

## REFORÇO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO DA COBERTURA DO PAVILHÃO MULTIUSOS DE BAIÃO

Jorge Pinto<sup>a</sup>, Abílio Jesus<sup>b</sup>, José Vieira<sup>c</sup>, Luis Ramos<sup>d</sup>, Humberto Varum<sup>e</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> *ECT, Departamento de Engenharias, UTAD, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, Portugal*

<sup>e</sup> *Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal*

**Resumo.** O pavilhão Multiusos de Baião foi construído em 2004. O edifício é formado essencialmente por dois corpos. A cobertura do corpo de maior dimensão é de uma água, cuja estrutura principal, em madeira lamelada colada, é constituída por vigas treliçadas do tipo barriga de peixe, madres de cobertura e elementos de contraventamento. Com a ocorrência de ventos fortes observaram-se levantamentos do revestimento da cobertura em duas zonas do pavilhão. Neste artigo é descrito o resultado do trabalho de análise da referida patologia, as suas causas, e é apresentada a solução de reforço proposta para o sistema de fixação do revestimento da cobertura, com recurso a ligadores metálicos.

### 1 Introdução

Neste artigo apresenta-se o estudo da integridade estrutural do sistema de revestimento da cobertura do pavilhão Multiusos de Baião e que foi motivado pela ocorrência de uma anomalia inesperada correspondente ao levantamento localizado do revestimento da cobertura, aquando da ocorrência de vento forte. Neste contexto, foi desenvolvido este estudo que tem como principais objectivos interpretar e descrever a patologia, identificar as suas causas e apresentar uma proposta de solução de reforço.

### 2 Pavilhão Multiusos de Baião: descrição geral e patologia estudada

O pavilhão Multiusos de Baião é um edifício recentemente construído. Este edifício é formado por dois corpos. O corpo de maior volumetria (aqui designado por corpo 1) é destinado à prática de desportos e à realização de eventos do tipo socioculturais. O outro corpo (corpo 2) apresenta uma volumetria significativamente inferior à do corpo 1 e é reservado à recepção e aos serviços administrativos. A Fig. 1 ilustra o pavilhão Multiusos de Baião onde se destacam os corpos 1 e 2.

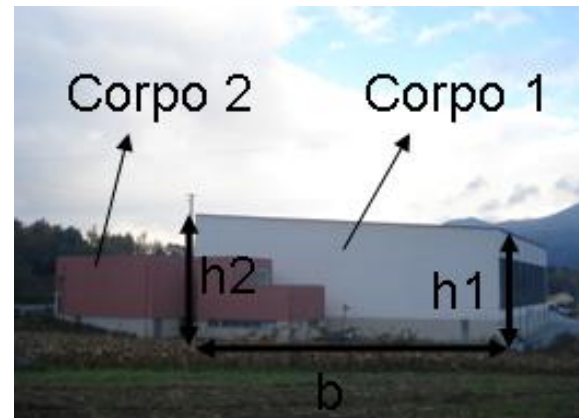
O corpo 1 apresenta em planta uma forma quadrada com dimensões aproximadas de  $a=45 \times b=45\text{m}^2$ . A altura máxima é cerca de  $h_2=23.6\text{m}$  e altura mínima é cerca de  $h_1=9.8\text{m}$ ,

Fig. 1-b. Através da Fig. 1 também se observa que o corpo 1 apresenta uma cobertura simples de uma vertente.

A estrutura da cobertura é concebida com elementos estruturais de madeira lamelada colada GLULAM da classe GL24. Esses elementos estruturais, Fig. 2, são vigas treliçadas do tipo barriga de peixe, madres de cobertura, contraventamentos. A ligação dos elementos estruturais de madeira foi concebida com recurso a ligadores mecânicos do tipo parafusos de porca e a chapas metálicas.



a) Alçado frontal



b) Alçado lateral direito

**Fig. 1:** Pavilhão Multiusos de Baião



**Fig. 2:** Elementos estruturais de madeira da cobertura do corpo 1

Aquando da ocorrência de vento com intensidade elevada observou-se a ocorrência do levantamento do revestimento em duas zonas da cobertura do corpo 1 do pavilhão, designadas neste artigo como zonas críticas, e que se representam na Fig. 3.



