



Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

ADAI – Rua Pedro Hispano, 12

3030-601 Coimbra – Portugal

Telef. 239 790 732

Estudo experimental do efeito de vedação térmica da tela *Aldageed* para isolamento de caixas de estores

RELATÓRIO TÉCNICO

José J. Costa
Manuel C. Gameiro Silva

Coimbra, Agosto de 2007

Resumo

No presente documento, descreve-se o estudo experimental realizado para a empresa **Aldageed** com o objectivo de avaliar o efeito de vedação térmica que é possível alcançar com a aplicação da tela isolante no lado interior das tampas das caixas de estores. Trata-se de um dispositivo que foi recentemente lançado no circuito comercial nacional, de fácil instalação, destinado a corrigir o habitualmente fraco efeito de isolamento térmico da tampa de fecho daquelas caixas.

A análise baseou-se em medições e registos contínuos das temperaturas nas superfícies interior e exterior das tampas das caixas de estores, com e sem tela *Aldageed*, bem como dos fluxos de calor na superfície interior. Numa primeira fase, foi planeada uma campanha de medições numa instalação à escala real, em condições ambientais reais: a tela foi aplicada numa das caixas de estores de três vãos envidraçados idênticos, existentes, lado a lado, numa mesma fachada Sul de um edifício habitado. Numa segunda fase, foram conduzidos diversos ensaios em laboratório, nos quais o modelo com a tela *Aldageed* foi instalado na separação entre duas salas com ambientes a temperaturas bastante distintas.

Os resultados permitiram concluir que, quando devidamente aplicada, a tela *Aldageed* pode eliminar, em média, 60 % das perdas ou dos ganhos de calor indesejáveis através das tampas das caixas de estores, particularmente as mais finas (menos isolantes). Em situações de condições ambientais transientes, a eficiência de vedação da tela *Aldageed* pode atingir, e até ultrapassar, os 75%. Concluiu-se também que o efeito de vedação da tela *Aldageed* equivale a uma resistência térmica adicional de cerca de $0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$, no modelo laboratorial usado. Este efeito inclui o efeito isolante da camada de ar que fica retida entre a tela e a tampa da caixa de estore, podendo, obviamente, variar, consoante as condições de montagem utilizadas em cada situação.

1 Introdução

Como é sabido, as caixas de estores são elementos de utilização muito generalizada na construção civil em Portugal, que podem constituir pontes térmicas importantes, penalizando fortemente a qualidade global da envolvente dos edifícios. Actualmente, as caixas de estores utilizadas na construção de edifícios novos são pré-fabricadas com um bom isolamento térmico nas suas paredes, pelo que o ponto fraco destes elementos é a tampa, que constitui a superfície inferior da caixa), geralmente feita a partir de uma placa fina de madeira folheada (~ 5 a 7 mm de espessura). Quer esta tampa seja aparafusada na sua periferia a um caixilho específico, quer ela tenha uma aplicação do tipo “gaveta”, as cargas térmicas por ela permitidas devem-se essencialmente a dois factores: *i)* por infiltrações, que podem ser facilmente minimizadas ou neutralizadas, e *ii)* pela insuficiente resistência térmica da placa que serve de tampa.

A tela *Aldageed* (nome comercial) surgiu recentemente no circuito comercial, proposta como um dispositivo de fácil instalação e de custo acessível, destinado a reduzir o segundo dos dois factores acabados de enunciar: corrigir o fraco efeito de isolamento térmico da tampa de fecho das caixas de estores. A tela *Aldageed* é maleável e fina (~ 3 mm), tem uma largura de 29 cm, tem ambas as superfícies reflectoras e é comercializada em rolos de 3, de 5 e de 10 metros, devendo ser cortada à medida do comprimento do vão envidraçado. Numa das faces, dispõe de fita adesiva de Velcro nos bordos, em todo o comprimento. Os pares livres dessa fita, que servirão para fixar a tela *Algad*, devem ser previamente colados por pressão manual, um no bordo superior do caixilho, o outro no rebordo da superfície interior da parede interior da caixa de estore, conforme se encontra esquematizado na Figura 1.b.

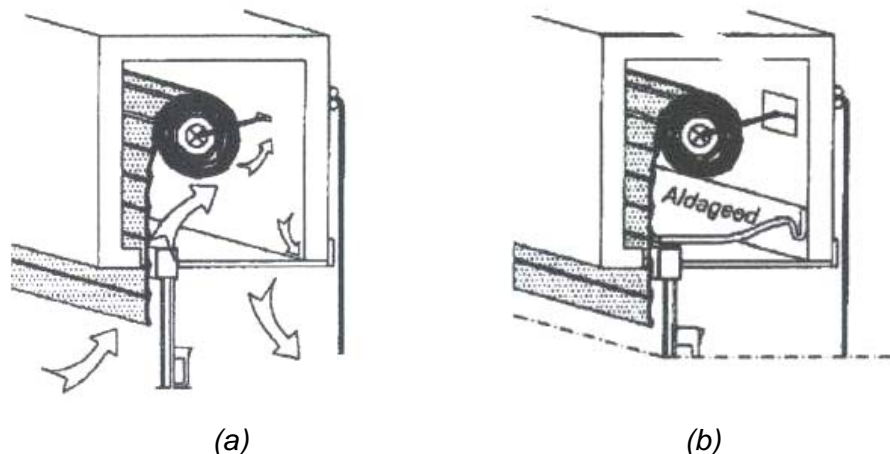


Fig. 1 – Representação esquemática de uma caixa de estore: (a) sem e (b) com aplicação da tela *Aldageed*. (Fonte: folheto de instruções fornecido com o produto)

O presente estudo teve por objectivo a avaliação, por via experimental, do efeito de vedação térmica da tela *Aldageed*, pressupondo condições térmicas significativamente distintas entre os ambientes interior e exterior. A análise baseou-se em medições e registos contínuos das temperaturas nas superfícies interior e exterior das tampas das caixas de estores, com e sem tela *Aldageed*, bem como dos fluxos de calor na superfície interior. Numa primeira fase, foi planeada uma campanha de medições numa instalação à escala real, em condições ambientais reais: a tela foi aplicada numa das caixas de estores de três vãos envidraçados idênticos, existentes, lado a lado, numa mesma fachada Sul de um edifício habitado. Numa segunda fase, foram conduzidos diversos ensaios em laboratório, nos quais o modelo com a tela *Aldageed* foi instalado na separação entre duas salas com ambientes a temperaturas bastante distintas. Os resultados permitiram concluir que a tela *Aldageed*, quando cuidadosamente aplicada de acordo com as recomendações do fabricante, permite reduzir em mais de 50% o fluxo de calor conduzido através da tampa das caixas de estore, dependendo, de entre outros factores, da espessura e do material desta.

