

## ADESIVO EPOXÍDICO BICOMPONENTE

### CONFIÁVEL

A sua durabilidade é comprovada pelos 30 anos de utilização na construção em madeira.

### EFICIENTE

Adesivo epoxídico bicomponente de alto desempenho. A resistência dos nós depende exclusivamente do material da madeira, graças à sobre-resistência do adesivo.

### VERSÁTIL

Em cartucho para uma utilização prática e rápida, em formatos de 3 litros e 5 litros para ligações de maior volume.



## CARATERÍSTICAS

|            |                                                                                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| FOCUS      | colagens estruturais                                                                  |
| TIPOLOGIAS | ligações com barras, ligações com chapas furadas ou saibradas                         |
| GAMA       | 5 produtos para se adaptar a todas as necessidades de aplicação                       |
| APLICAÇÃO  | aplicável por pulverização, pincel, percolação ou espátula, dependendo da viscosidade |

### VÍDEO

Digitalize o QR Code e assista ao vídeo no nosso canal YouTube



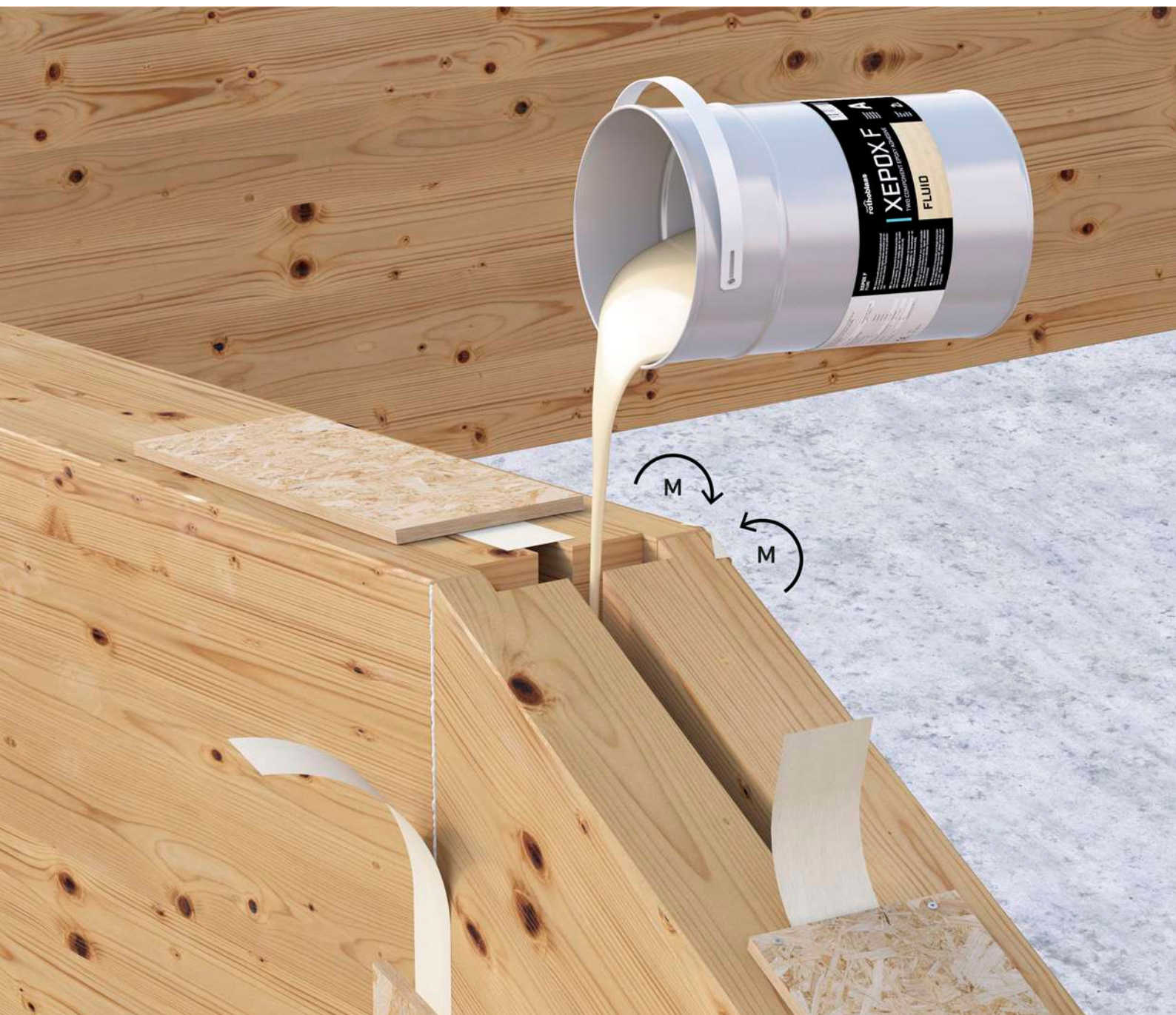
## MATERIAL

Adesivo epoxídico bicomponente.

## CAMPOS DE APLICAÇÃO

Ligações de corte, ação axial e momento realizáveis em

- madeira maciça e lamelar
- CLT
- betão



## ESTRUTURAL

Ideal para a realização de nós rígidos multidirecionais.

## CONSOLIDAÇÃO ESTATICA

Utilizável para a reconstrução do material de madeira em combinação com barras metálicas e outros materiais.

## CÓDIGOS E DIMENSÕES

### CAIXAS

| CÓDIGO     | descrição   | conteúdo<br>[ml] | pçs |
|------------|-------------|------------------|-----|
| XEPOXP3000 | P - primer  | A + B = 3000     | 1   |
| XEPOXL3000 | L - líquido | A + B = 3000     | 1   |
| XEPOXL5000 |             | A + B = 5000     | 1   |
| XEPOXF3000 | F - fluido  | A + B = 3000     | 1   |
| XEPOXF5000 |             | A + B = 5000     | 1   |
| XEPOXG3000 | G - gel     | A + B = 3000     | 1   |

### CARTUCHOS

| CÓDIGO    | descrição  | conteúdo<br>[ml] | pçs |
|-----------|------------|------------------|-----|
| XEPOXF400 | F - fluido | 400              | 1   |
| XEPOXD400 | D - denso  | 400              | 1   |

