, sendo que as janelas representam em média 10% das infiltrações de ar num edifício.

Foram abordados diferentes métodos de reabilitação/construção de janelas para perceber de que forma o efeito destas pode ser minimizado. Destaca-se um estudo em que foram comparadas habitações com janelas originais e com janelas renovadas onde se conclui que as diferenças em termos do valor do N_{50} e consequentemente da eficiência energética para os dois grupos são significativas e representam uma poupança considerável.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o impacto das janelas no valor final da estanquidade. Para esse efeito foram realizados 14 ensaios em diversas habitações. Estes ensaios foram baseados nas normas EN 13829 e ISO 9972 mas tiveram de ser adaptados para o fim pretendido, de forma a focarem-se apenas nas janelas (CEN, 2000b; ISO, 2015).

Através dos resultados obtidos foi realizada uma classificação das janelas analisadas quanto à estanquidade ao ar com base num diagrama presente na Norma Europeia 12207. Assim, concluiu-se que as classes da maioria dos casos eram muito reduzidas, o que denotou baixa estanquidade das janelas ensaiadas (CEN, 2000a).

No tratamento dos resultados foram elaborados diversos gráficos a fim de comparar variadas características diferenciadoras ente janelas, tais como material da janela, modo de abertura, existência ou não de caixa de estore, tipo de vidro utilizado na janela, área da janela e comprimento de junta de abertura.

Sobre o tema abordado regista-se um reduzido número de estudos realizados em Portugal com especial enfoque nas janelas, pelo que com este trabalho é expectável um contributo nesta área.

PALAVRAS-CHAVE: Estanquidade, Janelas, Porta Ventiladora, Ventilação, N_{50} .

ABSTRACT

Air tightness is defined as the building resistance to the unwanted air flux. The evolution in technology applied to constructions has led to an increasingly, yet incremental, air tightness of the buildings, which usually brings to higher comfort as well as an increasing energy efficiency. Anyway, it is important to obtain a balanced air tightness value since extreme values, either high or low, might lead to humidity issues.

This characteristic depends on several building elements but not with the same effect for each one of them. Hence, windows count for about 10% of a building air flux.

Several rehabilitation/ construction window's methods have been tackled so as to understand how to minimize the effect of the windows on the air tightness. One of these studies compares houses with original windows with renovated windows and concludes that there are substantial differences when it comes to the N_{50} value and to energy efficiency.

This work aims to assess the impact of the windows on the air tightness value. Therefore, 14 experiments in several houses have been conducted. These experiments were based on the EN 13829 and ISO 9972 standards but were adapted in order to focus specifically on the windows (CEN, 2000b; ISO, 2015).

Based on the results obtained, it was performed a classification of the observed windows in terms of their air tightness according to a diagram presented in the European Standard 12207. The resulting classes are mainly between 1 and 2, meaning that those windows have a low air tightness performance (CEN, 2000a).

While processing the results, several charts have been made in order to compare the different characteristics of the windows such as window's material, opening method, existence or not of roller blind box, type of glass used, window's area and length of the opening joints.

There are few studies on this topic in Portugal, specially focusing on windows. As such, it is expected that this work gives a valuable contribution to this area of expertise.

KEYWORDS: Air tightness, Windows, Blower door, Ventilation, N_{50} .

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DO TEXTO	2
2. Estado de Arte	5
2.1. ESTANQUIDADE AO AR	5
2.1.1. CONCEITOS	5
2.1.2. IMPORTÂNCIA DA ESTANQUIDADE/PERMEABILIDADE	6
2.1.3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS QUE INFLUENCIAM A ESTANQUIDADE	7
2.1.4. NÍVEIS DE ESTANQUIDADE VS SISTEMA DE VENTILAÇÃO	9
2.2. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS – JANELAS	12
2.2.1. INFLUENCIA DAS JANELAS NA ESTANQUIDADE	12
2.2.2. REABILITAÇÃO/SUBSTITUIÇÃO DE JANELAS	16
2.2.3. NORMA DE CLASSIFICAÇÃO DE JANELAS	18
2.3. ENSAIO COM PORTA VENTILADORA	19
2.3.1. NORMALIZAÇÃO	19
2.3.2. MÉTODO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO	21
2.4. AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE JANELAS IN-SITU	22
2.4.1. METODOLOGIA DE ENSAIO UTILIZADA E INCERTEZA DO RESULTADO OBTIDO	22
2.4.2. RELAÇÃO ENTRE ESTANQUIDADE E JANELA	23
2.4.3. CASAS NOVAS VS CASAS ANTIGAS	24
3. Metodologia	25
3.1. ENQUADRAMENTO	25
3.2. CASOS DE ESTUDO	26
3.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO	29

3.4. TRATAMENTO DE RESULTADOS	33
4. Avaliação da Estanquidade	37
4.1. RESULTADOS DO ENSAIO	37
4.2. CLASSIFICAÇÃO DAS JANELAS	43
4.3. EFEITO DA CAIXA DE ESTORE	48
4.4. DISCUSSÃO	49
5. Conclusões	57
5.1. CONCLUSÕES GERAIS	57
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	59
Referências Bibliográficas	61
Anexo	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Relação entre estanquidade e perdas de energia (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).	7
Fig. 2 - Principais Locais de fluxo de ar descontrolado (Jaggs e Scivyer, 2009).	8
Fig. 3 - Pormenor das infiltrações (Jaggs e Scivyer, 2009).	9
Fig. 4 - Ventilação Mecânica (energysavingtrust, 2010).	10
Fig. 5 - Ventilação mecânica com aproveitamento de calor (energysavingtrust, 2010).	10
Fig. 6 - Ventilação Natural (energysavingtrust, 2010).	10
Fig. 7 - Sistema de ventilação (Concannon, 2002).	11
Fig. 8 – Fontes de fuga de ar (Gromicko, 2012).	13
Fig. 9 - Gráfico de comparação entre janelas existentes e janelas trocadas em função das trocas de ar (Ridley et al., 2003).	15
Fig. 10 - Rolo de fita pré-comprimida (Carrié, Jobert e Leprince, 2012).	16
Fig. 11 - Classes de classificação de janelas quanto à permeabilidade ao ar (CEN, 2000a).	19
Fig. 12 – Constituintes da Porta Ventiladora (Retrotec, 2016).	20
Fig. 13 - Habitação social	25
Fig. 14 - Visão geral do tipo de janela.	27
Fig. 15 - Modo de abertura.	27
Fig. 16 - Janela com caixa de estore visível.	27
Fig. 17 - Janela com caixa de estore dissimulada.	27
Fig. 18 - Parte fixa da janela.	28
Fig. 19 - Sistema de abertura.	28
Fig. 20 - Visão geral da janela.	28
Fig. 21 - Pormenor interior da janela.	28
Fig. 22 - Janela com caixa de estore visível.	29
Fig. 23 - Abertura entre duas partes.	29
Fig. 24 - Janela sem selagem.	29
Fig. 25 - Janela selada.	30
Fig. 26 - Tudo selado.	30
Fig. 27 - Janela de guilhotina muito degradada.	30
Fig. 28 - Selagem da janela.	32
Fig. 29 - Porta ventiladora montada.	32
Fig. 30 - Porta com o ventilador.	32
Fig. 31 - Janela com sistema de segurança.	33

Fig. 32 - Tabela de resultados.....	33
Fig. 33 - Pontos do ensaio.....	34
Fig. 34 - Tabela com valor a usar na equação.....	34
Fig. 35 - Erro associado às diferentes pressões.....	35
Fig. 36 - Erro associado ao V_{50} do ensaio.....	35
Fig. 37 - Resultados do V_{50} de pressurização.....	40
Fig. 38 - Curvas de permeabilidade das janelas testadas nos ensaios #1 a #6.....	41
Fig. 39 - Curvas de permeabilidade das janelas testadas do ensaio #7,#8,#9,#10,#11 e #14.....	42
Fig. 40 - Símbolos utilizados para cada ensaio.....	43
Fig. 41 - Diagrama de classificação de janelas relativo ao caudal por área da janela.....	44
Fig. 42 - Diagrama de classificação de janelas relativo ao caudal por comprimento de junta de abertura.....	45
Fig. 43 - Proporcionalidade entre os dois indicadores.....	47
Fig. 44 - Proporcionalidade entre os dois indicadores.....	47
Fig. 45 - Efeito da caixa de estore para 50 e 100 Pa.....	48
Fig. 46 - À esquerda a grelha selada e à direita a grelha sem ser selada.....	49
Fig. 47 - Comparação entre janelas de diferentes materiais.....	50
Fig. 48 - Comparação entre janelas com diferentes modos de abertura.....	50
Fig. 49 - Comparação entre janelas com e sem caixa de estore.....	51
Fig. 50 - Comparação entre janelas de vidro duplo e simples.....	51
Fig. 51 - Comparação entre janelas com áreas diferentes.....	52
Fig. 52 - Comparação entre janelas com comprimento de junta diferente.....	52
Fig. 53 - Comparação entre janelas de caudais e áreas diferentes com separação por material e tipo de abertura.....	53
Fig. 54 - Comparação entre janelas de caudais e comprimento de junta de abertura diferentes com separação por material e tipo de abertura.....	54
Fig. 55 - Fator de comprimento do caixilho vs. N_{50}	54
Fig. 56 - Fator de comprimento do caixilho vs. N_{50}	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das zonas de infiltração de ar (Jaggs e Scivyer, 2009).....	8
Tabela 2 - Ventilação de acordo com a estanquidade (Sherman, 1995).	11
Tabela 3 - Resultados do ensaio (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).....	14
Tabela 4 - Diferença de Resultados (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).....	14
Tabela 5 - Perdas de energia em unidades com janelas renovadas e não renovadas (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).	15
Tabela 6 - Resultados dos ensaios com diferentes técnicas de selagem (Relander, Thue e Gustavsen, 2008).	17
Tabela 7 - Normas de Classificação e Método de Ensaio (Kömmerling, 2007).	18
Tabela 8 - Condições necessárias para a realização do ensaio (Gugliemino, 2014; ISO, 2015).	20
Tabela 9 – Condições necessárias para cada método (ISO, 2015).	22
Tabela 10 - Métodos Propostos (Fernández-Agüera, Sendra e Domínguez, 2011).	23
Tabela 11 - Características dos empreendimentos testados.....	26
Tabela 12 - Ensaio realizados nos diferentes empreendimentos.	31
Tabela 13 - Resultados do caudal nos diferentes empreendimentos.....	37
Tabela 14 - Observações aos ensaios.....	38
Tabela 15 - Incerteza associada aos diferentes ensaios e pressões.	39
Tabela 16 - Classificação das janelas segundo a norma.	46
Tabela 17 - Efeito da caixa de estore por metro linear.	48

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Δp - diferencial de pressão [Pa]

C_{env} - coeficiente de escoamento de ar [$m^3/(h.Pa^n)$]

Rph_{50} - renovações por hora a 50 Pa [h^{-1}]

n - expoente de escoamento [-]

N_{50} - estanquidade ao ar a 50 Pa [h^{-1}]

q_{env} - caudal escoado através da envolvente [m^3/h]

V_{50} - caudal de ar a 50 Pa [m^3/h]

V_{100} - caudal de ar a 100 Pa [m^3/h]

ADENE - Agência para a Energia

AIVC - Air Infiltration and Ventilation Center

ASTM - American Society for Testing and Materials

CO₂ - dióxido de carbono

EN - European Standard

Fig. - Figura

IPQ - Instituto Português da Qualidade

ISO - International Organization for Standardization

JS - janela selada

NL - fluxo normal

NP - Noema Portuguesa

NS - nada selado

PVC - policloreto de vinila

R^2 - coeficiente de determinação

Séc. - século

TS - tudo selado

1

INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

O tema estanquidade dos edifícios tem vindo a ganhar relevância e interesse no mundo da construção pois existem problemas relacionados com a eficiência energética e, conseqüentemente, com as emissões de CO₂ e, ainda, questões relacionadas com o conforto interior das habitações que devem ser estudadas de uma forma mais aprofundada.

A infiltração de ar é o fluxo descontrolado de ar que entra ou sai através de fendas ou orifícios na envolvente do edifício provocada por diferenças de pressões entre o interior e o exterior. De notar ainda que, embora o ar possa percorrer os mesmos caminhos, caso seja em sentidos opostos, o efeito resultante será muito diferente. A estanquidade ao ar é a capacidade de um edifício resistir à infiltração de ar.

A taxa de infiltração de ar de um edifício é então definida como sendo o volume de ar que passa através da envolvente da casa por unidade de tempo. Assim, quanto menor for este valor, melhor será a estanquidade do edifício, mas é necessário ter em atenção a qualidade do ar interior para renovações horárias muito baixas o que poderá implicar um sistema de ventilação mecânica (Fennell e Haehnel, 2005).

Contudo, é necessário clarificar os conceitos de estanquidade ao ar e infiltração de ar pois o primeiro é uma característica inerente ao edifício e não muda em diferentes condições; já o segundo está dependente de alguns fatores tais como (Machado, 2013):

- Direção do vento;
- Orientação do edifício;
- Tipo de ventilação;
- Diferença de Temperaturas interior e exterior;
- Comportamento dos ocupantes.

Com o passar do tempo, os avanços tecnológicos permitiram uma melhoria dos materiais utilizados, bem como dos componentes das habitações, tais como portas e janelas, que aumentaram bastante a estanquidade dos edifícios. Esta evolução foi também acompanhada pela mudança de vida das pessoas que passaram apenas a estar em casa durante a noite. Deste modo, a ventilação deixou de se verificar, surgindo problemas relacionados com a qualidade do ar interior, humidade e quantidade de oxigénio. Assim, tornou-se necessário quantificar a estanquidade de um edifício para que se conseguisse chegar a um equilíbrio entre estanquidade e permeabilidade.

Neste sentido, ao longo dos anos foram desenvolvidos métodos de quantificação desta infiltração. O método mais utilizado denomina-se porta ventiladora, e como o nome indica, utiliza uma porta onde é inserido um ventilador que irá insuflar ou extrair ar do interior do local. Na base do ensaio estão as diferenças de pressão causadas pelo ventilador que permitirão assim analisar a estanquidade do edifício.

1.2. Objetivos

Devido ao desconhecimento existente em Portugal relativamente à contribuição das janelas na estanquidade dos edifícios, bem como às soluções para esse problema, surgiu uma necessidade de aprofundar os conhecimentos nesta área.

Deste modo, os objetivos principais aos quais se pretende dar resposta são os seguintes:

- Conhecer a legislação existente a nível nacional e internacional relativa a ensaios com a porta ventiladora;
- Obter valores e métodos de classificação de janela a nível nacional e internacional;
- Aplicar o método experimental, com principal atenção na janela, a 14 habitações;
- Avaliar a importância da janela na estanquidade;
- Classificar as janelas de acordo com a Norma Europeia 12207 (2000a);
- Recolher e interpretar os resultados obtidos.

1.3. Estrutura do texto

A presente dissertação encontra-se dividida em quatro partes:

- O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura referente à estanquidade ao ar e sua importância, bem como os fatores que maior influência têm dentro de uma habitação. Apresenta-se ainda a relação existente entre a estanquidade e o sistema de ventilação. Em relação às janelas, é descrita a sua importância para o valor da estanquidade bem como o impacto resultante da reabilitação ou até substituição das mesmas. É ainda feita referência à norma europeia de classificação das janelas. Ainda neste capítulo, é abordada a legislação existente a nível nacional e internacional relativa ao ensaio com a porta ventiladora. Por último, são abordados alguns ensaios já realizados de avaliação da permeabilidade em laboratório;
- No capítulo 3 é feita uma descrição dos casos de estudo, com especial atenção nas janelas, em que são apresentadas as principais características tais como o tipo de janela, a existência ou não de caixa de estore, o tipo de vidro e o material do caixilho. Posteriormente é exposto o método utilizado nos ensaios bem como os tipos de ensaios realizados por local e ainda como foi feito o tratamento dos dados obtidos;
- O capítulo 4 tem por objetivo apresentar os resultados obtidos nos ensaios realizados nas 14 habitações. É apresentada uma comparação entre janelas através da curva característica de permeabilidade e, posteriormente, a classificação das mesmas com base na Norma Europeia 12207 (2000a). Em modo de discussão, as janelas são agrupadas por características tais como os materiais do caixilho, o

modo de abertura, a existência de caixa de estore, o tipo de vidro, a área da janela e o comprimento da junta de abertura;

- No capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões provenientes dos ensaios realizados.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. Estanquidade ao ar

2.1.1. Conceitos

A estanquidade dos edifícios é definida como a capacidade de um edifício resistir à infiltração de ar. Neste sentido, a infiltração de ar é definida como o volume de ar indesejado que entra ou sai no edifício, devido a diferenças de pressão, através de juntas, janelas, fissuras e portas. Assim, estas duas grandezas são inversamente proporcionais uma vez que, quando a estanquidade aumenta, a infiltração de ar diminui e vice-versa (Fennell e Haehnel, 2005).

O valor da estanquidade resulta do quociente entre o volume de ar em m^3/h que entra ou sai do edifício e o volume do edifício em m^3 . Para o resultado obtido existem diversas nomenclaturas tais como N_{50} , n_{50} , ach_{50} , Rph_{50} e ACH_{50} . O valor 50 representa o valor da diferença de pressão entre o interior e exterior induzida no ensaio. A unidade apresentada é h^{-1} que é igual a ach que é uma sigla em inglês para trocas de ar por hora. Na presente dissertação o símbolo utilizado será o N_{50} e as unidades serão apresentadas h^{-1} (ASTM, 1996).

A taxa de infiltração de ar de um edifício caracteriza-se pelo volume de ar em m^3/h que entra ou sai através da envolvente do edifício por área de referência da envolvente em m^2 ou por comprimento de junta de abertura em m. Esta taxa tem interesse quando se pretende comparar edifícios que não são semelhantes (ASTM, 2002).

Um dos problemas a ter em atenção prende-se com a qualidade do ar interior uma vez que aumentar em demasia a estanquidade causa uma menor renovação do ar, fazendo com que este fique viciado. Atualmente a legislação Portuguesa determina que, por hora, é necessário existir uma renovação de ar igual a 40% do volume da habitação. Esta medida tem como objetivo purificar o ar e, simultaneamente, prevenir problemas de humidade interior (ADENE, 2016).

Em termos construtivos, torna-se necessário distinguir o isolamento térmico da estanquidade. Para que um edifício seja estanque é necessário que o material escolhido seja contínuo, abrangendo o pavimento, teto e paredes, tentando eliminar ao máximo o contacto com o exterior. Já no caso do isolamento térmico, a principal característica é isolar o interior do exterior através de materiais de baixa condutibilidade. Embora ambos os materiais sejam colocados na envolvente nenhum pode ser substituído pelo outro pois desempenham funções distintas (Machado, 2013).

Ao longo dos anos surgiu a necessidade de quantificar a estanquidade e todos os valores que lhe estão associados o que levou à criação do ensaio da porta ventiladora. Este ensaio pode ser realizado em qualquer tipo de abertura desde que satisfaça as dimensões mínimas da porta. Este ensaio foi pela

primeira vez utilizado na Suécia em 1977, montado numa janela. Porta ventiladora é o nome dado a um dispositivo móvel que tem a capacidade de pressurizar ou despressurizar um edifício através de um ventilador de velocidade controlada e, ainda, medir o fluxo de ar que entra ou sai, bem como as pressões associadas. Este nome resulta da utilização do ventilador como dispositivo de movimento do ar (Sherman, 1995).

Este ensaio poderá ser utilizado para diversos fins tais como eficiência energética, qualidade do ar, passando pelo conforto e até segurança. Nesta dissertação o objetivo será de quantificar a estanquidade ao ar de um edifício e, para isso, será obtido o N_{50} que fornece o número de renovações horárias de um edifício ou compartimento tendo em conta o seu volume a uma diferença de pressão de 50 Pa.

2.1.2. Importância da estanquidade/permeabilidade

Quando se pretende construir um edifício, as questões associadas à estanquidade têm um importante papel a desempenhar. Caso não lhes seja dada a devida atenção, poderão surgir problemas a longo prazo, nomeadamente relacionados com qualidade do ar interior, eficiência energética, humidade e acima de tudo satisfação do utilizador.

Embora este aspeto tenha vindo a ganhar relevância e seja já executado em obra, muitas vezes é executado de forma errada. Assim, um dos aspetos a melhorar nas práticas de construção é a formação dos executantes.

Os problemas relacionados com a humidade podem surgir de duas formas: quando a estanquidade do edifício é muito elevada e não existe nenhum sistema de ventilação; ou quando a estanquidade é muito baixa. No primeiro caso, o ar interior vai aumentando lentamente a sua humidade devido à respiração humana, cozinha, casa de banho, chegando a um ponto em que o ar se encontra saturado, ou seja, sem capacidade de absorver mais vapor de água, condensando. No segundo caso, como existe uma ventilação exagerada, haverá um arrefecimento do interior provocando também a ocorrência de condensação. Em ambos os casos, os primeiros locais em que aparece a humidade são as paredes uma vez que a sua temperatura é menor do que a do ambiente interior.

Relativamente à eficiência energética, o “Departamento de Energia dos Estados Unidos concluiu que 40% da energia consumida para aquecer é devido às trocas de ar existentes com o exterior do edifício” o que deverá ser uma realidade para grande parte dos edifícios existentes. Ainda neste campo, é necessário clarificar que o isolamento tem uma grande influência em manter a temperatura interior mas já na estanquidade o seu papel é quase nulo. Para que este problema seja evitado é sugerido pelo autor que a estanquidade seja inferior a $1,3 \text{ L/m}^2$ a uma diferença de pressão de 50 Pa (Fennell e Haehnel, 2005).

Um estudo realizado em Itália, estudou 20 edifícios com data de construção entre 1810 e 2010 e com características semelhantes com os caixilhos das janelas de ferro alumínio ou madeira. O ensaio foi realizado utilizando o método da porta ventiladora, utilizando a norma ISO 9972. Os resultados obtidos para o N_{50} foram entre 3.2 e 23.3 h^{-1} com uma média de 7.3 h^{-1} . Para além destes valores, chegou-se à conclusão que a energia que é desperdiçada devido a excesso de ventilação pode chegar aos 32.4 kWh/m^2 o que, para uma casa de 100 m^2 e com um preço de 0.16€ por kWh, representa um custo anual de 518€ (Alfano et al., 2012).

Um outro estudo realizado em Itália estudou o potencial de melhoria de habitações. Para isso foi realizado o ensaio da porta ventiladora em seis apartamentos. O tipo de construção dos apartamentos é betão armado com paredes de tijolo. De referir que estes apartamentos ainda não tinham sido habitados quando foram realizados os ensaios. Durante esses ensaios apenas foi selado o sistema de

exaustão da cozinha. O N_{50} médio obtido variou entre os 3.2 h^{-1} , para as condições originais do apartamento, e 1.4 h^{-1} , para as condições onde todos os elementos em contacto com o exterior foram selados. Conclui-se que em unidades habitacionais renovadas o valor das perdas de energia resultantes de infiltrações poderão ser reduzidas até 3 vezes, o que se trata de um valor elevado e com grande impacto nos consumos energéticos (Villi et al., 2013).