2 Metodologias e princípios adoptados

Se eliminadas as infiltrações, só é possível reduzir os ganhos ou as perdas térmicas indesejáveis pelas caixas de estores aumentando, ou complementando de algum modo, a capacidade de isolamento térmico da respectiva tampa, que é frequentemente muito fraca. É esse o objectivo da aplicação da tela *Aldageed* no interior das caixas.

A metodologia adoptada neste estudo baseou-se na medição contínua das temperaturas superficiais de ambas as faces, bem como do fluxo de calor superficial, em duas tampas idênticas – ou elementos idênticos de placas de madeira folheada – expostas simultaneamente aos mesmos ambientes interno e externo: uma tampa (ou placa) “normal” (símbolo N), que serviria de referência, e a outra protegida ou revestida interiormente por aplicação da tela *Aldageed* (símbolo A).

2.1 Instalações experimentais e métodos de medida

Para a medição das temperaturas, foram usados termopares do tipo K, com baixa inércia térmica (fio de 0,2 mm de diâmetro). Por seu turno, os fluxos de calor superficiais foram medidos com dois sensores HFS-3, da OMEGA Instruments, para os quais é indicada uma sensibilidade nominal de 0,9524 μV por (W/m^2), até aos 38 °C. Para a

aquisição e o tratamento dos sinais medidos, os sensores foram ligados a um *data-logger* Pico TC08, da Pico Technology, com 8 canais e com compensação automática de junta fria, apropriado para adquirir e converter sinais provenientes de termopares de diversos tipos, ou de outros sensores com resposta em mV, até ± 70 mV.

Na primeira instalação, foram monitorizadas duas tampas idênticas (com dimensões aproximadas de $2\text{ m} \times 0,25\text{ m} \times 0,007\text{ m}$) das caixas de estores de dois vãos envidraçados contíguos situados na fachada Sul de um edifício habitado. Numa destas caixas, foi aplicada a tela *Aldageed* de acordo com as recomendações técnicas, tendo o cuidado de neutralizar todas as possíveis vias de infiltrações, calafetando com fita adesiva de alumínio as frestas remanescentes junto aos topos da caixa (v. Figura 2.b). Os termopares foram posicionados no centro geométrico de cada uma das faces da placa de madeira e colados com fita adesiva de alumínio, a fim de minimizar as trocas por radiação. Do lado interior e próximo do termopar, foi colado em cada placa um sensor HFS-3 de fluxo de calor. Por seu turno, para monitorizar a evolução da temperatura do ar atmosférico no exterior, foi instalado um termopar numa varanda exterior contígua, protegido da radiação solar directa e difusa.

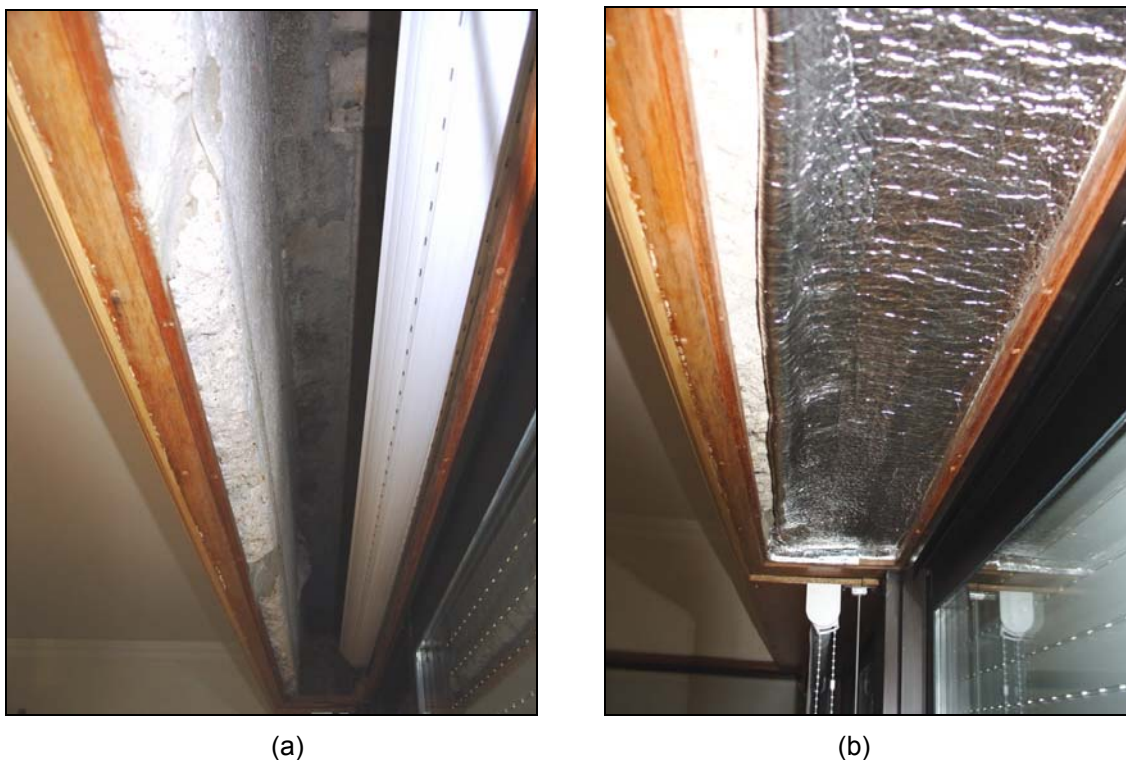


Fig. 2 – Imagem de uma das caixas de estores: (a) antes e (b) após a aplicação da tela *Aldageed*.

Por diversas razões, adiante descritas, os ensaios realizados na instalação anteriormente descrita, em condições ambientais reais, não foram completamente conclusivos. Por conseguinte, numa segunda fase, foi planeada uma campanha de testes

em laboratório, que viriam a ser realizados na secção de passagem (de 1 m de altura e 60 cm de largura) entre duas salas contíguas de uma câmara experimental, com paredes muito bem isoladas: uma “sala fria”, de $(3 \times 3 \times 3) \text{ m}^3$, cujo sistema de refrigeração permite obter temperaturas do ar inferiores a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ e produz um escoamento de ventilação bem misturado; e uma “sala quente”, de $(\sim 3 \times 2,5 \times 2,5) \text{ m}^3$, aquecida por um equipamento de tratamento de ar de 2 kW e dotada de um ventilador comercial para providenciar boa mistura e, assim, evitar a estratificação térmica, quando desejado. Por conveniência, o ambiente simulado na sala fria passou a ser designado por “ambiente exterior (sub-índice *in*)” e o da sala quente, por “ambiente interior” (sub-índice *out*). Com base numa placa de madeira folheada de 5 mm de espessura, semelhante às usadas para tapar as caixas de estores, foi construído um modelo com $60 \text{ cm} \times 29 \text{ cm}$, cujas metades foram instrumentadas de modo análogo ao descrito no parágrafo anterior, simulando, assim, porções de duas tampas idênticas sujeitas simultaneamente aos mesmos ambientes interior e exterior (v. Figuras 3 e 4). Para este efeito, numa das metades do modelo, a superfície do lado “exterior” foi protegida com tela *Aldageed*, aplicada directamente com as fitas de felcro apropriada, vedando com fita adesiva as frestas nos topos, para evitar infiltrações e qualquer contacto do “ar exterior” com o termopar (i.e., para simular uma aplicação “real” perfeita da tela *Aldageed*).