**Fig. 3:** Zonas críticas da cobertura do corpo 1

### 3 Sistema de revestimento da cobertura do corpo 1

A Fig. 4 ilustra o enquadramento do pavilhão Multiusos na cidade de Baião, onde se representam no corpo 1 o sistema de eixos adoptado (AA e BB) como referência para os alinhamentos na descrição da estrutura e sua análise.

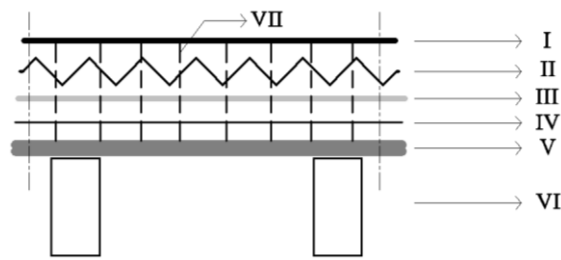


**Fig. 4:** Corpo 1 do pavilhão Multiusos de Baião

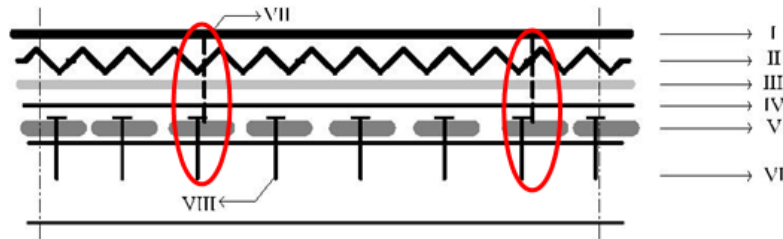
O sistema de revestimento da cobertura do corpo 1 do pavilhão (ver esquema na Fig. 5) é composto por cinco elementos sobrepostos (do exterior para o interior): (I) chapa de zinco com secção transversal de  $570 \times 1.2 \text{ mm}^2$ ; (II) “placa” pitonada em PVC; (III) placa de isolamento térmico; (IV) tela pára vapor; e, (V) reguado GLULAM GL24c Picea abies (Espruce da Noruega) com secção transversal de  $120 \times 20 \text{ mm}^2$  e afastado entre si de 10mm.

As chapas de zinco são ligadas entre si por um sistema de encaixe e com recurso a presilhas (VII). As presilhas estão afastadas entre si de 700mm segundo a direcção AA. Este sistema de ligação repete-se com um afastamento de 570mm segundo a direcção BB. Na Fig. 5 também se representam estas presilhas (VII) que ligam todos os elementos do sistema de revestimento da cobertura entre si, sendo o reguado (V) o último elemento a ser ligado.

Por sua vez, o reguado (V) apoia-se sobre as madres de cobertura (VI) e está ligado a estas através de um prego liso redondo de 2mm de diâmetro (VIII), Fig. 5-b. Atendendo a que as presilhas foram colocadas todas de forma alinhada, ao longo da direcção AA do pavilhão, constata-se que estas são fixadas sempre no mesmo alinhamento de tábua do reguado segundo essa direcção.



a) Sistema de revestimento da cobertura: corte transversal segundo a direção AA



b) Sistema de revestimento da cobertura: corte transversal segundo a direção BB

*Legenda: I – Chapa de zinco; II – “Placa” pitonada PVC; III – Isolamento térmico; IV – Tela pára vapor; V – Reguado em GLULAM ; VI – Madres de cobertura em GLULAM; VII – Presilha de fixação; VIII – Prego de fixação do reguado à madre de cobertura*

**Fig. 5:** Pormenor esquemático do sistema de revestimento da cobertura do corpo 1

Constatou-se também que as tábuas do reguado apresentam comprimentos de 7.2m e de 5.4m. Como as madres de cobertura estão afastadas entre si de 1.8m, então as tábuas do reguado funcionam como vigas contínuas de quatro tramos ou de três tramos, cada um com 1.8m.