Ainda relativamente à energia, como se pode ver na Fig. 1, à medida que o N_{50} aumenta as perdas de energia aumentam, resultantes da falta de estanquidade do edifício, o que leva a uma exagerada troca de ar com o exterior. Ainda assim, para valores baixos do N_{50} , existe uma grande perda de energia. Se considerarmos o valor 2 h^{-1} e 11.6 kWh/m^2 ao fim de um ano para uma habitação de 100 m^2 e um preço médio da energia de 0.16€ , atinge-se a um valor anual de 185€ . Para este valor, se pensarmos que raramente é alcançado, esta poupança poderá ser muito superior.

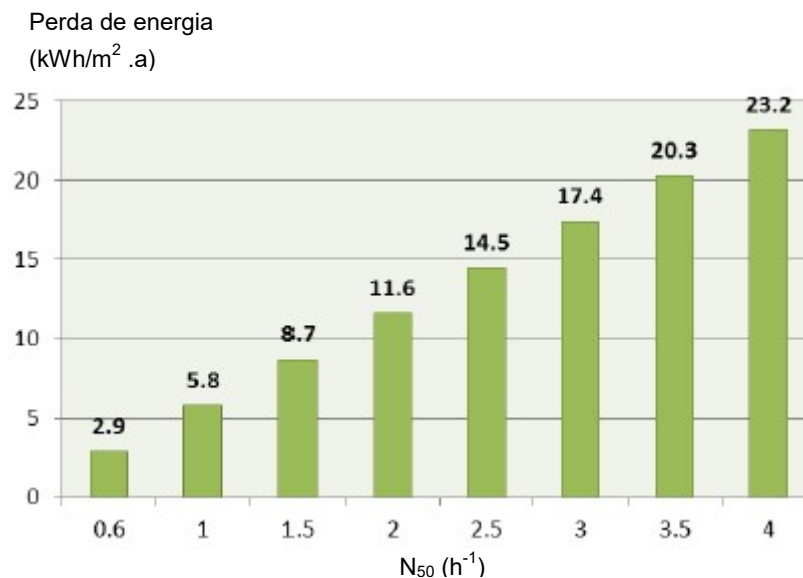


Fig. 1 - Relação entre estanquidade e perdas de energia (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).

2.1.3. Elementos construtivos que influenciam a estanquidade

A estanquidade está dependente de uma série de fatores referentes a um edifício que poderão influenciar positivamente ou negativamente este valor. Esses fatores incluem a localização, o método de construção utilizado, os materiais utilizados no isolamento térmico, o tipo de estrutura do edifício, a área de pavimentos do edifício, o número de pisos e a idade (Pan, 2010).

Como se pode ver na Fig. 2, numa habitação existem várias situações que podem afetar a estanquidade de um edifício. Estas situações encontram-se descritas na Tabela 1.

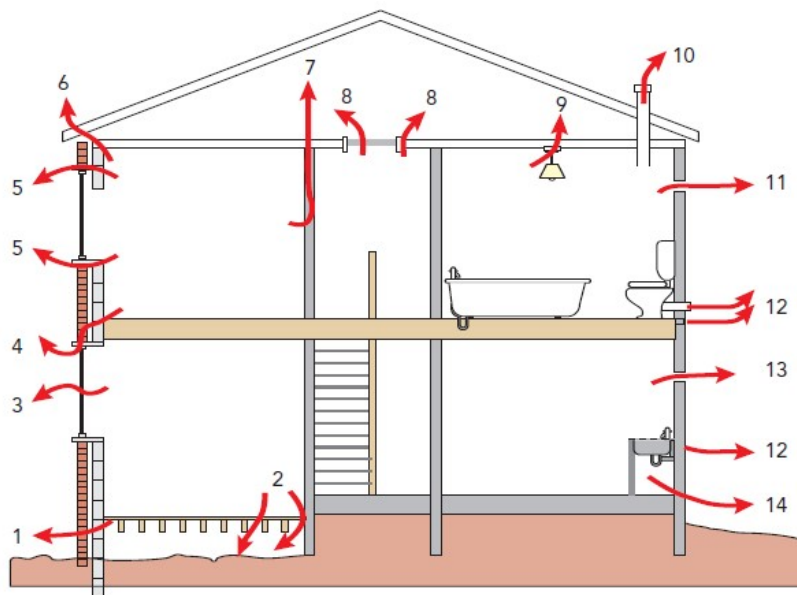


Fig. 2 - Principais Locais de fluxo de ar descontrolado (Jaggs e Scivyer, 2009).

Tabela 1 - Descrição das zonas de infiltração de ar (Jaggs e Scivyer, 2009)

1	Juntas entre pisos suspensos e paredes delimitadoras.
2	Grandes aberturas relativamente ao diâmetro dos cabos dos serviços e espaços entre blocos do piso.
3	Portas e janelas pouco estanques no seu funcionamento.
4	Ligação entre viga e parede.
5	Juntas de portas e janelas com a parede.
6	Ligação entre o teto e o forro to telhado.
7	Infiltrações nas paredes divisórias.
8	Ligação com sótão ou zona menos estanque e a menor temperatura.
9	Orifícios realizados para suspensão de candeeiros no teto.
10	Ligação entre tubagens e chaminés com o chão e o telhado respetivamente.
11	Orifícios existentes junto a sistemas de ventilação nas paredes.
12	Ligação entre o sistema de saneamento e a parede.
13	Infiltrações entre os materiais contingentes da parede.
14	Orifícios entre as paredes e o solo.

A Fig. 3 apresenta o pormenor relativo ao número 4, 9 e 13 da tabela anterior em que existe uma infiltração de ar na junta do tijolo e que percorre a parede até chegar à viga e ao candeeiro.

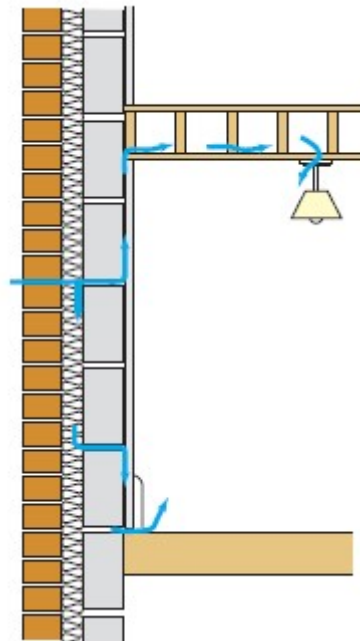


Fig. 3 - Pormenor das infiltrações (Jaggs e Scivyer, 2009).

2.1.4. Níveis de estanquidade VS sistema de ventilação

Um dos problemas mais importantes e que advém da estanquidade de um edifício está relacionado com o tipo de ventilação existente ou recomendado. Se o sistema de ventilação não for o mais adequado poderão surgir problemas relacionados com a qualidade do ar interior, humidade e/ou bolor. Assim, para que esta situação seja evitada, é necessário dimensionar ou verificar se os sistemas instalados correspondem às exigências do edifício em causa.

Os dois tipos de ventilação existentes são a ventilação natural e a ventilação mecânica. Existe ainda um tipo de ventilação híbrida mas que resulta da conjugação da ventilação mecânica e natural. A ventilação natural é baseada na entrada de ar fresco de forma natural, ou seja, sem recurso a dispositivos mecânicos, tal como se pode ver na Fig. 6. A ventilação mecânica é baseada num ou mais ventiladores que provocam diferenças de pressão entre o interior e o exterior, tal como se pode ver na Fig. 4. Ainda dentro da ventilação mecânica, podem ser encontrados sistemas como o da Fig. 5 que são em tudo iguais à ventilação mecânica, mas com a introdução de um recuperador de calor que recupera o calor do ar interior para aquecer o ar frio exterior admitido pelo sistema (Ferreira, 2006).

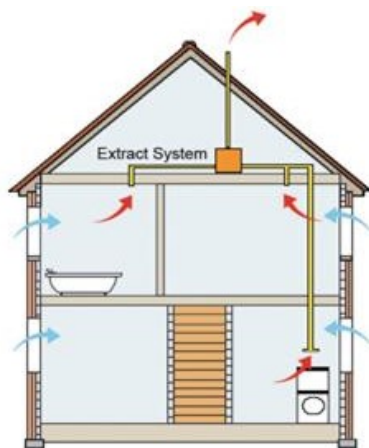


Fig. 4 - Ventilação Mecânica (energysavingtrust, 2010).

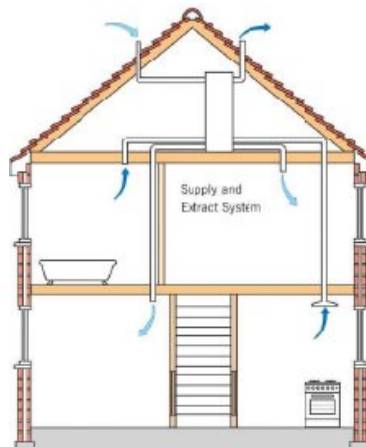


Fig. 5 - Ventilação mecânica com aproveitamento de calor (energysavingtrust, 2010).

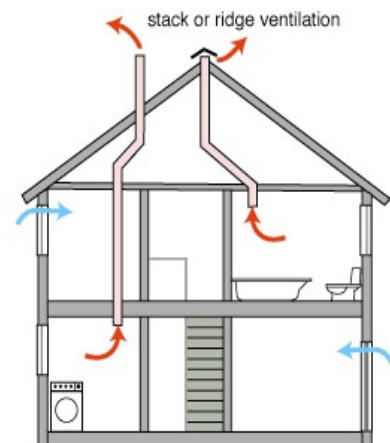


Fig. 6 - Ventilação Natural (energysavingtrust, 2010).

Segundo Sherman (1995), a Tabela 2 pode servir como um guia para adequar o tipo de ventilação para um edifício novo ou antigo em que se conhece a estanquidade. Por outro lado também pode servir de guia de construção quando o sistema de ventilação já foi dimensionado. Com esse objetivo foram utilizados vários fatores tais como o mínimo e o máximo da infiltração natural, o valor do N_{50} e a classe onde se inserem consoante estes fatores. O mínimo e o máximo da infiltração normal (NL), segundo o autor, é o valor que mais se aproxima do valor real do N_{50} quando não existe nenhuma diferença de pressão induzida. Assim, este valor do NL resulta do quociente entre o N_{50} e 20. A utilização do valor 20 apenas é aconselhada quando se trata de edifícios com apenas um piso; caso contrário, este valor terá que ser corrigido. Assim, para as classes A e B é recomendado um sistema balanceado, ou seja, a quantidade de ar que é insuflada é aproximadamente igual à quantidade de ar que é extraída, sendo que normalmente é criada uma ligeira despressurização pois o sistema de insuflação tem uma potência de 90 a 95% da potência do sistema de extração. Este sistema pode ser utilizado com aproveitamento de calor que tem um grande impacto em termos energéticos. As classes C e D já têm uma ventilação considerável em que o sistema utilizado deverá ser um misto dos dois sistemas com ventilação mecânica que apenas é acionada quando necessário. As restantes classes são classes que se aproximam da ventilação natural pois são muito permeáveis. As classes I e J são classes em que nada se adequa uma vez que são edifícios que estão em contacto quase direto com o exterior (Ferreira, 2006; Sherman, 1995).

Segundo Sherman, o valor de referência do N_{50} deverá ser inferior a 3 para diferenças de pressão de 50 Pa para que um edifício seja considerado estanque. Para estes casos será também aconselhado o uso de ventilação mecânica pois, com renovações de ar tão baixas, existe um problema relacionado com a qualidade do ar interior que terá que ser acautelado (1995).

Tabela 2 - Ventilação de acordo com a estanquidade (Sherman, 1995).

Classe de Estanquidade	Min. NL	Max. NL	N_{50} (h^{-1})	Necessita de Ventilação	Tipo de Ventilação
A	0	0.10	1	Total	Apenas balanceado
B	0.10	0.14	2	Sim	Balanceado
C	0.14	0.20	3	Sim	Balanceado
D	0.20	0.28	5	Alguma	Balanceado
E	0.28	0.40	7	Aconselhável	Mecânica
F	0.40	0.57	10	Possível	Apenas mecânica
G	0.57	0.80	14	Desaconselhado	Apenas mecânica
H	0.80	1.13	20	Não	Não
I	1.13	1.60	27	Edifícios muito pouco estanques precisam de ser melhorados	
J	1.60	-	-		

Já na Fig. 7, o autor tem uma perspectiva diferente pois sugere valores da estanquidade para os diferentes tipos de ventilação. Deste modo, para sistemas de ventilação balanceados, o N_{50} estará entre 0 e 4; para sistemas mecânicos de extração ou insuflação, o valor deverá estar entre 3 e 6; para sistema de ventilação natural o valor deverá estar entre 6 e 11 e para cima destes valores não é necessário um sistema de ventilação específico uma vez que a permeabilidade da envolvente é muito elevada (Concannon, 2002).

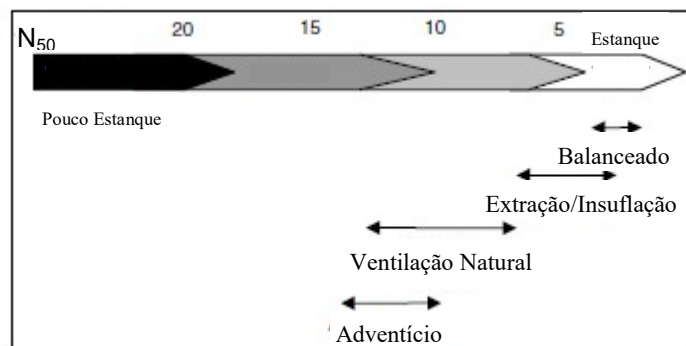


Fig. 7 - Sistema de ventilação (Concannon, 2002).

2.2. Elementos construtivos – Janelas

2.2.1. Influência das janelas na estanquidade

Ao longo do tempo, as janelas sofreram modificações conforme as necessidades mas também através de estilos introduzidos por influências vindas de outros países. A janela, embora tenha atravessado muitos anos de história, sempre desempenhou as mesmas funções de iluminação e circulação do ar. Posteriormente essas aberturas seriam cobertas com alguns materiais como papel, peles de animais e ainda madeira para que esse contacto fosse menor ou maior consoante a intenção. Aquando do aparecimento da produção de vidro, a sua utilização não tardou uma vez que tinha vantagens, como o facto de ser um material homogéneo e que permitia estabelecer contacto visual com o exterior, não sendo isso possível até então.

Acompanhando estas alterações, com a introdução do vidro, passou a ser necessário um sistema em que a janela estivesse fechada ou aberta e então surgiram diferentes configurações. Na cidade do Porto, resultado do grande desenvolvimento económico e aumento demográfico, assistiu-se a uma revolução urbanística. Nesta revolução, por influências Inglesas durante o séc. XVIII, as janelas de guilhotina foram amplamente adotadas, sendo as dimensões dos vidros reduzidas. Com o avanço das tecnologias, principalmente ao nível do fabrico do vidro, surgem as janelas envidraçadas de batente com duas folhas, bandeira e abertura para o exterior. As dimensões destas janelas eram múltiplas do tamanho do vidro (que tinha dimensões fixas). Entre os materiais mais utilizados estava a madeira de pinho, o vidro de 3 ou 5 mm e ainda o betume de vidraceiro como vedante. Para além das janelas de guilhotina e de batente surgiram as janelas de correr.

Com os avanços tecnológicos, as caixilharias são substituídas por materiais mais leves e resistentes, o vidro evolui com o objetivo de aumentar as dimensões disponíveis e até de colocar várias camadas sobrepostas, trazendo algumas vantagens.

Nos dias de hoje estes tipos de janelas são reproduzidos utilizando estes materiais mas com algumas alterações pouco perceptíveis a nível visual. Estas alterações são: aumento do número de camadas de vidro com utilização de gases nobres no seu interior, como argón e kriptón; utilização de corte térmico no interior dos caixilhos; melhoria dos materiais que fazem a selagem da janela com os elementos adjacentes (Lopes, 2006).

Cada elemento construtivo tem uma influência diferente sobre o valor da estanquidade. A comparação entre os mesmos é feita na Fig. 8 e, como se pode verificar, os elementos que mais influenciam são os pavimentos, as paredes e teto que num edifício ocupam grandes vãos em todo o redor. De entre os outros elementos, canalizações, lareiras, portas, janelas e condutas também têm um grande impacto no edifício.

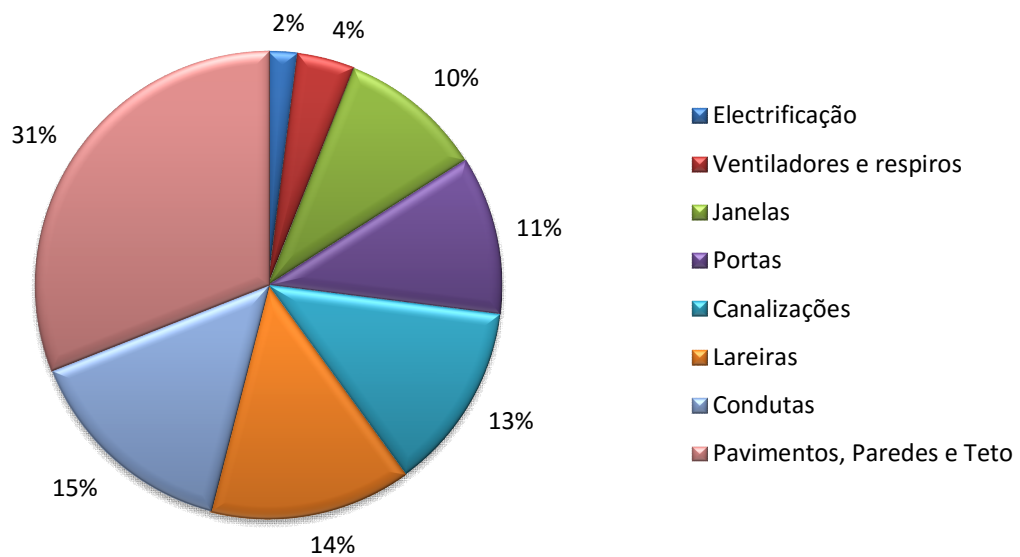


Fig. 8 – Fontes de fuga de ar (Gromicko, 2012).

As janelas, como foi visto anteriormente, têm um papel muito importante na estanquidade de um edifício, pois são elementos que poderão apresentar inúmeras anomalias e que colocam o edifício em contacto com o exterior. Um estudo realizado em habitações de construção leve, que tinha como objetivo avaliar a influência dos diferentes elementos construtivos nas fugas de ar, do qual resultou a Fig. 8. Como se pode nesta figura, de entre todos os elementos construtivos que podem causar fugas de ar, as janelas representam 10% do valor total de fuga de ar. Embora este valor não seja o mais elevado as janelas são elementos que facilmente poderão ser reparados ou até mesmo substituídos uma vez que são acessíveis quer pelo interior quer pelo exterior do edifício.

Existe ainda um estudo que indica que a influência das janelas e portas na estanquidade se situa entre os 6% e 22% com um valor médio de 15%. Este intervalo deve-se ao facto de existirem diferenças quanto ao tipo de construção onde se inserem, acabamentos e materiais utilizados. Estes valores referem-se a infiltrações de ar através de fissuras e fendas existentes e não à abertura em si da janela (Rodrigues, 2014).

Atualmente, os materiais utilizados apresentam características muito boas para o desempenho necessário numa janela, o que não acontecia em materiais como a madeira que, em contacto com a água e grandes diferenças de temperatura, sofria variações no seu volume, influenciando o papel desempenhado pela janela.

Outra questão relevante prende-se com a capacidade de abertura de uma janela, pois o sistema de fecho tem que ser capaz de exercer uma pressão suficiente para que o mesmo, quando sujeito a diferentes pressões, não seja falível, o que nem sempre é tarefa fácil nos diferentes tipos de janelas.

Um estudo realizado em seis habitações tem como objetivo comparar, duas a duas, habitações semelhantes, em que uma se encontra com janelas originais e outra com janelas renovadas. Em cada bloco de habitações foram realizados dois ensaios: um com as janelas originais; o outro com as janelas renovadas. A realização dos dois ensaios no mesmo bloco habitacional garantiu características muito semelhantes entre as habitações. Nas três casas originais, as janelas são de madeira com vidro duplo; nas três renovadas, foram utilizadas janelas de pvc e vidro duplo com caixa-de-ar.

Como se verifica na Tabela 3, os valores são muito diferentes quando o teste é realizado nas unidades renovadas.

Tabela 3 - Resultados do ensaio (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).

	N_{50} (h^{-1})
Unidade Residencial 1 - Não Renovada	5.73
Unidade Residencial 1 - Renovada	0.94
Unidade Residencial 2 - Não Renovada	6.39
Unidade Residencial 2 - Renovada	1.13
Unidade Residencial 3 - Não Renovada	8.20
Unidade Residencial 3 - Renovada	1.14

Como se constata na Tabela 4, os valores nas diferentes unidades residenciais apresentam uma diminuição do valor N_{50} superior a 80%. Pode então concluir-se que a substituição de janelas é uma boa medida quando se pretende melhorar a estanquidade de um edifício.

Tabela 4 - Diferença de Resultados (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).

	Diferença N_{50}
Unidade Residencial 1	- 83.60%
Unidade Residencial 2	- 82.32%
Unidade Residencial 3	- 86.10%

A Fig. 9 é relativa a um estudo efetuado no Reino Unido onde se chegou à conclusão que os valores das trocas de ar em janelas que foram substituídas eram inferiores aos das janelas já existentes, tal como seria de esperar. Chegou-se a um valor de $0.25 h^{-1}$ de redução média da taxa de renovação de ar, para o tipo de casas existentes no Reino Unido quando realizada a substituição das janelas.