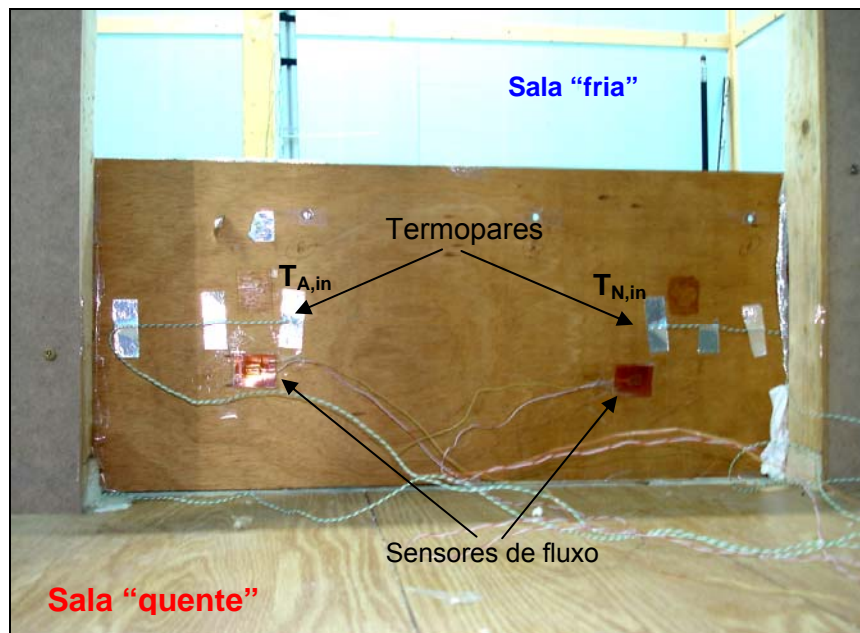


Fig. 3 – Modelo laboratorial e sensores, vistos do lado da sala “quente” (ambiente “interior”).

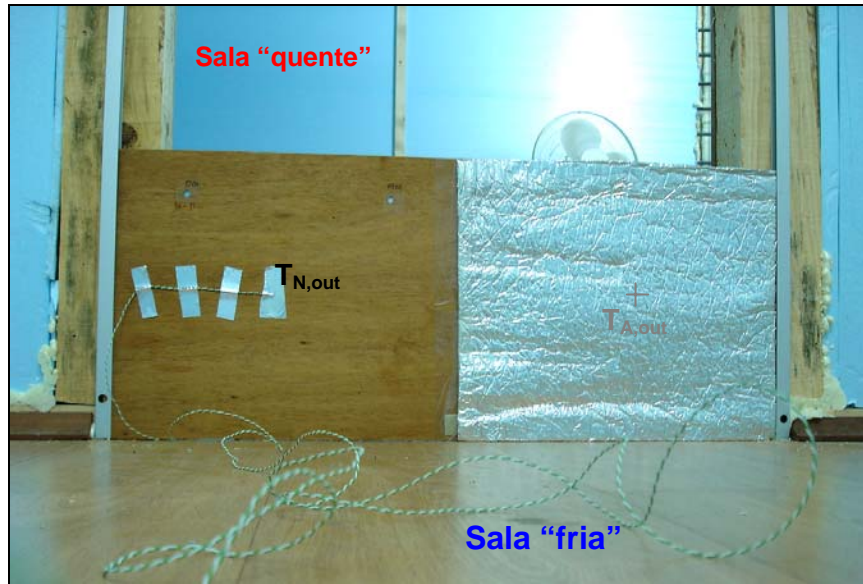


Fig. 4 – Modelo laboratorial e sensores, vistos do lado da sala “fria” (ambiente “exterior”).

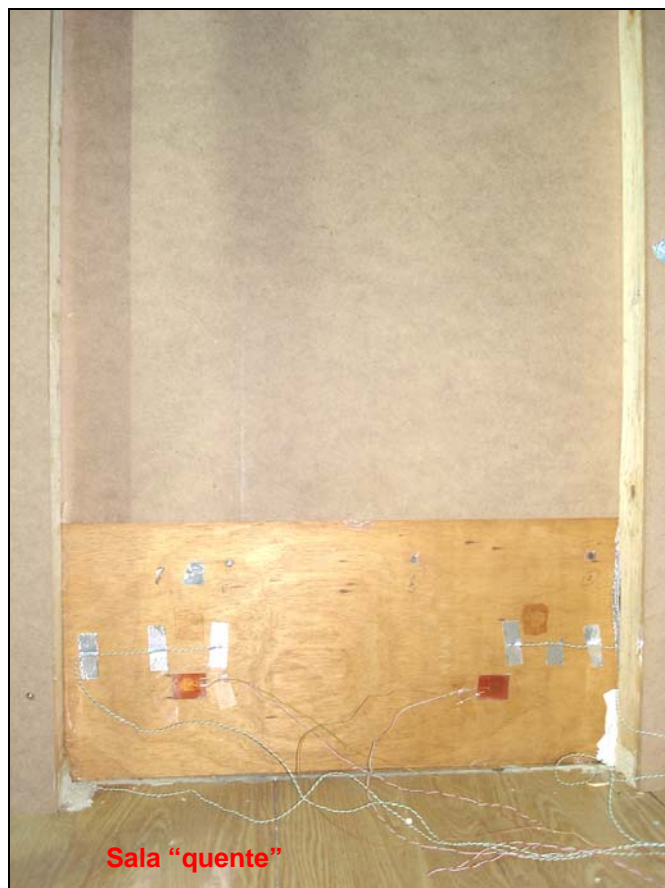


Fig. 5 – Vão de ligação das salas, fechado com uma porta de guilhotina sobre o modelo laboratorial.

A fotografia da Figura 5 ilustra o vão de passagem entre as duas salas, totalmente fechado e vedado para a realização dos ensaios⁽¹⁾. Na Figura 6 encontra-se esquematizada uma secção longitudinal do modelo laboratorial, com a localização dos sensores. Imaginando as metades desta placa separadas, o esquema representaria fielmente a instalação nas duas tampas de caixas de estores reais. Note-se que, dada a reduzida espessura da placa, comparativamente às restantes dimensões, pode considerar-se unidimensional o fluxo de calor que a atravessa, i.e., são desprezáveis os fluxos de calor em direcções normais à da espessura.