## 4 – Identificação da causa da patologia

Tal como se referiu anteriormente, a patologia em estudo está associada ao levantamento do sistema de revestimento devido ao efeito do vento na cobertura do corpo 1, que provoca uma acção ascendente. De forma a verificar a estabilidade dos elementos do sistema de revestimento, são quantificadas as acções correspondentes às acções permanentes e ao vento.

### 4.1 Carga permanente

O valor de carga permanente ( $G$ ) quantificada foi de  $0.235\text{kN/m}^2$  e corresponde ao somatório do peso próprio dos elementos que constituem o sistema de revestimento da cobertura (Fig. 5).

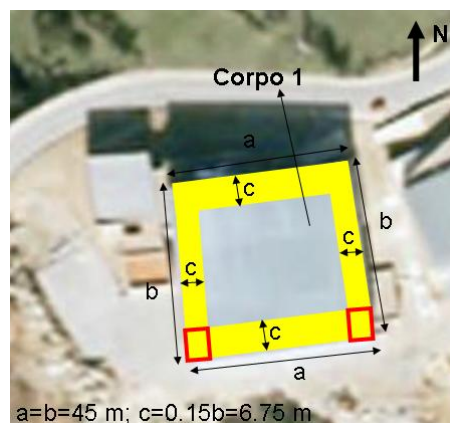
### 4.2 Acção do vento

A acção vento ( $W$ ) foi quantificada de acordo com o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) [1], artigos 20º, 21º e 24º e Anexo I. Para o pavilhão em estudo, localizado em Baião, corresponde uma altitude de cerca de 500m, zona A e rugosidade tipo II. As dimensões do corpo 1 foram identificadas anteriormente (ver Fig. 1-b). Durante a construção a altura do corpo 1 foi aumentada em cerca de 1.0m em relação à situação considerada em projecto. Foi determinado o valor característico da pressão dinâmica do

vento ( $W_k$ ) para: a altura mínima do corpo 1 construído ( $h_1=9.8\text{m}$ ),  $W_{k1}=0.90\text{kN/m}^2$ ; para a altura média do corpo 1 projectado ( $h_1=15.7\text{m}$ ),  $W_{k2}=1.04\text{kN/m}^2$ ; e, para a altura média do corpo 1 construído ( $h_1=16.7\text{m}$ ),  $W_{k3}=1.07\text{kN/m}^2$ . Para a análise da causa da patologia considerou-se  $W_{k1}$ , e no estudo da proposta de reforço usou-se  $W_{k3}$ .

No cálculo do coeficiente de pressão exterior ( $\delta_{pe}$ ), na avaliação das acções globais, para coberturas de uma vertente, e uma vez que o RSA não prevê a situação de edifícios de planta quadrada, foi adoptado o valor mais elevado para  $\delta_{pe}=-1$ , por se estar no lado da segurança.

Para as acções locais, adoptou-se o valor mais desfavorável para  $\delta_{pe}=-2$ . Na Fig. 6 representam-se as zonas para análise da acção do vento de acordo com o estipulado no RSA, em conjunto com as zonas críticas em estudo, onde se observou a patologia.



**Fig. 6:** Acção local do vento (RSA) (Imagem aérea: <http://maps.google.com>)

Para o coeficiente de pressão interior ( $\delta_{pi}$ ) considerou-se o vento normal às fachadas permeáveis, que corresponde ao valor de  $\delta_{pi}=0.2$  (RSA).

Os resultados obtidos com esta análise mostraram que a acção local do vento é superior ao valor previsto em projecto. Também se observou que a acção do vento quantificada para a altura média do edifício construído é ligeiramente superior à acção prevista em projecto.

### 4.3 Verificação da segurança em relação aos ELU do sistema de revestimento da cobertura

O reguado do forro da cobertura do pavilhão Multiusos de Baião apoia-se directamente nas madres de cobertura e, estes dois elementos estão ligados entre si através de um prego redondo liso, com 2mm de diâmetro e com um comprimento de 70mm (detalhe na Fig. 5-b). No detalhe da Fig. 5-b é possível observar que, no cenário mais desfavorável, as presilhas de fixação das chapas de zinco (elemento VII) ligam a uma única tábuia do reguado por alinhamento de presilhas. Os alinhamentos de presilhas estão afastados entre si de aproximadamente 0.57m. Tal como foi referido anteriormente, este reguado funciona como viga contínua.