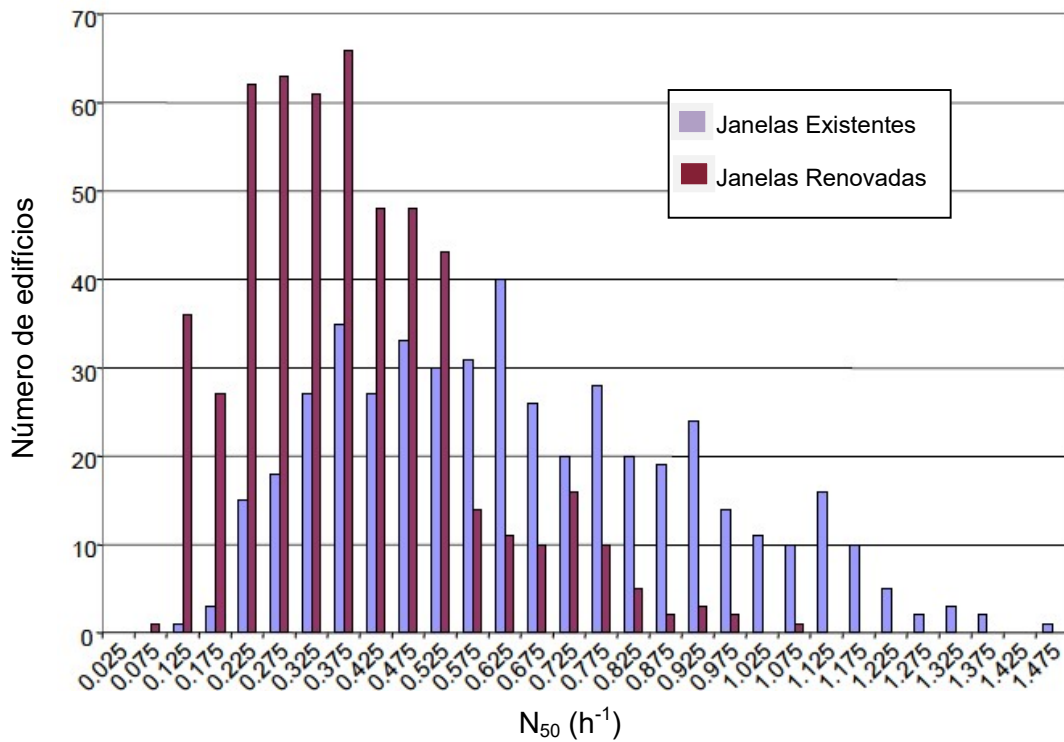


Fig. 9 - Gráfico de comparação entre janelas existentes e janelas trocadas em função das trocas de ar (Ridley et al., 2003).

Um terceiro estudo realizado na Croácia, dando maior ênfase ao efeito das janelas em termos energéticos, comparou unidades não renovadas com unidades renovadas. Chegou-se à conclusão que a substituição das janelas diminuiria as perdas de energias no mínimo em 73%, sendo este valor mais elevado em alguns casos. Consoante o tipo de intervenção realizada, o valor final de perdas de energia poderá ser diferente como se pode verificar na Tabela 5. Os resultados obtidos demonstram que a influência das janelas no consumo energético é bastante elevada e que este pode ser reduzido (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).

Tabela 5 - Perdas de energia em unidades com janelas renovadas e não renovadas (Krstic, Koski e Tomljanovic, 2014).

	Perdas de energia kWh/m ² ano	Redução %
Unidade 1 - Não Renovada	33.23	84%
Unidade 1 - Renovada	5.37	
Unidade 2 - Não Renovada	37.06	73%
Unidade 2 - Renovada	10.15	
Unidade 3 - Não Renovada	47.56	79%
Unidade 3 - Renovada	10.14	

2.2.2. Reabilitação/substituição de janelas

Como referido anteriormente, as duas soluções existentes são a reabilitação ou a substituição das janelas que poderão ter resultados mais ou menos satisfatórios consoante o estado de conservação das mesmas. Algumas soluções de reabilitação que irão ser apresentadas poderão também ser consideradas aquando da substituição das janelas, uma vez que a reabilitação pressupõe a substituição de alguns componentes deteriorados por novos.

Em termos de reabilitação, os materiais mais utilizados são as espumas expansivas, tal como o poliuretano e o mastic. Existem ainda outros métodos menos utilizados em Portugal tais como espumas pré-comprimidas, membranas adesivas, barreira pára-vapor, fitas adesivas e lã mineral.

As espumas expansivas, o mastic e as espumas pré-comprimidas são soluções que se moldam bem às aberturas e fissuras uma vez que o seu volume vai aumentado com o decorrer do tempo após a sua colocação. De salientar que ao contrário das espumas, o mastic é utilizado para fissuras de 10 mm no máximo.



Fig. 10 - Rolo de fita pré-comprimida (Carrié, Jobert e Leprince, 2012).

As membranas adesivas são utilizadas para selar a junta entre a janela e barreira pára-vapor ou o reboco. Estas membranas de um dos lados têm fita adesiva que adere a superfícies como a madeira ou o alumínio e do outro uma fita adesiva ou uma rede de fibra de vidro para aplicação de reboco.

A solução, utilizando fitas adesivas que poderão ser rígidas ou flexíveis, é utilizada quando se pretende selar elementos tais como barreiras pára-vapor ou filmes entre a janela e a parede.

Outra solução consiste em utilizar lã mineral desfiada que é comprimida e que confere a estanquidade à junta servindo, simultaneamente, de isolamento térmico. Esta solução é comprimida quando inserida na junta em questão e deverá ser adotada na construção do edifício uma vez que posteriormente é de difícil execução.

Como se pode observar na Tabela 6, a fita adesiva destaca-se pela positiva no conjunto das soluções avaliadas no ensaio de reabilitação de uma janela. De realçar ainda o resultado do mastic e da barreira pára-vapor, que apresentam fluxos de ar muito baixos quando utilizados. Os resultados estão dispostos por ordem decrescente de eficácia (Carrié, Jobert e Leprince, 2012; Relander, Thue e Gustavsen, 2008).

Este ensaio foi realizado numa câmara de pressão recorrendo a uma parede e uma janela. Esta parede era de gesso cartonado com ripas de madeira usadas para aumentar a resistência do material. Entre as placas de gesso cartonado foram utilizadas fitas adesivas para reduzir as fugas de ar. O método de ensaio utilizado pressupunha uma sobreposição de efeitos uma vez que se analisou a diferença de resultados entre o teste realizado sem nenhum material e com os diferentes materiais. Os ensaios realizados tinham como objetivo testar a capacidade de cada material aumentar a estanquidade da ligação entre a janela e a parede. Neste ensaio as diferenças de pressões testadas foram positivas e negativas com valores de 10, 30, 50, 100 e 200 Pa.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios com diferentes técnicas de selagem (Relander, Thue e Gustavsen, 2008).

	Fuga de ar a 50 Pa (m ³ /h.m)
Fita adesiva	0
Fita adesiva - 1 buraco	0.93
Mastic - Não contínuo	0.97
Mastic - Contínuo	1.24
Barreira pára vapor 150 mm	1.28
Lã mineral 150mm	1.49
Barreira pára-vapor 300 mm	1.72
Fita adesiva - 2 buracos	1.74
Lã mineral 100 mm	2.09
Barreira pára-vapor 300 mm cantos selados	2.27
Fita adesiva - 3 buracos	2.45
Barreira pára-vapor 600 mm	2.65
Espuma pré-comprimida - Tamanho correto	3.93
Lã mineral 50 mm	4.03
Barreira pára-vapor 600 mm - Cantos selados	6.64
Barreira pára-vapor 600 mm	6.96
Espuma pré-comprimida - Tamanho correto, 4 buracos	7.72
Espuma pré-comprimida - Tamanho incorreto	10.87

2.2.3. Norma de classificação de janelas

Um dos objetivos das normas europeias é a livre circulação dos produtos dentro do espaço económico europeu mas, ainda assim, cada Estado Membro deverá desenvolver os seus documentos com recomendações de aplicação. Em Portugal, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil publicou um documento com esse objetivo no final dos anos 80 que tem vindo a ser atualizado consoante a evolução das normas. Na sua versão atual denomina-se por ITE 51 e foi utilizado em diversas obras, revelando que os seus valores estavam ajustados às necessidades. Em 2014 foi publicada a Norma Portuguesa 4517 que em 2015 sofreu uma atualização. Esta norma foi baseada no ITE 51 e tem as seguintes características especificadas: resistência ao vento; estanquidade à água; desempenho acústico; desempenho térmico; permeabilidade ao ar; esforços de manobra e resistência mecânica; durabilidade mecânica; ventilação (IPQ, 2015).

A nível europeu existem diversas normas relativas a janelas. Em 2001 entrou em vigor uma norma referente à classificação e ensaio de janelas em três aspetos, sendo estes a permeabilidade ao ar, a resistência ao vento e a estanquidade à água. Para cada um destes aspetos existem 2 normas: uma que define o tipo de ensaio a realizar e suas condições e outra que classifica a janela consoante o resultado do ensaio, como se pode ver na Tabela 7.

Tabela 7 - Normas de Classificação e Método de Ensaio (Kömmerling, 2007).

Parâmetros	Norma Classificação	Norma do Método de Ensaio
Permeabilidade ao ar	EN 12207	EN 1026
Resistência ao vento	EN12210	EN12211
Estanquidade à água	EN 1027	EN12208

Quanto à permeabilidade ao ar, existem 5 classes sendo a pior a classe 0, onde não foi feito nenhum ensaio, e a classe melhor a classe 4, onde existe uma menor permeabilidade ao ar. Na Fig. 11 observa-se que a diferentes classes correspondem diferentes pressões máximas de ensaio, sendo que a máxima pressão de 600 Pa só pode ser atingida para a classe 4, como seria de prever (Kömmerling, 2007).

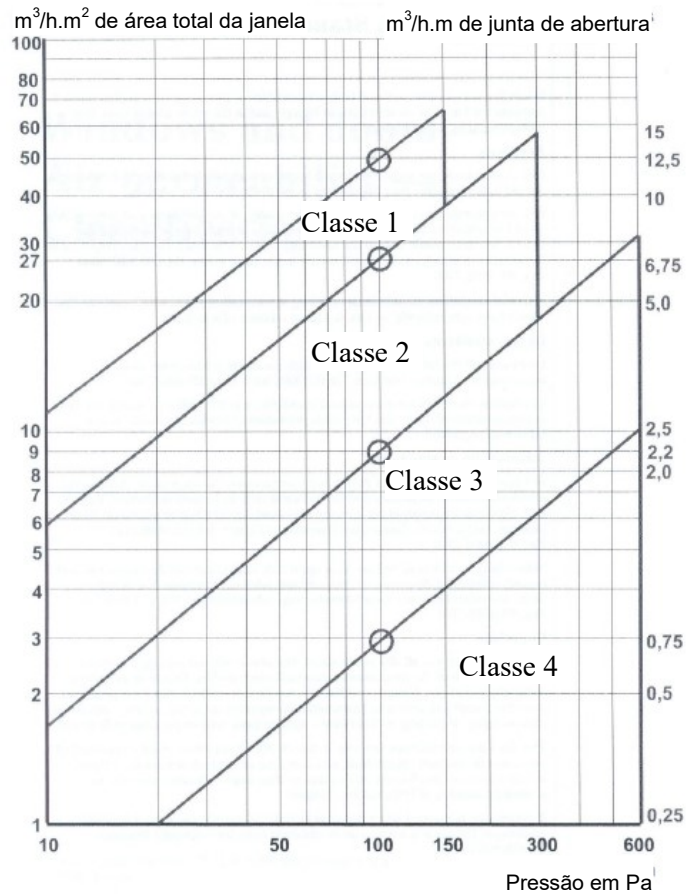


Fig. 11 - Classes de classificação de janelas quanto à permeabilidade ao ar (CEN, 2000a).

2.3. Ensaio com porta ventiladora

2.3.1. Normalização

No campo da normalização relacionada com os ensaios com porta ventiladora, é importante destacar: a Sociedade Americana para testes americanos, mais conhecida por ASTM, e que publicou a norma ASTM E779; a norma publicada pela Organização Internacional para Padronização, que é a ISO 9972-2015; o Comité Europeu de Normalização, que publicou a norma EN13829.

A fim de se comparar estas 3 normas, definiu-se alguns temas mais importantes e com maior influência no resultado a obter. Os temas são as condições aceitáveis para a realização dos testes, dispositivos e suas exigências na realização do ensaio, a metodologia do ensaio e, por fim, o tipo de relatório a apresentar no fim do ensaio.

Tabela 8 - Condições necessárias para a realização do ensaio (Gugliemino, 2014; ISO, 2015).

	ISO 9972	EN 13829	ASTM E779-03
Temperatura Exterior	-	-	De 5 a 35°C
Velocidade do Vento	Até 3 m/s	Até 6 m/s	Até 2 m/s
Produto da Temperatura pela altura	Até 250 m.K	Até 500 m.K	Até 200 m.K
Diferença de pressão estática	Até 5 Pa	Até 5 Pa	± 10%

Como se pode verificar na Tabela 8, existem algumas diferenças entre as normas que em alguns casos poderão originar pequenas diferenças nos resultados finais. Ainda assim, não se consegue definir um padrão relativamente à norma com maior ou menor rigor pois cada uma difere na sua precisão em diferentes campos.

Por forma a que se possam verificar as condições descritas na Tabela 8, é necessário definir a precisão e o tipo de aparelhos a utilizar no ensaio. Relativamente ao ventilador, as 3 normas concordam no aspeto em que deve ser utilizado um aparelho que consiga induzir pressões negativas e positivas num compartimento e que consiga manter essas pressões com a movimentação do ar para o exterior ou interior.



Fig. 12 – Constituintes da Porta Ventiladora (Retrotec, 2016).

Quanto ao manómetro que mede a diferença de pressão interior e exterior, as normas diferem ligeiramente. A ISO 9972 indica que a precisão é de ± 1 Pa nos limites de 0 e 100 Pa. Por outro lado, a norma EN 13829 obriga a menor precisão sendo esta de ± 2 Pa nos limites de 0 a 60 Pa. Já a norma ASTM E779-03 usa uma relação diferente, indicando que 65% das medições efetuadas têm que ser corretas.

Para a medição da taxa de infiltração de ar as normas ISO 9972 e a EN 13829 indicam a mesma precisão de $\pm 7\%$ da leitura da pressão realizada. Já a norma ASTM E779-03 define que a precisão terá de ser de 65% das medições efetuadas.

Na medição de temperaturas com o termómetro, a precisão terá que ser de $\pm 1^\circ\text{C}$ para as normas EN 13829 e ASTM E779-03 e de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ na norma ISO 9972 que assim exige uma maior precisão neste aparelho.

Existe ainda referência na norma ASTM E779-03 relativamente ao dispositivo de medição da velocidade do vento, que tem que ter uma precisão de ± 0.25 m/s a uma velocidade de 2.5 m/s, sendo esta medição realizada a uma distância entre 3 a 5 vezes a altura do edifício.

Nas 3 normas em estudo existem 3 métodos diferentes de realização dos ensaios. Na norma ISO 9972 existem 3 métodos (1,2 e 3). O método 1 é caracterizado pelo fecho das aberturas da ventilação natural e pela selagem do sistema de ventilação mecânica ou ar condicionado. O método 2 tem como objetivo testar a envolvente do edifício, sendo, deste modo, seladas todas as aberturas intencionais e fechadas todas as portas e janela da habitação. Por fim, o método 3 é adaptado conforme o que se pretende testar sem existir qualquer orientação relativamente ao que selar ou fechar.

Na norma EN 13829 existem dois métodos (A e B). O método A é semelhante ao método 1 da Norma ISO 9972 em que são seladas ou fechadas todas as aberturas intencionais. O método B é semelhante ao método A embora algumas aberturas sejam seladas em vez de serem apenas fechadas.

Na ASTM E779-03 não existem métodos definidos mas sim uma breve referência aos sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado que devem permanecer como quando são utilizados no quotidiano, e ainda o fecho de lareiras ou entradas de ar que possam existir.

Após a realização dos ensaios, as 3 normas fazem referência a um relatório a elaborar com todos os dados básicos do ensaio tais como método usado, detalhes da construção, valores obtidos e conclusões. A única diferença está na norma ASTM E779-03 que inclui na parte final um espaço para cálculos de estimativas e coeficientes relevantes (ASTM, 2003; CEN, 2000b; ISO, 2015).

2.3.2. Método de Realização do ensaio

A norma ISO 9972 tem como objetivo uniformizar os ensaios que utilizam a porta ventiladora, para que os seus resultados possam ser comparados posteriormente sem que existam diferenças nos procedimentos.

Para a realização do ensaio é necessário preparar o edifício consoante o método a utilizar. A Tabela 9 faz referência ao tipo de condições a verificar nos diferentes locais do edifício onde possam existir interferências com o ensaio pretendido.

Tabela 9 – Condições necessárias para cada método (ISO, 2015).

	Método 1	Método 2	Método 3
Aberturas de ventilação natural	Fechada	Selada	Fechada, selada ou aberta como especificado
Aberturas de ventilação mecânica ou ar condicionado	Selada	Selada	Fechada, selada ou aberta como especificado
Aberturas de ventilação mecânica ou ar condicionado com uso intermitente	Fechada	Selada	Fechada, selada ou aberta como especificado
Janelas e portas da envolvente	Fechada	Fechada	Fechada, selada ou aberta como especificado
Aberturas não destinadas a ventilação	Fechada	Selada	Fechada, selada ou aberta como especificado

Após preparação do edifício, segue-se a montagem dos dispositivos de medição do fluxo de ar que entra ou sai e ainda o manómetro, que medirá a diferença de pressão entre o exterior e o interior. Esta diferença de pressão deverá ser medida no piso térreo.

Quando terminado este processo, o edifício deverá ser sujeito, de preferência, a dois testes, um de pressurização e outro de despressurização, embora seja permitido realizar apenas um dos dois. A menor pressão será de 10 Pa e a maior pressão de 50 Pa, no mínimo, sendo que a alternância entre pressões deve ser alcançada de forma faseada. A pressurização é indicada pela norma para obtenção de resultados mais rigorosos (ISO, 2015).

2.4. Avaliação da permeabilidade de janelas in-situ

2.4.1. Metodologia de ensaio utilizada e incerteza do resultado obtido

Como foi abordado anteriormente, existem diferentes métodos para a realização do ensaio com porta ventiladora, acarretando incertezas que se refletem no resultado de diferentes formas.

Esta incerteza está associada ao método utilizado na realização do ensaio, que pode ser diferente consoante o tipo de características a avaliar, e ainda ao operador que conduz o ensaio. Estas incertezas estão associadas a (Machado, 2013):

- Diferentes formas de montagem e preparação do edifício para o ensaio;
- Medições realizadas para determinação de volumes e áreas;
- Incerteza dos dispositivos de medição e *software* utilizado apesar de serem calibrados regularmente;
- Condições meteorológicas.

Relativamente aos métodos utilizados, existe um estudo que diz que os métodos propostos, mais especificamente na norma europeia, são bastante vagos pois pretendem abranger uma grande diversidade de edifícios. Deste modo, foram criados e testados 5 novos métodos com o objetivo de obter resultados mais rigorosos, específicos e que possam ser utilizados nas tomadas de decisão

relativas à reabilitação. Utilizando os métodos propostos na Tabela 10 consegue obter-se um relatório mais detalhado sobre a estanquidade do edifício facilitando um trabalho posterior de reabilitação (Fernández-Agüera, Sendra e Domínguez, 2011).

Tabela 10 - Métodos Propostos (Fernández-Agüera, Sendra e Domínguez, 2011).

Método	Descrição
1	Reproduz o método A da EN 13829 que tem como objetivo avaliar a estanquidade da área envolvente em situações reais de uso.
2	Este método pretende selar todas as aberturas existentes com o exterior com o objetivo de avaliar a relação entre a estanquidade e a necessidade de aquecimento ou arrefecimento.
3	Reproduz o método B da EN 13829 que tem como principal objetivo determinar a estanquidade da construção e onde são seladas ou fechadas todas as aberturas intencionais.
4	Este método consiste no método 3 com a selagem da cozinha e tem como objetivo avaliar a diferença entre a cozinha e as zonas de quartos e salas.
5	Este método consiste no método 4 com a selagem das casas de banho que tem como objetivo avaliar a influência das zonas húmidas da casa.

2.4.2. Relação entre estanquidade e janela

Um estudo realizado em Atenas visou a relação entre a estanquidade, em condições naturais e a 50 Pa com um fator dependente do volume da habitação, e o comprimento total do caixilho. Este fator seria a divisão entre o comprimento total do caixilho e o volume da habitação.

Este ensaio foi levado a cabo em vinte habitações, as quais apresentavam características semelhantes para que mais tarde existisse possibilidade de comparação de resultados. Este ensaio utilizou dois métodos para a determinação da estanquidade, o método do gás traçador e método da porta ventiladora. Para este efeito foi utilizada a norma EN 13829 (2000b).

Quando utilizado o valor da estanquidade em condições naturais a relação entre estanquidade e comprimento total do caixilho não se verificava, sendo que a principal justificação apontava para efeitos meteorológicos que têm uma grande influência na utilização do gás traçador.

Já com pressões de 50 Pa utilizando o método com porta ventiladora, a situação teria maior probabilidade de sucesso pois a esta diferença de pressão a influência das condições meteorológicas é muito menor. Assim conseguiram obter uma correlação com valores satisfatórios de acordo com o número de casos estudados. Para isso foi necessário dividir a estanquidade em três níveis: baixa; média; alta. O coeficiente de correlação mais elevado foi obtido para o nível mais baixo de estanquidade de 0.92 h^{-1} .

Contudo, como já foi mencionado, o número de exemplares é reduzido, não permitindo obter mais conclusões. Assim com um maior número de exemplares, o resultado pode ser mais conclusivo (Sfakianaki et al., 2008).

2.4.3. Casas novas VS Casas antigas

Um estudo levado a cabo na Nova Zelândia tinha como objetivo avaliar a evolução da estanquidade dos edifícios ao longo dos tempos. O ensaio foi realizado em 36 habitações construídas desde 1994. Os métodos utilizados foram o método do gás traçador, para medições relacionadas com a ventilação, e o método da porta ventiladora, para medições relacionadas com a estanquidade. O resultado destes ensaios conduziu a um valor médio do N_{50} de 6.7 h^{-1} , para habitações entre 1994 e 2011. Foi feita uma comparação entre este resultado e resultados de estudos anteriores.

Verificou-se que existiu uma evolução uma vez que em edifícios anteriores a 1960 o valor médio do N_{50} seria de 19 h^{-1} , tendo baixado para 9.7 h^{-1} entre 1960 e 1994. Esse valor no início dos anos 90 baixaria para 8.5 h^{-1} e para 6.7 h^{-1} entre 1994 e 2011. Estes valores demonstram a progressiva evolução das habitações em termos de estanquidade. Outro aspeto relevante prende-se com o estreitamento do intervalo de soluções que denota o aumento da qualidade da construção e sua consistência.

Ainda neste estudo chegou-se à conclusão que as ligações existentes com espaços não aquecidos, como portas de acesso a garagens, têm uma grande importância na estanquidade da envolvente. O valor associado a esta ligação induz, em média, um aumento de 1.4 h^{-1} no valor do N_{50} (McNeil et al., 2012).

3

METODOLOGIA

3.1. Enquadramento

A campanha de ensaios realizada teve como objetivo avaliar a influência da permeabilidade ao ar no edifício de diferentes tipos de janelas, permitindo posteriormente classificar as mesmas em diferentes classes. Os ensaios foram realizados, quando possível, em zonas onde existisse menor influência do exterior, ou seja, em quartos e salas onde não existissem canalizações e de preferência apenas uma janela e uma porta.