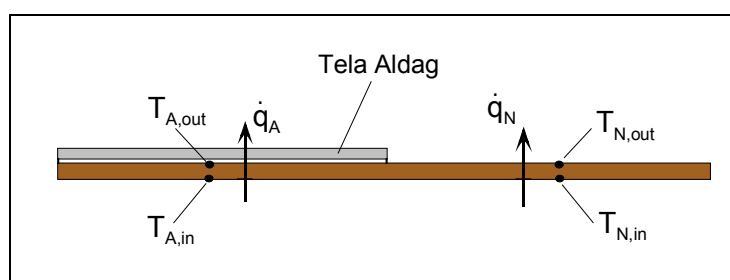


Fig. 6 – Desenho esquemático de um corte longitudinal da placa de madeira folheada usada como modelo laboratorial.

2.2 Parâmetros de desempenho

• Fluxos de Calor Instantâneos

Em qualquer das instalações descritas, o método de análise baseia-se na comparação dos fluxos de calor instantâneos – medidos directamente ou avaliados a partir das temperaturas superficiais – que atravessam as placas de madeira folheada, com e sem a protecção da tela *Aldageed* no lado exterior, \dot{q}_A e \dot{q}_N , respectivamente. Estes fluxos de calor são obtidos directamente a partir dos sinais fornecidos pelos medidores de fluxo (em mV) multiplicando-os pelo factor de sensibilidade (1050 W/m² por mV).

Por outro lado, em condições (próximas) de regime permanente, os fluxos de calor através das placas de madeira podem ser estimados a partir da lei de Fourier da condução:

⁽¹⁾ Para minimizar os efeitos nefastos das trocas de radiação com o chão, o último destes ensaios foi efectuado com o modelo posicionado na parte superior do vão da porta (a ~70 cm de altura).

$$\dot{q}_N = \frac{T_{N,in} - T_{N,out}}{R_t} = \frac{\Delta T_N}{R_t} \quad \text{e} \quad \dot{q}_A = \frac{T_{A,in} - T_{A,out}}{R_t} = \frac{\Delta T_A}{R_t}, \quad (1.a),(1.b)$$

sendo a resistência térmica R_t expressa em ($\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$). Da diferença entre estes dois fluxos, será possível estimar a resistência térmica adicional introduzida com a tela *Aldageed*.

• Eficiência de Vedação

Este parâmetro traduz, em termos percentuais, a redução da carga térmica através da tampa da caixa de estore, por efeito da aplicação da tela *Aldageed*. Pode definir-se por:

$$\eta_{v,F} = \frac{\dot{q}_N - \dot{q}_A}{\dot{q}_N}. \quad (2)$$

Por outro lado, em condições de regime permanente, a eficiência de vedação pode ser estimada por recurso às eqs. (1.a) e (1.b), *i.e.*:

$$\eta_{v,T} = 1 - \frac{\Delta T_A}{\Delta T_N}. \quad (3)$$

3 Resultados e discussão

3.1. Instalação nas caixas de estores

Face às temperaturas invulgarmente moderadas deste Verão, foi necessário esperar mais de uma semana desde a montagem da instalação nas caixas de estores (2ª quinzena de Julho) até surgir uma previsão de temperaturas exteriores superiores a 30 °C. A aquisição de dados foi, então, iniciada em 2-8-2007 e mantida em contínuo durante 3 dias. A Figura 7 mostra a monitorização das temperaturas medidas nesse período, tendo o ar exterior chegado aos 34 °C nas tardes dos dois últimos dias, únicas alturas com diferenças de temperatura significativas entre o ar exterior e o interior. Nestes picos de temperatura, é já evidente o efeito protector da tela *Aldageed*: a resposta transiente das temperaturas da placa fica atrasada e amortecida, relativamente à temperatura do ar exterior.

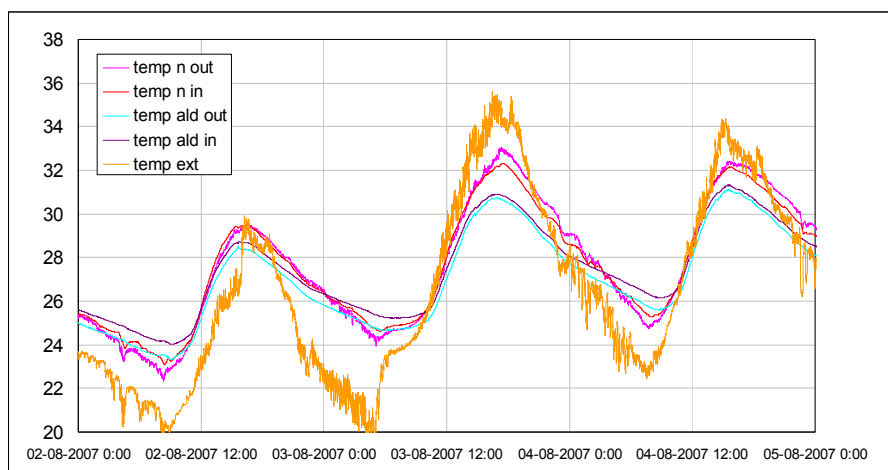


Fig. 7 – Temperaturas medidas ao longo de 3 dias nas tampas das duas caixas de estores contíguas.

Os ensaios na instalação à escala real vieram, porém, a revelar-se inconclusivos. Por um lado, os valores indicados pelos sensores de fluxo foram, em grande parte do tempo, demasiado pequenos e próximos do limiar de sensibilidade do *data-logger*, resultando pouco fiáveis. Além disso, verificaram-se incoerências entre as temperaturas indicadas por alguns canais⁽²⁾, pelo que, ao fim do 3º dia, foi considerado necessário proceder à calibração específica dos termopares nos respectivos canais do *data-logger*.

3.2. Calibração dos termopares

Foi feita a calibração dos termopares ligados nos respectivos canais do *data-logger*, mergulhando-os simultaneamente num banho termostaticado de água agitada. No Anexo 1 encontram-se representadas as rectas de calibração de 6 pontos para cada um dos termopares no intervalo de temperaturas de 15 °C a 40 °C.

Tendo em conta as condicionantes ambientais, bem como a pouca flexibilidade e o peso dos trabalhos na instalação à escala real, decidiu-se abandonar os ensaios nas caixas de estores e prosseguir com um modelo laboratorial.

3.3. Ensaio em laboratório

Neste capítulo, foi usado o modelo experimental descrito na secção 3.1 e ilustrado nas Figuras 3 a 5. Trata-se, basicamente, de uma placa de madeira folheada de 5 mm de espessura, em cujas foram colados os termopares calibrados e os sensores de

⁽²⁾ Por exemplo, nos picos da tarde dos dias 3 e 4, verificam-se valores $T_{A,out} < T_{A,in}$, o que se afigura incompreensível.

fluxo de calor (v. Fig. 6), tendo uma metade coberta com tela Algodão de um dos lados. Este modelo foi colocado no vão de porta que separa duas salas de testes: uma aquecida e a outra arrefecida, que – por conveniência de nomenclatura – passaram a ser associadas a ambientes “interior” e “exterior”, respectivamente.

