

## TEMA III – Procedimentos

### Reforço sísmico de estruturas de alvenaria com recurso a elementos metálicos

R. S. Barros<sup>1,a</sup>, J. Guerra<sup>1,b</sup>, H. Varum<sup>2,c</sup>, D.V. Oliveira<sup>3,d</sup>

<sup>1</sup>Universidade Fernando Pessoa, Portugal

<sup>2</sup>Universidade de Aveiro, Portugal

<sup>3</sup>Universidade do Minho, Portugal

<sup>a</sup>*rbarros@ufp.pt*, <sup>b</sup>*jguerra@ufp.pt*, <sup>c</sup>*hvarum@ua.pt*, <sup>d</sup>*danvco@civil.uminho.pt*

**Palavras-chave:** Alvenaria, Reforço sísmico, Elementos metálicos

**Resumo:** Neste estudo ilustram-se alguns dos diversos tipos de reforço sísmico de estruturas de alvenaria com recurso a elementos metálicos. A abordagem pormenorizada de cada elemento de reforço permite compreender o funcionamento individual dos mesmos, possibilitando a determinação de soluções adequadas a cada caso. A solução abordada no caso de estudo enquadra-se dentro do panorama nacional e internacional da reabilitação sísmica, tendo sido adoptada em intervenções efectuadas sobre edificações nos Açores, visando a prevenção de danos nas edificações decorrentes de novos fenómenos sísmicos. Tecnicamente, esta abordagem permite, com rigor, simplicidade e eficácia, reduzir a vulnerabilidade sísmica das estruturas de alvenaria de pedra face à acção sísmica, resolvendo globalmente o problema da estabilidade e da resistência, com base no recurso a elementos metálicos.

#### Introdução

Existem variados elementos metálicos e com diversas funcionalidades, que podem ser utilizadas tendo em consideração a relação custo-benefício. Por vezes a aplicação de elementos metálicos tem custos elevados, não só pelo valor em si, mas também pela dificuldade de execução em obra, o que pode também incrementar o próprio preço. No entanto, a utilização de elementos metálicos permite intervenções pouco intrusivas, o que conduz a que o seu uso seja aconselhado, nomeadamente quando existe a necessidade de preservar o valor patrimonial das construções.

Cada elemento metálico tem uma função distinta no reforço estrutural. Porém, apesar de ser analisado cada elemento separadamente, em projecto é necessário analisar o funcionamento em conjunto, visto que se pretende que o edifício tenha um comportamento global adequado. A análise da estabilidade das partes, por si só, não garante o bom funcionamento do conjunto.

## Estratégias de Reforço Sísmico

### *Cinta de coroamento*

O objectivo desta metodologia é repartir as forças horizontais sísmicas, ligar as paredes das fachadas favorecendo um comportamento de caixa, distribuir as cargas verticais e reduzir os deslocamentos da cobertura, ou seja, confinar a estrutura global de alvenaria e madeira. Este método de reforço, apesar de não ser muito usual em Portugal, foi aplicado em algumas habitações pertencentes às obras de reabilitação do sismo de 1998, na ilha do Faial nos Açores.

A cinta de coroamento é, basicamente, uma barra metálica que é aplicada no topo dos edifícios, permitindo ligar as quatro fachadas e ao mesmo tempo fazer a união com a cobertura. A ideia é, portanto, que todo este conjunto funcione de modo solidário aquando a ocorrência de um sismo. Este método de reforço é constituído por uma barra padrão de  $\phi$  24 mm para paredes de 45cm a 50cm de espessura, variando o diâmetro com a espessura da parede, proporcionalmente. Esta barra deve ser inserida no interior das paredes em pelo menos 50cm, desde o seu topo, devendo percorrer todas as paredes e fazendo a ligação entre elas como um “coroamento”.



Figura 1: Aplicação da cinta de coroamento em obra [5]

A ligação entre a barra e a cobertura é efectuada através de varões com ligações em gancho ao varão longitudinal e na extremidade contrária através ligações aparafusadas, de forma a fixarem placas metálicas às pernas da cobertura.

O mesmo reforço deve ser efectuada nas empenas laterais, caso existam, de forma a impedir o derrube do bico da empena, o qual tem uma fragilidade mais elevada.

### *Treliça metálica*

Esta componente é constituída por perfis metálicos, de secção rectangular oca, e normalmente é pré-fabricada. Isto permite poupança de tempo na execução da obra, assim como facilita a montagem.

A treliça metálica recebe, preferivelmente mas não necessariamente, em correspondência directa com os montantes (peças perpendiculares às linhas da viga), as forças transmitidas pelos tirantes intermediários e transfere-as aos apoios de extremidade, representados pelas duas paredes de contraventamento nas quais a mesma se apoia.

Nos casos em que é possível colocar a treliça metálica numa posição central em relação ao comprimento das paredes de contraventamento (paredes laterais do edifício), a transmissão das cargas para estas acontece da mesma forma para as solicitações originadas pela actuação das forças nos dois sentidos, ou seja, quer pelos tirantes conectados à fachada principal, quer pelos tirantes conectados à fachada posterior. Devem ser tidos em conta os mesmos alinhamentos para ambas as fachadas.



Figura 2: Treliça metálica colocada em posição central em relação às paredes laterais do edifício [5]

Porém, nos casos em que se é forçado a colocar a treliça metálica numa posição não central, é preferível que esta seja colocada o mais distante possível da parede da fachada a segurar. Isto permite que seja mobilizada uma maior quantidade de parede de contraventamento, através da mobilização de uma maior quantidade de peso destas paredes. Tal disposição vai aumentar, consideravelmente, a capacidade resistente ao derrube surgido pela acção produzida pelos tirantes intermédios, que são conectados à treliça metálica.

### *Chapas*

Existem variados tipos de chapas a serem utilizadas no reforço anti-sísmico, que variam com o tipo de função desejada. A chapa quinada é um dos tipos mais utilizados no reforço sísmico, sendo uma chapa em forma de cotovelo que serve de apoio às vigas de madeira dos pavimentos, Ao mesmo tempo permite fazer a ligação entre as paredes inferiores ao pavimento.



Figura 3: Chapa quinada [5]

Esta chapa é aparafusada às paredes, enquanto as vigas podem estar simplesmente apoiadas sobre esta ou através de ligações aparafusadas.

Outro tipo utilizado são as chapas que permitem o reforço das vigas existentes, normalmente de madeira, através da aplicação de chapas de aço pregadas às vigas, constituindo vigas mistas aço/madeira [1].

Para um bom funcionamento deste método deve-se atender à relação entre os módulos de elasticidade do aço e da madeira, para se homogeneizar a secção composta, escolhendo-se, em função disso, a altura e a espessura das chapas (o coeficiente de homogeneização a utilizar poderá ser de 20:1) [1].

Para além destes dois métodos mais usuais, existem variadas formas de utilizar chapas metálicas, pois é possível criar chapas apropriadas a cada situação.

### ***Vigas metálicas***

As vigas metálicas servem para substituir as peças em mau estado, ou para reforçar zonas debilitadas dos edifícios. As suas funções são em tudo semelhantes as vigas aplicadas em obras novas.

Na execução destas vigas é necessário uma ancoragem às paredes, através de chapas metálicas e ligações aparafusadas, ou simplesmente recorrendo a aberturas criadas nas paredes nas quais são colocadas as extremidades da viga, seguindo-se a betonagem.



Figura 4: Viga metálica [5]

### ***Tirantes***

O tirante é uma componente de reforço estrutural de aço, normalmente aço inox, que trabalha à tracção, podendo ter funções passivas ou activas na estrutura. No entanto, a sua função, quando se trata de reforço anti-sísmico, é geralmente passiva, só funcionando à tracção aquando a ocorrência de um fenómeno sísmico.

Existem vários tipos de tirantes, podendo ter a forma de varões, cabos, barras ou vergalhões de ferro ou de aço. No caso sísmico, antigamente eram usados tirantes em varões de ferro, hoje em dia são normalmente usados cabos de aço semelhantes a cabos de pré-esforço.



Figura 5: Tirantes: (a) Varões, (b) Cabos [5]

A aplicação dos tirantes permite resistir á actuação das forças sísmicas horizontais, perpendiculares ás paredes de fachada, evitando o derrube das mesmas, através do travamento efectuado pelos tirantes.

Na aplicação sísmica em edifícios de pequeno vão estes tirantes são aplicados percorrendo todo o vão, sendo ancorados nas fachadas. Já em edifícios com vãos mais elevados existe a necessidade de ter uma ancoragem intermédia, realizada através de uma ligação a uma viga reticulada.

A ancoragem dos tirantes à parte exterior das paredes é efectuada através de barras de amarração, que são peças normalmente em aço inox. Estas barras podem ter formas rectangulares ou redondas (“bolachas”), com cerca de 50cm de comprimento ou diâmetro, respectivamente. Serão sujeitas a uma carga linear, obtida após a distribuição do esforço de tracção transmitido pelos tirantes às paredes. Mais informação técnica pode ser obtida em [3 e 4].

As ancoragens podem ser executadas de duas formas, dependendo da situação e do tipo de edifício. Se não existe a possibilidade de manter as barras de amarração à vista, por motivos estéticos, então ter-se-ão duas formas de se executar o trabalho, sem ser demasiado intrusivo. Quando é possível, no final do trabalho, rebocar toda a fachada, então far-se-á uma abertura em forma de molde com as dimensões da barra de amarração, no local onde será amarrado o tirante. Este método, apesar de não deixar á vista a barra de amarração, não permite um acesso à mesma ao longo do tempo, o que tornará intrusivo qualquer tipo de intervenção sobre a barra, após a finalização da reabilitação.



Figura 6: Barras de amarração [5]



Outra possibilidade ocorre quando as fachadas são em pedra à vista, o que, por vezes, permite disfarçar a barra de amarração entre as pedras da fachada. Este método é mais simples e de mais fácil execução que o anterior. Se existe a possibilidade de manter as barras à vista, então as barras devem amarrar os tirantes na face exterior das paredes, não evitando este método que mais tarde se possa rebocar o edifício.

Após a ancoragem nas fachadas é regulada a intensidade da tensão do cabo, através de um esticador. Tal dispositivo permite aumentar ou diminuir a tensão do cabo, sendo a sua regulação manual, em geral. No entanto, o cabo não deve exercer qualquer tipo de tensão sob as fachadas.



Figura 7: Esticadores [5]

Como se referiu, os tirantes são passivos, pois como não estão a exercer tensão sob as fachadas, só ficam activos perante um fenómeno sísmico. Sendo assim, quando ocorre um sismo os tirantes vão permitir que todas as paredes de fachada, através desta ligação, funcionem em conjunto, servindo de apoio ao deslocamento das mesmas.

É importante frisar a possibilidade de regular a tensão dos tirantes, pois após a ocorrência de um sismo permite fazer uma nova regulação da tensão e capacitar o edifício para resistir a um novo sismo.

### ***Melhoria da ligação entre paredes e pavimento/cobertura***

As ligações aparafusadas, como o próprio nome indica, são ligações efectuadas por parafusos metálicos que permitem conectar os elementos metálicos com a estrutura existente do edifício. Estas ligações são de extrema importância, pois permitem garantir a segurança e o bom funcionamento dos restantes elementos metálicos utilizados no reforço sísmico do edifício.

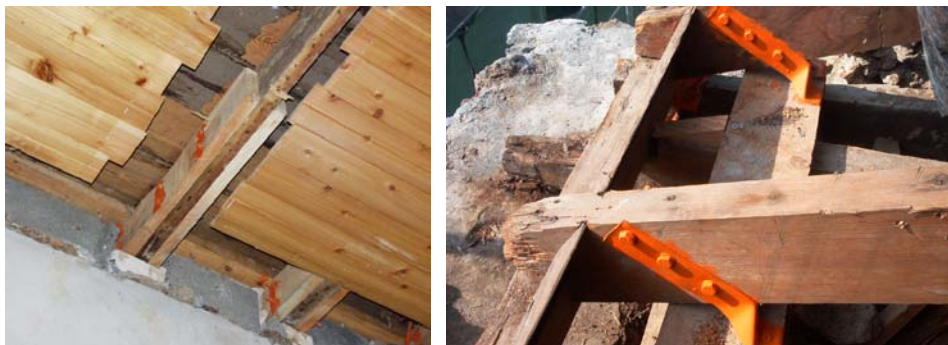


Figura 8: Diferentes tipos de ligações aparafusadas [5]

Na execução das ligações aparafusadas a quantidade de parafusos a serem utilizados é determinada através do dimensionamento, quando se obtêm as condições ideais de segurança, salvo no caso da existência de regulamentação sobre as mesmas ligações.

### ***Ligações metálicas entre componentes da estrutura da cobertura***

As ligações metálicas entre componentes da cobertura, apesar de não serem normalmente um alvo directo de reforço sísmico dos edifícios, permitem um melhor funcionamento em conjunto de todo o edifício.

Estas ligações são efectuadas através de chapas metálicas, conhecidas com o nome de ferragens ou samblagens, com uniões aparafusadas que permitem fazer os nós das asnas. Estas ferragens podem ter diferentes formas, a saber: pé de galinha simples ou dobrado, tê, cruzeta, braçadeira ou esquadro; formas estas que se vão adaptar as diferentes ligações. É também possível, quando necessário, substituir alguns pendurais por tirantes, o que permite reforçar estruturalmente a cobertura. Mais informações técnicas podem ser obtidas em [1].

### **Caso de Estudo**

O presente caso é referente a uma habitação unifamiliar afectada pelo sismo ocorrido em 1998, nos Açores. A referida habitação situa-se na Rua Conselheiro Medeiros, na cidade da Horta, Ilha do Faial, Açores.



Figura 9: Edifício do caso de estudo: (a) Antes do reforço sísmico (b) Após reforço sísmico [5]

O projecto de reforço sísmico do edifício, descrito de seguida, foi elaborado pela empresa M.M. Trabalhos de Engenharia Civil, em regime de consultoria com um grupo de professores universitários italianos.

### ***Descrição***

O edifício em questão é formado por um corpo principal de planta rectangular e por um corpo confinante a este, no seu alçado posterior, edificado como ampliação mais recente, conferindo à construção uma forma em “L”. Embora de menor envergadura, este corpo transmite algum travamento ao corpo principal do edifício.

Trata-se de um edifício com um piso térreo e três pisos superiores, possuindo no último uma torrinha voltada para as traseiras.

O edifício é constituído por paredes de alvenaria de pedra de basalto, que conferem apoio aos pavimentos de madeira e à estrutura também de madeira da cobertura. Assim, como

paredes resistentes do edifício em todo o perímetro do corpo principal e do corpo contíguo das traseiras.

No corpo principal o vigamento de suporte dos pavimentos de madeira, dos diversos pisos, está dividido em dois vãos. As vigas do primeiro vão apoiam-se nas paredes de pedra da fachada, e as do segundo no alçado posterior, apoiando-se ambos numa estrutura porticada interior de madeira. Esta terá já sido alvo de revisão ao nível do rés-do-chão, através da execução de uma viga de betão armado, que apoia em três pilares de betão armado e nas paredes das empenas laterais.

O edifício está implantado no interior de um quarteirão, confinando lateralmente com outros edifícios de porte inferior. Mais informações podem ser obtidas em [2].

### ***Projecto de reforço***

Dado que o edifício em análise está confinado lateralmente por outras construções, a acção sísmica na direcção perpendicular à parede da fachada é a mais gravosa.

Da análise ao derrube das paredes do edifício pela actuação das forças sísmicas horizontais, que lhe são perpendiculares, e no sentido de evitar que este ocorra, resultou o recurso a tirantes que efectuam o travamento da fachada.

Devido às condições meteorológicas locais, que são caracterizadas por valores de humidade permanentemente elevados, dada a situação geográfica que se traduz por uma influência marítima muito acentuada, cuja acção é muito agressiva, e dado que os tirantes terão de manter as suas características por um longo período de tempo, foi adoptada a utilização de cabos de aço inox, devido à sua maior durabilidade.

Os tirantes serão fixados na parte exterior da parede da fachada através de amarrações em barras metálicas, que ficam travadas transversalmente na face exterior da parede de alvenaria de pedra. Os cabos deverão ficar devidamente esticados utilizando-se para tal esticadores, bem como outros acessórios de ligação, todos estes em aço inoxidável.

Ao nível dos pavimentos de madeira, foi estudada uma solução em que é utilizada uma estrutura metálica para fixação dos cabos. Esta estrutura metálica será executada na parte central do edifício, junto à viga-trolha, sendo fixada às vigas de madeira existentes.

Quanto à solução de reforço junto ao coroamento da parede, esta passa pela colocação de um varão  $\phi 20$  corrido em todo o contorno do coroamento. Este varão ficará 70cm abaixo do topo da parede de forma a possibilitar a amarração da estrutura da cobertura. Para tal serão utilizados varões de aço  $\phi 12$ mm com ligações em gancho ao varão longitudinal, que terão a outra extremidade roscada de forma a serem fixados com placas metálicas e porcas aos tirantes da cobertura.

Este reforço deverá ser efectuado igualmente nas empenas laterais, de forma a impedir o derrube do bico da empena, cuja fragilidade é agravada pela existência de janelas nos alçados laterais. O reforço nesta zona obriga a executar uma viga de madeira composta por tábuas de secção  $30 \times 2 \text{ cm}^2$ , fixadas sob a estrutura inclinada da cobertura e dispostas a  $45^\circ$  relativamente à parede. É nesta viga que será fixado o reforço do coroamento na empena lateral, através da aplicação de barras metálicas que permitem a ligação com os varões  $\phi 12$ mm e que serão aparafusadas à viga de madeira.



### Verificação da segurança

O Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes [7] indica, como forma de quantificação da acção sísmica numa dada direcção, a seguinte expressão:

$$\beta = \beta_0 \cdot (\alpha/\eta). \quad (1)$$

Em que:

$\beta_0$  – coeficiente sísmico de referência, que depende das características do terreno e da frequência própria fundamental da estrutura na direcção considerada.

$\alpha$  – coeficiente de sismicidade, que depende da zona sísmica em que se localiza a construção e que para o Faial é igual a 1, dado pertencer à zona A.

$\eta$  – coeficiente de comportamento, que depende do tipo de estrutura e das suas características de ductilidade, atribuindo o REBAP [6] para as estruturas em parede de ductilidade normal o valor de 1,5.

Esta expressão define o coeficiente sísmico  $\beta$ , que é um coeficiente que multiplicado pelo valor das acções gravíticas correspondentes às cargas permanentes e ao valor quase permanente das cargas variáveis. Assim podemos obter o valor característico da resultante global das forças estáticas que permitem determinar os efeitos da acção sísmica. Do que:

$$\beta = \beta_0 \cdot (\alpha/\eta) = 0,27. \quad (2)$$

### Determinação dos esforços nos tirantes

Para determinar os esforços que são necessários mobilizar ao nível dos tirantes, para que não se dê o derrube da parede da fachada, é necessário efectuar o cálculo do equilíbrio à rotação em torno de cada eixo definido pelos diferentes pisos, que funcionam como charneira do movimento de derrubamento.

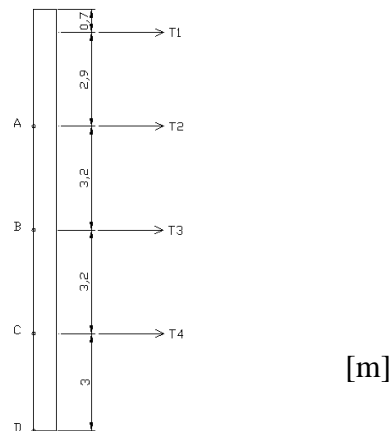


Figura 10: Esquema para o cálculo da segurança ao derrube

Derrube em torno do ponto A do último piso da parede de fachada:

- peso da parede:  $W = 44,483\text{kN/m}$

- força sísmica:  $\beta \cdot W = 12,02\text{kN/m}$
- peso do coroamento:  $Q = 8,65\text{kN/m}$
- comprimento da frente do edifício:  $L = 11,95\text{m}$

Equilíbrio à rotação em torno da aresta externa da parede à cota do terceiro piso:

$$T_1 = 2,09\text{kN/m}$$

Derrube em torno do ponto B da parede de fachada ao nível do segundo piso:

- peso da parede:  $W = 84,02\text{kN/m}$
- força sísmica:  $\beta \cdot W = 22,69\text{kN/m}$
- tracção no coroamento:  $T_1 = 2,09\text{kN/m}$

Equilíbrio à rotação em torno da aresta externa da parede à cota do segundo piso:

$$T_2 = 10,93\text{kN/m}$$

Derrube em torno do ponto C da parede de fachada ao nível do primeiro piso:

- peso da parede:  $W = 123,56\text{kN/m}$
- força sísmica:  $\beta \cdot W = 33,36\text{kN/m}$
- tracção no coroamento:  $T_1 = 2,09\text{kN/m}$
- tracção ao nível do 3º piso:  $T_2 = 10,93\text{kN/m}$

Equilíbrio à rotação em torno da aresta externa da parede à cota do primeiro piso:

$$T_3 = 10,68\text{kN/m}$$

Derrube em torno do ponto D da parede de fachada ao nível do solo:

- peso da parede:  $W = 160,63\text{kN/m}$
- força sísmica:  $\beta \cdot W = 43,37\text{kN/m}$
- tracção no coroamento:  $T_1 = 2,09\text{kN/m}$
- tracção ao nível do 3º piso:  $T_2 = 10,93\text{kN/m}$
- tracção ao nível do 2º piso:  $T_3 = 10,68\text{kN/m}$

Equilíbrio à rotação em torno da aresta externa da parede à cota do piso térreo:

$$T_4 = 10,35\text{kN/m}$$

Como é possível observar, os tirantes do terceiro piso são os mais solicitados, embora não haja uma variação muito acentuada para os restantes pisos, com a excepção do esforço obtido junto à cobertura, onde o valor obtido corresponde aproximadamente a um quinto do esforço obtido para os outros níveis.

Foi elaborada uma distribuição dos tirantes nas zonas de continuidade vertical da parede, tendo em conta as aberturas dos vãos de janelas e portas da fachada, tendo-se concluído que serão necessárias cinco amarrações à parede da fachada e outras cinco para a parede do alçado posterior.

Tendo em conta as distâncias entre cada amarração à parede da fachada apresentam-se os seguintes resultados dos esforços de tracção por cada tirante a aplicar:

Tabela 1: Esforço de tracção do tirante T2 (parede da fachada principal ao nível do terceiro piso)

T <sub>21</sub>	12,02kN
T <sub>22</sub>	30,04kN
T <sub>23</sub>	32,77kN
T <sub>24</sub>	26,77kN
T <sub>25</sub>	12,02kN

Tabela 2: Esforço de tracção do tirante T3 (parede da fachada principal ao nível do segundo piso)

T <sub>31</sub>	11,74kN
T <sub>32</sub>	29,36kN
T <sub>33</sub>	32,03kN
T <sub>34</sub>	26,16kN
T <sub>35</sub>	11,74kN

Tabela 3: Esforço de tracção do tirante T4 (parede da fachada principal ao nível do primeiro piso)

T <sub>41</sub>	11,39kN
T <sub>42</sub>	28,47kN
T <sub>43</sub>	31,06kN
T <sub>44</sub>	25,36kN
T <sub>45</sub>	11,39kN

Enquanto que para a parede do alçado posterior foram obtidos os seguintes resultados de esforços de tracção nos tirantes.

Tabela 4: Esforço de tracção do tirante T2 (nível do terceiro piso)

T <sub>25</sub>	15,29kN
T <sub>26</sub>	30,04kN
T <sub>27</sub>	25,67kN
T <sub>28</sub>	26,77kN
T <sub>29</sub>	15,84kN

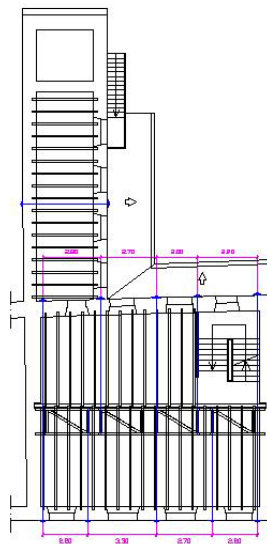


Figura 11: Planta do reforço estrutural da habitação da Rua Conselheiro de Medeiros, nº 42 [5]

Tabela 5: Esforço de tracção do tirante T3 (nível do segundo piso)

T <sub>35</sub>	14,95kN
T <sub>36</sub>	29,36kN
T <sub>37</sub>	25,09kN
T <sub>38</sub>	26,16kN
T <sub>39</sub>	15,48kN

Tabela 6: Esforço de tracção do tirante T4 (nível do primeiro piso)

T <sub>45</sub>	14,49kN
T <sub>46</sub>	28,47kN
T <sub>47</sub>	24,33kN
T <sub>48</sub>	25,36kN
T <sub>49</sub>	15,01kN

Assim, verifica-se que através das distâncias adoptadas entre os tirantes e o valor da força sísmica horizontal linear, obtido ao nível dos pisos, resulta, como tracção máxima no tirante mais esforçado, o valor de 32,77kN, correspondente ao terceiro piso.

#### ***Dimensionamento dos tirantes***

Como regra de dimensionamento deste tipo de cabos é utilizada uma relação de segurança entre a carga de rotura e a carga de trabalho, cujo valor aconselhável a aplicar varia no intervalo de 4 a 5. Este valor depende da carga aplicada e da frequência com que ocorre a sollicitação.

Tabela 7: Valores dos diâmetros a utilizar para as cargas de rotura

Diâmetros (mm)	6 x 19		6 x 36	
	Massa (kg/100m)	Carga de Rotura (kN)	Massa (kg/100m)	Carga de Rotura (kN)
φ8	26,3	46,3		
φ10	38,9	68,4		
φ12	55,1	97,6		
φ14	78,7	139,0	79,4	126,0
φ16			107,0	169,0

Como critério para o dimensionamento do diâmetro dos cabos e número de cordões foi considerado que uma relação de segurança de 2, pelo que como valor da carga de rotura do cabo se considerou o valor de 65,55kN, obtendo-se, assim, um cabo constituído por 6 cordões de 19 fios com um núcleo igualmente composto por fios de aço.

Os fios de aço utilizados na composição do cabo têm uma resistência de 1770N/mm<sup>2</sup>. Pelo que o diâmetro obtido para os cabos a utilizar nas ancoragens ao nível dos pisos é de 12mm.

### ***Verificação ao escorregamento do coroamento da cobertura***

Para que o coroamento da parede e os tirantes do piso possam realmente sustentar o esforço acima calculado, é necessário controlar que não se verifica o escorregamento devido à ancoragem.

No que respeita ao coroamento da parede, o contacto entre o coroamento e a parede sob o mesmo origina uma reacção devido ao atrito que afecta toda a extensão da fachada e é devida ao peso do coroamento e da cobertura. Tal reacção impede o escorregamento súbito e garante a eficácia do vínculo. Assumindo um coeficiente de atrito:  $f = \tan\phi = 0.5$ , e apenas considerando somente o peso do coroamento da parede sobre a ancoragem, pode-se escrever:

$$T_1 = 2,09\text{kN/m} < Q \times f = 4,32\text{kN/m}$$

### ***Verificação ao escorregamento das ancoragens***

No que respeita às ancoragens dos tirantes ao nível dos pisos, realizadas através da amarração dos cabos de aço em barras metálicas travadas contra a face exterior da parede de alvenaria de pedra da fachada, o escorregamento pode ocorrer na cunha de parede sobre a qual a amarração é efectuada.

Tal cunha é delimitada, superiormente e inferiormente, por duas superfícies horizontais e lateralmente por um plano diagonal à parede inclinado a  $45^\circ$ , sendo esta porção de parede envolvida no mecanismo de escorregamento.

Considerou-se que a reacção de atrito ocorre, neste caso, sobre as duas superfícies horizontais de escorregamento, superior e inferior da cunha de parede, e é devida ao peso do pano de parede que se encontra por cima.

Para a situação mais desfavorável, que é a que se verifica na ancoragem central a executar na parede da fachada no terceiro piso, verifica-se que a carga sobre a amarração é 53,36kN, pelo que:

$$T_2 \times 3,00 = 32,78\text{kN} < 2 \times 53,38 \times 0.5 = 53,38\text{kN}$$

### ***Dimensionamento das barras de amarração dos tirantes***

Na ligação dos cabos de aço à parede de alvenaria de pedra serão usadas barras de aço de secção rectangular com 50cm de comprimento, que estarão sujeitas a uma carga linear obtida após a distribuição do esforço de tracção transmitido pelos tirantes à parede:

- Ligação com os tirantes

Como tracção máxima transmitida pelo tirante mais esforçado temos 32,77kN, pelo que resulta uma solicitação sobre a barra de:

$$q_{sd} = \frac{T_{\text{máx}}}{l} \quad (3)$$

$$M_{sd} = q_{sd} \times \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2}{2} \quad (4)$$

Sendo,  $q_{sd} = 65\text{kN/m}$  e  $M_{sd} = 2,048\text{kNm}$



Considerando uma secção de 7cmx3cm para a barra, verifica-se uma tensão de 195,05MPa. O valor de tensão obtido é inferior à tensão resistente do aço, que é de 275,0MPa para o aço Fe430 a aplicar. Enquanto que no contacto entre a barra e a parede verifica-se uma tensão localizada de 0,94MPa.

### ***Dimensionamento da treliça composta pelos perfis rectangulares ocós***

Foi estudada uma solução que permite a pré-fabricação por módulos da treliça, procedendo-se à sua montagem no local da obra, sendo executados apoios para esta estrutura nas paredes laterais do edifício e executadas amarrações pontuais por peças metálicas (pequenas chapas) que serão ligadas por parafusos às vigas de madeira sob o pavimento existente. A localização da estrutura a ser executada é junto à viga-trolha, que atravessa transversalmente o edifício na sua parte central.

Assim, foi efectuada o cálculo da referida estrutura através do auxílio de um programa informático de cálculo estrutural, tendo sido utilizado o modelo estrutural aqui apresentado:

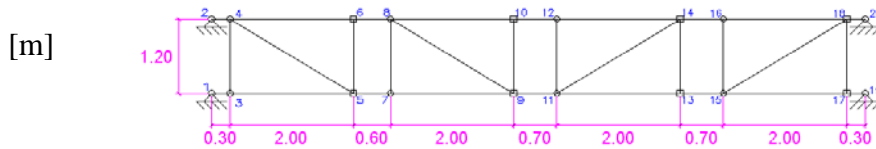


Figura 12: Modelo estrutural da treliça [5]

Do cálculo efectuada resultaram perfis de secção 120x80x8 para as barras longitudinais, montantes e diagonais. Do cálculo efectuada obtêm-se valores das reacções nos apoios, para cada uma das acções consideradas, concluindo-se que o peso da estrutura em perfis metálicos é de 6,73kN, obtendo-se assim de forma simplificada que o peso linear da estrutura metálica é de 0,64kN/m.

### ***Dimensionamento das ligações aparafusadas***

Será necessário efectuar o dimensionamento das ligações aparafusadas que efectuam a ligação dos tirantes aos perfis metálicos da treliça e a ligação dos perfis metálicos às vigas de madeira do pavimento.

- Ligação perfis metálicos / Vigas de madeira

Tendo em conta uma distância máxima entre as vigas de madeira existentes de 0,70m, o peso próprio da estrutura metálica e as forças sísmicas horizontais transmitidas à estrutura pelos tirantes (no caso mais desfavorável, 10,93kN/m), resultam nos seguintes esforços por viga de madeira:

$$T_x = 7,65\text{kN/m} \qquad T_y = 0,44\text{kN/m}$$

Obtendo-se assim:

$$T_{\text{result}} = 7,66\text{kN/viga}$$

Entre cada viga de madeira existente e a estrutura metálica serão utilizadas três chapas de ligação, onde serão aparafusados quatro parafusos por chapa. Assim, cada chapa será traccionada por um esforço de 2,55kN, enquanto que cada parafuso é sujeito a um esforço de corte de 0,64kN.

Temos que o esforço de cálculo dos parafusos é de:

$$T_{sd} = 0,96\text{kN}$$

Utilizando parafusos de 6mm de diâmetro de aço Fe360 da classe de resistência 4.6 tem-se:

$$T_{rd} = 0,7 \times f_{yd} \times A_{parafuso} \quad (5)$$

Sendo  $T_{rd} = 4,65\text{kN}$ , logo:

$$T_{rd} = 4,65\text{kN} > T_{sd} = 0,96\text{kN}$$

Teremos, então, que as chapas de ligação serão sujeitas a um esforço de cálculo de:

$$N_{sd} = 3,825\text{kN} \quad \sigma = 42,50\text{MPa}$$

Valor que é inferior à tensão resistente à tracção do aço, que é de 275,0MPa para o aço Fe430 a aplicar nestas peças.

#### - Ligação Tirantes / Perfis Metálicos

Tendo em conta os valores obtidos para o esforço de tracção a aplicar, por cada cabo de aço, é possível dimensionar a ligação destes à estrutura composta pelos perfis metálicos ocós.

Para ligação dos tirantes aos perfis metálicos foi considerada a utilização de uma chapa metálica em aço Fe430, com uma secção transversal de 50x5mm. Esta chapa é dobrada de forma a obter-se uma argola onde é amarrado o cabo de aço, ao mesmo tempo que permite efectuar ligações aparafusadas aos perfis metálicos da treliça.

Dado que o valor máximo do esforço de tracção dos tirantes é de 32,77kN, as chapas serão sujeitas a um esforço de cálculo à tracção de:

$$N_{sd} = 49,16\text{kN} \quad \sigma = 196,64\text{MPa}$$

Valor que é inferior à tensão resistente à tracção do aço, que é de 275,0MPa para o aço Fe430 a aplicar.

Estas chapas serão fixadas à estrutura metálica de perfis ocós, através de três ligações aparafusadas, obtendo-se um esforço máximo de corte na ligação de cada parafuso de 10,925kN.

Assim tem-se que o esforço de cálculo dos parafusos é de:

$$T_{sd} = 16,39\text{kN}$$

Utilizando parafusos M12 da classe de resistência 4.6 tem-se:

$$T_{rd} = 18,61\text{kN} > T_{sd} = 16,39\text{kN}$$

### Considerações Finais

A aplicação de elementos metálicos permite intervenções pouco intrusivas e de elevado sucesso no reforço estrutural à acção sísmica. A aplicação de elementos metálicos tem várias vantagens, entre elas:

- 1) O transporte;
- 2) A colocação em obra;

- 3) A operacionalidade em espaços reduzidos;
- 4) A compatibilidade funcional e estática face às estruturas existentes;
- 5) A reversibilidade e a autonomia destes elementos, que facilita a manutenção e a inspeção da estrutura;
- 6) A pré-fabricação.

Os elementos metálicos são normalmente em aço inoxidável. Este material, devido às suas características de flexibilidade e à sua elevada ductilidade é bastante utilizado no reforço sísmico, pois permite que na eventualidade de colapso estrutural este não ocorra de um modo brusco mas sim gradual, ou seja, com aviso.

São vários os elementos metálicos utilizados no reforço sísmico, tirantes, barras de amarração ou ancoragem, chapas, cinta de coroamento, vigas reticuladas, vigas metálicas, ligações metálicas para componentes das coberturas e ligações aparafusadas.

Percebe-se que todos estes elementos têm funções distintas, e de extrema importância no melhoramento da reacção do edifício à acção sísmica, no entanto, é através, do bom funcionamento do conjunto destes elementos que se obtêm uma boa reacção da globalidade do edifício perante a acção sísmica.

### **Agradecimentos**

É agradecida a ajuda e apoio dado pelo Eng<sup>o</sup>. Oscar Vasconcelos, Eng<sup>a</sup>. Edite Simões, Eng<sup>a</sup>. Anabela Vidal e à empresa M.M. Trabalhos de Engenharia Civil, Lda.

### **Referências**

- [1] Appleton, J.: *Reabilitação de edifícios antigos: Patologias e técnicas de intervenção*. Edições Orion (2003).
- [2] Barros, R. S., Guerra, J., Varum, H.: *Reforço sísmico de estruturas de alvenaria com elementos metálicos*. Universidade Fernando Pessoa, Porto (2005).
- [3] Blasi, C., Borri, A., Di Pasquale, S., Malesani, P., Nigro, G., Parducci, A., Tampone, G. *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici: Regione dell'Umbria*. Dei tipografia del genio civile, Roma (1999).
- [4] Carocci, C., Ceradini, V., De Benedictis, R., Felice, G., Pugliano, A., Zampilli, M. *Sicurezza e conservazione dei centri storici: Il caso Ortigia*. Editori Laterza, Roma (2000).
- [5] M. M. Trabalhos de engenharia civil Lda.: *Arquivo de trabalhos de reforço e recuperação de edifícios de alvenaria da Ilha do Faial*. Horta, Açores (2005).
- [6] REBAP – *Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado*. Decreto-Lei nº 349-C/83, IN-CM, Lisboa (1983).
- [7] Porto editora, Lda.: *RSA – Regulamento de Segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes*. Decreto-Lei Nº 235/83, IN-CM, Lisboa (1983).