Através de uma parceria realizada com a Câmara Municipal de Gaia, mais especificamente com a Gaiurb que é responsável pelo urbanismo, habitação social e reabilitação urbana do município, fomos facultados diversos locais de ensaio quer habitacionais, quer de serviços. Alguns locais ao nosso dispor eram casas de emergência ou apartamentos que foram adaptados para gabinetes de apoio às urbanizações. Na Fig. 13 pode ver-se um desses empreendimentos onde foram realizados os ensaios. Nas zonas habitacionais os ensaios foram realizados em apartamentos com dois ou três quartos. Nos edifícios administrativos os ensaios foram realizados em gabinetes de pequenas dimensões.



Fig. 13 - Habitação social

O método utilizou a porta ventiladora de uma forma adaptada. A porta ventiladora tem como principal função testar a estanquidade de um edifício no seu todo, não contabilizando a influência de cada elemento no valor final da estanquidade. Para isso, o método utilizado foi o da sobreposição de efeitos que consiste na comparação de resultados quando alteradas as condições na janela. O teste realizado com a porta ventiladora foi monitorizado por computador, sendo registados todos os resultados obtidos. Os ensaios foram realizados para pressurização e despressurização.

3.2. Casos de estudo

Como se pode observar, a Tabela 11 apresenta um resumo das características mais relevantes para o ensaio, que neste caso incide sobre as janelas.

Tabela 11 - Características dos empreendimentos testados.

Ensaio	Tipo de edifício	Data	Caixilharia	Tipo de Janela	Caixa de estore	Comprimento da Junta (m)	Área da janela (m ²)
#1	Escritórios		Alumínio	Batente 1 folha	Não	7.80	3,3
#2	Escritórios		Alumínio	Batente 1 folha	Não	6.00	2,2
#3	Escritórios	2015	Madeira	Guilhotina	Não	6.00	1,4
#4	Escritórios	1940	Madeira	Guilhotina	Não	6.00	1,4
#5	Escritórios		Madeira	Batente 2 folhas	Não	4.70	1,8
#6	Hab. Social	1995	Alumínio	Correr	Sim	5.90	1,4
#7	Hab. Social	2005	Alumínio	Batente 1 folha	Sim	3.50	0,75
#8	Hab. Social	2005	Alumínio	Batente 1 folha	Sim	5.60	1,7
#9	Hab. Social	2001	Alumínio	Batente 1 folha	Sim	6.00	1,5
#10	Hab. Social	2000	Alumínio	Correr	Sim	6.50	1,8
#11	Hab. Social	2001	Alumínio	Batente 1 folha	Sim	3.50	1,3
#12	Hab. Social	2001	Alumínio	Correr	Sim	7.50	2,3
#13	Hab. Social	2001	Alumínio	Batente 1 folha	Sim	3.80	1,3
#14	Habituação	2007	Alumínio	Correr	Sim	6.15	2,25

Na primeira coluna foi atribuído um número de ensaio para facilitar a identificação das janelas. Nas outras colunas foram registadas algumas propriedades que têm maior influência no resultado, como sejam o tipo de janela em questão, a existência ou não de caixa de estore (o que provoca uma grande variação), o comprimento da junta que tem possibilidade de abertura e ainda a data em que as mesmas foram instaladas no edifício.

Como se pode ver na Tabela 11, as janelas que foram objeto dos ensaios apresentam diversas características, influenciando os resultados. Deste modo, agrupou-se as janelas por tipo de janela e existência ou não de caixa de estore, uma vez que existem janelas que se repetem. A divisão resultou, assim, em cinco grupos.

O primeiro grupo são janelas de batente com apenas uma folha sem caixa de estore. Estas janelas estavam situadas em edifícios administrativos, foram colocadas recentemente embora o local onde se encontram seja sobre um piso técnico que tem enormes ligações com uma caixa-de-ar inferior através de torres de tomadas, tendo influenciado o resultado. Estas janelas eram de vidro duplo, o sistema de abertura era apenas basculante e a caixilharia era em alumínio, com se pode ver na Fig. 14 e Fig. 15.

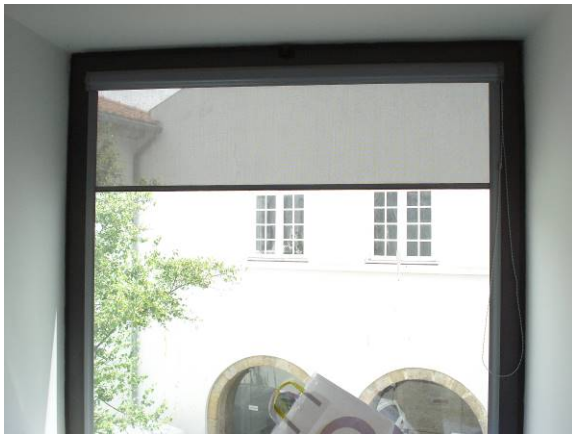


Fig. 14 - Visão geral do tipo de janela.



Fig. 15 - Modo de abertura.

O segundo grupo de janelas corresponde a janelas de batente de uma folha mas com caixa de estore e persiana no exterior. Esta configuração foi encontrada nos edifícios habitacionais. Uma particularidade em algumas destas janelas é que existia uma parte da janela que era fixa. Estas janelas eram de vidro duplo com caixilharia em alumínio. Relativamente à caixa de estore, em alguns casos esta estava bem visível e acessível (como se pode ver na Fig. 16) mas noutros encontrava-se dissimulada na madeira envolvente à janela, como na Fig. 17.



Fig. 16 - Janela com caixa de estore visível.

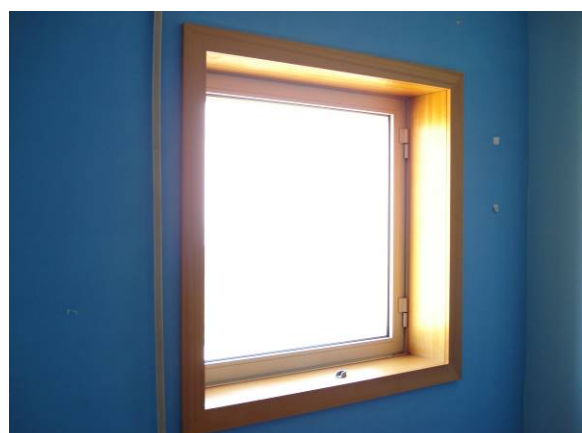


Fig. 17 - Janela com caixa de estore dissimulada.

No terceiro grupo encontra-se uma janela de batente de 2 folhas sem caixa de estore. Esta janela corresponde a um edifício administrativo, mais precisamente a uma casa de banho. Esta janela apresenta uma parte superior fixa, como na Fig. 18. A janela é de vidro simples, caixilharia em madeira e o sistema de abertura é com um ferrolho vertical, como se vê na Fig. 19.



Fig. 18 - Parte fixa da janela.



Fig. 19 - Sistema de abertura.

No quarto grupo encontram-se duas janelas de guilhotina sem caixa de estore embora com proteção solar pelo interior com portadas de madeira, sendo que uma delas foi renovada e a outra está no estado original. Estas janelas encontram-se num edifício administrativo bastante antigo, com algumas zonas muito degradadas. A janela era em vidro simples e com caixilharia em madeira. Embora exista uma janela renovada, esta não responde eficientemente às necessidades pois nas duas janelas existe uma abertura entre a parte superior e a inferior da janela.



Fig. 20 - Visão geral da janela.



Fig. 21 - Pormenor interior da janela.

No último grupo, temos as janelas de correr com caixa de estore. Estas janelas correspondem a edifícios habitacionais. Neste caso a totalidade da janela era móvel. Relativamente à caixa de estore, algumas eram perfeitamente identificáveis (como na Fig. 22) mas, noutros casos, esta encontrava-se inserida na parede e na caixilharia de madeira envolvente. Por vezes, estas janelas, como tinham duas partes em separado, apresentavam uma ligação feita incorretamente, o que resultava numa abertura para o exterior, como se pode ver na Fig. 23.



Fig. 22 - Janela com caixa de estore visível.



Fig. 23 - Abertura entre duas partes.

As características mais detalhadas de cada janela poderão ser consultadas em anexo.

3.3. Procedimento de ensaio

Os ensaios realizados foram baseados na Norma Europeia 13829, pois é a norma que mais se aproxima do ensaio pretendido (CEN, 2000b).

Dependendo do tipo de janela e suas características, foram adotados dois métodos, um sem caixa de estore e outro com caixa de estore. O primeiro método consiste em realizar cinco ensaios: três deles em que todas as condições interiores permanecem inalteráveis, como na Fig. 24, e outros dois em que a janela em estudo é selada, como na Fig. 25. O segundo método, aquele em que existe caixa de estore, consiste em realizar sete ensaios bastando realizar dois ensaios adicionais ao primeiro método correspondentes a uma situação em que a janela e a caixa de estore são seladas em conjunto, tal como se pode ver na Fig. 26.



Fig. 24 - Janela sem selagem.

Quando nada se encontrava selado foram realizados três ensaios, um de pressurização e um de depressurização com valores de 10, 20, 30, 40 e 50 Pa de diferença de pressões e, ainda, um ensaio de pressurização a 100 Pa. Este último valor foi adicionado para que se pudesse classificar as janelas para pressões próximas das quais estas são testadas e classificadas. Quando a janela, ou a janela e a caixa de estore, se encontravam seladas, os ensaios realizados foram de pressurização a 10, 20, 30, 40 e 50 Pa e outro de pressurização a 100 Pa. Como se pode ver, a Tabela 12 resume os diferentes ensaios realizados nos diversos empreendimentos.

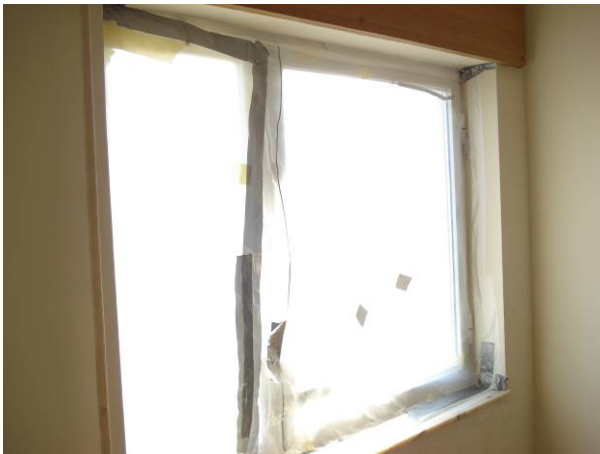


Fig. 25 - Janela selada.



Fig. 26 - Tudo selado.

A ausência de alguns ensaios na Tabela 12 está relacionada com a falta de caixa de estore, com problemas técnicos relacionados com o *software* e/ ou, ainda, com problemas em janelas de guilhotina muito degradadas, como se pode ver na Fig. 27, que apresentavam grandes deslocamentos quando eram provocadas pressões acima dos 40 Pa, o que culminava numa abertura razoável com ligação ao exterior não permitindo a realização do ensaio.



Fig. 27 - Janela de guilhotina muito degradada.

Na Tabela 12, a situação em que nada era selado representa-se por “NS”, aquela em que a janela era selada por “JS” e o caso com tudo selado por “TS”. Relativamente ao “Press” e “Despress”, estão são os ensaios até 50 Pa quer para diferenças de pressão positivas quer para negativas, respetivamente; o “Press100” representa o ensaio de pressurização para uma diferença de pressão de 100 Pa.

Tabela 12 - Ensaio realizados nos diferentes empreendimentos.

Ensaio	NS			JS		TS	
	Press	Press100	Despress	Press	Press100	Press	Press100
#1	X	X	X	X	X		
#2	X	X	X	X	X		
#3	X	X		X			
#4	X		X	X			
#5	X	X	X	X	X		
#6	X	X	X	X	X	X	X
#7	X	X	X	X	X	X	
#8		X	X	X	X	X	X
#9	X		X	X	X	X	X
#10	X	X	X	X	X	X	X
#11	X	X	X	X	X	X	X
#12	X	X	X	X	X	X	X
#13	X	X	X	X	X	X	X
#14	X			X		X	

Na selagem dos elementos foram utilizados plásticos que eram colados na parede com fita adesiva de pintor de 5 cm e, em alguns locais de maior resistência, fita adesiva americana de 5cm, como se pode ver na Fig. 28. Durante alguns ensaios, a entrada de ar era tão acentuada que o plástico criava uma espécie de almofada de ar no interior, denotando uma estanquidade reduzida na janela. Um dos problemas encontrados durante a selagem apenas da janela prendeu-se com o facto de não ser possível selar só o caixilho da janela, sem abranger também uma parte da ligação entre a janela e o caixilho de madeira exterior. Em alguns casos, verificou-se um difícil acesso ao caixilho devido ao reduzido espaço entre a janela e o sistema de segurança existente, como se pode ver na Fig. 31, ou também à existência de sistemas de abertura da janela. Outro problema encontrado está relacionado com a dificuldade de realizar o ensaio de despressurização devido ao método de selagem utilizado, tendo este ensaio sido apenas realizado quando nada se encontrava selado.



Fig. 28 - Selagem da janela.

Para dar início ao ensaio era necessário escolher o compartimento mais adequado, de modo a que este apenas tivesse uma janela e uma porta. Após esta decisão, a porta ventiladora era montada nessa porta e a janela em estudo era a única janela existente. A porta ventiladora consiste numa estrutura metálica que se adapta às dimensões da porta e que, através de um pano estanque colocado nessa estrutura, faz a selagem completa da porta em questão, como se pode ver na Fig. 29. Nesse pano existe uma abertura onde se coloca o ventilador com a orientação pretendida consoante o tipo de ensaio a realizar: pressurização, isto é, colocar ar no interior do compartimento, ou despressurização, ou seja, retirar ar do interior. No caso da Fig. 30, o ensaio realizado foi de pressurização. Posteriormente efetuavam-se todas as ligações entre dispositivos e colocavam-se três pontos de medição de pressão: dois no interior e um no exterior do compartimento, longe do efeito do ventilador. Após estes procedimentos, através do *software* da Retrotec “Fan Testic”, dava-se início ao ensaio. O ensaio era monitorizado através do *software* instalado no computador. Por vezes, consoante as pressões a atingir e as condições do compartimento, poderiam ser necessários alguns ajustes no ventilador, aumentando ou diminuindo a área de admissão de ar. No final de cada ensaio, os valores que tinham maior relevância eram o caudal a uma diferença de pressão de 50 Pa ou 100 Pa e o valor do N_{50} , obtidos consoante a pressão induzida no interior do compartimento.



Fig. 29 - Porta ventiladora montada.



Fig. 30 - Porta com o ventilador.



Fig. 31 - Janela com sistema de segurança.

3.4. Tratamento de resultados

Foram realizados dois tipos de ensaios: um até 50 Pa com valores de diferença de pressão a 10, 20, 30, 40 e 50 Pa e outro até 100 Pa em que apenas era utilizada a diferença de pressão a 100. No primeiro tipo, o *software* fornecia o valor final do caudal a 50 Pa (V_{50}), surgindo este na primeira linha da tabela de resultados, como se pode ver no exemplo da Fig. 32. O programa permitia a leitura dos valores do caudal a uma diferença de pressão próxima da definida, como se pode ver na Fig. 33, na qual o retângulo preto contém as diferenças de pressão e o retângulo vermelho os caudais correspondentes.

	Resultados	Intervalo de confiança de 95%		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	532,36	500,1	566,7	+/-6,3%
Modificação do ar a 50 Pa, n_{50} [1/h]	15,66	14,68	16,64	+/-6,3%
Permeabilidade a 50 Pa, v_{50} [$m^2/h \cdot m^2$]	177,4522	166,360	188,544	+/-6,3%
Fuga específica a 50 Pa, w_{50} [$m^2/h \cdot m^2$]	38,0255	35,6486	40,4023	+/-6,3%
Área de fuga efetiva a 50 Pa, $EfLA_{50}$ [cm^2]	162,3	152,4	172,7	+/-6,4%
Área de fuga equivalente a 50 Pa [cm^2]	266,0	249,9	283,2	+/-6,3%
Área de fuga normalizada at 50 Pa, NLA_{50} [cm^2/m^2]	54,09	50,708	57,470	+/-6,3%

Fig. 32 - Tabela de resultados.

Pressão induzida [Pa]	9,2	19,9	30,5	41,4	51,3
tilador 1 C1 Pa	92,8	221			
tilador 1 C2 Pa			133,1	180,5	229,7
Pressão de fluxo zero final [Pa]	0,23	0,06			
Mostrar gráficos					Média dos pontos
					Tem
Fluxo total, V_r [m³/h]	218,4	346,3	406,6	475,5	540,3
Taxa de fluxo corrigido [m³/h]	218,4	346,3	406,6	475,5	540,3
Erro [%]	-1,8%	4,5%	-1,4%	-1,4%	0,3%

Fig. 33 - Pontos do ensaio.

Uma vez que se pretendia obter caudais para as diferenças de pressão exatas de 10, 20, 30, 40, 50 e 100 Pa, com o objetivo de tornar os valores dos caudais comparáveis, recorreu-se à equação (1). Em cada ensaio realizado era possível obter o valor do C_{env} e o valor do n , conforme a Fig. 34. Na equação o q_{env} representa o caudal e o Δp corresponde à pressão para a qual se pretende calcular o caudal, o n à pendente e o C_{env} ao coeficiente de fluxo de ar. De referir ainda que estes valores são específicos para cada janela.

$$q_{env} = C_{env} (\Delta p)^n \tag{1}$$

Correlação, r [%]	99,73	Limite de confiança de 95%	
Coefficiente de fluxo de ar, C_{env} [m³/h-Pa ⁿ]	71,461	56,76	89,97
Coefficiente de fluxo de ar, C_L [m³/h-Pa ⁿ]	71,461	56,76	89,97
Pendente, n	0,513	0,44376	0,58291

Fig. 34 - Tabela com valor a usar na equação.

No ensaio a 100 Pa existe uma particularidade pois, contrariamente ao ensaio a 50 Pa, este apenas obterá um ponto a uma pressão próxima de 100 Pa. Deste modo, o programa assume que o valor do n é igual a 0.6 e assim o único valor que varia será o C_{env} .

Este método foi utilizado para calcular todos os caudais que são apresentados nas tabelas e gráficos.

Na presente dissertação, em algumas tabelas irão aparecer abreviaturas do tipo de ensaios, em que “Press” e “Despress” correspondem ao ensaio de pressurização e despressurização, respetivamente, ambos a 50 Pa, sendo o valor apresentado o V_{50} que será o mesmo quer seja extrapolado da equação de forma analítica, quer seja retirado automaticamente do programa. Quando aparece um resultado

referente ao “Press100”, este refere-se ao valor extrapolado da equação para a diferença de pressão a 100 Pa que é o V_{100} .

Para além dos valores dos caudais, o valor da incerteza que está associado a cada um deles será de extrema importância pois fornece um intervalo de confiança para esse valor e pode servir como indicador dos ensaios que poderão ou não vir a ser utilizados. Assim, para cada ensaio foi obtido o erro associado ao caudal para as diferenças de pressão de 10, 20, 30, 40 e 50 Pa, como se pode ver na Fig. 35: no retângulo preto surgem as diferenças de pressão e no retângulo vermelho os erros que lhes estão associados (em percentagem). Foi ainda obtido um valor global desse erro relativo ao V_{50} , como se pode ver na Fig. 36 no retângulo vermelho. Deste modo, consegue perceber-se se existe algum valor a partir do qual o ensaio deixou de ser válido ou se o ensaio é inválido no seu todo. Segundo a Norma ISO 9972 o valor de referência para a incerteza situa-se entre 5% e 10% (ISO, 2015). Deste modo, uma incerteza global associada superior a 15% será assumido como um valor exagerado, indicando que este ensaio terá que ser tratado de uma forma diferente.

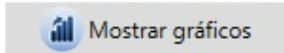
Pressão induzida [Pa]	9,2	19,9	30,5	41,4	51,3
Ventilador 1	C1	Pa 92,8	221		
Ventilador 1	C2		133,1	180,5	229,7
Pressão de fluxo zero final [Pa]	0,23	0,06			
					
Fluxo total, V_r [m³/h]	218,4	346,3	406,6	475,5	540,3
Taxa de fluxo corrigido [m³/h]	218,4	346,3	406,6	475,5	540,3
Erro [%]	-1,8%	4,5%	-1,4%	-1,4%	0,3%

Fig. 35 - Erro associado às diferentes pressões.

	Resultados	Intervalo de confiança de 95%		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V_{50} [m³/h]	532,36	500,1	566,7	+/-6,3%
Modificação do ar a 50 Pa, n_{50} [/h]	15,66	14,68	16,64	+/-6,3%
Permeabilidade a 50 Pa, v_{50} [m³/h·m²]	177,4522	166,360	188,544	+/-6,3%
Fuga específica a 50 Pa, w_{50} [m³/h·m²]	38,0255	35,6486	40,4023	+/-6,3%
Área de fuga efetiva a 50 Pa, E_{fLA50} [cm²]	162,3	152,4	172,7	+/-6,4%
Área de fuga equivalente a 50 Pa [cm²]	266,0	249,9	283,2	+/-6,3%
Área de fuga normalizada at 50 Pa, NLA_{50} [cm²/m²]	54,09	50,708	57,470	+/-6,3%

Fig. 36 - Erro associado ao V_{50} do ensaio.

4

AVALIAÇÃO DA ESTANQUIDADE

4.1. Resultados do ensaio

Na Tabela 13 pode observar-se os valores dos caudais dos diferentes ensaios realizados nos diferentes locais.

Tabela 13 - Resultados do caudal nos diferentes empreendimentos.

Ensaio	NS (m ³ /h)			JS (m ³ /h)		TS (m ³ /h)	
	Press	Press100	Despress	Press	Press100	Press	Press100
#1	532,36	728,42	522,00	513,07	708,61	-	-
#2	510,15	695,93	526,73	488,34	681,82	-	-
#3	276,61	406,53	-	60,75	-	-	-
#4	242,91	-	292,14	121,70	92,28	-	-
#5	503,02	683,09	497,63	471,29	649,17	-	-
#6	546,10	738,40	536,10	535,83	752,19	111,34	165,46
#7	129,13	136,78	133,83	118,36	188,92	84,63	-
#8	-	254,53	147,12	149,10	232,35	94,49	225,85
#9	122,75	225,69	136,42	116,91	190,19	84,02	168,47
#10	192,65	295,11	171,04	163,94	235,52	40,18	25,68
#11	206,63	314,44	211,97	200,27	268,80	88,86	91,29
#12	370,30	640,93	518,28	379,20	496,55	69,84	104,92
#13	99,95	146,29	171,91	94,76	138,84	87,32	130,44
#14	213,12	-	-	176,36	-	69,55	-

Relativamente aos valores apresentados, na sua maioria estes são plausíveis uma vez que quando se comparam ensaios iguais, o valor do caudal vai diminuindo à medida que se vai selando mais elementos. No caso #12 pode verificar-se que o valor do “Press” com janela selada é superior ao valor obtido quando nada é selado e também muito diferente do “Despress”, o que demonstra a possibilidade de existência de um erro de medição durante o ensaio. No caso #8 existiu um problema relacionado com o facto do *software* ter realizado uma gravação automática levando à eliminação do valor correto.