Para a realização de cada ensaio, eram ligados os sistemas de refrigeração e de aquecimento, até atingir temperaturas do ar superiores a 35 °C, do lado interior, e de cerca de 10 °C, no “exterior”. Estas temperaturas extremas eram atingidas, geralmente, após 3 ciclos de accionamento (automático) do compressor, ao fim de pouco mais de 1 hora (~ 4000 s). Após esta primeira fase (fase 1), preparatória, eram desligados todos os sistemas de tratamento do ar (refrigeração, ventilação, aquecimento – a fim de evitar os ruídos das correntes induzidas sobre os sinais medidos e qualquer escoamento forçado do ar nas salas), dando início à fase 2 do ensaio, de decaimento ou relaxação, em direcção ao equilíbrio térmico do ar nas duas salas. Na parte final desta fase, a evolução temporal das temperaturas é já muito lenta, sendo, então, admitida uma semelhança significativa com as condições de regime estacionário, subjacentes às eqs. (1.a), (1.b) e (3). Em cada ensaio, a monitorização e o registo dos valores medidos foi feita durante 2,5 horas (9000 s), aproximadamente, conforme se exemplifica na Figura 8.

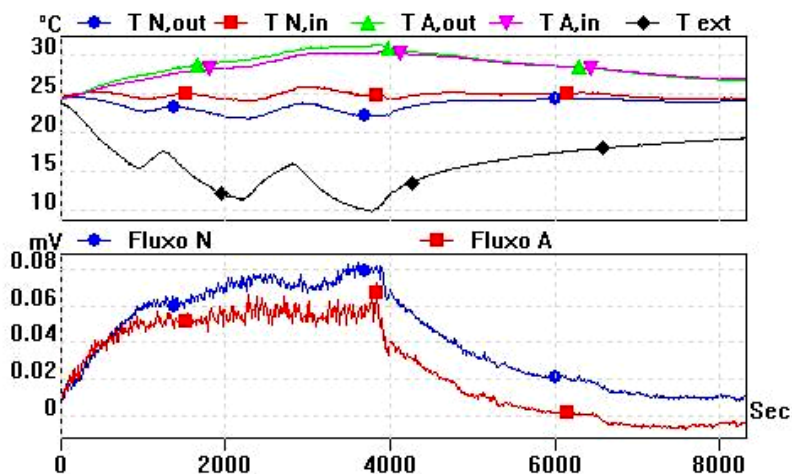


Fig. 8 – Valores de temperatura e de fluxos de calor monitorizados ao longo do ensaio Aldag_Lab#3 (15-8-2007).

Foram realizados quatro ensaios em laboratório. Nos três primeiros, o modelo foi posicionado sobre o chão das salas, conforme é ilustrado nas Figuras 3 a 5. No último destes ensaios (Ensaio Aldag_Lab#3), confirmou-se, com um termómetro de infravermelhos com ponteiro *laser*, a existência de diferenças significativas de temperatura entre a parte superior e a inferior da face “interior” da placa, principalmente no final da

fase 1 do ensaio: de 1,5 a 2 °C, na metade protegida pela tela *Aldageed*; de 2,5 a 3 °C, na outra. Tal efeito foi atribuído à proximidade imediata do chão, responsável por significativas perdas de calor por radiação, por parte da placa de madeira. Por conseguinte, o 4º ensaio (Aldageed_Lab#4) foi realizado com o modelo colocado na parte superior do vão de porta, a uma distância de cerca de 70 cm do chão. A parte inferior do vão foi vedada com uma placa de *wallmate* de 3 cm de espessura.

3.3.1. Ensaio Aldag_Lab#3

Na Figura 9 resumem-se os resultados obtidos com o ensaio Aldag_Lab#3, incluindo os valores da eficiência de vedação η_v : calculados pela eq. (2), com os fluxos medidos (Fig. 9.d), e pela eq. (3) (Fig. 9.b e 9.c), que é válida apenas em condições próximas do regime estacionário (final da fase 2 do ensaio). Foram atingidas, no final da fase as temperaturas extremas do ar de $T_{ar,in} \approx 40$ °C, na sala quente, e de $T_{ar,out} \approx 11,5$ °C, na sala fria. Observa-se também, na Figura 9.a, o ruído induzido pelos equipamentos em funcionamento durante a fase 1, particularmente sobre os sinais dos sensores de fluxo. São evidentes, na Fig. 9.a e ao longo de todo o ensaio, os menores valores do fluxo e de ΔT na parte do modelo protegida pela tela Aldag, o que ilustra de imediato o adicional efeito isolante por ela produzido.

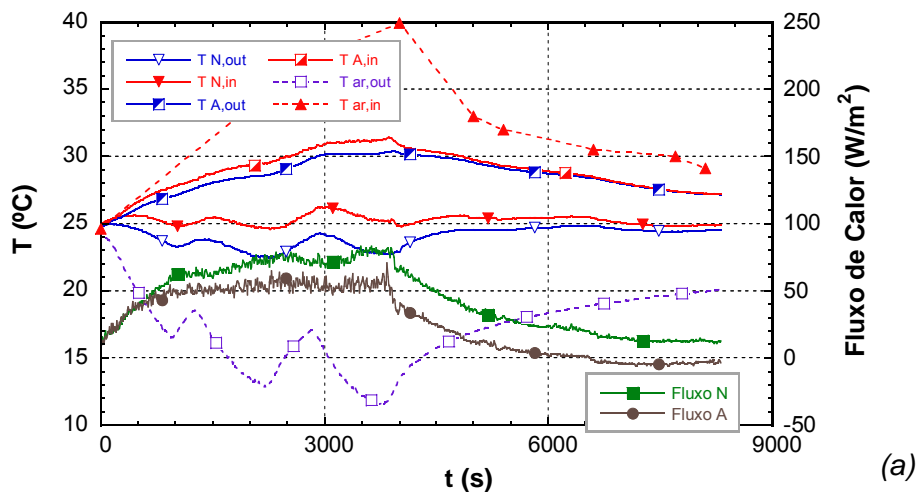


Fig. 9 – (ver legenda na página seguinte)