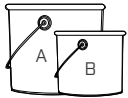
## PRODUTOS ADICIONAIS - ACESSÓRIOS

| CÓDIGO  | descrição                     | pçs |
|---------|-------------------------------|-----|
| MAMDB   | pistola para cartuchos duplos | 1   |
| STINGXP | bico misturador               | 1   |

## APLICAÇÕES

### XEPOX P - primer

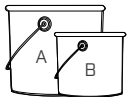
Adesivo epoxídico bicomponente de baixíssima viscosidade e elevada molhabilidade sobre o suporte, para reforços estruturais com fitas/tecidos de carbono ou de vidro. Útil também para a proteção de chapas saibradas SA2,5/SA3 (ISO 8501) e para a construção de insertos FRP (Fiber Reinforced Polymers). Aplicável por rolo, pulverização e pincel. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

### XEPOX L - líquido

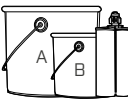
Adesivo epoxídico bicomponente para empregos estruturais, muito fluido, aplicável para escoamento em furos verticais muito profundos e para grandes juntas com insertos ocultos, em fresagens muito extensas ou com espaços internos muito exíguos (1 mm ou superiores), sempre com uma prévia e cuidadosíssima selagem das fugas. Fluido e injetável. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Acute Tox. 4; STOT RE 2; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

### XEPOX F - fluido

Adesivo epoxídico bicomponente fluido para empregos estruturais, aplicável por injeção em furos e em fresagens, com prévia selagem das fugas. Preferível para a solidarização à madeira dos conectores dobrados (sistema Turrini-Piazza) nas lajes colaborantes de madeira-betão, quer com vigas novas quer com vigas existentes; interstício entre o metal e a madeira de cerca de 2 mm ou superior. Percolação nos furos verticais nas fresagens depois da inserção de ponteiros metálicas em chapa ou em barra. Fluido e injetável com cartucho. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e 30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: STOT RE 2; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

### XEPOX D - denso

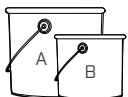
Adesivo epoxídico bicomponente tixotrópico (viscoso) para usos estruturais, aplicável por injeção, sobretudo em furos horizontais ou verticais, nas vigas de madeira lamelada, madeira maciça, nas construções de tijolos e no betão armado. Injetável com cartucho. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Repr. 1A; Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

### XEPOX G - gel

Adesivo epoxídico bicomponente em gel para empregos estruturais, aplicável com espátula também sobre superfícies verticais e na formação de espessuras consistentes ou irregulares. Adequado para sobreposições de madeira muito extensas e a colagem de reforços estruturais, com a utilização de tecidos de fibras de vidro ou carbono e para placagens (aumento de espessura) de madeira ou metal. Aplicável com espátula. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Acute Tox. 4; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; STOT SE 3; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| Propriedades                                                   | Normativa                      | XEPOX P                 | XEPOX L                | XEPOX F                | XEPOX D                  | XEPOX G                 |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Peso específico                                                | ASTM D 792-66                  | ≈ 1,10                  | ≈ 1,40                 | ≈ 1,45                 | ≈ 2,00                   | ≈ 1,90                  |
| Relação estequiométrica em volume (A/B) <sup>(1)</sup>         | -                              | 100 : 50 <sup>(2)</sup> | 100 : 50               | 100 : 50               | 100 : 50                 | 100 : 50                |
| Pot life 23 ± 2° 150 cc                                        | ERL 13-70 [min]                | -                       | 50 ÷ 60                | 50 ÷ 60                | 50 ÷ 60                  | 60 ÷ 70                 |
| Tempo de transformação da mistura                              | ERL 13-70 [min]                | 25 ÷ 30                 | 25 ÷ 30                | 25 ÷ 30                | 25 ÷ 30                  | -                       |
| Temperatura de aplicação (humidade relativa máx. 90%)          | - [°C]                         | 10 ÷ 35                 | 10 ÷ 35                | 10 ÷ 35                | 5 ÷ 40                   | 5 ÷ 40                  |
| Espessura recomendada                                          | - [mm]                         | 0,1 ÷ 2                 | 1 ÷ 2                  | 2 ÷ 4                  | 2 ÷ 6                    | 1 ÷ 10                  |
| Tensão normal de aderência $\sigma$                            | EN 12188 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 21                      | 27                     | 25                     | 19                       | 23                      |
| Resistência ao corte inclinado $\sigma_0$ 50°                  | EN 12188 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 94                      | 70                     | 93                     | 55                       | 102                     |
| Resistência ao corte inclinado $\sigma_0$ 60°                  | EN 12188 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 106                     | 88                     | 101                    | 80                       | 109                     |
| Resistência ao corte inclinado $\sigma_0$ 70°                  | EN 12188 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 121                     | 103                    | 115                    | 95                       | 116                     |
| Resistência ao corte-aderência $\tau$                          | EN 12188 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 39                      | 27                     | 36                     | 27                       | 37                      |
| Carga unitária de rutura por compressão <sup>(3)</sup>         | EN 13412 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 83                      | 88                     | 85                     | 84                       | 94                      |
| Módulo elástico médio em compressão                            | EN 13412 [N/mm <sup>2</sup> ]  | 3438                    | 3098                   | 3937                   | 3824                     | 5764                    |
| Coeficiente de dilatação térmica (no intervalo -20 °C/+40 °C)  | EN 177 [m/m.°C]                | 7,0 x 10 <sup>-5</sup>  | 7,0 x 10 <sup>-5</sup> | 6,0 x 10 <sup>-5</sup> | 6,0 x 10 <sup>-5</sup>   | 7,0 x 10 <sup>-5</sup>  |
| Carga unitária de rutura por tração <sup>(4)</sup>             | ASTM D638 [N/mm <sup>2</sup> ] | 40                      | 36                     | 30                     | 28                       | 30                      |
| Módulo elástico médio em tração <sup>(4)</sup>                 | ASTM D638 [N/mm <sup>2</sup> ] | 3300                    | 4600                   | 4600                   | 6600                     | 7900                    |
| Carga unitária de rutura por flexão <sup>(4)</sup>             | ASTM D790 [N/mm <sup>2</sup> ] | 86                      | 64                     | 38                     | 46                       | 46                      |
| Módulo elástico médio em flexão <sup>(4)</sup>                 | ASTM D790 [N/mm <sup>2</sup> ] | 2400                    | 3700                   | 2600                   | 5400                     | 5400                    |
| Carga unitária de rutura por corte (punch tool) <sup>(4)</sup> | ASTM D732 [N/mm <sup>2</sup> ] | 28                      | 28                     | 28                     | 19                       | 25                      |
| Viscosidade                                                    | - [mPa.s]                      | A = 1100<br>B = 250     | A = 2300<br>B = 800    | A = 14000<br>B = 11500 | A = 300000<br>B = 300000 | A = 450000<br>B = 13000 |