Na Fig. 37 encontram-se os dados relativos ao V_{50} de pressurização organizados num gráfico de barras para maior facilidade de comparação de resultados entre casos. Para obter o efeito da janela foi subtraído o valor do ensaio com a janela selada ao valor do ensaio realizado sem nada selado e, para obter o efeito da caixa de estore, foi subtraído o valor obtido com tudo selado ao valor obtido com apenas a janela selada. Devido aos motivos apresentados anteriormente, não foi possível identificar o efeito da janela nos casos #8 e #12.

Na Tabela 14 encontram-se descritas algumas observações aos ensaios realizados respeitantes a fatores que de alguma forma podem ter prejudicado alguns resultados obtidos.

Tabela 14 - Observações aos ensaios.

Ensaio	Observações
#1	Ensaio realizado sobre piso técnico assente em estrutura metálica com grande ventilação.
#2	Ensaio realizado sobre piso técnico assente em estrutura metálica com grande ventilação.
#3	Janelas renovadas mas com grandes aberturas devido ao deslocamento das próprias janelas para pressões induzidas superiores a 40 Pa.
#4	Janelas renovadas mas com grandes aberturas devido ao deslocamento das próprias janelas para pressões induzidas superiores a 40 Pa.
#5	Janela em mau estado de conservação.
#8	Dificuldade de selagem da janela pois esta encontrava-se num canto de difícil acesso.
#10	Entre os dois panos de correr existia uma abertura em que era possível observar a luz do dia. Ligação entre a caixa de estore e a parede muito degradada.
#11	Dificuldade de selagem da janela devido ao sistema de segurança existente.
#12	Dificuldade de selagem da janela devido ao sistema de segurança existente. Ligação entre a caixa de estore e a parede muito degradada.
#13	Dificuldade de selagem da janela devido ao sistema de segurança existente.

Na Tabela 15 pode observar-se a incerteza associada ao valor do caudal no ensaio para as diferentes diferenças de pressão e para o valor global do caudal (V_{50}). A incerteza apresentada encontra-se em percentagem.

Tabela 15 - Incerteza associada aos diferentes ensaios e pressões.

Ensaio	Erro %						
	10	30	20	40	50	Total	
#1	NS	-1.8	4.5	-1.4	-1.4	0.3	6.3
	JS	-1.3	2.9	-0.2	-1.4	0.2	4.2
#2	NS	-1.2	2.0	0.3	-0.2	-0.9	3.2
	JS	-0.3	1.7	-2.1	0.0	0.8	3.5
#3	NS	6.5	-3.0	-5.1	-15.6	20.8	34.0
	JS	1.7	-2.5	-0.4	-0.5	1.8	4.3
#4	NS	-0.3	0.2	0.3	0.5	-0.7	1.2
	JS	2.3	-4.7	1.6	-1.1	2.1	7.8
#5	NS	-1.4	3.9	-2.4	-0.6	0.5	6.0
	JS	-0.9	3.2	-2.7	0.0	0.4	5.4
#6	NS	0.0	-0.8	1.8	-0.4	-0.6	2.5
	JS	-0.6	0.5	1.8	-1.0	-0.6	2.9
	TS	-0.8	6.2	14.6	-0.8	-5.4	20.4
#7	NS	0.1	1.5	-1.5	-4.0	4.0	7.7
	JS	-0.8	2.1	-0.4	-3.2	2.3	5.9
	TS	3.7	-5.7	-1.6	1.0	2.9	9.6
#8	JS	2.0	-1.5	-6.2	5.5	0.6	10.9
	TS	5.2	-8.1	-2.5	2.4	3.5	13.5

Ensaio	Erro %						
	10	30	20	40	50	Total	
#9	NS	1.9	-0.1	-4.9	-4.4	8.0	12.6
	JS	2.6	-1.1	-4.2	-5.2	8.5	13.9
	TS	0.4	-0.8	0.5	-0.6	0.5	1.6
#10	NS	1.2	-2.6	0.2	1.4	-0.3	4.0
	JS	8.1	-21.3	20.1	3.2	-5.2	40.9
	TS	3.1	-3.0	-4.6	2.9	1.9	9.5
#11	NS	-0.2	0.6	-0.3	-0.2	0.1	0.9
	JS	-0.4	0.6	0.4	-0.1	-0.5	1.2
	TS	0.2	-0.1	-0.3	-0.1	0.4	0.7
#12	NS	-0.9	1.6	0.8	-1.0	-0.5	2.9
	JS	2.2	-3.6	-0.3	0.8	1.1	5.7
	TS	-0.5	0.6	0.9	-0.9	-0.1	1.9
#13	NS	1.2	-1.2	-3.4	3.2	0.3	6.3
	JS	-1.3	1.7	1.6	-1.3	-0.7	3.7
	TS	0.1	-0.2	1.2	-1.7	0.8	2.9
#14	NS	-0.3	-0.1	1.5	-1.2	0.2	2.3
	JS	-3.1	-0.1	2.0	3.8	-2.4	7.2
	TS	-15.3	12.5	9.1	2.1	-5.8	28.8

Na Tabela 15 observa-se que nos ensaios #3, #6, #10 e #14 as incertezas são muito elevadas, sendo que no primeiro caso esta está relacionada com as janelas de guilhotina e nos três restantes casos estará hipoteticamente relacionada com o processo de selagem. A negrito encontram-se os pontos com incerteza superior a 15% segundo o critério enunciado em 3.4..

Através da Tabela 14 e da Tabela 15, é possível tirar algumas conclusões acerca dos problemas que existiram, bem como da sua influência no ensaio.

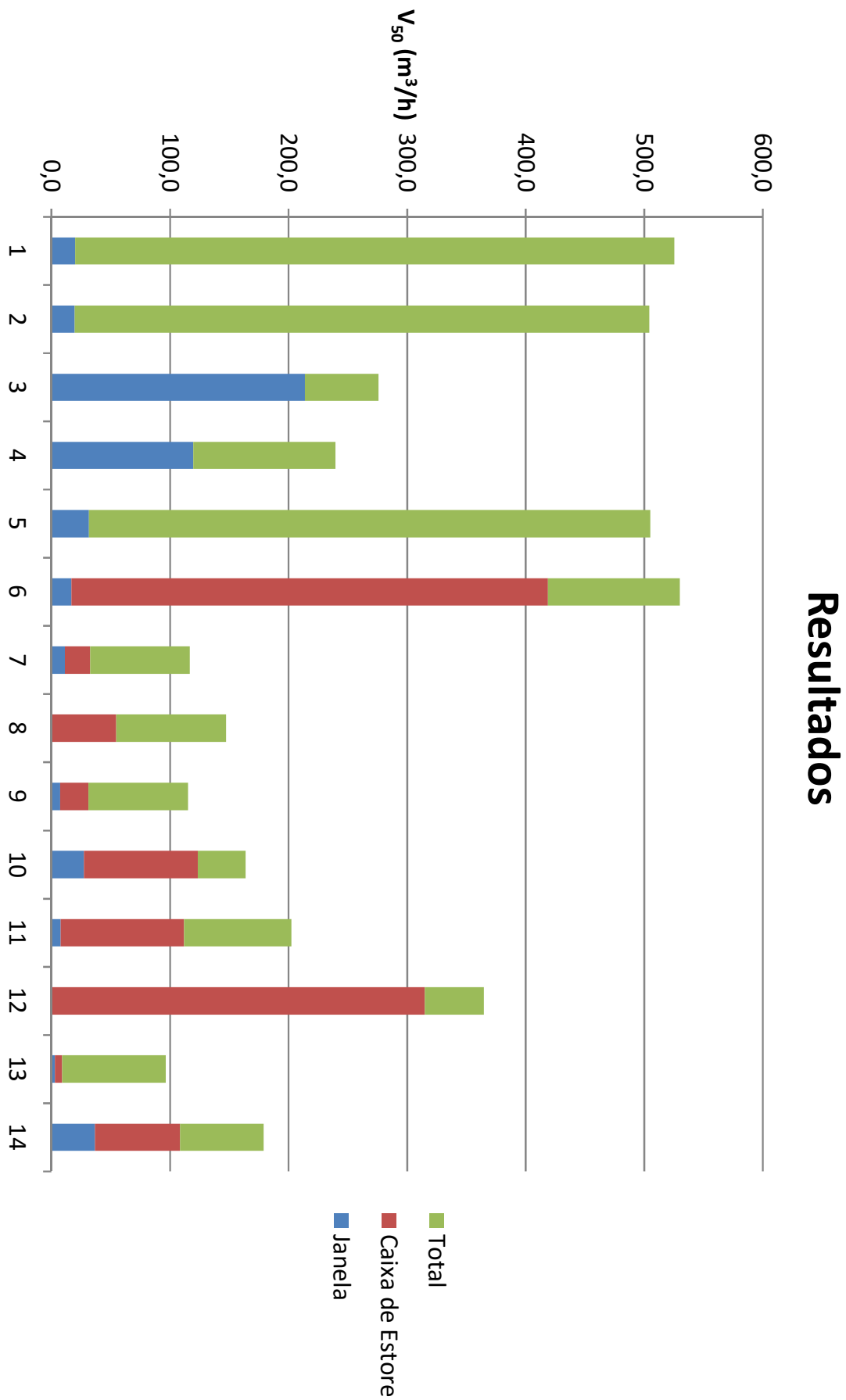


Fig. 37 - Resultados do V50 de pressurização.

Nos cinco primeiros casos, em que nenhum tem caixa de estore, podemos observar que o efeito da janela é relativamente baixo com exceção para os casos #3 e #4, em que a janela era de guilhotina e a sua estanquidade era baixa e variável com as mudanças de pressão já que estas alteravam a sua posição original. Relativamente aos restantes casos, é de referir o efeito relevante da caixa de estore nos casos #6, #10, #11, #12 e #14 resultante de algumas falhas aquando da sua construção, como será abordado posteriormente.

O valor total apresentado em alguns casos é muito elevado quando comparado com os outros valores. Nos dois primeiros casos esse facto deve-se ao tipo de piso onde foram realizados os ensaios, uma vez que estes eram assentes em estruturas metálicas e que essa zona era altamente ventilada. No caso #5 este valor resulta da degradação da madeira da janela. Nos casos #6 e #12 este valor está associado ao deficiente acabamento da caixa de estore.

Na Fig. 38 e Fig. 39 estão representadas as curvas de permeabilidade de cada janela testada. Os valores a azul são relativos ao ensaio de pressurização até 50 Pa e, nos casos em que existe, o valor a vermelho é relativo ao ensaio de pressurização a 100 Pa. Do ensaio a 50 Pa foram retirados os cinco pontos relativos às diferenças de pressão de 10,20,30,40 e 50 Pa. Os gráficos estabelecem uma relação entre a diferença de pressão e o caudal que passa pela janela.

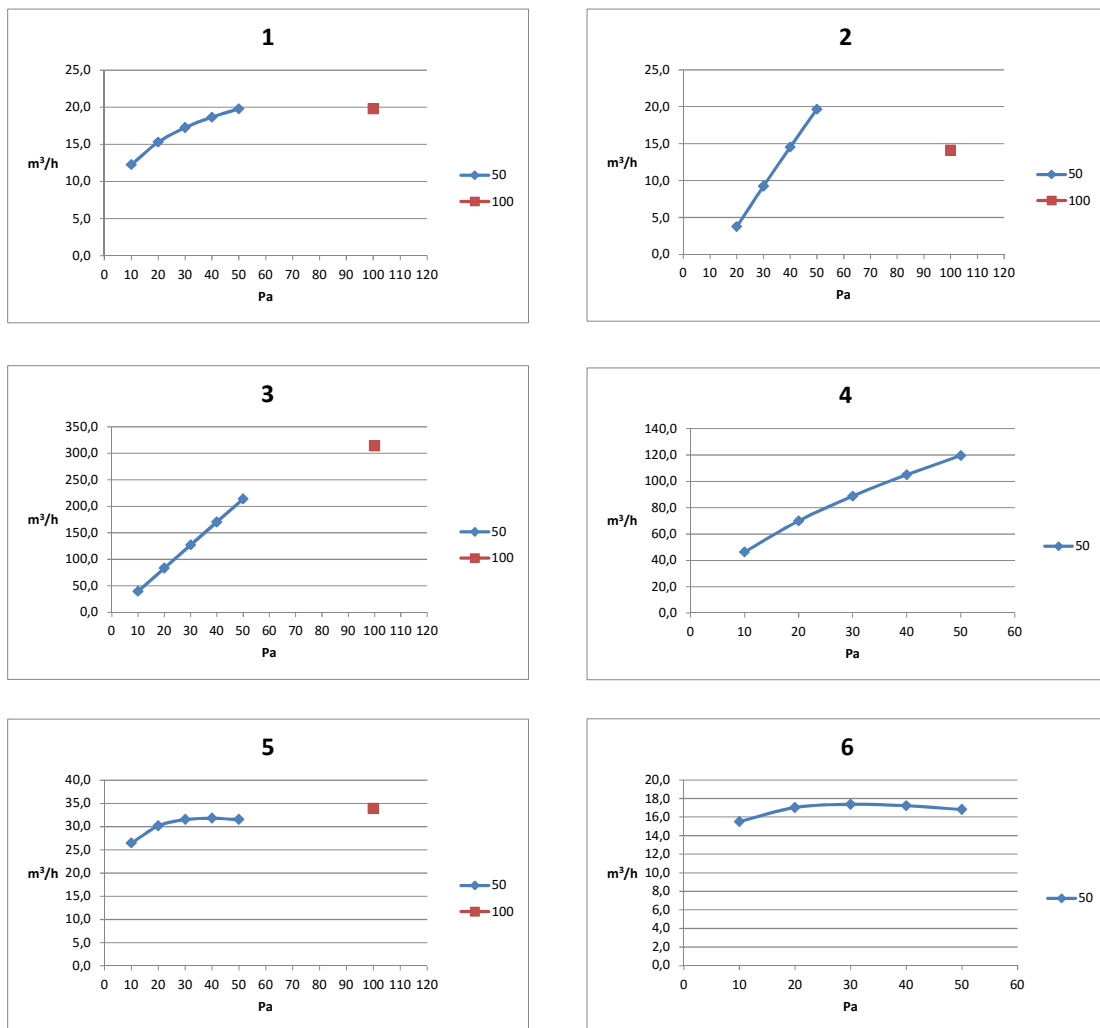


Fig. 38 - Curvas de permeabilidade das janelas testadas nos ensaios #1 a #6.

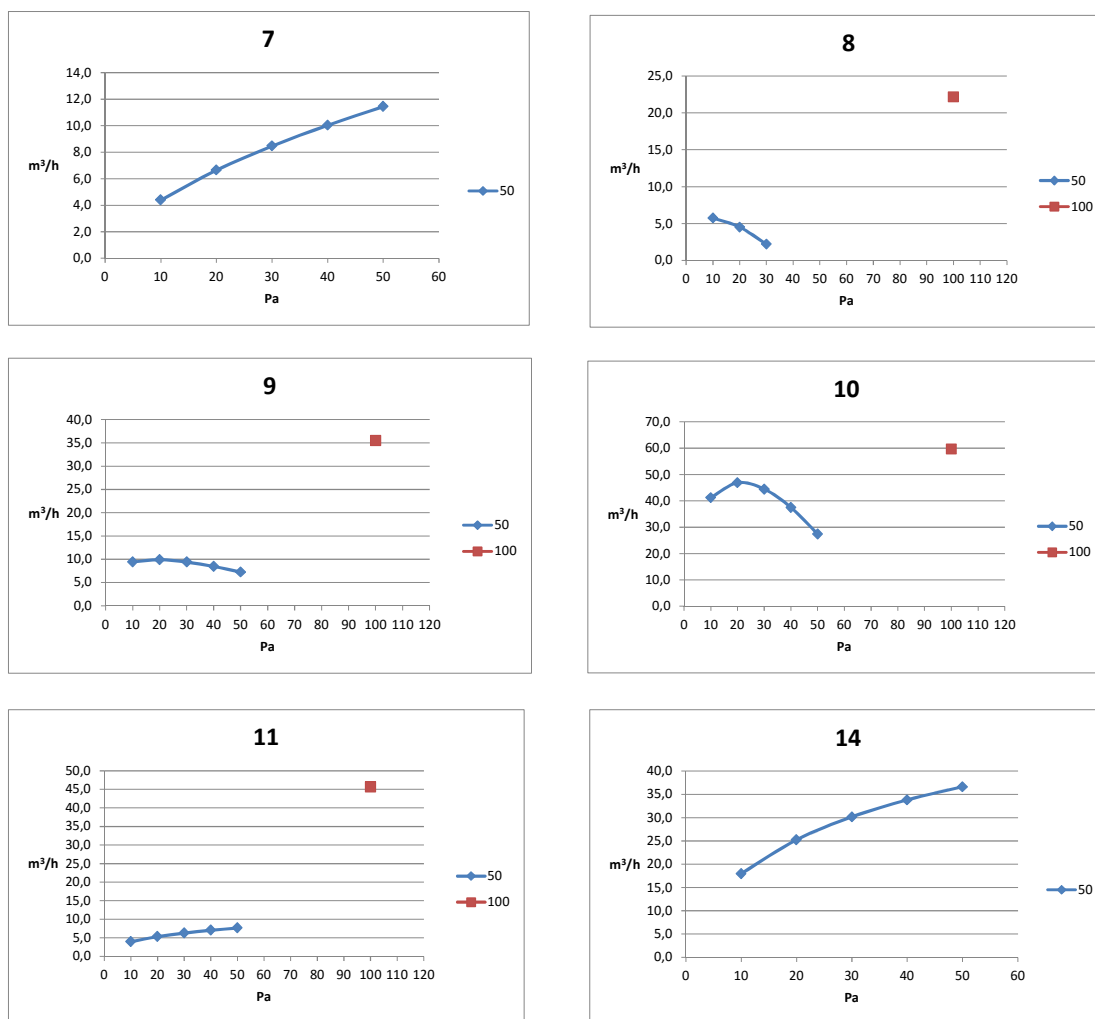


Fig. 39 - Curvas de permeabilidade das janelas testadas do ensaio #7,#8,#9,#10,#11 e #14.

Os ensaios #12 e #13 não se encontram representados pois os seus valores resultantes das diferenças calculadas para obter o efeito da janela não tinham qualquer sentido. Na origem destes valores estão as dificuldades sentidas durante a execução dos ensaios, como descritas na Tabela 14.

Relativamente ao ensaio #6, existe uma quebra do valor do caudal para as diferenças de pressão acima dos 30 Pa, o que não é normal acontecer, não havendo, neste caso em concreto, nenhuma justificação aparente. Se tivermos em atenção a Tabela 15 pode observar-se que no ensaio com tudo selado a 30 Pa existe uma grande alteração da incerteza, até um valor de 14.6%, o que poderá estar relacionado com o processo de selagem.

No ensaio #8, como foi descrito, existia um problema no processo de selagem uma vez que uma das ombreiras se encontrava junto a uma parede perpendicular, o que dificultou o acesso e colocação do plástico nesse local. Este problema existiu eventualmente durante todo o ensaio, uma vez que a incerteza não sofreu nenhuma alteração significativa.

No ensaio #9 até uma diferença de pressão de 20 Pa não se verificou nada de anormal mas, quando a diferença de pressão foi superior a 20 Pa, a incerteza aumentou e os valores do caudal diminuíram, o que não deveria acontecer. Para este facto não existe nenhuma justificação.

No ensaio #10 verificou-se a existência de algumas anomalias na janela bem como na caixa de estore. Além destes fatores, no ensaio com a janela selada, a incerteza associada foi de 21.3% para 20 Pa e de 20.1% para 30 Pa, o que demonstra os problemas existentes durante o ensaio e que culminou num erro global do V_{50} de 40.9%, um valor muito elevado.

Por estes motivos, os valores relativos a estes quatro ensaios não serão utilizados posteriormente.

4.2. Classificação das janelas

Após quantificação do efeito de cada elemento na estanquidade do compartimento testado, pretende-se agora classificar as janelas. A metodologia de classificação de janelas encontra-se descrita na Norma Europeia 12207 (2000a), a qual estabelece alguns parâmetros a que uma janela deve obedecer, sendo um desses parâmetros a permeabilidade ao ar. Essa classificação pode ser obtida através do diagrama da Fig. 11. Este diagrama dispõe de duas formas de classificação em que ambas dependem da pressão, mas uma é relativa ao caudal por área de janela, como na Fig. 41, e a outra é pelo caudal por comprimento de junta de abertura, como na Fig. 42. Deste modo, utilizou-se as pressões de 50 e 100 Pa para cada caso. Cada caso tem associado um símbolo, de acordo com a Fig. 40.

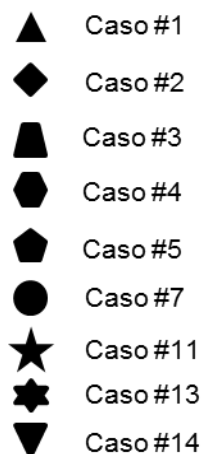


Fig. 40 - Símbolos utilizados para cada ensaio.