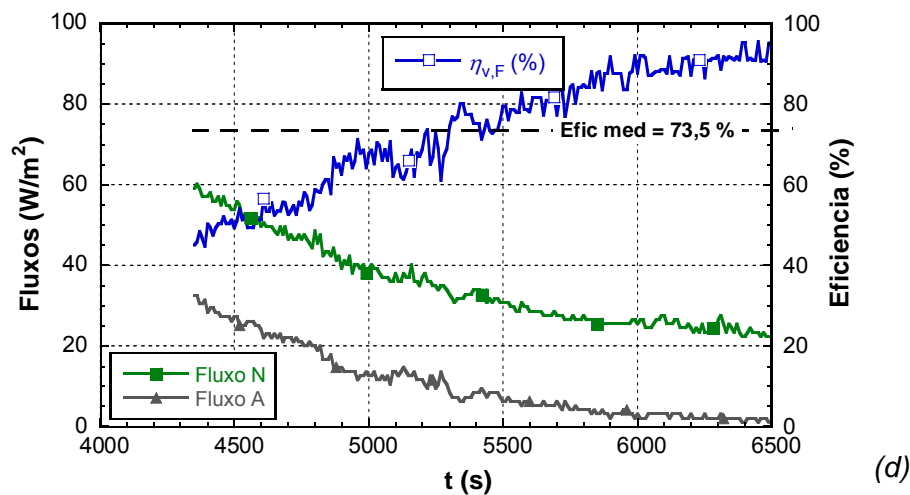
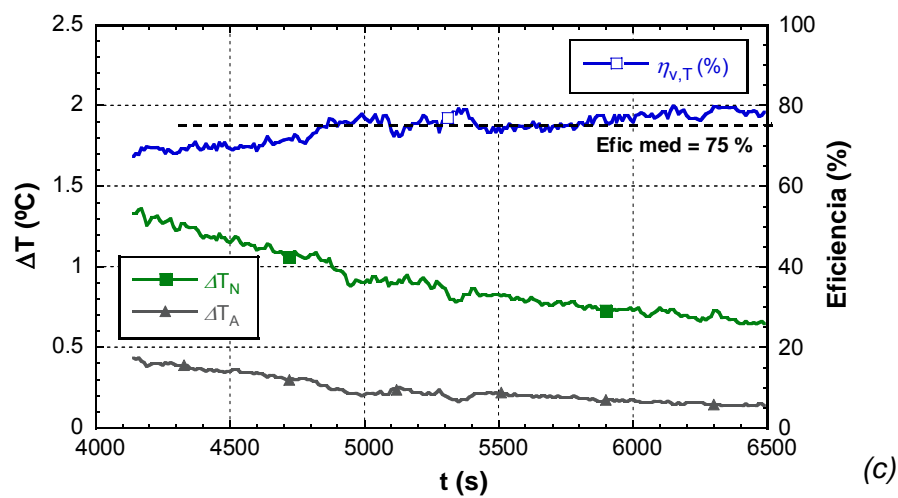
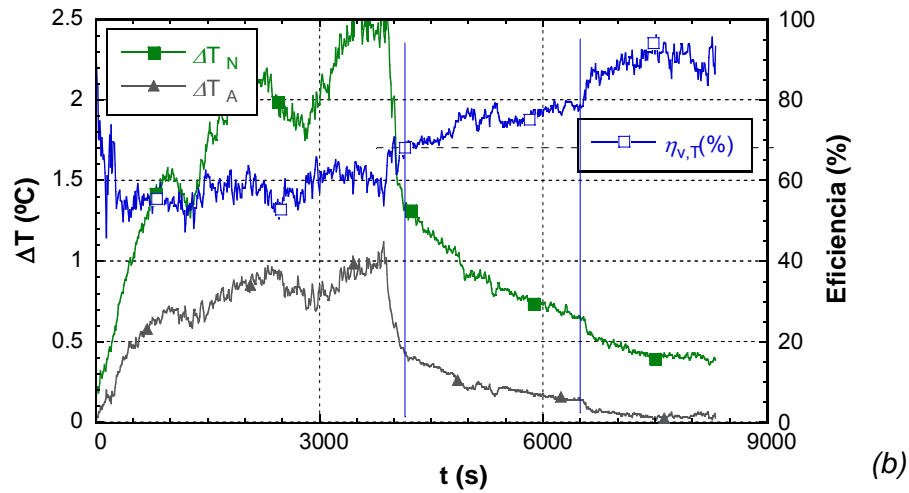


Fig. 9 – Resultados do ensaio Aldag_Lab#3: (a) fluxos de calor e temperaturas, já corrigidas com as funções de calibração; (b) diferenças de temperatura em ambas as zonas do modelo e eficiência de vedação $\eta_{v,T}$; (c) *idem*, apenas para o período significativo da fase de decaimento⁽³⁾ (fase 2); (d) fluxos de calor medidos e eficiência de vedação $\eta_{v,F}$, durante a fase 2.

⁽³⁾ Verifica-se na Figura 9.a que, em $t \approx 6500$ s, o fluxo \dot{q}_A decresceu bruscamente e passou a ser negativo. Além disso, houve um decréscimo acentuado de ΔT_N e de ΔT_A , resultando num aumento acrescido de $\eta_{v,T}$. Tais efeitos foram considerados irregulares, principalmente porque

As Figuras 9.c e 9.d mostram que, durante um período de mais de 35 min na fase 2, em que a diferença entre as temperaturas médias do ar (não agitado) nas salas decresceu de 25 °C para 12 °C, a eficiência de vedação calculada pelos dois métodos cresceu monotonicamente, apresentando os valores médios de $\eta_{v,T} \approx 75\%$ e $\eta_{v,F} \approx 73,5\%$. Estes resultados permitem-nos apontar que a tela *Aldageed* pode reduzir até 75% das perdas ou ganhos de calor através de tampas de caixas de estores, se o ae estiver em repouso de um e de outro lados.

3.3.2. Ensaio Aldag_Lab#4

Neste ensaio, realizado com o modelo posicionado no vão de porta a cerca de 70 cm de altura (para minimização das trocas de radiação), foram registados os dados durante a fase de decaimento (fase 2, ~40 min). Simulou-se também um período de pelo menos 35 min em regime permanente (em média), mantendo o ar nas salas em torno das temperaturas médias de 29 °C e 17 °C, e forçando escoamentos recirculatórios em ambas as salas (fase RP).

• Fase 2

Na Figura 10 resumem-se os resultados da fase 2 do ensaio Aldag_Lab#4, em que a diferença entre as temperaturas do ar nas duas salas decresceu desde 24 até 10 °C. Na Fig. 10.a, é de novo evidente o efeito da tela *Aldageed*. Considerando os últimos 12 min desta fase, obtiveram-se os valores médios de $\eta_{v,T} \approx 80\%$ e $\eta_{v,F} \approx 65\%$ (cf. Figs. 10.b e 10.c), resultados que, globalmente, estão de acordo com os do ensaio Aldag_Lab#3.

Com o termómetro de I.V., verificou-se que as diferenças de temperatura superficial entre as partes superior e inferior da placa de madeira são inferiores, nesta posição elevada do modelo (< 0,6 °C).

esse instante coincidiu com uma falha geral de energia no laboratório (tempestade do dia 15-8-2007). Por conseguinte, foram eliminados os dados do ensaio para $t > 6500$ s, fragilizando em certa medida a validade dos valores de $\eta_{v,T}$.