### NOTAS:

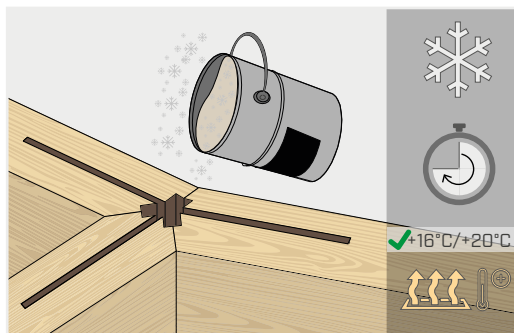
<sup>(1)</sup> Os componentes são embalados em quantidades pré-doseadas, prontos a utilizar. A relação é em volume (não em peso).

<sup>(2)</sup> É recomendável não utilizar mais de um litro de produto misturado de cada vez. A relação entre os componentes A:B em peso é de aproximadamente 100:44,4.

<sup>(3)</sup> Valor médio no final dos ciclos de carga/descarga.

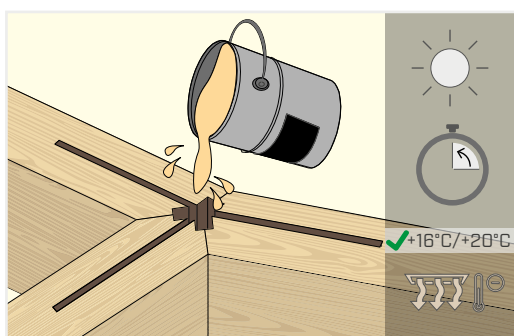
<sup>(4)</sup> Valores de teste da campanha de investigação "Ligações inovadoras para elementos estruturais de madeira" - Politecnico di Milano.

## ■ TEMPERATURAS DE APLICAÇÃO E CONSERVAÇÃO



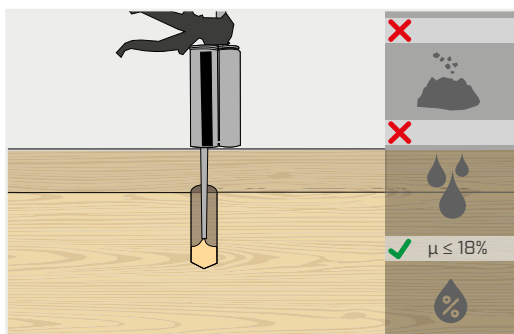
### CONSERVAÇÃO DOS ADESIVOS

Os adesivos epoxídicos devem ser conservados a uma temperatura moderada (por volta de +16 °C / +20 °C) quer no inverno quer no verão, até ao imediato momento da utilização deles. Não conservar as embalagens ao frio, pois isto aumenta a viscosidade dos adesivos e torna dificultosa a percolação para fora das caixas e a extrusão dos cartuchos. Não deixar as embalagens expostas ao sol, pois o produto aquecido adquire tempos de polimerização muito reduzidos.



### APLICAÇÃO DOS ADESIVOS

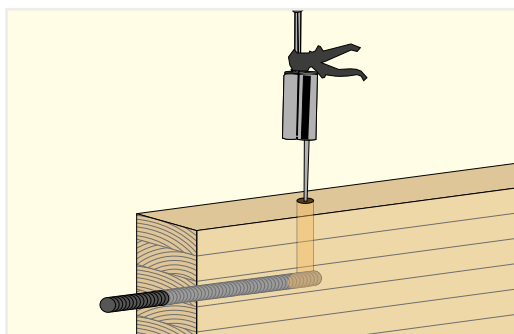
A temperatura ambiente recomendada para a aplicação é > +10 °C. Se a temperatura ambiente for muito baixa, as embalagens devem ser aquecidas, pelo menos, uma hora antes da utilização ou os locais de aplicação e as ponteiros metálicos devem ser aquecidos antes de percolação do produto. Pelo contrário, se as temperaturas forem muito elevadas, é necessário realizar as percolações do adesivo num local fresco, evitando as horas mais quentes do dia.



### TRATAMENTO FUROS E FRESAGENS

Antes da percolação ou da injeção do adesivo, os furos e encavos feitos na madeira devem ser protegidos contra a água meteórica ou a elevada humidade atmosférica e limpos com ar comprimido. Se as partes a serem resinadas estiverem molhadas ou altamente húmidas, devem ser absolutamente enxutas. A utilização de adesivos XEPOX é recomendada para madeira devidamente seca, com um teor de humidade da madeira inferior a 18%, aproximadamente.

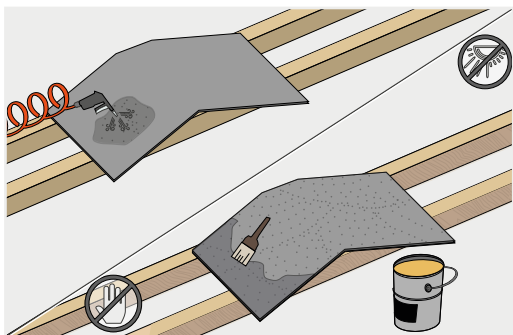
## ■ LIGAÇÕES COM BARRAS COLADAS



### RESINAÇÃO

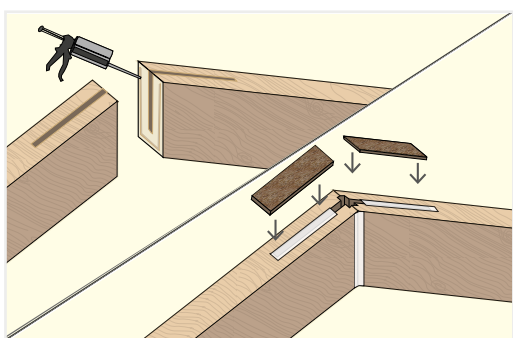
As ligações com barras são adequadas para extrusão com cartuchos biaxiais, devido às quantidades reduzidas de resina. Para variar a quantidade de adesivo a injetar, cortar a extremidade do bico. Para a colagem de barras longas, é recomendado fazer furos de enchimento em direção ortogonal à barra.