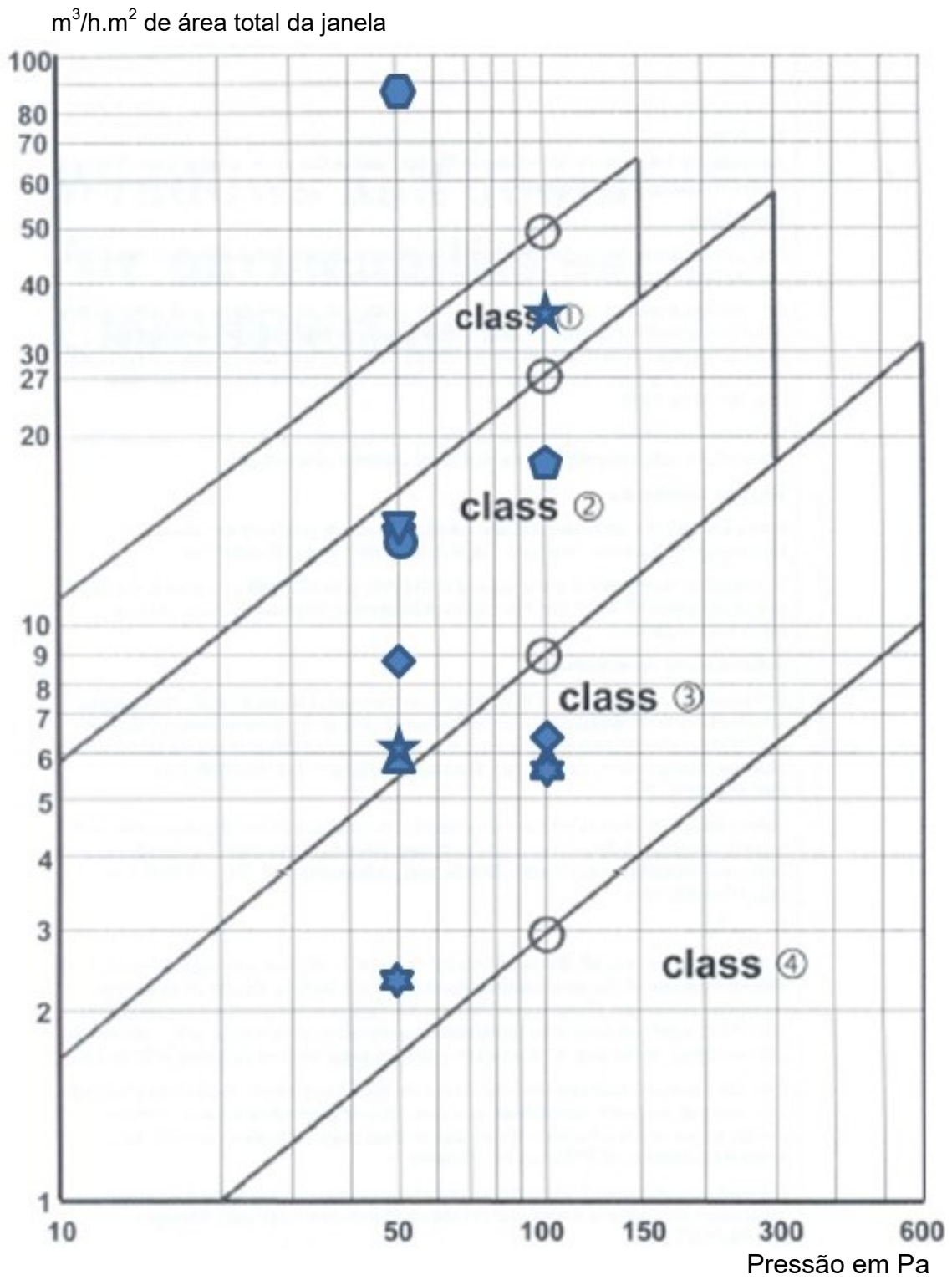


Fig. 41 - Diagrama de classificação de janelas relativo ao caudal por área da janela.

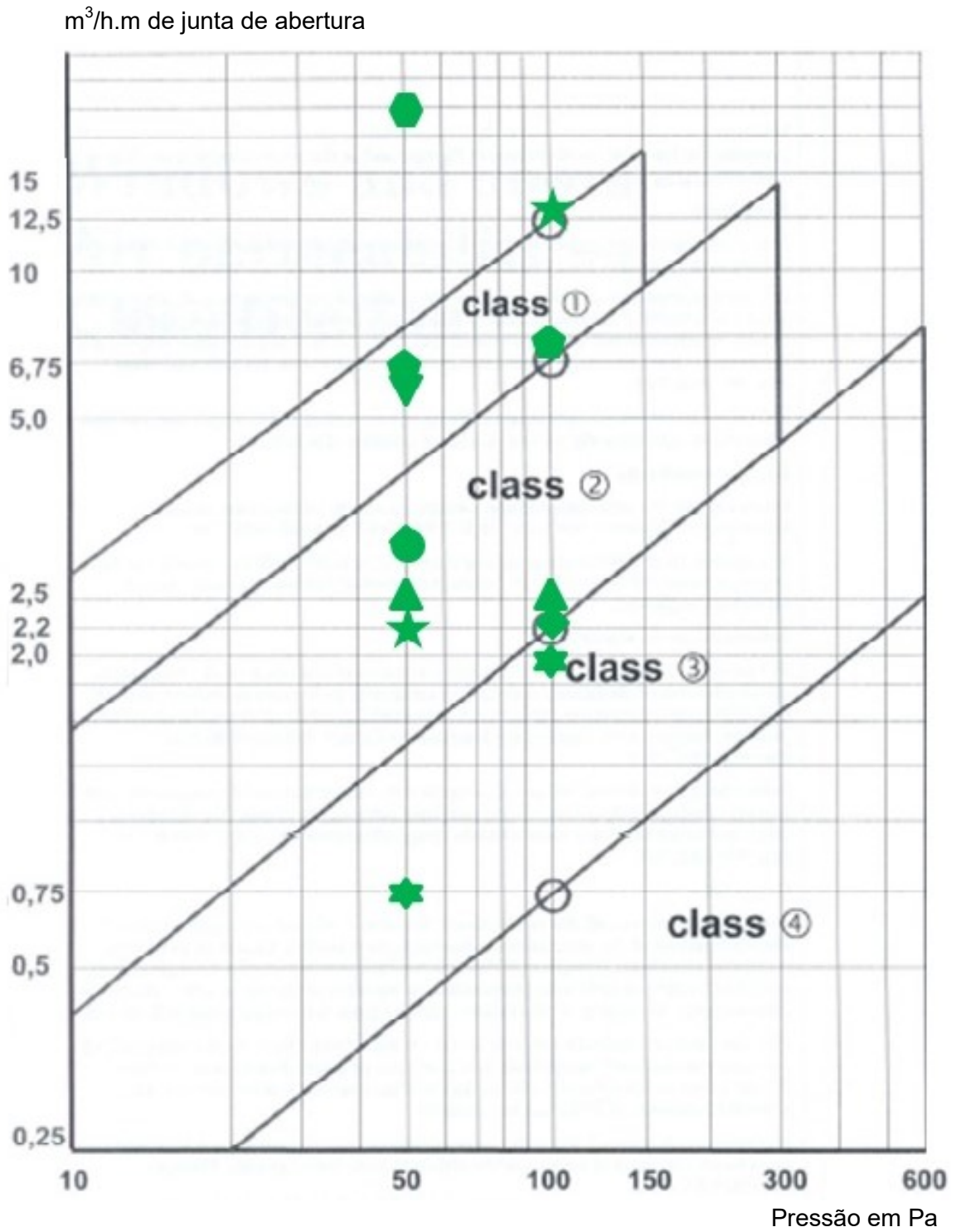


Fig. 42 - Diagrama de classificação de janelas relativo ao caudal por comprimento de junta de abertura.

Através da Fig. 41 pode concluir-se que mais de 80% dos casos se encontra entre a classe 1 e a classe 2, o que significa que estas janelas são muito permeáveis ao ar, o que não contribui para a estanquidade do edifício.

Já na Fig. 42, a classificação é um pouco diferente pois existem mais janelas com classes superiores a 2, mas também mais janelas com classe inferior a 1, o que leva a um valor de 66% dos casos nas classes 1 e 2, refletindo uma maior dispersão pelas classes.

Na Tabela 16 pode observar-se a classificação quanto à permeabilidade ao ar de cada janela para 50 Pa, 100 Pa e um valor global, de acordo com a norma. Ente os dois critérios utilizados não se verificam grandes diferenças de classes, tal como seria de esperar.

Tabela 16 - Classificação das janelas segundo a norma.

Ensaio		Classes								
		#1	#2	#3	#4	#5	#7	#11	#13	#14
Por área de janela	50 Pa	2	2	0	0	2	2	2	3	2
	100 Pa	3	3	0	-	2	-	1	3	2
	Global	2	2	0	0	2	2	1	3	2
Por comprimento de junta de abertura	50 Pa	2	2	0	0	1	2	2	3	1
	100 Pa	2	2	0	-	1	-	0	3	1
	Global	2	2	0	0	1	2	0	3	1

A Fig. 43 e a Fig. 44 representam dois gráficos em que é comparado o caudal por unidade de área, no eixo das ordenadas, e o caudal por unidade de comprimento da junta de abertura, no eixo das abcissas. Na Fig. 43 foram utilizados os valores referentes ao ensaio de pressurização a 50 Pa e na Fig. 44 foram utilizados os valores referentes ao ensaio de pressurização a 100 Pa. Em ambos os gráficos foram retirados dois valores referentes às janelas de guilhotina de madeira pois apresentavam valores muito elevados relativamente aos restantes, distorcendo o objetivo pretendido.

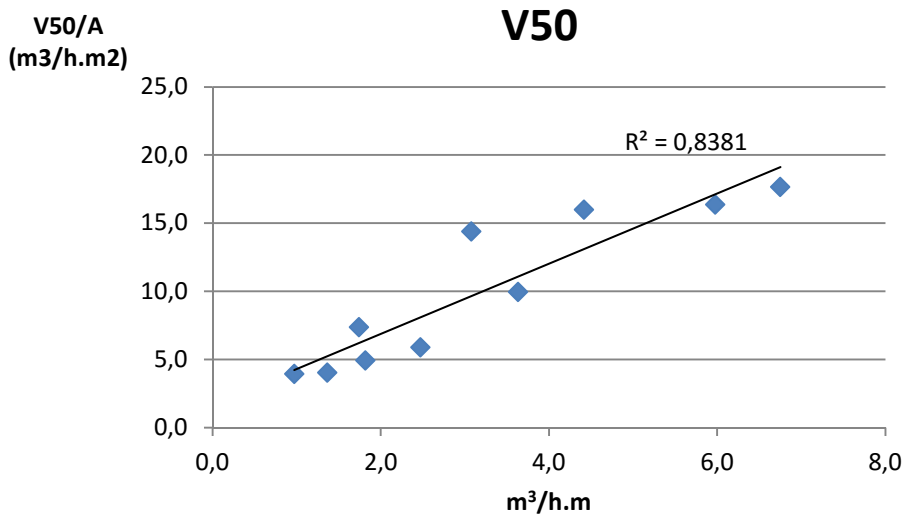


Fig. 43 - Proporcionalidade entre os dois indicadores.

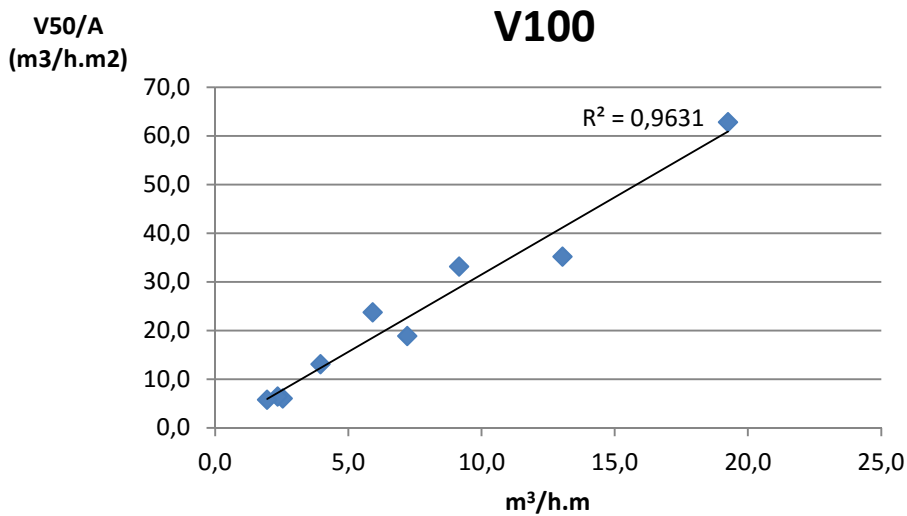


Fig. 44 - Proporcionalidade entre os dois indicadores.

Teoricamente, em ambos os gráficos dever-se-ia obter uma reta que passasse na origem, pois esta relação deverá ser mantida independentemente da janela em questão. Por este motivo, adicionou-se uma reta de regressão para avaliar a proximidade dos pontos obtidos a essa reta ideal. Assim, com a ajuda do coeficiente R^2 (que deverá ser o mais próximo de 1 possível), obteve-se a 50 Pa (Fig. 43) um valor de 0.83 e a 100 Pa (Fig. 44) um valor de 0.96, o que significa que os pontos apresentam uma correlação forte sendo que a maior se verifica no ensaio a 100 Pa. Ao existir esta correlação, pode-se utilizar apenas um destes fatores para posterior discussão de resultados.

4.3. Efeito da caixa de estore

Das janelas ensaiadas, apenas algumas continham caixa de estore, sendo que em todos os casos testados esta era exterior. Na Tabela 17 podem observar-se os valores referentes ao efeito da caixa de estore nos ensaios de pressurização a 50 e 100 Pa divididos pelo comprimento, resultando num valor do caudal por metro linear de caixa de estore.

Tabela 17 - Efeito da caixa de estore por metro linear.

Ensaio	Caudal 50 Pa (m ³ /h.mL)	Caudal 100 Pa (m ³ /h.mL)
#6	339,6	469,4
#7	39,7	-
#8	64,2	7,6
#9	23,5	15,5
#10	77,4	131,1
#11	111,4	177,5
#12	140,6	178,0
#13	6,2	7,0
#14	71,2	-

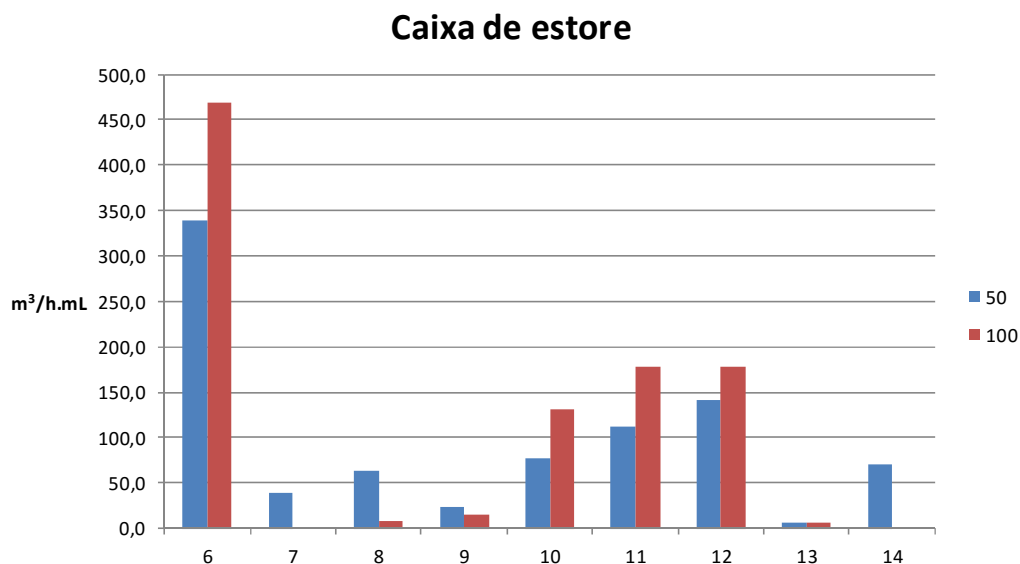


Fig. 45 - Efeito da caixa de estore para 50 e 100 Pa.

Na Fig. 45 encontra-se uma representação gráfica da Tabela 17, onde se pode verificar que em alguns casos o efeito da caixa de estore é mais relevante. Alguns casos não foi possível realizar o ensaio daí não existirem alguns valores a 100 Pa. De referir que nos casos #8 e #9 o valor do caudal a 100 Pa não deveria ser menor do que o valor a 50 Pa, o que poderá indicar alguma falha durante o ensaio que poderá estar relacionada com a selagem dos elementos. De salientar o caso #6, que tem um valor elevado relativamente aos restantes casos, embora sem justificação aparente.

No caso #10 existia ainda uma pequena grelha colocada na parte inferior da caixa de estore com o objetivo de ventilar, como se pode ver na Fig. 46. Para verificar qual a influência desta grelha na estanquidade foi realizado um ensaio em que a janela e a grelha eram seladas para posteriormente ser comparado com a situação em que tudo foi selado. Deste ensaio de pressurização a 50 Pa resultou a conclusão que o efeito da grelha era perfeitamente desprezável comparando com o caudal que entrava por outras zonas da caixa de estore pois da contribuição atribuída à caixa de estore a grelha apenas significava 8% desse valor.



Fig. 46 - À esquerda a grelha selada e à direita a grelha sem ser selada.

Conclui-se que a caixa de estore tem uma grande influência no conjunto e que, frequentemente, esta não acompanha as exigências de qualidade projetadas para a janela, provocando graves problemas de estanquidade.

4.4. Discussão

Após uma avaliação dos efeitos das janelas e das caixas de estore, pretende-se agora fazer uma separação dos resultados obtidos para as janelas em diferentes grupos consoante algumas características, de modo a facilitar a comparação desses resultados. Essas características são: o material; o modo de abertura; a existência ou não de caixa de estore; o tipo de vidro; área da janela; comprimento da junta de abertura; fator de comprimento de junta.

Os gráficos seguintes utilizam os valores do ensaio de pressurização a 50 Pa. No eixo das ordenadas pode ler-se o caudal a uma diferença de pressão de 50 Pa dividido pela área da janela e no eixo das abcissas a característica diferenciadora.

Nos gráficos apresentados podem ver-se duas séries. A série a azul refere-se aos resultados com todos os casos testados (Grupo A); a série a vermelho refere-se apenas aos casos válidos, em que foram excluídos os casos #6, #8, #9 e #10 pelas razões apresentadas na secção 4.1. (Grupo B). A letra n em cada série representa o número de casos.

Na Fig. 47 pode observar-se que existe uma grande diferença entre os valores do caudal dividido pela área de uma janela de alumínio e de madeira, embora seja necessário fazer referência ao facto de que as janelas de madeira analisadas eram janelas muito antigas e degradadas, resultando daí um grande erro associado.

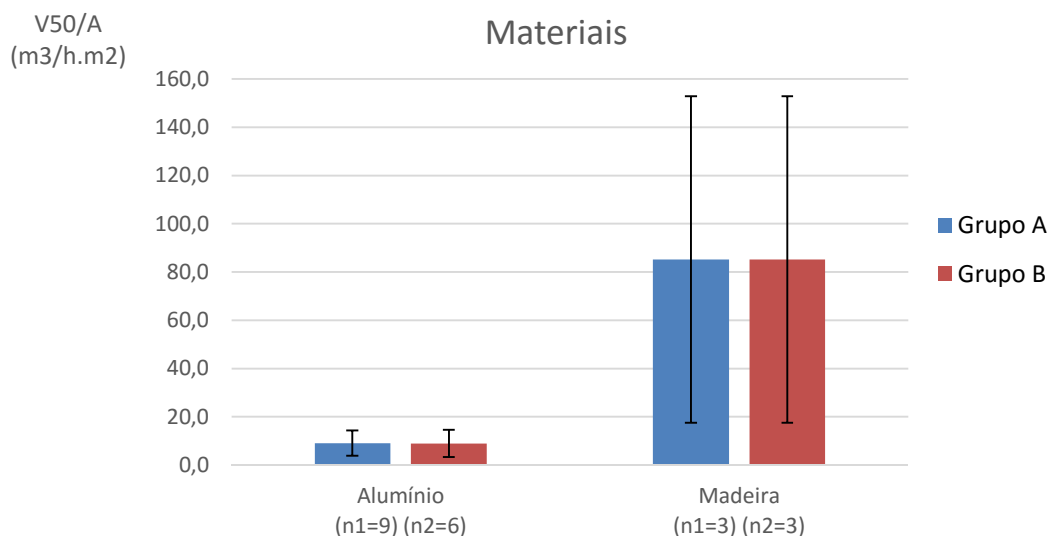


Fig. 47 - Comparação entre janelas de diferentes materiais.

Através da Fig. 48 observa-se uma grande discrepância das janelas de guilhotina relativamente aos outros modos de abertura explicada não só pelo facto de esta ser uma forma de abertura pouco eficiente, mas também porque as janelas de guilhotina ensaiadas eram todas em madeira. As janelas de correr e de batente de 2 folhas apresentam resultados próximos, mas aquelas que apresentam melhores resultados são as janelas de batente de 1 folha.

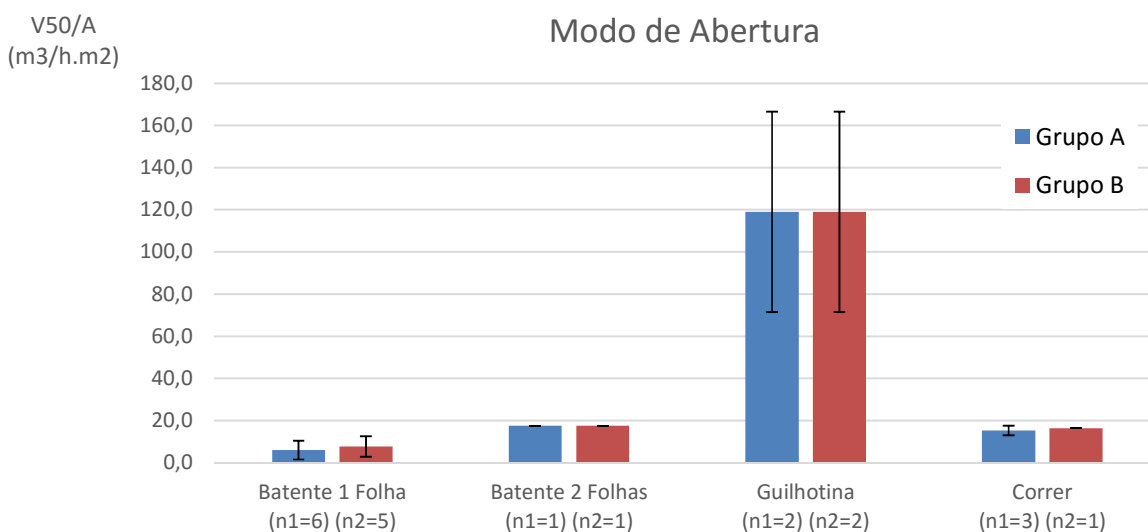


Fig. 48 - Comparação entre janelas com diferentes modos de abertura.

Na Fig. 49 pode verificar-se que as janelas onde existe caixa de estore permitem a passagem de um caudal muito menor do que aquelas que não têm. Esta situação pode estar relacionada com o facto de que ao existir um elemento muito permeável como a caixa de estore que irá de certa forma compensar a diferença de pressão sem que a janela tenha uma elevada influência.