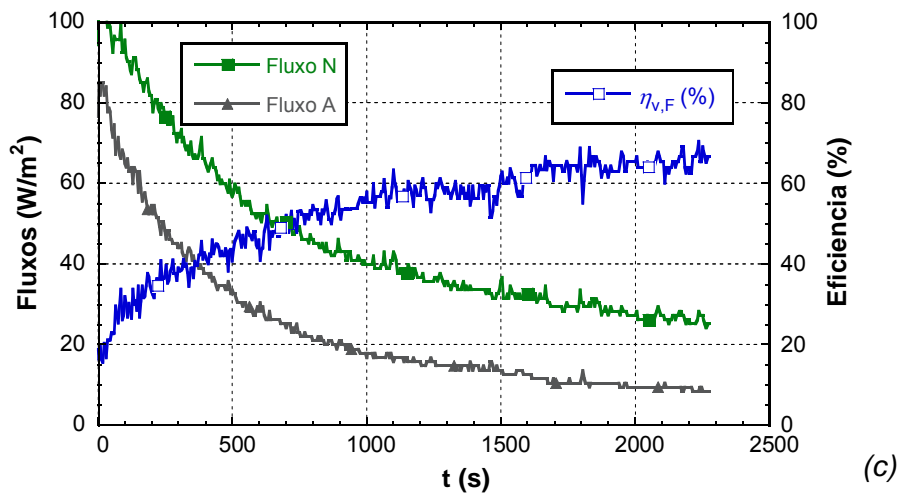
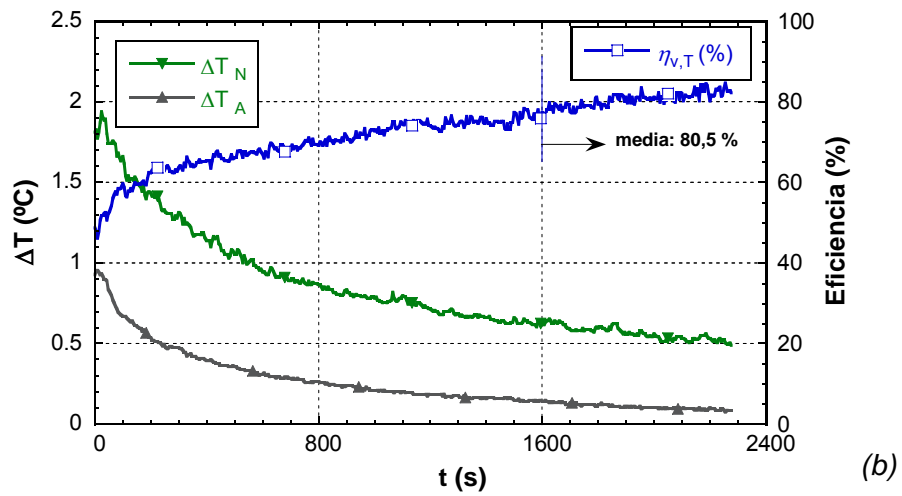
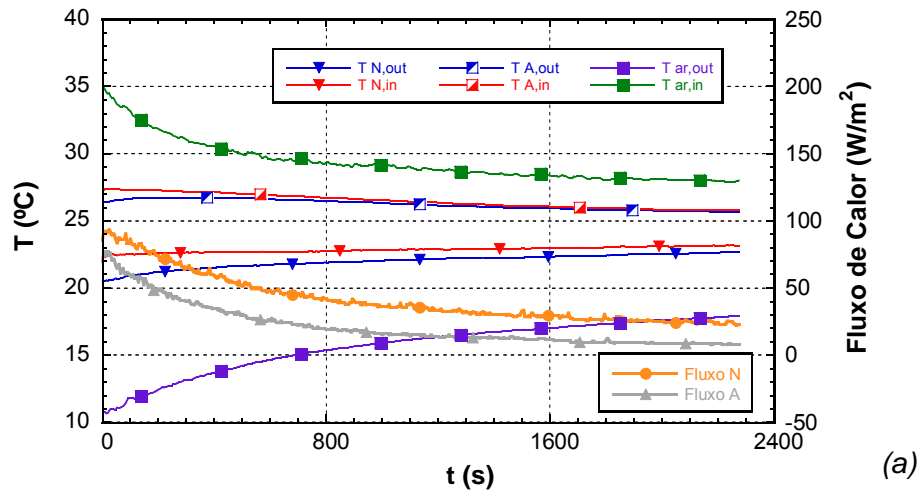
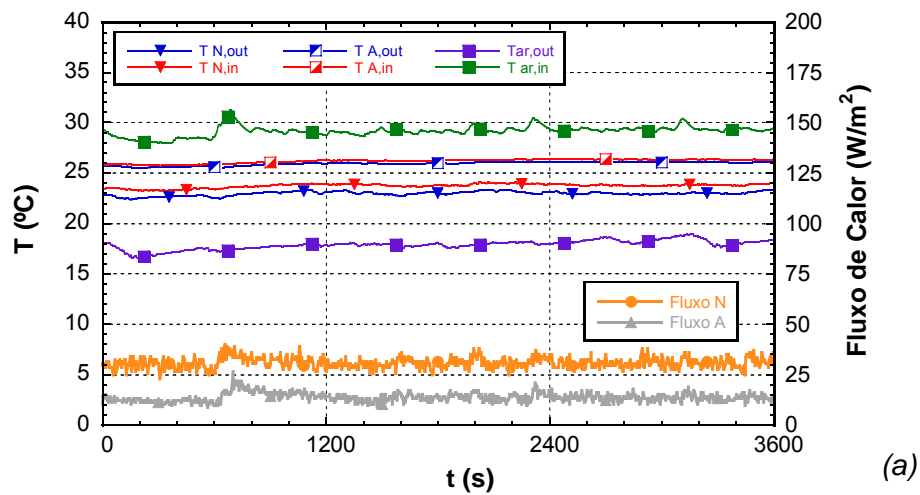


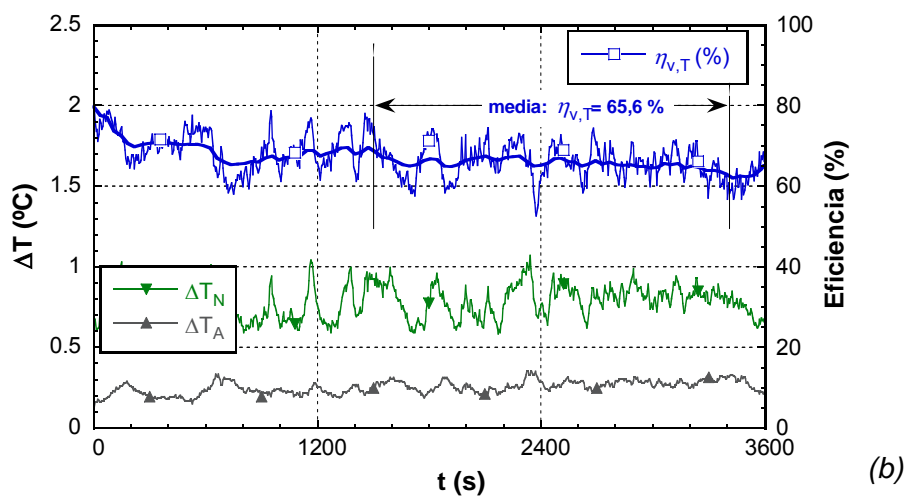
Fig. 10 – Resultados do ensaio Aldag_Lab#4 na fase de decaimento): (a) fluxos de calor e temperaturas, já corrigidas com as funções de calibração; (b) diferenças de temperatura em ambas as zonas do modelo e eficiência de vedação $\eta_{v,T}$; (c) fluxos de calor medidos e eficiência de vedação $\eta_{v,F}$.

• Fase RP

Conforme já foi referido, nesta fase foram mantidos escoamentos recirculatórios do ar em cada uma das salas. É de esperar, portanto, maiores fluxos de calor através da placa. Pelos dados ilustrados na Figura 11.a, verifica-se que as temperaturas e os fluxos medidos são, em média, constantes no tempo, particularmente para $t > 1500$ s. Para semelhante diferença entre as temperaturas do ar nas duas salas (de cerca de 12 °C, como no final da fase 2), observam-se fluxos de calor superiores através de qualquer das zonas do modelo. Verifica-se também, na Figura 11.b, que as flutuações de ΔT_N são bastante mais acentuadas que as de ΔT_A , indicando que a zona não protegida é muito mais perturbada pelos escoamentos. Os valores médios da eficiência de vedação, nestas circunstâncias foram de $\eta_{V,T} \approx 65,6\%$ e $\eta_{V,F} \approx 55\%$, para $t > 1500$ s.



(a)



(b)

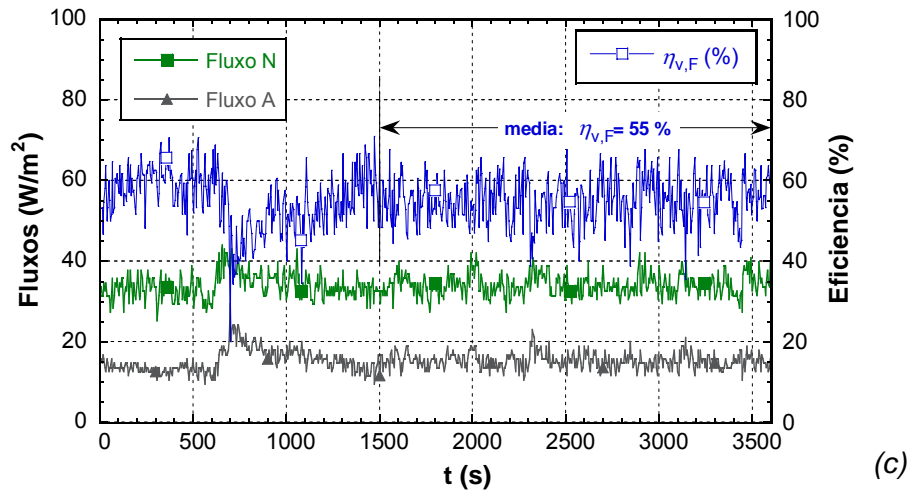


Fig. 11 – Resultados do ensaio Aldag_Lab#4, na fase em regime permanente (RP): (a) fluxos de calor e temperaturas; (b) diferenças de temperatura em ambas as zonas do modelo e eficiência de vedação $\eta_{v,T}$; (c) fluxos de calor medidos e eficiência de vedação $\eta_{v,F}$.

3.3.3. Resistência térmica efectiva da tela *Aldageed*

Na fase RP do ensaio Aldag_Lab#4, obtiveram-se os seguintes valores médios para os últimos 35 min ($t > 1500$ s):

$$\begin{aligned} \dot{q}_N &= 34,1 \text{ W/m}^2; & \Delta T_N &= 0,79 \text{ }^\circ\text{C}; & T_{ar, in} &= 29,34 \text{ }^\circ\text{C}; & T_{ar, out} &= 18,15 \text{ }^\circ\text{C}; & \Delta T_{ar} &= 11,2 \text{ }^\circ\text{C} \\ \dot{q}_A &= 15,27 \text{ W/m}^2; & \Delta T_A &= 0,27 \text{ }^\circ\text{C} . \end{aligned}$$

Analogamente às eqs. (1.a) e (1.b), pode escrever-se:

$$\dot{q}_N = \frac{T_{ar, in} - T_{ar, out}}{R_{N, global}} = \frac{\Delta T_{ar}}{R_{N, global}} \quad (4)$$

$$\dot{q}_A = \frac{T_{ar, in} - T_{ar, out}}{R_{A, global}} = \frac{\Delta T_{ar}}{R_{A, global}} \quad (5)$$

Destas equações, podemos estimar as resistências térmicas globais (condutiva + convectivas):

$$R_{N, global} \approx 0,328 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \quad \text{e} \quad R_{A, global} \approx 0,734 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} .$$

Considerando que $R_{A,global} = R_{N,global} + R_{Aldag}$, pode concluir-se que, na fase RP deste ensaio, **o efeito de vedação da tela *Aldageed* equivale a uma resistência térmica adicional** de:

$$R_{Aldag} \approx 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} .$$

Note-se que esta *resistência efectiva* da tela inclui o efeito isolante da camada de ar que fica retida entre a tela e a tampa da caixa de estore.

Conclusões

Quando devidamente aplicada, de acordo com as recomendações técnicas, a tela *Aldageed* elimina, em média, 60 % das perdas ou dos ganhos de calor indesejáveis através das tampas das caixas de estores, particularmente as mais finas (menos isolantes). Quando estas sejam mais espessas, ou feitas de um material mais isolante, a eficiência de vedação térmica da tela *Aldageed* será inferior, porém sempre significativa. Em situações de condições ambientais transientes, a eficiência de vedação da tela *Aldageed* pode atingir, e até ultrapassar, os 75%.

Dos ensaios realizados, conclui-se que o efeito de vedação da tela *Aldageed* equivale a uma resistência térmica adicional de cerca de $0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$, no modelo laboratorial usado. Esta resistência efectiva inclui o efeito isolante da camada de ar que fica retida entre a tela e a tampa da caixa de estore, podendo, obviamente, variar, consoante a sua montagem na realidade prática.

Anexo 1

Resultados da calibração dos termopares

Os gráficos das figuras seguintes mostram os resultados dos ensaios e as rectas de calibração para cada um dos termopares, ligados ao respectivo canal no *data-logger*. Em abcissas encontram-se representados os valores médios lidos para cada um dos 6 níveis de temperatura (15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C) durante 5 minutos.