## LIGAÇÕES DE MOMENTO COM CHAPAS



### PREPARAÇÃO DO SUPORTE METÁLICO

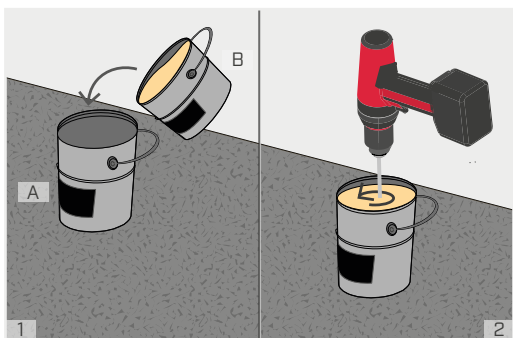
Os insertos metálicos de armação das juntas devem ser limpos e desengordurados. As chapas lisas devem ser tratadas com um processo de areagem de grau SA2,5 / SA3 e depois protegidas com um mão de XEPOX P, a fim de se evitar a oxidação delas. Sobretudo nos meses quentes, é necessário proteger as superfícies metálicas contra os raios directos do sol.



### PREPARAÇÃO DO SUPORTE DE MADEIRA

Perto das bordas verticais, aplicar tiras contínuas de fita adesiva, colocando-as a cerca de 2÷3 mm da borda. Em seguida, aplicar um cordão contínuo de silicone acético e pressionar para que este também adira às superfícies protegidas pela fita.

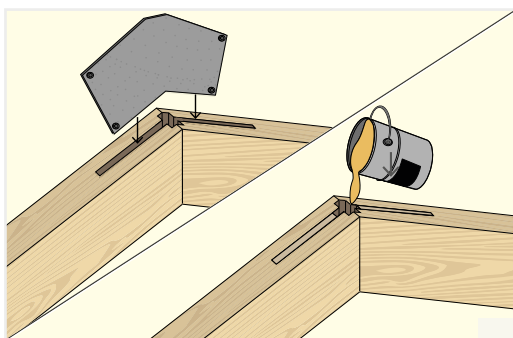
As fresagens extradossais dos elementos inclinados devem ser seladas com ripas ou tábuas de madeira, deixando apenas a extremidade das fresagens descoberta no ponto mais alto a partir do qual o adesivo deve ser percolado.



### PREPARAÇÃO DO PRODUTO

Para utilizar o produto em latas, despejar o endurecedor (componente B) na lata que contém a resina epoxídica (componente A). Misturar energicamente os dois componentes de cores diferentes. Recomendamos um misturador adequado com dupla hélice montado numa ferramenta elétrica (em alternativa, pode ser utilizado um batedor de varetas metálicas), até se obter uma mistura de cor homogênea. Em seguida, despeje a mistura obtida.

Para distribuição em fendas de comprimento considerável deitar directamente da lata de mistura em caso de coadura ou retirar o produto e espalhá-lo com uma espátula.



### RESINAÇÃO

É recomendável assegurar uma almofada "útil" de adesivo a efetuar com uma fresagem adequada na zona da cabeça dos elementos estruturais de madeira como garantia adicional da funcionalidade do sistema de contacto. Sugere-se uma espessura dos interstícios entre as ponteiros metálicos e a madeira de 2÷3 mm por lado. Para garantir o posicionamento correto das ponteiros dentro dos entalhes, é recomendável colocar anilhas espaçadoras nas ponteiros aplicadas na fase de polimerização da proteção com XEPOX P.

## ■ ADESIVO EPOXÍDICO XEPOX

UMA FAMÍLIA HISTÓRICA DE PRODUTOS PARA LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS DE MADEIRA, CAPAZ DE GARANTIR UMA EXCELENTE RESTABELECIMENTO DA RESISTÊNCIA E RIGIDEZ

Os adesivos epoxídicos XEPOX são resinas bicomponentes especificamente formulados para penetrar na microestrutura da madeira e aderir à mesma de forma muito eficaz e para reduzir a cristalização típica das resinas.

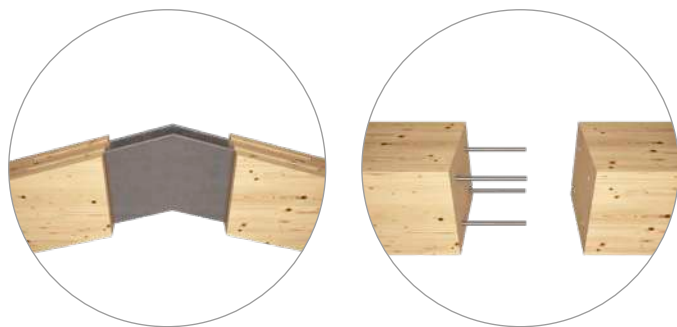
A mistura dos componentes A e B provoca uma reação exotérmica (desenvolvimento de calor) e, uma vez endurecida, forma uma estrutura tridimensional com propriedades excepcionais, tais como: durabilidade ao longo do tempo, interação com a ausência de humidade, excelente estabilidade térmica, grande rigidez e resistência.

Cada elemento químico ou mineral da formulação desempenha um papel específico e todos juntos contribuem para a obtenção das características de desempenho do adesivo.

## ■ CAMPOS DE EMPREGO

As diferentes viscosidades dos produtos XEPOX garantem utilizações versáteis para diferentes tipos de ligações, tanto para novas construções, como para recuperações estruturais. A utilização em combinação com aço, em particular, chapas, saibradas ou perfuradas, e barras, proporciona elevada resistência em espessuras limitadas.

### 1. LIGAÇÃO DE CONTINUIDADE DE MOMENTO



### 2. LIGAÇÕES DE DUAS OU TRÊS VIGAS



### 3. LIGAÇÃO DE MEIA MADEIRA



### 4. REABILITAÇÃO DE PEÇAS DEGRADADAS



## ■ MELHORAMENTOS ESTÉTICOS

O formato de cartucho também permite que seja utilizado para arranjos estéticos e colagens em pequenas quantidades.





## LIGAÇÕES COM BARRAS COLADAS

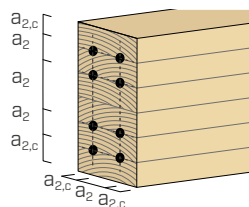
Seguem-se as indicações contidas nas DIN 1052:2008 e nas normas italianas CNR DT 207:2018.

### DISTÂNCIAS MÍNIMAS PARA BARRAS

#### TRAÇÃO

Barras coladas // à fibra

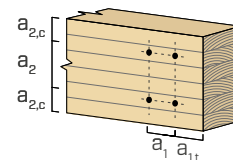
|           |      |
|-----------|------|
| $a_2$     | 5d   |
| $a_{2,c}$ | 2,5d |



#### TRAÇÃO

Barras coladas ⊥ à fibra

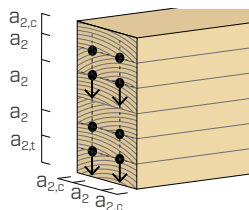
|           |      |
|-----------|------|
| $a_1$     | 4d   |
| $a_2$     | 4d   |
| $a_{1,t}$ | 2,5d |
| $a_{2,c}$ | 2,5d |



#### CORTE

Barras coladas // à fibra

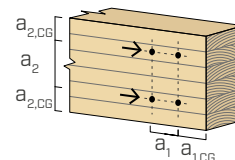
|           |      |
|-----------|------|
| $a_2$     | 5d   |
| $a_{2,c}$ | 2,5d |
| $a_{2,t}$ | 4d   |



#### CORTE

Barras coladas ⊥ à fibra

|            |     |
|------------|-----|
| $a_1$      | 7d  |
| $a_2$      | 5d  |
| $a_{1,CG}$ | 10d |
| $a_{2,CG}$ | 4d  |



O comprimento mínimo de inserção é de:

$$l_{min} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,5 d^2 \\ 10 d \end{matrix} \right\}$$

## MÉTODO DE CÁLCULO

### RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A resistência à tração de uma barra de diâmetro d é de:

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{matrix} f_{yd} \cdot A_{res} & \text{ruptura do aço} \\ \pi \cdot d \cdot l \cdot f_{v,d} & \text{ruptura da madeira por corte} \\ f_{t,0,d} \cdot A_{eff} & \text{ruptura da madeira por tração} \end{matrix} \right.$$

A área efetiva considera um quadrado de madeira com um lado máximo de 6d; a área é reduzida para distâncias menores entre os elementos ou a partir da borda.

$f_{yd}$  = resistência do aço de projeto

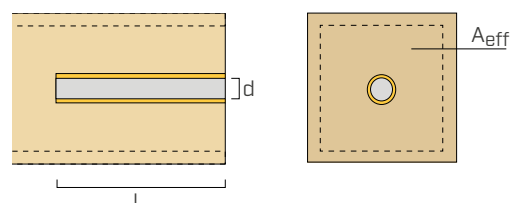
$f_{t,0,d}$  = resistência à tração de projeto da madeira

A resistência ao corte da colagem  $f_{v,k}$  depende do comprimento de inserção

| l [mm]              | $f_{v,k}$ [MPa]         |
|---------------------|-------------------------|
| $\leq 250$          | 4                       |
| $250 < l \leq 500$  | $5,25 - 0,005 \times l$ |
| $500 < l \leq 1000$ | $3,5 - 0,0015 \times l$ |

para o ângulo  $\alpha$  de inclinação em relação à fibra verifica-se:

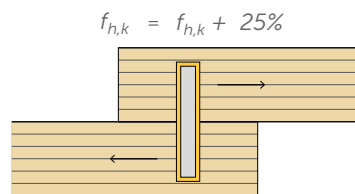
$$f_{v,\alpha,k} = f_{v,k} \cdot (1,5 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)$$



## RESISTÊNCIA AO CORTE

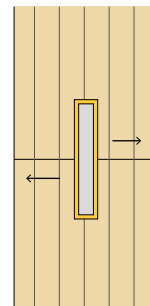
A resistência ao corte de uma barra pode ser calculada com as conhecidas fórmulas de Johansen para parafusos de rosca métrica, com as seguintes precauções:

Para barras coladas perpendicularmente à fibra, a resistência ao esforço de apoio pode ser aumentada até 25%.



A resistência ao esforço de apoio das barras coladas paralelamente à fibra é de 10% do valor perpendicular à fibra.

$$f_{h,k, //} = 10\% f_{h,k}$$



O efeito oco é avaliado como a resistência dada pela colagem de extração (rutura b).

Para obter a resistência de uma barra colada a um ângulo  $\alpha$  de colagem, é permitido interpolar linearmente entre os valores de resistência para  $\alpha$  a  $0^\circ$  e  $90^\circ$ .

## EXPERIMENTAÇÃO

Segue-se o cálculo de extração de uma barra colada com XEPOX, comparando o resultado com os testes realizados na Universidade de Biel, medindo o fator de sobre-resistência entre o teste e o cálculo. Isto demonstra a margem de segurança existente: no entanto, relembramos que o valor resultante do teste não é um valor característico e não se destina a ser utilizado no projeto.



### DADOS GEOMÉTRICOS

|                 |      |     |
|-----------------|------|-----|
| Lado da amostra | 80   | mm  |
| $A_{eff}$       | 6400 | mm  |
| $d$             | 16   | mm  |
| $l$             | 160  | mm  |
| $f_{yk}$        | 900  | MPa |
| $f_{t,0,k}$     | 27   | MPa |
| $\gamma_{M0}$   | 1    |     |
| $k_{mod}$       | 1,1  |     |
| $\gamma_M$      | 1,3  |     |



|                                                       |       |    |
|-------------------------------------------------------|-------|----|
| Rutura do aço                                         | 162,9 | kN |
| Rutura da madeira por corte                           | 29,0  | kN |
| Rutura da madeira por tração                          | 146,2 | kN |
| $R_{ax,d}$ = ação axial resistente de projeto         | 29,0  | kN |
| $R_{ax,m}$ = ação axial resistente média experimental | 96,3  | kN |
| $f$ = fator de sobre-resistência                      | 3,3   |    |

### NOTAS:

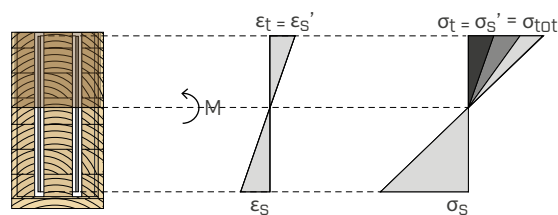
A resistência à tração foi inferida da densidade média das amostras utilizadas para os testes.