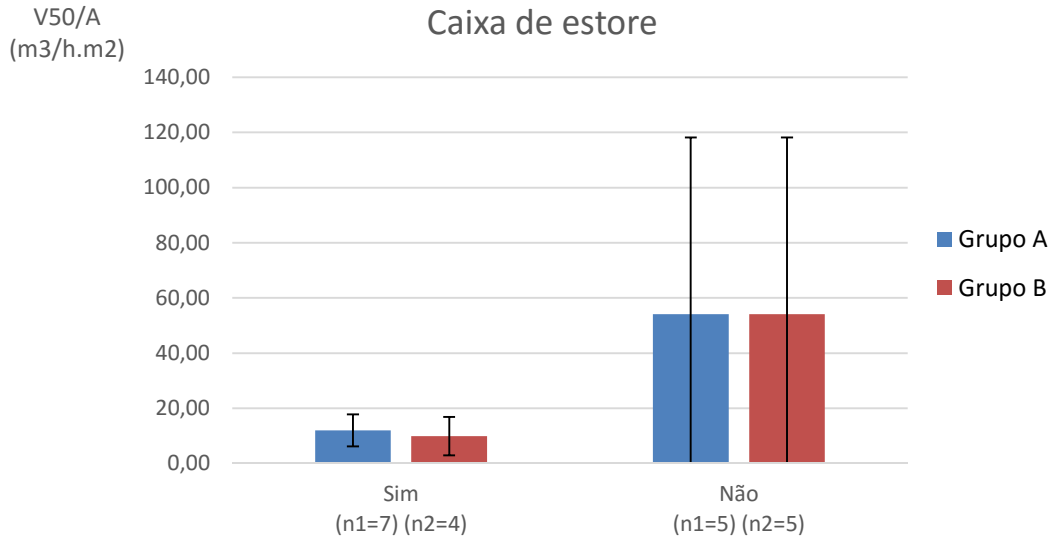


Fig. 49 - Comparação entre janelas com e sem caixa de estore.

Na Fig. 50 observa-se uma grande diferença entre valores, tal como seria de esperar, sendo que a janela de vidro simples é bastante mais permeável do que a de vidro duplo. Na barra de erro vê-se que a janela de vidro simples tem um maior erro associado do que a de vidro duplo, pois existe uma grande discrepância entre os resultados na janela de vidro simples.

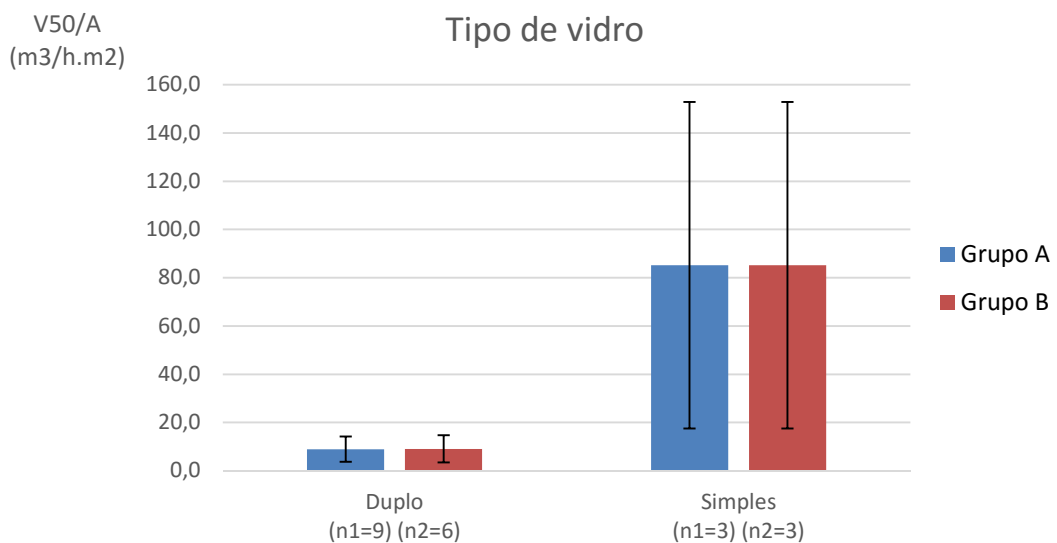


Fig. 50 - Comparação entre janelas de vidro duplo e simples.

Na Fig. 51, teoricamente, à medida que a área da janela aumentava o V_{50} também deveria aumentar. No entanto, o que se verifica na série a azul é que, com exceção para as janelas com área ente 1 e 1,5 m^2 , as restantes classes apresentam valores que decrescem à medida que a área aumenta. Já na série a vermelho, existe um valor do caudal muito elevado para janelas com área ente 1 e 1,5 m^2 e nas restantes classes os valores decrescem, tal como na série a azul. Uma das razões para que o pressuposto teórico não se verificasse de forma tão acentuada como seria de esperar é devido ao reduzido número de ensaios para as classes de área inferior a 1 m^2 e entre 1,5 e 2 m^2 .

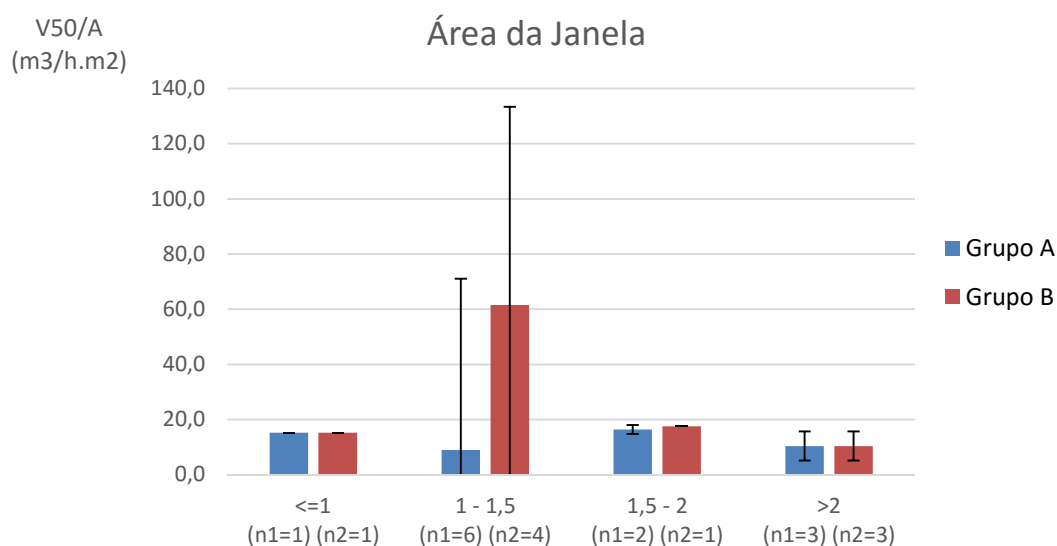


Fig. 51 - Comparação entre janelas com áreas diferentes.

Como se pode observar na Fig. 52, na série azul, as janelas com comprimentos de junta inferior a 4 m apresentam um valor menor do que as outras duas classes, tal como seria de esperar pois, à medida que o comprimento de junta aumenta, o caudal dividido pela área também aumenta. Na série a vermelho, o valor correspondente à classe entre 4 e 6 m de comprimento de junta é bastante exagerado, proveniente de um erro também exagerado; já nas outras classes, verifica-se o mesmo aumento verificado na série a azul.

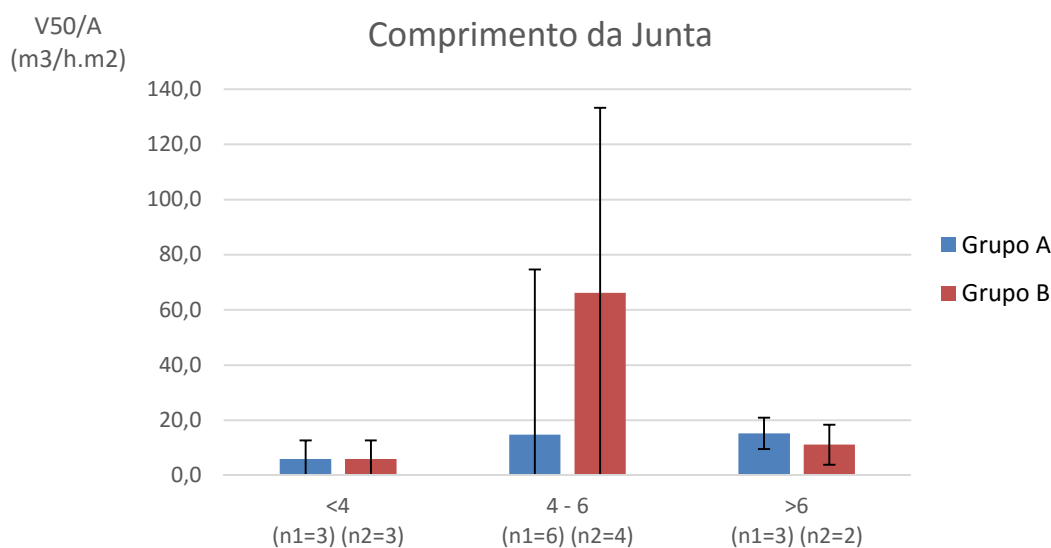


Fig. 52 - Comparação entre janelas com comprimento de junta diferente.

Na Fig. 53, no eixo das ordenadas é apresentado o caudal a uma diferença de pressão de 50 Pa (V_{50}) e no eixo das abcissas a área da janela. Na Fig. 54, no eixo das ordenadas é apresentado o caudal a uma diferença de pressão de 50 Pa (V_{50}) e no eixo das abcissas é apresentado o comprimento de junta de abertura.

Relativamente à Fig. 53, observa-se que as janelas de alumínio de batente são bastante eficientes quando comparadas com as janelas de alumínio de correr pois, se fixarmos áreas próximas, os valores do caudal são mais baixos. De referir ainda que nas janelas de alumínio de correr se verifica um aumento mais acentuado do caudal com o aumento da área, do que quando comparado com o aumento do caudal para janela de alumínio de correr. O ensaio relativo à janela de madeira de batente apresenta valores do caudal muito elevados, como seria de esperar, embora menor do que o valor obtido num ensaio numa janela de alumínio de correr.

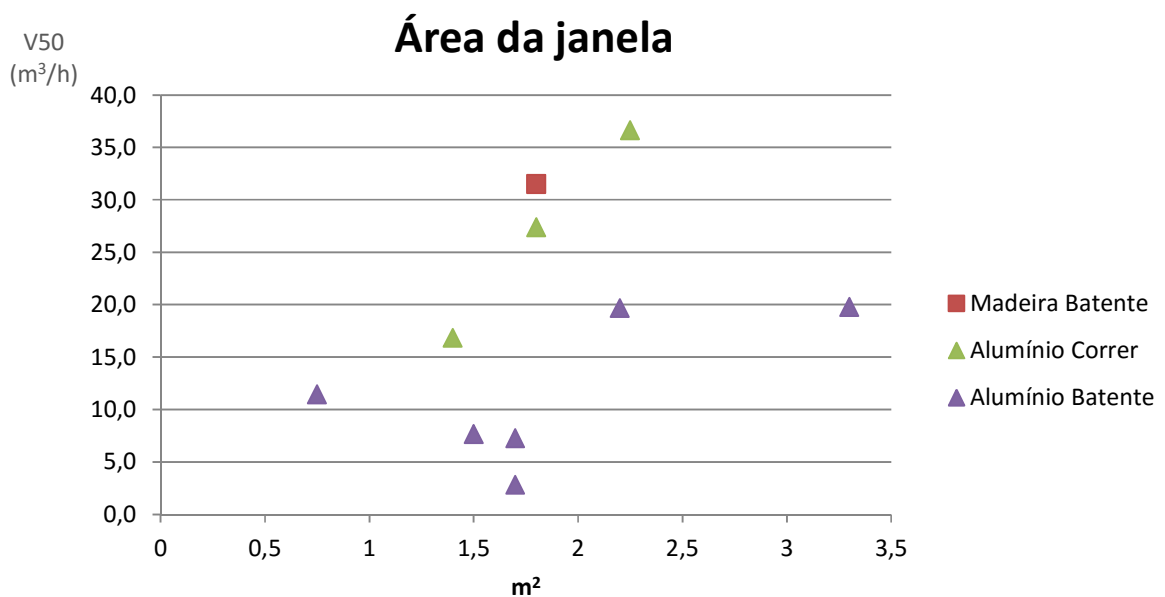


Fig. 53 - Comparação entre janelas de caudais e áreas diferentes com separação por material e tipo de abertura.

Na Fig. 54, o que deveria acontecer é que com o aumento do comprimento de junta de abertura, o caudal associado deveria aumentar também. Para as janelas de alumínio de batente, os valores aumentam, embora existam 3 ensaios em que isto não acontece devido a um eventual erro. Nas janelas de alumínio de correr, verifica-se que para janelas com áreas idênticas o valor do caudal é muito diferente, o que estará relacionado com a má qualidade das janelas testadas e com o erro associado ao ensaio. Como já foi referido, a janela de madeira de batente apresenta um valor elevado embora menor do que o obtido numa janela de alumínio de correr.

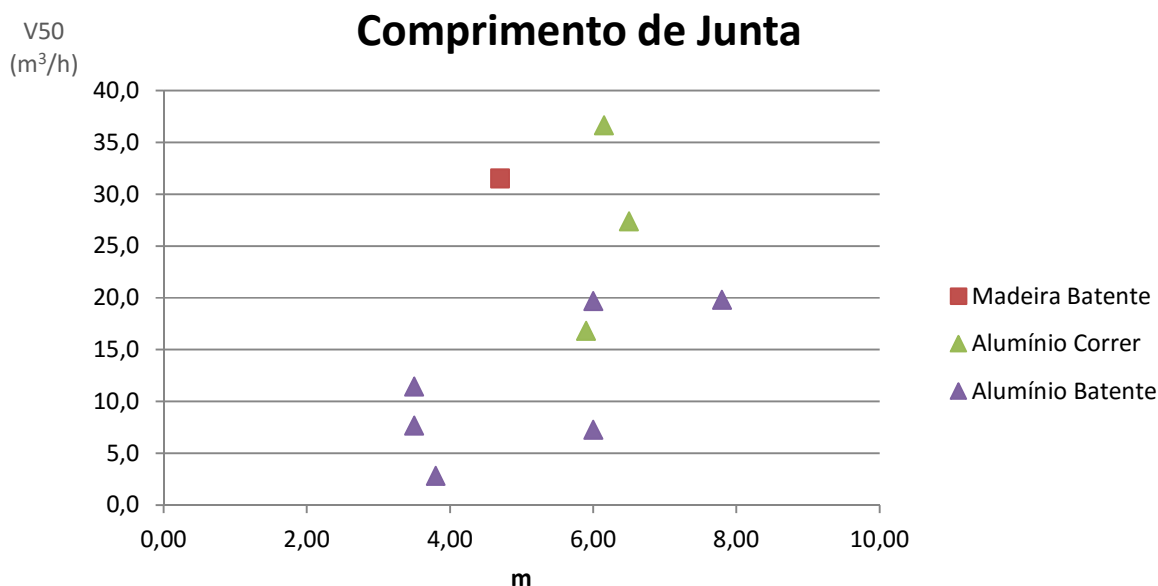


Fig. 54 - Comparação entre janelas de caudais e comprimento de junta de abertura diferentes com separação por material e tipo de abertura.

As janelas de madeira de guilhotina foram excluídas dos dois gráficos anteriores uma vez que apresentavam valores muito elevados.

Nas Fig. 55 e Fig. 56 encontra-se representado um gráfico que relaciona o N_{50} com o fator de comprimento do caixilho, que consiste na divisão do comprimento do caixilho pelo volume do compartimento. Esta discussão foi realizada num outro estudo realizado em Atenas que foi descrito anteriormente na presente dissertação (Sfakianaki et al., 2008).

De acordo com essa abordagem, na Fig. 55 e na Fig. 56 verificar-se-ia que existia uma correlação entre os valores. Em cada uma das figuras foram utilizados dois critérios diferentes. Na Fig. 55 foram excluídos os ensaios #6, #8, #9 e #10 como tinha sido feito anteriormente pois estes apresentavam curvas de permeabilidade fora do normal. Na Fig. 56, por sua vez, o critério utilizado excluía os ensaios #3, #6, #10 e #14 pois estes apresentavam valores de erro muito acima dos 15% e, como tal, existia a possibilidade de estes resultados serem menos precisos.

Contrariamente ao esperado, na Fig. 55 percebe-se, através de uma linha de tendência aplicada aos resultados obtidos nos ensaios realizados, que essa relação não existe pois o valor do R^2 é muito reduzido.

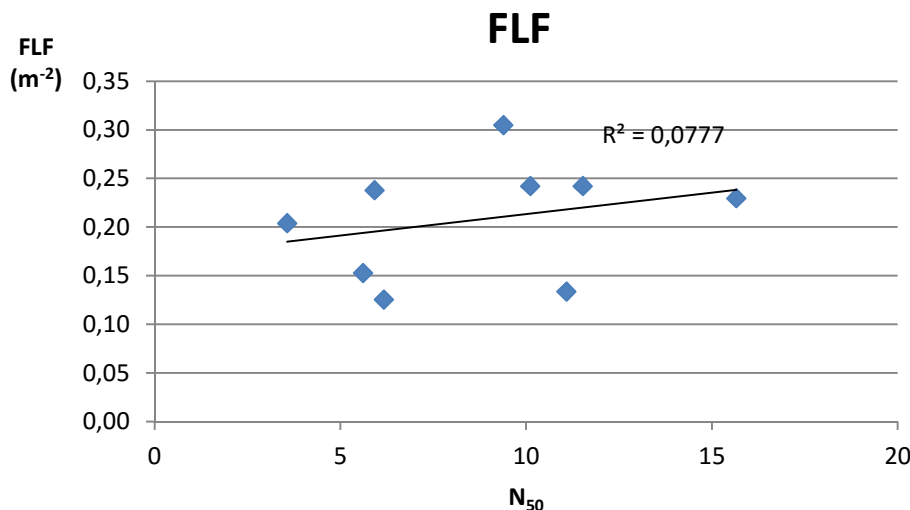


Fig. 55 - Fator de comprimento do caixilho vs. N_{50} .

Já na Fig. 56, existe uma correlação entre os valores obtidos, uma vez que o R^2 apresenta um valor de 0.32, superior aos 0.07 da Fig. 55, denotando que existe uma relação ente o fator de comprimento do caixilho e o valor do N_{50} . Deste modo, se compararmos com o estudo realizado em Atenas, em que o valor obtido do R^2 foi de 0.56, podemos concluir que o valor obtido é bastante bom, na medida em que confirma a teoria (Sfakianaki et al., 2008).

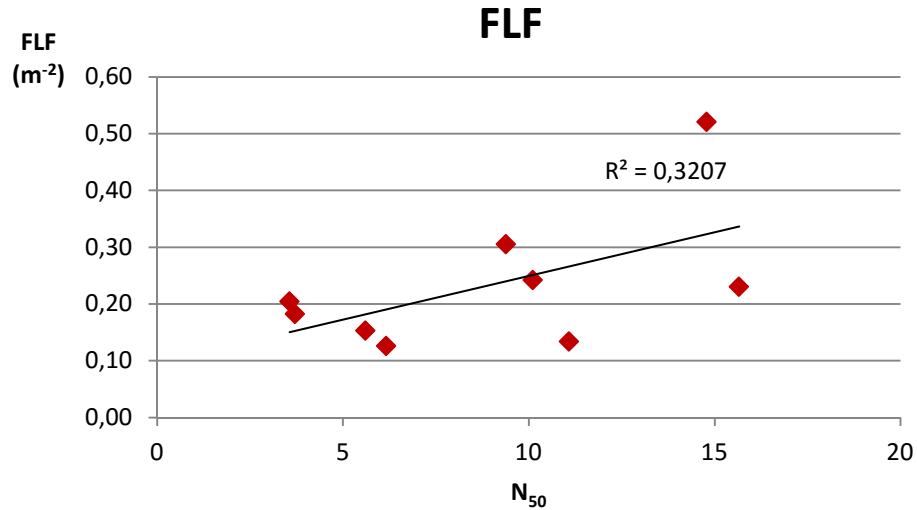


Fig. 56 - Fator de comprimento do caixilho vs. N_{50} .

5

CONCLUSÕES

5.1. Conclusões gerais

No final do presente estudo considera-se que foram atingidos todos os objetivos propostos, permitindo, através da campanha experimental, fazer uma avaliação das janelas em alguns edifícios na zona do Porto e aprofundar o conhecimento sobre a influência das janelas na estanquidade.

Durante a execução desta dissertação, verificou-se que este tema está pouco desenvolvido uma vez que existem poucos estudos especializados em janelas e no seu impacto na estanquidade de um edifício. Um dos aspetos que evidencia este facto prende-se com a normalização existente, que apenas aborda a situação como um todo e nunca detalhadamente entre elementos construtivos. Embora existam alguns métodos de ensaio de janelas em laboratório, estes não têm em atenção a forma como as janelas são inseridas nas construções já existentes, o que, tal como foi abordado, tem grande importância para a estanquidade. Deste modo, para realizar os ensaios sobre o efeito isolado das janelas, foi necessário adaptar a metodologia de ensaio usada para obtenção da estanquidade de uma habitação como um todo.

Ao efetuar a revisão de literatura, é de salientar alguns aspetos tais como:

- Valores de estanquidade muito elevados ou muito reduzidos podem provocar problemas de humidade, sendo portanto necessário alcançar um equilíbrio entre estanquidade e ventilação;
- De entre os vários elementos construtivos presentes numa habitação e que contribuem para as infiltrações de ar, as janelas correspondem a aproximadamente 10% desse valor;
- A renovação de janelas poderá ter um grande impacto ao nível da melhoria da estanquidade, bem como contribuir significativamente para o aumento da eficiência energética.

Na campanha de ensaios realizada em 14 apartamentos na zona do Porto foram sentidas algumas dificuldades relacionadas principalmente com a selagem das janelas devido à existência de zonas menos acessíveis, quer pelo facto de estas se encontrarem em cantos dos compartimentos, quer pela existência de sistemas de segurança existentes no interior das janelas que dificultavam o acesso às mesmas. Alguns destes problemas influenciaram a incerteza do resultado, o que levou a que se retirasse esses ensaios de algumas análises. No entanto, à medida que se foi avançando na realização dos ensaios, foi possível melhorar a metodologia utilizada para que os ensaios e os resultados fossem menos influenciados.