#### 4.3.1 Quantificação das cargas

A carga uniformemente distribuída ( $p_{sd}$ ) a considerar nas análises é a relativa à combinação de acções com acção variável de base o vento, considerando a inclinação da cobertura de  $17.21^\circ$ .

#### 4.3.2 Propriedades físicas e mecânicas dos elementos de madeira

As propriedades físicas e mecânicas consideradas para a madeira GLULAM GL24c (Espruce da Noruega) apresentam-se na Tabela 1. Os valores de cálculo são obtidos de acordo com o especificado em [2].

**Tabela 1:** Legenda Propriedades físicas e mecânicas da GLULAM GL24c (Espruce da Noruega)

Valor característico da massa específica ( $\rho_k$ ) = 380kg/m <sup>3</sup>
Peso específico = 3.8kN/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidade médio = 11.6kN/m <sup>2</sup>
Módulo de corte = 72×10 <sup>4</sup> kN/m <sup>2</sup>
Valor característico da tensão resistente à flexão ( $f_{m,g,k}$ ) = 28000kN/m <sup>2</sup>
Valor de cálculo da tensão resistente à flexão ( $f_{m,g,d}$ ) = 21323.1kN/m <sup>2</sup> , sendo $K_{mod}$ =0.9, $K_{ls}$ =1.1 e $\gamma_m$ =1.3
Valor característico da tensão resistente ao corte ( $f_{v,g,k}$ ) = 2700kN/m <sup>2</sup>
Valor de cálculo da tensão resistente ao corte ( $f_{v,g,d}$ ) = 1869.3kN/m <sup>2</sup>
Valor característico da tensão resistente $f_{1,k}$ = 2.6N/mm <sup>2</sup>
Valor de cálculo da tensão $f_{1,d}$ = 1.8N/mm <sup>2</sup>
Valor característico da tensão resistente $f_{2,k}$ = 43.32N/mm <sup>2</sup>
Valor de cálculo da tensão $f_{2,d}$ = 30.00N/mm <sup>2</sup>

#### 4.3.3 Esforços máximos

Do cálculo e para uma carga uniformemente distribuída ascendente a reacção máxima no apoio vale 1.87kN. O esforço transversal máximo de cálculo é de 0.99kN e o momento flector máximo é de 0.316kNm.

#### 4.3.4 Verificação da segurança em relação ao ELU de flexão

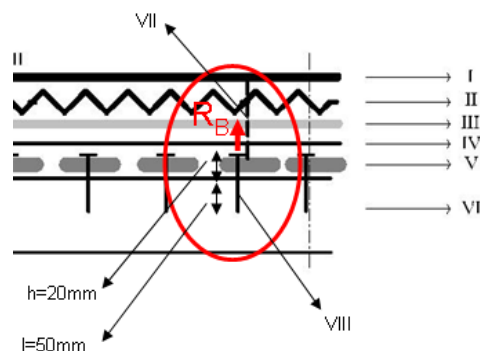
A tensão normal actuante de cálculo vale 39500kN/m<sup>2</sup>. A segurança em relação ao ELU de flexão, de acordo com o estipulado em [2], não é verificada nas tábuas do reguado, que recebem alinhamentos de presilhas, e que estão localizadas na zona da cobertura identificada como crítica para a acção local do vento.

#### 4.3.5 Verificação da segurança em relação ao ELU de corte

A segurança nas tábuas do reguado, que recebem alinhamentos de presilhas, em relação ao ELU de corte foi avaliada de acordo com o estipulado em [2], e esta passa a verificação ao corte.

#### 4.3.6 Verificação da segurança da ligação da tábua do reguado à madre de cobertura

A Fig. 7 mostra o detalhe da ligação da tábua do reguado à madre de cobertura. Como se pode observar, o prego (VIII) usado nesta ligação está sujeito essencialmente a forças de arranque.



*Legenda: I – Chapa de zinco; II – “Placa” pitonada PVC; III – Isolamento térmico; IV – Tela pára vapor; V – Reguado em GLULAM ; VI – Madres de cobertura em GLULAM; VII – Presilha de fixação; VIII – Pregos de fixação do reguado à madre de cobertura*

**Fig. 7:** Esquema da ligação das tábuas do reguado às madres de cobertura

A verificação da segurança ao arranque de um ligador mecânico do tipo utilizado foi verificada de acordo com [2], e a mesma não é garantida. Deste modo, as tábuas do reguado, que recebem os alinhamentos de presilhas, e que estão localizadas na zona da cobertura em estudo (com maiores acções localmente devidas ao vento) são susceptíveis de levantar aquando de ocorrência de vento, o que justifica a patologia observada que motivou esta análise.

## 5 Proposta de solução de reforço

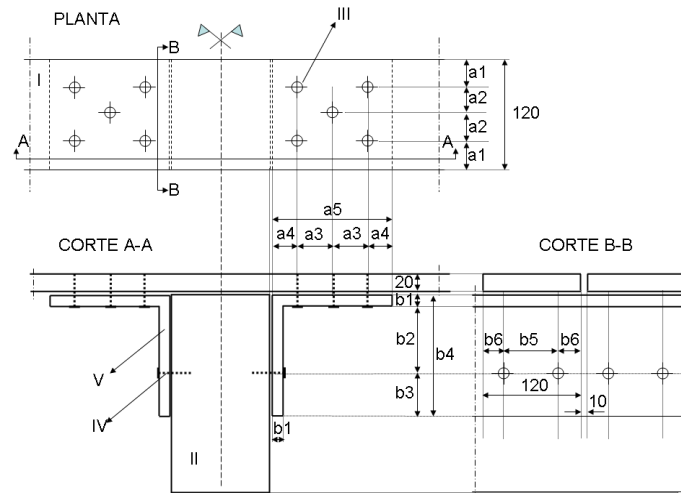
### 5.1 Descrição da proposta

Atendendo a que foram identificadas dois casos em que a segurança não se verifica em elementos do sistema de revestimento da cobertura, localizados na zona referenciada na Fig. 6, apresenta-se seguidamente, uma solução de reforço estudada e proposta. A solução de reforço proposta é apresentada esquematicamente na Fig. 8 e foi dimensionada recorrendo a [2] e [3].

Esta solução de reforço consiste em ligar perfis metálicos compostos (V), em aço tipo S235, a todas as tábuas do reguado do sistema de revestimento da cobertura e às madres de cobertura que se encontrem na zona crítica da cobertura (ver Fig. 6). A ligação destes elementos será materializada através de parafusos (III e IV na Fig. 8).

Complementarmente, as tábuas do reguado do sistema de revestimento da cobertura deverão ser ligadas aos terços com chapa metálica, de aço tipo S235, e com secção transversal de  $40 \times 5 \text{ mm}^2$ . Estas chapas serão ligadas às referidas tábuas através de parafusos tipo III, tal como ilustra a Fig. 8, e com as dimensões especificadas na Tabela 2.

De forma a não haver qualquer impedimento de deslocamento das tábuas do reguado resultantes das variações termo-higrométricas, os furos de fixação a efectuar nos elementos metálicos do sistema de reforço proposto são ovalizados. A direcção da “ovalização”, AA ou BB (ver Fig. 4), deverá ser intercalada em cada malha formada por 2 vigas e por 2 madres.

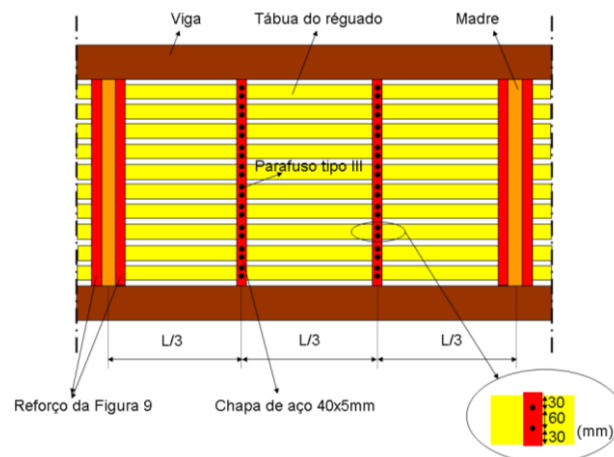


Legenda: I – Tábua do reguado; II – Madre de cobertura; III – Parafuso  $\theta=4\text{mm}$  e  $L\approx 25\text{mm}$ ; IV – Parafuso  $\theta=7\text{mm}$  e  $L\geq 30\text{mm}$ ; Perfil composto metálico em aço tipo S235

**Fig. 8:** Solução de reforço: detalhe da ligação das tábuas do reguado às madres de cobertura

**Tabela 2:** Dimensões das grandezas representadas na Fig. 9

$a1=30\text{mm}$	$b1=5\text{mm}$
$a2=30\text{mm}$	$b2=110\text{mm}$
$a3=40\text{mm}$	$b3=37\text{mm}$
$a4=20\text{mm}$	$b4=152\text{mm}$
$a5=120\text{mm}$	$b5=85\text{mm}$
	$b6=17.5\text{mm}$



**Fig. 9:** Solução de reforço: ligação das tábuas do reguado aos terços

No dimensionamento do sistema de reforço considerou-se a carga uniformemente distribuída resultante da combinação de acções com acção variável de base o vento, no domínio das acções locais.

Na verificação dos ELUs de flexão e de corte do reguado do sistema de revestimento da cobertura assumiu-se que o sistema de reforço proposto permite ligar as várias tábuas do reguado e, desta forma, redistribuir os esforços (Fig. 9). Deste modo, consegue-se uma redis-



tribuição de esforços por quatro tábuas do reguado. Considerando o exposto, os ELUs anteriores são agora verificados.

No dimensionamento dos parafusos do tipo III, Fig. 8, seguiu-se o preconizado em [2], para parafusos com diâmetro inferior a 8mm sujeitos ao arranque. Com o cálculo das reacções de apoio, verificou-se a estabilidade desta ligação considerando para o efeito, metade do valor da reacção vertical máxima no apoio, porque o reforço é aplicado em ambas as faces laterais das madres de cobertura. Deste modo, resultou como solução: 5 parafusos (III) de  $d=4\text{mm}$  e  $L\approx 25\text{mm}$  em cada uma das faces laterais das madres de cobertura, tal como representa na Fig. 8.

Por sua vez, no dimensionamento dos parafusos tipo IV (Fig. 8) e de acordo com [2], teve-se em consideração que estes estão sujeitos essencialmente ao corte, tratando-se de: corte duplo (dois planos de corte), ligação madeira-aço, com os elementos laterais em aço. De modo a ser garantida a estabilidade desta ligação será necessário adoptar como solução: 2 parafusos de  $d=7\text{mm}$  e  $L\geq 30\text{mm}$  em cada uma das faces laterais das madres de cobertura, tal como mostra a Fig. 8.

A determinação das distâncias a adoptar entre ligadores mecânicos (parafusos III e IV) e distâncias destes aos bordos dos elementos a ligar também foi calculada de acordo com o prescrito em [2].

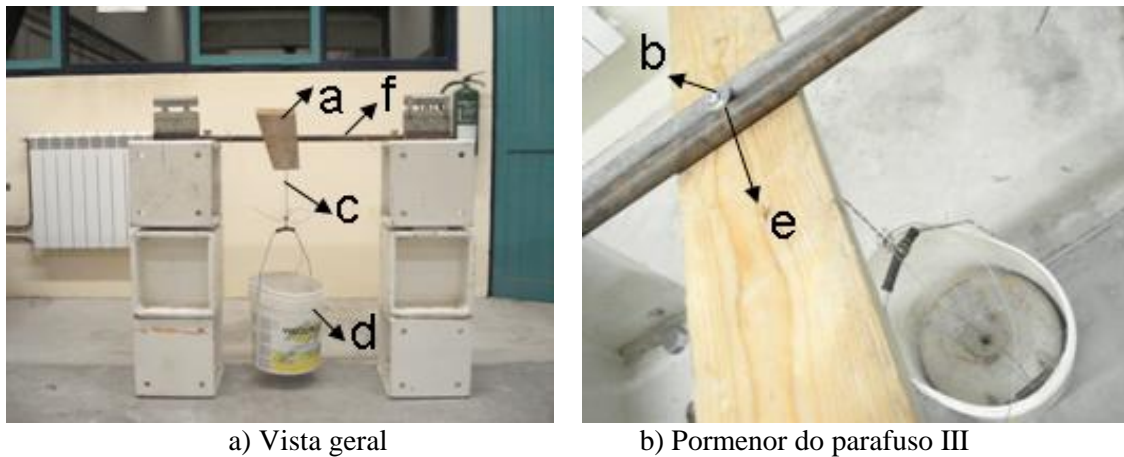
Relativamente ao perfil metálico adoptou-se um perfil metálico composto usando chapas de aço do tipo S235, com 5mm de espessura, como alternativa a perfis metálicos comerciais do tipo cantoneira. Esta opção resulta das dimensões reduzidas necessárias para a peça do reforço, aligeirando-se a solução. Estes perfis deverão ser previamente tratados contra a corrosão antes de serem aplicados em obra, sugerindo-se a galvanização.

## 5.2 Verificação expedita da solução proposta

De forma a complementar o estudo de dimensionamento da solução proposta para o sistema de reforço, efectuou-se paralelamente um ensaio experimental, em Novembro de 2008, no Laboratório de Estruturas da UTAD.

O objectivo principal deste ensaio consistiu em certificar que os parafusos do tipo III suportam a carga máxima prevista nesse estudo, que corresponde a 0.35kN/parafuso tipo III (equivalente ao peso de uma massa de 35kg).

Para o efeito, realizou-se um ensaio expedito (Fig. 10) que consistiu em solicitar estaticamente um parafuso tipo III com uma força dessa ordem de grandeza. Neste ensaio usou-se uma tábua para simular o reguado do sistema de revestimento da cobertura do pavilhão Multiusos de Baião (a), um parafuso do tipo III (b), um cabo de aço (c), um recipiente com capacidade equivalente aos 35kg (d), um sistema de anilhas (e) e dois varões de aço (f).



**Fig. 10:** Ensaio

Para as condições de ensaios descritas anteriormente verificou-se a estabilidade da ligação tábua/parafuso tipo III.

## 6 Conclusões

A patologia observada no sistema de revestimento da cobertura do pavilhão Multiusos de Baião, correspondente ao levantamento localizado, resulta do facto dos alinhamentos de presilhas de fixação das chapas de zinco coincidirem sempre com o mesmo alinhamento de tábua de reguado e, destas últimas estarem fixas às madres de cobertura apenas com um ligador mecânico do tipo prego liso.

A força de levantamento induzida pela acção vento excede a capacidade resistente ao arranque desse prego. Mesmo que este estado limite último fosse verificado, haveria colapso da tábua do reguado que fixa as presilhas, atendendo a que o momento flector actuante excederia o momento resistente de cálculo deste elemento para acção do vento em causa.

As zonas onde devem ser consideradas as acções locais preconizadas pelo RSA relativamente à acção vento correspondem exactamente às zonas da cobertura mais solicitadas, onde se observou a ocorrência da referida patologia.

Foi proposta uma solução de reforço para o sistema de revestimento da cobertura. Essa solução deverá ser aplicada na referida zona mais solicitada pelo vento. O estudo da solução de reforço proposta recorreu ainda a um ensaio experimental expedito complementar.

## Referências

- [1] Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), Imprensa Nacional, Casa da Moeda, 1983.
- [2] NP ENV 1995-1-1:1998: Eurocódigo 5 - Projecto de estruturas de Madeira. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, CT 115 LNEC, 1998.
- [3] Eurocódigo 3 - Projecto de Estruturas Metálicas. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.