Os cálculos foram efetuados tendo em conta os valores de  $k_{mod}$  e  $\gamma_M$  de acordo com a EN 1995 1-1 e  $\gamma_{M0}$  de acordo com a EN 1993 1-1.

## LIGAÇÕES DE MOMENTO COM CHAPAS

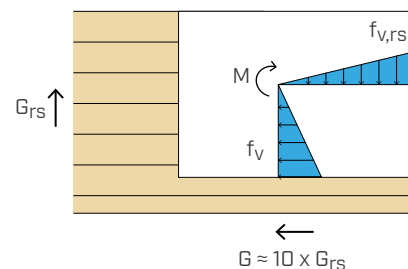
### MÉTODO DE CÁLCULO | SECÇÃO DA CABEÇA

As forças resultantes do momento e da ação axial são determinadas pela homogeneização dos materiais da secção, na hipótese de conservação das secções planas. A tensão de corte é absorvida apenas pelas chapas. Também é necessário verificar as tensões que atuam na secção de madeira útil das fresagens.



### MÉTODO DE CÁLCULO | DISTRIBUIÇÃO DO MOMENTO NA INTERFACE AÇO-ADESIVO-MADEIRA

O momento é distribuído pelo número de superfícies de interface e, em seguida, decomposto em forças, considerando tanto a inércia polar em torno do centro de gravidade, como as diferentes rigidezes da madeira. Desta forma, as tensões tangenciais máximas são obtidas na direção ortogonal e paralela à fibra, a serem verificadas também na sua interação.



Momento de inércia polar de meia ponteira em relação ao centro de gravidade, pesado nos módulos de corte de madeira:

$$J_p^* = \frac{l_i \cdot h^3}{12} \cdot G + \frac{l_i^3 \cdot h}{12} \cdot G_{rs}$$

Cálculo das forças tangenciais e verificação combinada:

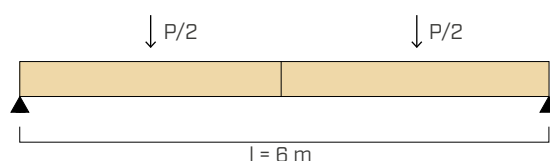
$$\tau_{max,hor} = \frac{(M_d + M_{T,Ed})}{2 \cdot n_i \cdot J_p^*} \cdot \frac{h}{2} \cdot G + \frac{N_d}{2 \cdot n_i \cdot A_i}$$

$$\tau_{max,vert} = \frac{(M_d + M_{T,Ed}) \cdot e}{2 \cdot n_i \cdot J_p^*} \cdot G_{rs} + \frac{V_d}{2 \cdot n_i \cdot A_i}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\tau_{max,hor}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{max,vert}}{f_{v,rs,d}}\right)^2} \leq 1$$

## EXPERIMENTAÇÃO

Segue-se o cálculo de dois nós de momento realizados com XEPOX, comparando o resultado com os testes de flexão de 4 pontos efetuados no Politécnico di Milano. É determinado o **fator de sobre-resistência** entre o teste e o cálculo, o que demonstra a boa margem de segurança existente no cálculo dos nós. O valor resultante do teste **não é um valor característico e não se destina a ser utilizado no projeto**.



### LEGENDA:

|                |                                                                           |                       |                                            |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| B              | base da viga                                                              | σ <sub>t</sub>        | tensão máxima de compressão na madeira     |
| H              | altura da viga                                                            | σ <sub>s</sub> '      | tensão máxima de compressão no aço         |
| α <sub>1</sub> | ângulo de inclinação das vigas                                            | σ <sub>s</sub>        | tensão máxima de tração no aço             |
| n <sub>i</sub> | número de ponteiras                                                       | σ <sub>tm</sub>       | força de flexão máxima na madeira          |
| S <sub>i</sub> | espessura das ponteiras metálicas                                         | τ <sub>max,hor</sub>  | força tangencial máxima horizontal         |
| h <sub>i</sub> | altura das ponteiras metálicas                                            | τ <sub>max,vert</sub> | força tangencial máxima vertical           |
| l <sub>i</sub> | comprimento de inserção das ponteiras metálicas                           | f <sub>v,d</sub>      | resistência ao corte paralelo à fibra      |
| A <sub>i</sub> | superfície de meia ponteira                                               | f <sub>v,rs,d</sub>   | resistência ao corte perpendicular à fibra |
| e              | excentricidade entre o centro de gravidade da chapa e a ligação da cabeça | k <sub>c,90</sub>     | parâmetro da EC 1995 1-1                   |
| B <sub>n</sub> | largura da viga sem as fresagens                                          |                       |                                            |

## EXEMPLO 1 | LIGAÇÃO DE CONTINUIDADE

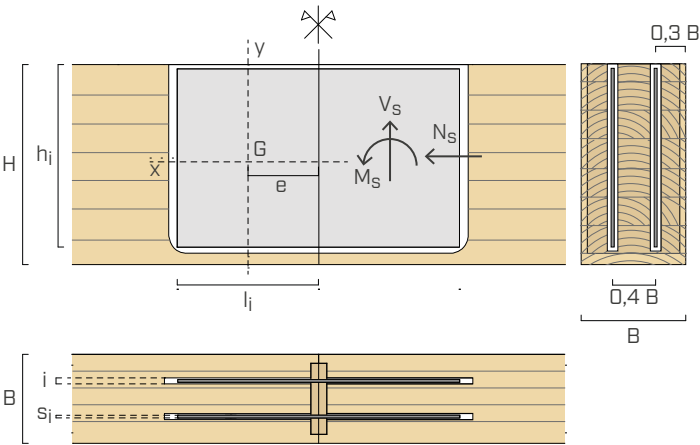
### GEOMETRIA DA JUNÇÃO: VIGA E CHAPAS

|       |        |       |        |
|-------|--------|-------|--------|
| $n_i$ | 2 mm   | $B$   | 200 mm |
| $S_i$ | 5 mm   | $H$   | 360 mm |
| $h_i$ | 320 mm | $B_n$ | 182 mm |
| $l_i$ | 400 mm |       |        |
| $e$   | 200 mm |       |        |

### MATERIAIS E DADOS DE PROJETO

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| <b>Classe de aço</b>     | <b>S275</b>  |
| $\gamma_{M0}$            | 1            |
| <b>Classe da madeira</b> | <b>GL24h</b> |
| $k_{mod}$                | 1,1          |
| $\gamma_{M timber}$      | 1,3          |

Ponteiras metálicas saibradas de grau SA2,5/SA3 (ISO8501).



### UTILIZAÇÃO DE XEPOX

Proteção das ponteiras contra a oxidação com XEPOX P. Utilização de adesivo XEPOX F ou XEPOX L.

## VERIFICAÇÕES

|       |                             |          |
|-------|-----------------------------|----------|
| $M_d$ | momento de projeto aplicado | 54,3 kNm |
|-------|-----------------------------|----------|

### VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DA CABEÇA<sup>(1), [2]</sup>

|               |           | % de verificação |
|---------------|-----------|------------------|
| $\sigma_t$    | 10,6 MPa  | 53 %             |
| $\sigma_{s'}$ | 185,8 MPa | 68 %             |
| $\sigma_s$    | 274,9 MPa | 100 %            |

### VERIFICAÇÃO DA SECÇÃO DE MADEIRA SEM AS FRESAGENS

|               |          | % de verificação |
|---------------|----------|------------------|
| $\sigma_{tm}$ | 14,1 MPa | 70 %             |

### VERIFICAÇÃO DA TENSÃO TANGENCIAL MÁXIMA NAS SUPERFÍCIES DE INTERFACE<sup>(3), [4]</sup>

|                              |                                    | % de verificação |
|------------------------------|------------------------------------|------------------|
| $J_p^*$                      | $8,56 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$ |                  |
| $\tau_{max,hor}^{(3)}$       | 1,7 MPa                            | 57 %             |
| $\tau_{max,vert}^{(3)}$      | 0,2 MPa                            | 20 %             |
| <b>verificação combinada</b> |                                    | 60 %             |

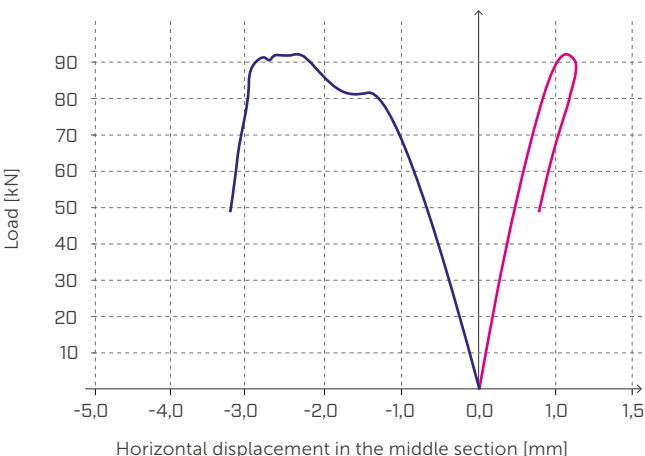
|                |                                                  |          |
|----------------|--------------------------------------------------|----------|
| $M_d = M_{Rd}$ | momento aplicado = momento resistente de projeto | 54,3 kNm |
| $M_{TEST}$     | momento resistente ao teste                      | 94,1 kNm |
| $f$            | fator de sobre-resistência                       | 1,7      |

## GRÁFICO FORÇA - DESLOCAMENTO

Deslocamento horizontal das fibras esticadas e comprimidas no centro.

O gráfico mostra o maior deslocamento das fibras esticadas, validando a hipótese de cálculo de que a madeira reage à compressão juntamente com as ponteiras metálicas, deslocando o eixo neutro para cima.

— ABA SUPERIOR  
— ABA INFERIOR



## EXEMPLO 2: LIGAÇÃO ROTULADA

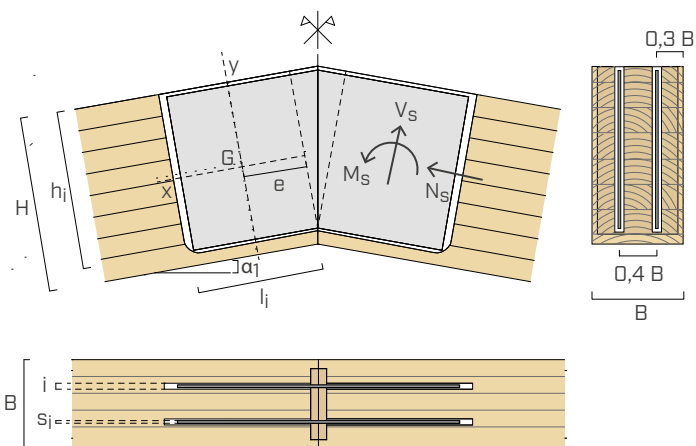
### GEOMETRIA DA JUNÇÃO: VIGA E CHAPAS

|       |        |            |        |
|-------|--------|------------|--------|
| $n_i$ | 2 mm   | $B$        | 200 mm |
| $S_i$ | 6 mm   | $H$        | 360 mm |
| $h_i$ | 300 mm | $B_n$      | 176 mm |
| $l_i$ | 568 mm | $\alpha_1$ | 21,8 ° |
| $e$   | 332 mm |            |        |

### MATERIAIS E DADOS DE PROJETO

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| <b>Classe de aço</b>     | <b>S275</b>  |
| $\gamma_{M0}$            | 1            |
| <b>Classe da madeira</b> | <b>GL32c</b> |
| $k_{mod}$                | 1,1          |
| $\gamma_{M timber}$      | 1,3          |

Ponteiras metálicas saibradas de grau SA2,5/SA3 (ISO8501).



### UTILIZAÇÃO DE XEPOX

Proteção das ponteiras contra a oxidação com XEPOX P. Utilização de adesivo XEPOX F ou XEPOX L.

## VERIFICAÇÕES

|       |                             |                 |
|-------|-----------------------------|-----------------|
| $M_d$ | momento de projeto aplicado | <b>63,5 kNm</b> |
|-------|-----------------------------|-----------------|

### VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DA CABEÇA<sup>(1), [2]</sup>

|                  |           | % de verificação |
|------------------|-----------|------------------|
| $k_{c,90}^{(A)}$ | 1,75      |                  |
| $\sigma_c$       | 12,7 MPa  | 100 %            |
| $\sigma_{s'}$    | 180,7 MPa | 66 %             |
| $\sigma_s$       | 262,0 MPa | 95 %             |

### VERIFICAÇÃO DA SECÇÃO DE MADEIRA SEM AS FRESAGENS

|            |          | % de verificação |
|------------|----------|------------------|
| $\sigma_t$ | 16,7 MPa | 62 %             |

### VERIFICAÇÃO DA TENSÃO TANGENCIAL MÁXIMA NAS SUPERFÍCIES DE INTERFACE<sup>(3), [4]</sup>

|                              |                                    | % de verificação |
|------------------------------|------------------------------------|------------------|
| $J_p^*$                      | $1,52 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$ |                  |
| $\tau_{max,hor}^{(3)}$       | 1,1 MPa                            | 38 %             |
| $\tau_{max,vert}^{(3)}$      | 0,2 MPa                            | 21 %             |
| <b>verificação combinada</b> |                                    | <b>43 %</b>      |

|                |                                                  |                  |
|----------------|--------------------------------------------------|------------------|
| $M_d = M_{Rd}$ | momento aplicado = momento resistente de projeto | <b>63,5 kNm</b>  |
| $M_{TEST}$     | momento resistente ao teste                      | <b>131,8 kNm</b> |
| $f$            | fator de sobre-resistência                       | <b>2,1</b>       |

## GRÁFICO FORÇA - DESLOCAMENTO

Deslocamento horizontal das fibras esticadas e comprimidas no centro.

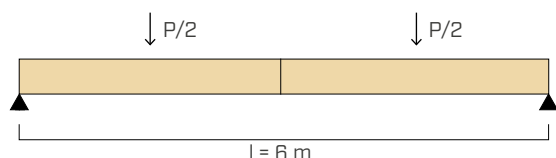
O gráfico mostra o maior deslocamento das fibras esticadas, validando a hipótese de cálculo de que a madeira reage à compressão juntamente com as ponteiras metálicas, deslocando o eixo neutro para cima.



— ABA SUPERIOR  
— ABA INFERIOR

## RIGIDEZ DAS LIGAÇÕES

As ligações de momento realizadas com os adesivos XEPOX garantem uma excelente rigidez aos elementos ligados. Para o comprovar, comparamos os valores de seta obtidos nos cálculos analíticos para uma viga não unida de igual folga, secção e carga com os dados experimentais do exemplo de cálculo 1.



Para obter um valor de referência de seta a partir dos dados experimentais disponíveis, é necessário determinar uma carga operacional. Para isso, é possível considerar o momento resistente de 54,5 kNm calculado para a viga do exemplo de cálculo 1, que, idealmente, corresponde à tensão máxima aceitável no Último Estado Limite. A partir destes dados e atribuindo uma distribuição realista de cargas na viga, é possível determinar um momento de tensão máxima em funcionamento utilizando os coeficientes de amplificação de cargas de acordo com as normas aplicáveis.

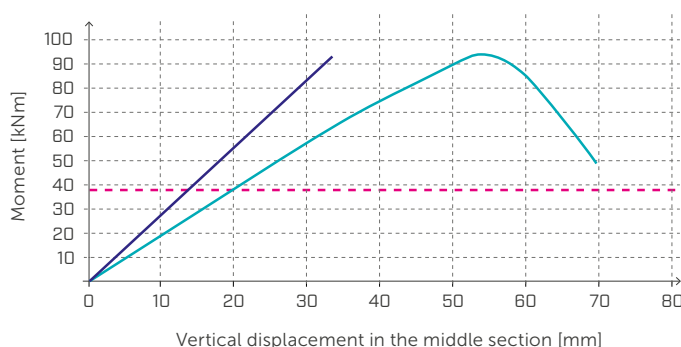
No caso do dimensionamento de uma cobertura plana de madeira não transitável, são definidas as seguintes cargas.

$$p = 1,5 \text{ kN/m}^2 ; q = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Nesta hipótese, a carga total, na combinação operacional mais rigorosa, é de cerca de 70% da carga no Último Estado Limite. Consequentemente, o momento máximo de atuação em funcionamento é de  $54,3 \times 0,7 = 38 \text{ kNm}$ , o que provoca uma seta instantânea, para a viga não unida, de cerca de 13 mm, enquanto a seta medida experimentalmente é de 19 mm. O aumento do deslocamento vertical durante o funcionamento é portanto:  $l/1050$ .

### GRÁFICO MOMENTO - DESLOCAMENTO

- VIGA COM NÓ XEPOX
- VIGA CONTÍNUA
- - - MOMENTO MÁXIMO EM FUNCIONAMENTO



#### NOTAS:

<sup>(A)</sup>  $k_{c,90}$  é um fator que modula a resistência à compressão da madeira em relação ao ângulo força-fibra na fórmula de Hankinson (EC 1995-1-1, ponto 6.1.5). No entanto, a fórmula não considera a estabilização das fibras de madeira fornecida pela resina, que preenche os vazios da madeira; fica ao critério do projetista aumentar este fator.

<sup>(1)</sup> O cálculo da secção foi efetuado considerando ligações elásticas lineares para todos os materiais. Note-se ue, em caso de cargas axiais e de corte, é necessário verificar a combinação destas forças.

<sup>(2)</sup> Neste cálculo considera-se que a almofada de resina permite um contacto total da secção de interface e que, portanto, a madeira possa reagir à compressão. Se a almofada não for executada, é recomendável verificar apenas a ponteira metálica como reagente, aplicando a fórmula seguinte com os parâmetros geométricos:

$$f_{yd} \leq \frac{M_d}{\frac{B \cdot h^2}{6}}$$

<sup>(3)</sup> Note-se que os adesivos XEPOX se caracterizam por resistências à tração e ao corte típicos significativamente superiores às resistências oferecidas pelo material da madeira e que permanecem inalteradas ao longo do tempo. Por tal motivo, a verificação da resistência à torsão das interfaces é feita avaliando-se somente o lado da madeira, considerando-se satisfatória a mesma verificação para o adesivo.

<sup>(4)</sup> A tensão de corte "τ" da interface madeira-adesivo-aço, transferida para a madeira, é calculada no seu valor máximo em caso de inclinação paralela ou perpendicular às fibras da madeira. Estas tensões são comparadas em termos de resistência ao corte da madeira e de resistência ao "rolling shear", respetivamente. O cálculo aqui efetuado também deve considerar a dimensão do momento de transporte  $M_{T,Ed}$  resultante da tensão de corte, se presente.

Note-se que os cálculos foram efetuados tendo em conta os valores de  $k_{mod}$  e  $\gamma_M$  de acordo com a EN 1995 1-1 e  $\gamma_{M0}$  de acordo com a EN 1993 1-1.