A análise detalhada dos diversos ensaios de pressurização e despressurização permitiu retirar algumas conclusões, das quais se destacam as seguintes:

- Enquadrando os ensaios realizados no âmbito da Norma Europeia 12207, verifica-se que as janelas observadas apresentam estanquidade baixa. De facto, utilizando quer o caudal por unidade de área, quer o caudal por unidade de comprimento de junta de abertura, mais de 65% das janelas encontram-se entre as classes 1 e 2, o que representa uma classe baixa dentro das janelas (2000a);
- Conclui-se que existe proporcionalidade direta, quer a 50 Pa quer a 100 Pa, entre o valor do caudal por unidade de área e o valor do caudal por unidade de comprimento de junta de abertura. Assim, verifica-se que ambas as variáveis são equivalentes, sendo indiferente usar uma ou outra. Optou-se então por usar o caudal por unidade de área;
- Relativamente ao efeito da caixa de estore, na maioria dos casos em que existe, verifica-se que esta é a principal responsável pela falta de estanquidade do conjunto janela caixa de estore. O problema associado a este facto prende-se com falhas na ligação entre a caixa de estore e a parede;
- Verificou-se as janelas de alumínio são preferíveis relativamente às de madeira, uma vez que as primeiras apresentam valores para a permeabilidade aproximadamente 8 vezes menor do que as segundas;
- Quanto ao modo de abertura, conclui-se que as janelas de guilhotina apresentam um valor do caudal 6 vezes maior do que as janelas de batente de 2 folhas o que revela a ineficiência deste modo de abertura. Os resultados são idênticos para as janelas de correr, apresentando estas valores idênticos aos das janelas de batente de 2 folhas. As janelas de batente de 1 folha são as mais eficientes;
- O valor do caudal em janelas onde existe caixa de estore é aproximadamente 5 vezes menor do que o caudal em janelas sem caixa de estore, o que poderá significar não propriamente o bom desempenho da janela, mas sim a falta de estanquidade da caixa de estore;
- Conclui-se que as janelas de vidro duplo são preferíveis quando comparadas com janelas de vidro simples, uma vez que estas últimas apresentam um caudal 8 vezes superior ao das primeiras;
- Conclui-se que as janelas de correr com uma grande área apresentam menor eficiência do que as janelas de batente, já que, ao aumentar de igual forma a área das janelas, as de correr registam um aumento de caudal superior ao das janelas de batente, confirmando a melhor qualidade destas;
- Verifica-se a existência de uma correlação entre o fator de comprimento do caixilho e o valor do N_{50} , o que indica que à medida que o comprimento do caixilho por unidade de volume aumenta, o N_{50} também aumenta.

Apesar de haver relativamente poucos trabalhos sobre o tema em questão, há evidência de que em Portugal as janelas apresentam baixa estanquidade, havendo espaço para melhorias neste âmbito.

5.2. Desenvolvimentos futuros

Por fim, uma vez que se verificou a relevância das janelas no tema da estanquidade de um edifício, para que seja dada continuidade ao tema, deixam-se algumas sugestões para reflexão e eventual uso futuro.

Relativamente à realização dos ensaios, já que se verifica a existência de uma correlação entre o fator de comprimento do caixilho e o valor do N_{50} , poderá considerar-se a utilização do primeiro fator em detrimento do segundo, uma vez que este exige apenas que se obtenha o volume do edifício e o comprimento da junta de abertura, processos estes bastante mais céleres e simples do que os necessários para a obtenção do valor N_{50} .

Dado que alguns problemas relacionados com a baixa estanquidade das janelas se prendem com a mão-de-obra durante a construção das mesmas e uma vez que existem lacunas ao nível das normas existentes para a sua classificação, deveria ser criada uma norma que estabeleça os critérios e a metodologia apropriada para avaliar as janelas em uso visando a sua construção.

Com o intuito de garantir a qualificação da mão-de-obra na montagem das janelas, as empresas que as produzem e vendem poderiam realizar a sua aplicação, “oferecendo” este serviço de forma integrada.

Finalmente, recomenda-se que em estudos futuros se utilize uma amostra maior de ensaios, por forma a diminuir o peso de eventuais erros que se possam registar, possibilitando, assim, retirar conclusões mais assertivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

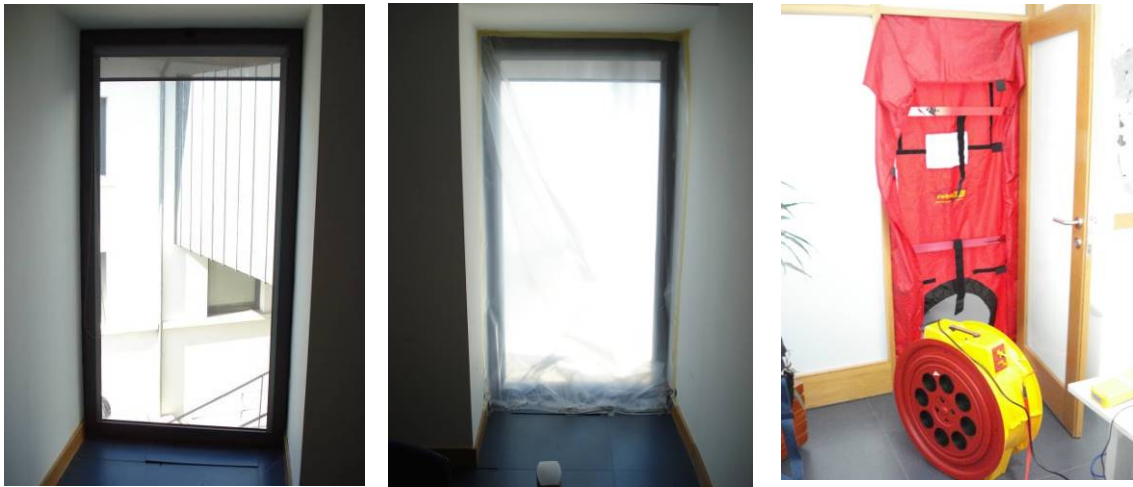
- ADENE (2016) - Sistemas de Ventilação: ADENE. Disponível em WWW: <URL: <http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/10see-05-sist-ventilacao.pdf>>.
- ALFANO, F. R. d'Ambrosio [et al.] (2012) - Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method. *Building and Environment* [Em linha]. 53: 16-25. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311004331>>. ISSN 0360-1323.
- ASTM (1996) - E1827 Standard Test Methods for Determining Airtightness of Buildings Using an Orifice Blower Door.
- (2002) - E783 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors.
- (2003) - E779 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization. [Em linha].
- CARRIÉ, F.R.; JOBERT, R.; LEPRINCE, V. (2012) - AIVC Contributed Report 14: Methods and techniques for airtight buildings. [Em linha].
- CEN (2000a) - 12207 Janelas e Portas - Permeabilidade ao ar - Classificação. [Em linha].
- (2000b) - EN13829 - Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method. [Em linha].
- CONCANNON, Peter (2002) - AIVC Technical Note 57: Residential Ventilation. [Em linha]. 70.
- ENERGYSAVINGTRUST (2010) - Ventilation and Airtightness in New Homes: Guidance for housing professionals aiming to improve upon minimum requirements
- FENNELL, Henri C; HAEHNEL, Jonathan (2005) - Setting airtightness standards. *ASHRAE journal* [Em linha]. 47:9. 26. ISSN 0001-2491.
- FERNÁNDEZ-AGÜERA, Jesica; SENDRA, Juan José; DOMÍNGUEZ, Samuel (2011) - Protocols for Measuring the Airtightness of Multi-Dwelling Units in Southern Europe. *Procedia Engineering* [Em linha]. 21: 98-105. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811048260>>. ISSN 1877-7058.
- FERREIRA, P (2006) - Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica Submetida à FEUP, Porto.
- GROMICKO, Ben (2012) - Air Leaks and Energy Loss [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <http://book.energytool.nachi.org/ducts/air-escape>>.
- GUGLIEMINO (2014) - Blower Door Test Procedures: Preliminary comparison between EN 13829:2002 and ASTM 779-03. Disponível em WWW: <<http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/08/IEQp2-2.pdf>>.
- IPQ (2015) - Especificação dos requisitos de desempenho das janelas, portas e fachadas leves com vidro em função das suas solicitações. IPQ. 37 p.


- ISO (2015) - 9972 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method. Geneva:: ISO.
- JAGGS, Michael ; SCIVYER, Chris (2009) - A practical guide to building airtight dwellings. [Em linha].
- KÖMMERLING (2007) - Manual da Janela. [Em linha]. 228. Disponível em WWW: <URL: http://www.kommerling-portugal.com/_docum/Manual_janela.pdf>.
- KRSTIC, H.; KOSKI, Z.; TOMLJANOVIC, M. (2014) - Influence of window type on the airtightness of residential units. e-GFOS Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek [Em linha]. 9: 34-40. Disponível em WWW: <URL: <http://dx.doi.org/10.13167/2014.9.4>>. ISSN 1847-8948.
- LOPES, Nuno Valentim Rodrigues (2006) - Reabilitação de caixilharias de madeira em edifícios do século XIX e início do século XX. Tese de Mestrado em Engenharia Reabilitação do Património Edificado Submetida à FEUP, Porto.
- MACHADO, Alexandre Miguel Coutinho (2013) - Aplicação do ensaio de porta ventiladora à avaliação da estanquidade ao ar de edifícios de habitação Recurso eletrónico. Tese de Mestrado em Engenharia Civil Submetida à FEUP, Porto.
- MCNEIL, S [et al.] (2012) - A survey of airtightness and ventilation rates in post 1994 NZ homes. 2012.
- PAN, Wei (2010) - Relationships between air-tightness and its influencing factors of post-2006 new-build dwellings in the UK. Building and Environment [Em linha]. 45:11. 2387-2399. ISSN 0360-1323.
- RELANDER, Thor-Oskar; THUE, Jan Vincent; GUSTAVSEN, Arild (2008) - Air tightness performance of different sealing methods for windows in wood-frame buildings. 2008. CiteSeer.
- RETROTEC (2016) - [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <http://retrotec.com/sites/default/files/product-images-includes/5000-components.jpg>>.
- RIDLEY, I [et al.] (2003) - The impact of replacement windows on air infiltration and indoor air quality in dwellings. International Journal of Ventilation [Em linha]. 1:3. 209-218. ISSN 1473-3315.
- RODRIGUES, Sofia Manuel Leite de Magalhães (2014) - Aplicação do ensaio com porta ventiladora à avaliação da permeabilidade ao ar de elementos construtivos Recurso eletrónico. Tese de Mestrado em Engenharia Civil Submetida à FEUP, Porto.
- SFAKIANAKI, A. [et al.] (2008) - Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece. Building and Environment [Em linha]. 43:4. 398-405. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132307000091>>. ISSN 0360-1323.
- SHERMAN, Max (1995) - The Use of Blower-Door Data1. Indoor Air [Em linha]. 5:3. 215-224. Disponível em WWW: <URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.1995.t01-1-00008.x>>. ISSN 1600-0668.

VILLI, Giacomo [et al.] (2013) - Building leakage analysis and infiltration modelling for an Italian multi-family building. *Journal of Building Performance Simulation* [Em linha]. 6:2. 98-118. Disponível em WWW: <URL: <http://dx.doi.org/10.1080/19401493.2012.699981>>. ISSN 1940-1493.

ANEXO

Ficha de Ensaio



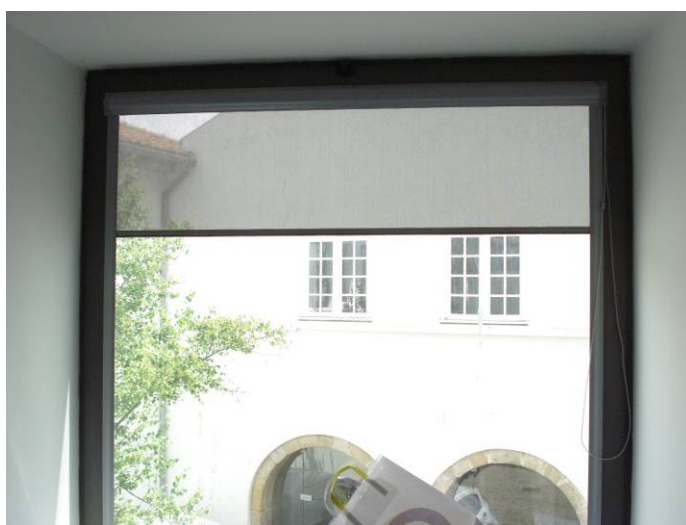
Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	14 m ²	Local:	Escritório
Área envolvente:	3 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	34 m ³	Área:	3.3 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	7.8 m
Abertura		Comprimento de juntas:	7.8 m
		Tipo de janela:	Batente 1 folha
		Protecção Solar:	Cortina Interior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada
Q ₅₀ (P)= 532.4 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 513.1 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 522.0 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 708.6 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 728.4 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 15.1 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 15.7 h ⁻¹	
N ₅₀ (D)= 15.4 h ⁻¹	

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	17 m ²	Local:	Escritório
Área envolvente:	10 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	45 m ³	Área:	2.2 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	6 m
Abertura		Comprimento de juntas:	6 m
		Tipo de janela:	Batente 1 folha
		Protecção Solar:	Cortina Interior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada
Q ₅₀ (P)= 510.2 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 488.3 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 526.7 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 681.8 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 695.9 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 11.1 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 11.1 h ⁻¹	
N ₅₀ (D)= 11.5 h ⁻¹	

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	10 m ²	Local:	Escritório
Área envolvente:	4 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	24 m ³	Área:	1.4 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	5.8 m
Abertura		Comprimento de juntas:	3.4 m
		Tipo de janela:	Guilhotina
		Protecção Solar:	Portada Interior
		Vidro:	Simplex
		Material Caixilho:	Madeira


Resultados

Nada Selado	Janela Selada
Q ₅₀ (P)= 276.6 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 60.8 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 406.5 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 92.3 m ³ /h
N ₅₀ (P)= 11.5 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 2.5 h ⁻¹

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	10 m ²	Local:	Escritório
Área envolvente:	4 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	24 m ³	Área:	1.4 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	5.8 m
Abertura		Comprimento de juntas:	3.4 m
		Tipo de janela:	Guilhotina
		Protecção Solar:	Portada Interior
		Vidro:	Simples
		Material Caixilho:	Madeira

Resultados

Nada Selado

$$Q_{50}(P) = 242.9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{50}(D) = 292.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{50}(P) = 10.1 \text{ h}^{-1}$$

$$N_{50}(D) = 12.2 \text{ h}^{-1}$$

Janela Selada


$$Q_{50}(P) = 121.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{50}(P) = 5.1 \text{ h}^{-1}$$

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	6 m ²	Local:	Escritório
Área envolvente:	9 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	15 m ³	Área:	1.8 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	7.8 m
Abertura 		Comprimento de juntas:	6 m
		Tipo de janela:	Batente 2 folhas
		Proteção Solar:	Cortina Interior
		Vidro:	Simplex
		Material Caixilho:	Madeira

Resultados

Nada Selado

$$Q_{50}(P) = 503.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{50}(D) = 497.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{100}(P) = 683.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{50}(P) = 14.8 \text{ h}^{-1}$$

$$N_{50}(D) = 33.2 \text{ h}^{-1}$$

Janela Selada

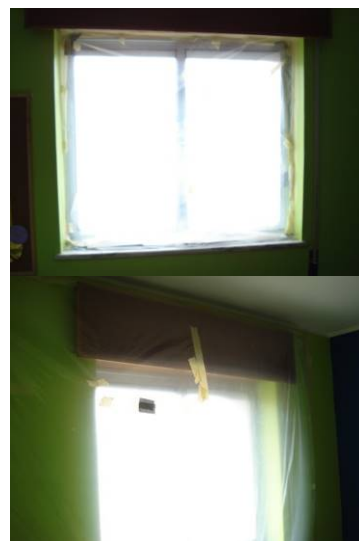
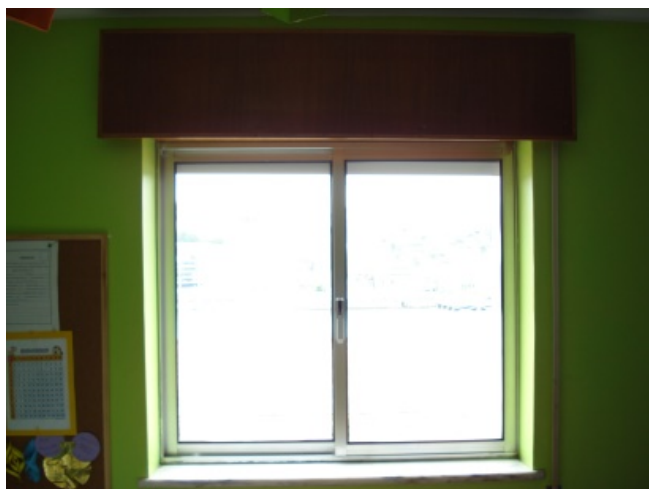
$$Q_{50}(P) = 471.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{100}(P) = 649.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{50}(P) = 31.4 \text{ h}^{-1}$$

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartmento		Características da Janela	
Área:	14 m ²	Local:	Habitação Social
Área envolvente:	11 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	33 m ³	Área:	1.4 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	5.9 m
Abertura		Comprimento de juntas:	5.9 m
		Tipo de janela:	Correr
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 546.1 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 535.8 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 111.3 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 536.1 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 752.2 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 165.5 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 738.4 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 15.8 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 3.3 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 16.1 h ⁻¹		
N ₅₀ (D)= 15.8 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



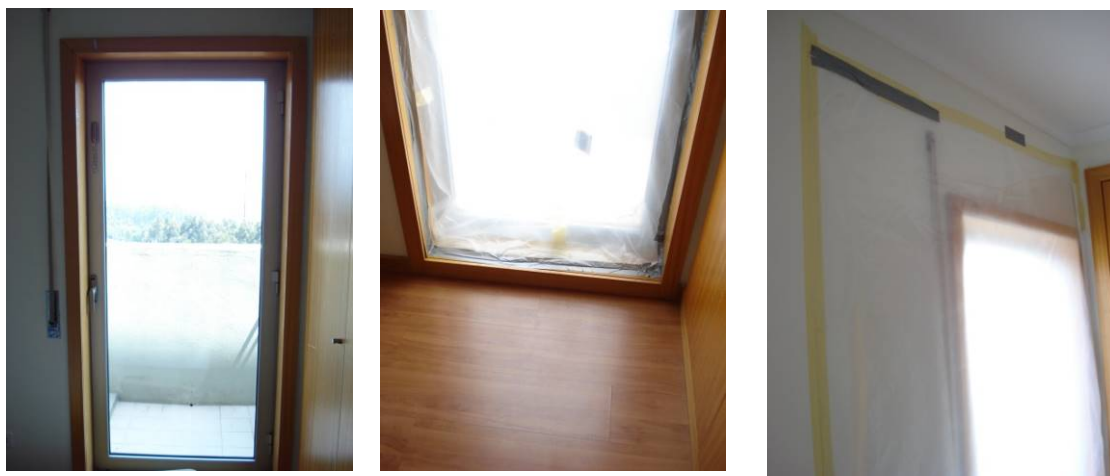
Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	9 m ²	Local:	Habituação Social
Área envolvente:	6 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	23 m ³	Área:	0.75 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	3.5 m
Abertura		Comprimento de juntas:	3.5 m
		Tipo de janela:	Batente 1 Folha
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio

Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 129.1 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 118.4 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 84.6 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 133.8 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 188.9 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 3.7 h ⁻¹
Q ₁₀₀ (P)= 136.8 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 5.2 h ⁻¹	
N ₅₀ (P)= 5.6 h ⁻¹		
N ₅₀ (D)= 5.8 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



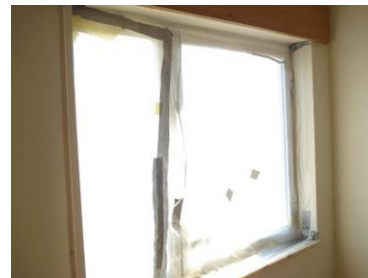
Características do Compartmento		Características da Janela	
Área:	9 m ²	Local:	Habitação Social
Área envolvente:	8 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	24 m ³	Área:	1.7 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	5.6 m
Abertura		Comprimento de juntas:	5.6 m
		Tipo de janela:	Batente 1 Folha
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (D)= 147.1 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 149.1 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 94.5 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 254.5 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 232.4 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 225.9 m ³ /h
N ₅₀ (D)= 6.1 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 6.2 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 3.9 h ⁻¹

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	13 m ²	Local:	Habitação Social
Área envolvente:	6 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	33 m ³	Área:	1.5 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	6 m
Abertura 		Comprimento de juntas:	6 m
		Tipo de janela:	Batente 1 Folha
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 122.8 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 116.9 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 84.0 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 136.4 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 190.2 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 168.5 m ³ /h
N ₅₀ (P)= 3.7 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 3.5 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 2.6 h ⁻¹
N ₅₀ (D)= 4.1 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	17 m ²	Local:	Habitação Social
Área envolvente:	8 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	42 m ³	Área:	1.8m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	6.5 m
Abertura		Comprimento de juntas:	6.5 m
		Tipo de janela:	Correr
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 192.7 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 163.9 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 40.2 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 171.0 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 235.5 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 25.7 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 295.1 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 3.9 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 1.0 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 4.6 h ⁻¹		
N ₅₀ (D)= 4.1 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	9 m ²	Local:	Habitação Social
Área envolvente:	7 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	22 m ³	Área:	1.3 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	6.7 m
Abertura 		Comprimento de juntas:	3.5 m
		Tipo de janela:	Batente 1 Folha
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 206.6 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 200.3 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 88.9 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 212.0 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 268.8 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 91.3 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 314.4 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 9.1 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 4.0 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 9.4 h ⁻¹		
N ₅₀ (D)= 9.6 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartmento		Características da Janela	
Área:	24 m ²	Local:	Habitação Social
Área envolvente:	10 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	60 m ³	Área:	2.3 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	7.5 m
Abertura		Comprimento de juntas:	7.5 m
		Tipo de janela:	Correr
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 370.3 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 379.2 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 69.8 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 518.3 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 496.6 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 104.9 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 640.9 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 6.3 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 1.2 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 6.2 h ⁻¹		
N ₅₀ (D)= 8.6 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartimento		Características da Janela	
Área:	11 m ²	Local:	Habituação Social
Área envolvente:	6 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	28 m ³	Área:	1.3 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	5.7 m
Abertura 		Comprimento de juntas:	3.8 m
		Tipo de janela:	Batente 1 Folha
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio


Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 100.0 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 94.8 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 87.3 m ³ /h
Q ₅₀ (D)= 171.9 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 138.8 m ³ /h	Q ₁₀₀ (P)= 130.4 m ³ /h
Q ₁₀₀ (P)= 146.3 m ³ /h	N ₅₀ (P)= 3.4 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 3.1 h ⁻¹
N ₅₀ (P)= 3.6 h ⁻¹		
N ₅₀ (D)= 6.1 h ⁻¹		

Notas:

Ficha de Ensaio



Características do Compartmento		Características da Janela	
Área:	13 m ²	Local:	Habituação
Área envolvente:	10 m ²	Nº Janelas:	1
Volume:	36 m ³	Área:	2.25 m ²
Nº de portas:	1	Perímetro:	8.55 m
Abertura 		Comprimento de juntas:	6.15 m
		Tipo de janela:	Correr
		Protecção Solar:	Persiana Exterior
		Vidro:	Duplo
		Material Caixilho:	Alumínio

Resultados

Nada Selado	Janela Selada	Tudo Selado
Q ₅₀ (P)= 213.1 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 176.4 m ³ /h	Q ₅₀ (P)= 69.6 m ³ /h
N ₅₀ (P)= 5.9 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 4.9 h ⁻¹	N ₅₀ (P)= 1.9 h ⁻¹

Notas:

