

Análise sísmica de edifícios pré-fabricados com solução de sistema híbrido madeira/betão CREE

Seismic analysis of buildings built with CREE prefabricated timber-hybrid construction system

Miguel Pires
João Morgado Eira

Resumo

CREE (Creative Resource Energy Efficiency) define-se como um sistema estrutural inovador, constituído por elementos de betão e madeira lamelada colada, dimensionados para exibirem comportamento misto. É um sistema modular pré-fabricado. Dispensa a betonagem in-situ de lâminas de compressão. O facto de os pilares de madeira serem acoplados a painéis de fachada (incluindo janelas), formando uma peça única, permite num curto espaço de dias concluir o encerramento do edifício.

Face à ausência de regras específicas no Eurocódigo 8 aplicáveis a edifícios mistos madeira/betão, propõe-se metodologia para análise sísmica de edifícios CREE, descrevendo a sua aplicação num caso de estudo.

A análise global do edifício é realizada distinguindo elementos sísmicos primários (que fazem parte do sistema resistente às ações sísmicas) e secundários. A constituição de um diafragma rígido e indeformável é feita materializando de forma explícita conectores com sobrerresistência suficiente para distribuição das forças horizontais que são estimadas com recurso a modelos simplificados de treliças planas.

Abstract

CREE (Creative Resource Energy Efficiency) is defined as an innovative structural system, built with reinforced concrete and glued laminated timber elements, designed to develop composite behaviour. It's a modular prefabricated system requiring no concrete topping poured on site over pre-cast concrete slab panels. The structural framework columns are assembled with the pre-mounted façade (including windows) in a single process step speeding up weatherproofing of the floor, allowing the interior fit-out to begin early.

To face the fact that Eurocode 8 lacks specific rules regarding concrete-timber hybrid buildings, a design methodology is suggested for the seismic analysis of CREE buildings, describing its application in a case study.

The global seismic analysis is done by identifying primary (seismic force resisting system) and secondary seismic elements. Building a rigid diaphragm requires the design with a sufficient overstrength of a set of connectors that ensure the correct distribution of the horizontal forces estimated using simplified plane truss models.

Palavras-chave: Pré-fabricação / Diafragma / Ligações / Misto / Madeira

Keywords: Prefabrication / Diaphragm / Connections / Hybrid / Timber

Miguel Pires

Mestre em Engenharia Civil
Topbim - Digital Construction, Lda
Braga, Portugal
miguel.pires@topbim.pt

João Morgado Eira

Mestre em Engenharia Civil
Topbim - Digital Construction, Lda.
Braga, Portugal
joao.eira@topbim.pt

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

PIRES, M. [et al.] – Análise sísmica de edifícios pré-fabricados com solução de sistema híbrido madeira/betão CREE. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III, n.º 26. ISSN 2183-8488. (novembro 2024) 81-90. <https://doi.org/10.34638/rpee-sIII-n26-007>

1 Introdução

CREE é um sistema estrutural modular híbrido para a pré-fabricação de edifícios em altura constituído por elementos de betão armado e madeira lamelada colada dimensionados para exibirem comportamento misto. Um sistema inteligente para edifícios melhores e um futuro sustentável.

Face à ausência de regras específicas no Eurocódigo 8 aplicáveis a edifícios mistos madeira/betão, propõe-se neste documento uma metodologia para análise sísmica de edifícios CREE, descrevendo a sua aplicação num caso de estudo. É dada particular atenção às questões relacionadas com análise e materialização de um diafragma rígido e indeformável em edifícios construídos com recurso a este sistema.

2 Sistema híbrido madeira betão CREE

2.1 Vantagens do sistema CREE

O sistema CREE tira partido das vantagens combinadas da construção em madeira e betão armado para produzir estruturas otimizadas do ponto de vista do desempenho. Utiliza um terço da quantidade de betão de um edifício convencional e o seu processo produtivo emite cinco vezes menos CO₂ para atmosfera. Possibilita uma redução de resíduos em 70% e da poluição sonora em 50%. A capacidade de redução do prazo de execução, com menores custos de financiamento e estaleiro, torna o sistema especialmente competitivo. A produção off-site potencia a minimização de erros devido a um controlo de qualidade em fábrica e permite à partida maior certeza relativamente ao custo final da empreitada. As estruturas CREE são mais leves o que se reflete em elementos de fundação mais ligeiros.

2.2 Componentes do sistema CREE

O sistema CREE é composto por três componentes principais (Figura 1):

- painéis de fachada aos quais são acoplados pilares de madeira lamelada colada com secções transversais cujas dimensões rondam tipicamente os 240 a 320 mm;
- pórtico central pré-fabricado em estrutura metálica ou estrutura em betão armado;
- painéis de laje constituídos por uma camada de compressão em betão armado com espessura que tipicamente ronda 100 a 140 mm e vigas de madeira lamelada colada convenientemente conectadas a essa camada de compressão de forma a tirar partido do funcionamento conjunto dos dois materiais.

2.3 Princípio geral de funcionamento estrutural do sistema CREE

Os painéis de fachada não têm função estrutural, e os pilares de madeira são dotados de conexões na base e no topo que não impedem movimentos de rotação (Figura 2). Núcleos rígidos,

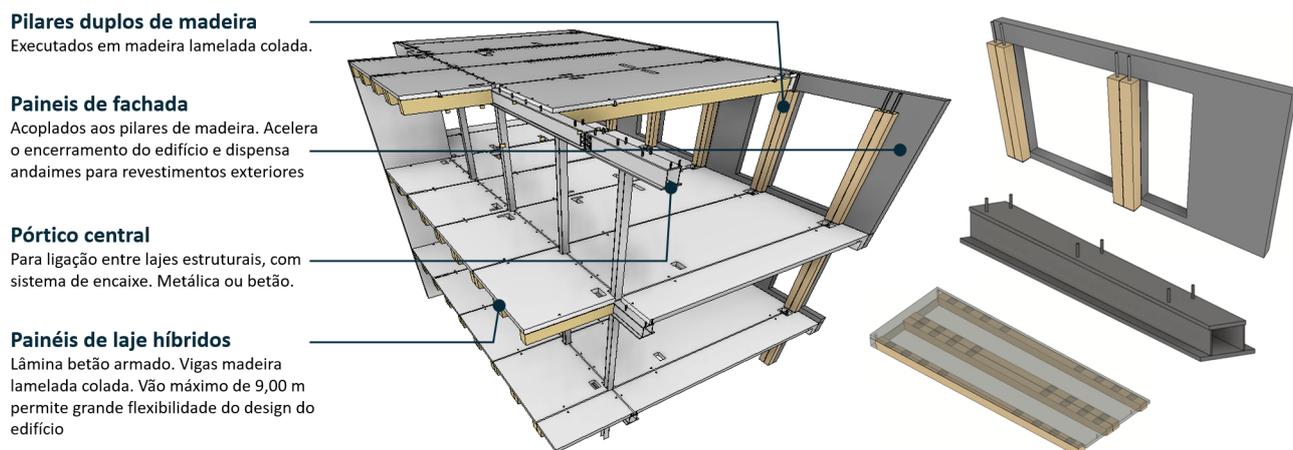


Figura 1 Componentes do sistema CREE

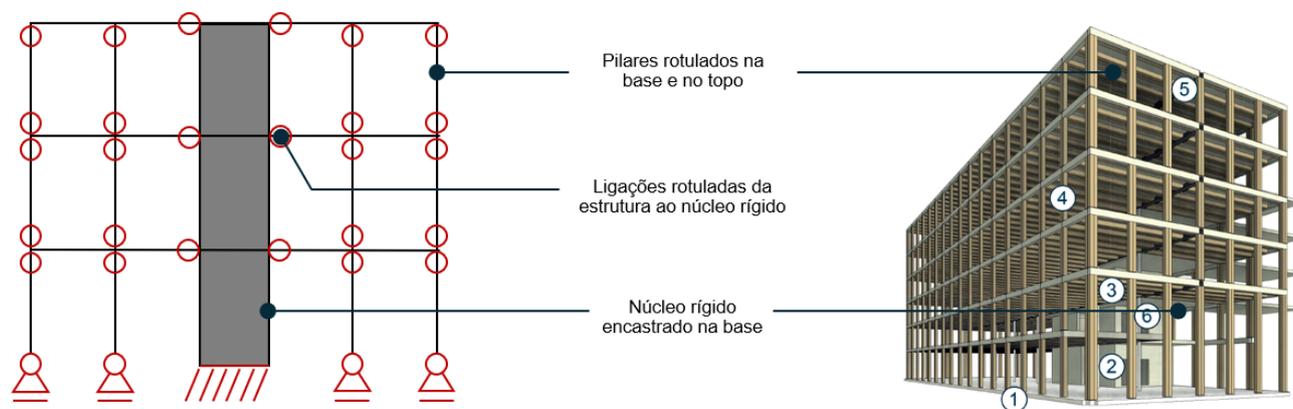


Figura 2 Princípio geral de funcionamento estrutural do sistema CREE

tipicamente construídos em betão armado, existem desde a fundação até à cobertura e são os responsáveis por conferir ao edifício resistência relativamente a ações horizontais como o sismo ou o vento. Estes núcleos constituem o sistema resistente à ação sísmica (SFRS, Seismic Force Resisting System).

São materializadas convenientemente ligações e tirantes de diafragma capazes de garantir que cada piso se comporta como um corpo rígido e indeformável capaz de transmitir, sem se deformar no seu próprio plano, ações para os núcleos (SFRS).

3 Dimensionamento sísmico de acordo com o Eurcódigo 8

O sistema resistente à ação sísmica (SFRS) pode ser dividido em duas componentes: a componente horizontal, também chamada de diafragma, e a componente vertical. A componente vertical pode ser formada por paredes ou pórticos em betão armado, pórticos metálicos contraventados, paredes de alvenaria, paredes de madeira, etc.

3.1 Ductilidade e cálculo pela capacidade real

3.1.1 Ductilidade e coeficiente de comportamento

As estruturas de edifícios resistem a ações sísmicas dissipando a energia em zonas designadas por zonas críticas, que correspondem a áreas pré-determinadas ou partes do SFRS. O nível de ductilidade atingido por um sistema estrutural (o SFRS) é descrito por intermédio do coeficiente de comportamento, q , que depende não só do sistema estrutural, mas também dos materiais que o constituem. O coeficiente de comportamento é utilizado para descrever a capacidade do sistema para absorver repetidamente deformações no regime não elástico sem uma degradação significativa da sua rigidez ou resistência.

3.1.2 Cálculo pela capacidade real de áreas não dissipativas

As zonas não dissipativas devem ser protegidas contra a plastificação por intermédio do cálculo pela capacidade real. O cálculo pela

capacidade real assenta no conceito fundamental de que o sistema resistente à ação sísmica (SFRS) vai plastificar em zonas pré-determinadas e o resto da estrutura tem uma sobrerresistência adequada para ser capaz de transportar as forças até essas zonas sem comprometer a estrutura do edifício como um todo.

3.2 Efeitos acidentais da torção

De acordo com 4.3.2 da EN 1998-1, para ter em conta a incerteza na localização das massas e na variação espacial do movimento sísmico, o centro de massa calculado em cada piso deve ser deslocado, em cada direção, em relação à sua posição nominal de uma excentricidade acidental de $0,05 L_x$, sendo L_x a dimensão do piso na direção perpendicular à direção da ação sísmica. De acordo com 4.3.3.2.4(2) do mesmo regulamento se a análise for efetuada utilizando dois modelos planos, um para cada direção horizontal principal, poderão determinar-se os efeitos da torção duplicando essa excentricidade acidental, considerando, portanto, uma excentricidade acidental de 10%.

3.3 Dimensionamento de diafragmas

Os diafragmas (pisos) desempenham um papel crucial na resistência sísmica da estrutura de um edifício. Os diafragmas recebem ao nível de cada piso as forças de inércia horizontais e transmitem-nas aos sistemas estruturais verticais (EC8, 4.2.1.5(1)). Para assegurar continuidade do caminho de forças, os diafragmas devem ser dotados de suficiente resistência e rigidez no seu plano para conveniente distribuição das forças de inércia horizontais e possuir conexões adequadas com a componente vertical do sistema resistente às ações sísmicas (SFRS).

3.3.1 Fator de sobrerresistência

Os diafragmas e as cintagens em planos horizontais devem ser capazes de transmitir, com uma sobrerresistência suficiente, os esforços sísmicos de cálculo aos sistemas de contraventamento a que estão ligados. De acordo com os princípios do cálculo pela capacidade real, as forças obtidas da análise devem ser ampliadas por um coeficiente de sobrerresistência. De acordo com a secção 4.4.2.5(2) da EN 1998-1 os valores recomendados para o coeficiente de sobrerresistência são 1,3 para modos de rotura frágil e 1,1 para modos de rotura dúctil.

3.3.2 Elementos do diafragma

Um diafragma é composto por elementos que trabalham em conjunto e desempenham diferentes papéis. Determinados elementos podem desempenhar múltiplas funções dependendo da direção do carregamento. Na Figura 3 é mostrado um exemplo de um diafragma simples. Diafragmas menos simples implicam arranjos mais complexos de cordas e coletores. Deve existir um caminho de cargas lógico e completo.

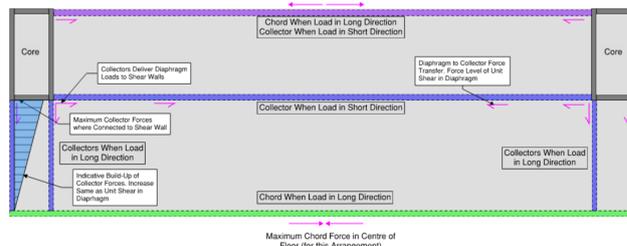


Figura 3 Planta estrutural de um piso exemplificativa de um diafragma simples

3.4.3.1 Cordas

As cordas funcionam no sentido resistir aos momentos fletores no diafragma. De forma semelhante aos elementos de uma treliça, as cordas funcionam como elementos solicitados axialmente e são geralmente posicionados no perímetro do diafragma. As forças axiais nas cordas são determinadas dividindo os momentos fletores no diafragma pela distância entre elementos de corda (braço). No diafragma criado por um piso CREE, os conectores de diafragma posicionados no perímetro do edifício são desenhados para resistir a forças de tração. As forças de compressão são transmitidas pela pressão criada pelos diversos painéis consecutivos que se encostam entre si.

3.4.3.2 Coletores

Os coletores têm como função entregar a carga do diafragma aos elementos verticais responsáveis pela resistência às ações sísmicas. Por esse motivo, os coletores são geralmente alinhados e amarrados em paredes de contraventamento. Nos casos em que os coletores não estão alinhados com paredes de contraventamento devem ser tomadas providências no sentido de completar o caminho de cargas. Isto pode envolver a transmissão de forças de corte na interface entre lajes e paredes do núcleo. Em determinados casos os coletores podem ser dispensados.

3.3.3 Diafragmas de betão

As disposições para diafragmas de betão são descritas na secção 5.10 da EN 1998-1:

- espessura mínima de 70 mm de betão armado;
- diafragmas de betão devem ser dimensionados de acordo com a EN 1992, incluindo as disposições relativas a armadura mínima;
- os diafragmas podem ser analisados como vigas-parede, treliças planas ou por intermédio de modelos de escoras e tirantes em apoios elásticos para obter as forças a serem resistidas por esses diafragmas;
- Limitações e verificações adicionais são impostas para estruturas classificadas como DCH (alta ductilidade).

As disposições para diafragmas de estruturas pré-fabricadas de betão são descritas na secção 5.11.3.5 da EN 1998-1-1:

- o dimensionamento do diafragma deve estar de acordo com o Eurocódigo 2;

- quando a condição de diafragma rígido não é satisfeita, deverá ser considerada no modelo a deformabilidade do piso no seu plano assim como a das ligações com os elementos verticais;
- os esforços de tração deverão ser equilibrados por elementos de aço colocados ao longo do perímetro do diafragma;
- o caminho de forças deve ser completo com um sistema contínuo de armaduras em todo o diafragma devidamente ligadas a cada elemento de contraventamento;
- As conexões para resistir a esforços transversos atuantes no plano ao longo de painéis de laje devem ser dimensionadas com um fator de sobrerresistência de 1,30.

3.3.4 Diafragmas sem lâmina de compressão betonada *in situ*

As disposições da EN 1998-1 relativas a diafragmas pré-fabricados não fornecem disposições específicas para diafragmas de betão sem lâmina de compressão betonada *in-situ*. Pode, no entanto, inferir-se que as disposições fornecidas em 5.10 e 5.11.3.5 podem ser aplicadas

a diafragmas deste tipo. Isto significa que diafragmas sem uma camada de compressão betonada *in-situ* e as suas conexões devem ser dimensionados de acordo com o Eurocódigo 2. As disposições fornecidas pelo Eurocódigo 8 devem ser seguidas incluindo aquelas que se referem à utilização de fatores de sobrerresistência.

3.3.5 Dimensionamento de diafragmas pré-fabricados (EC8)

Apresenta-se na Tabela 1 um guia passo-a-passo para dimensionamento de diafragmas pré-fabricados em betão. Pode ser utilizado para diafragmas em edifícios CREE.

4 Dimensionamento sísmico de diafragmas CREE

Os diafragmas CREE devem ser dimensionados e detalhados de acordo com a EN 1992 utilizando fatores de sobrerresistência obtidos de acordo com a EN 1998.

Tabela 1 Guia para o dimensionamento de diafragmas pré-fabricados em betão

Item	EC8	Comentários
Determinação da classe e fator de importância	4.2.5	Tipicamente, classe de importância II com fator de importância igual a 1,00.
Aferir tipo de solo.	3.1.2	Com base na informação proveniente de campanha de prospeção geotécnica.
Aferir zona sísmica e determinar espectro de resposta da ação sísmica	3.2.1 e Anexo NA	–
Considerar o layout do edifício e identificar o sistema resistente à ação sísmica (SRFS)	-	Determinar a altura do edifício, número de pisos, sistema resistente à ação sísmica (SRFS), etc.
Determinar regularidade em planta e em altura	4.2.3	Geometria do edifício, verificar se cumpre os critérios para ser considerado regular.
Escolher a classe de ductilidade e determinar o fator de comportamento	5.2.2.2	Determinar o fator de comportamento, q , com base no sistema resistente à ação sísmica (SRFS) e na classe de ductilidade selecionada.
Determinar massa participativa	3.2.4 e EN1990	Massa calculada utilizando as cargas permanentes e porção das cargas variáveis.
Determinar período fundamental da estrutura	4.3.3.2.2	Existem diversos métodos para determinar o período fundamental.
Determinar corte basal da estrutura	4.3.3.2.2 Eq (4.5)	Determinar corte basal total a ser resistido em cada direção ortogonal.
Determinar corte ao nível de cada piso	4.3.3.2.3	Distribuição das forças sísmicas horizontais ao nível de cada piso.
Considerar efeitos acidentais da torção	4.3.2 e 4.3.3.2.4	Efeitos acidentais da torção.
Diafragma rígido vs diafragma flexível	4.3.1 (4)	O diafragma é rígido se, quando modelado com a sua flexibilidade real no plano, os seus deslocamentos horizontais não excederem em nenhum ponto os relativos à hipótese de diafragma rígido em mais de 10% dos correspondentes deslocamentos horizontais absolutos na situação de projeto sísmica.
Fatores de amplificação / sobrerresistência	4.4.2.5 (2)	Amplificação as forças de dimensionamento de forma a assegurar a criação de zonas plásticas em zonas pré-definidas e evitar a rotura frágil noutros pontos da estrutura.
Dimensionamento do diafragma	EN 1992	Dimensionar o diafragma de acordo com o Eurocódigo 2.

4.1 Considerações gerais

Diafragmas sem uma lâmina de compressão betonada *in-situ* são baseados em elementos individuais conectados em pontos discretos. O comportamento global do diafragma é determinado pelo comportamento dessas conexões. Os diafragmas devem ser dotados de suficiente resistência e rigidez no seu plano de forma a assegurarem conveniente distribuição de forças. Essas forças devem ser transmitidas ao sistema resistente às ações sísmicas que no caso de edifícios CREE se constitui por elementos verticais de contraventamento com elevada rigidez como núcleos em betão armado.

Num diafragma CREE identificam-se duas famílias principais de conectores (Figura 4): os tirantes de diafragma (perimetrais e centrais) e os conectores de corte entre painéis de laje pré-fabricados. Na Figura 5 identificam-se de forma esquemática estes conectores.

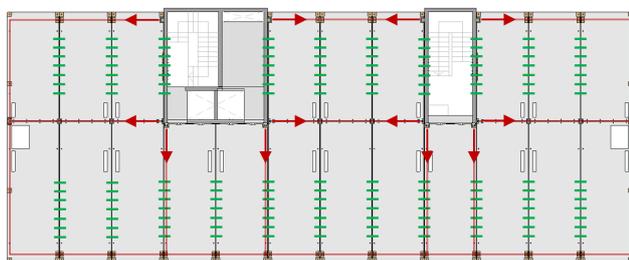


Figura 4 Conectores de diafragma: tirantes perimetrais e conectores de corte entre lajes

4.2 Tirantes de diafragma

Os tirantes centrais de diafragma são formados pela viga do pórtico central que se descreve na secção 2.2 deste documento.

Os tirantes perimetrais de diafragma são formados por varões de aço nervurados. Nos dois extremos desses varões são soldadas chapas com furação que permite que cada painel de laje CREE seja aparafusado *in situ* ao painel de laje adjacente (Figura 5).

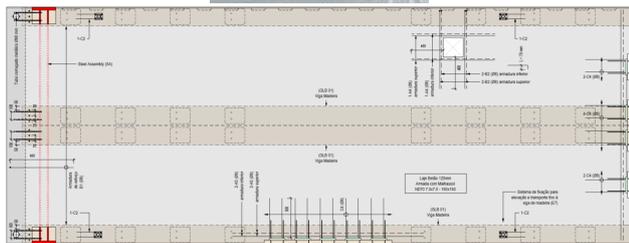


Figura 5 Conectores de diafragma: tirantes perimetrais e conectores de corte entre lajes

4.3 Conectores de corte entre painéis de laje CREE

4.3.1 Junta indentada

Uma junta indentada (Figura 6) na lateral dos painéis de laje CREE é preenchida com grout *in situ*. O dimensionamento desta conexão deve ser realizado de acordo com a secção 6.2.5 da EN 1992-1-1. Resiste a esforços de corte ao longo da junta de 25-35 kN/m.

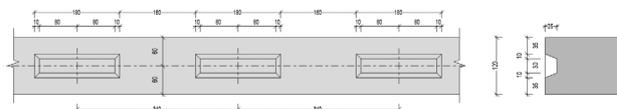


Figura 6 Junta indentada na interface lateral entre painéis de laje CREE

4.3.2 Pfeifer Slimbox

A VS Slimbox (Figura 7) é um produto comercial da Pfeifer que é capaz de resistir não só a esforços de corte, mas também a esforços de tração. Peças com uma resistência de 30 kN espaçadas de uma distância mínima de 320 mm podem resistir a esforços máximos de 90 kN/m ao longo da junta.



Figura 7 Pfeifer VS Slimbox na interface entre painéis de laje CREE

4.3.3 Outros tipos de conexão

Outras soluções (Figura 8) podem ser propostas para resistir a esforços de maior dimensão. O Spannschloss é um produto comercial da marca BT que apresenta elevada resistência. Melhor desempenho pode ser conseguido utilizando soluções com chapas metálicas soldadas.

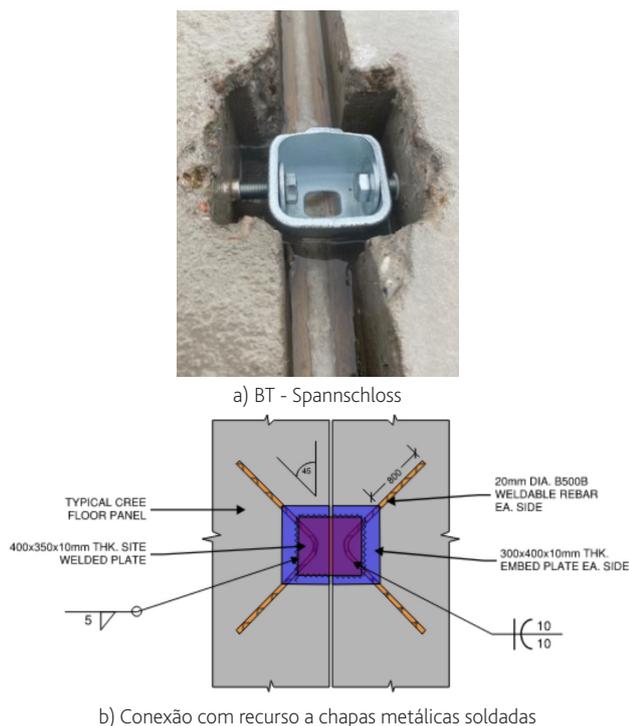


Figura 8 Outros tipos de conectores de corte entre painéis de laje CREE

4.4 Análise do diafragma

4.4.1 Análise do diafragma como viga-parede

De acordo com a secção 5.10 da EN 1998-1 os diafragmas podem ser analisados como vigas-parede, treliças planas ou por intermédio de modelos de escoras e tirantes em apoios elásticos. Considerar cada uma das direções ortogonais numa análise separada pode apontar-se como a forma mais simples de analisar e dimensionar o diafragma. A análise como viga-parede permite a determinação das forças de tração nas cordas e coletores e das forças de corte entre painéis de laje consecutivos. O esforço de corte unitário (por metro linear) é determinado dividindo a força de corte pela largura do diafragma. As forças axiais nas cordas são determinadas dividindo os momentos flectores no diafragma pela distância entre elementos de corda (braço).

4.4.2 Aplicação da carga e efeitos da torção

A força horizontal equivalente ao efeito da ação sísmica no piso é aplicada como uma carga linear considerando cada uma das direções ortogonais de forma separada. Os efeitos acidentais da torção, conforme referidos na secção 3.4 deste documento, são tidos em conta através da consideração de uma excentricidade de 10% que pode ser simplificada transformando essa carga linear numa carga linear não uniforme, de acordo com o esquema na Figura 9. A envolvente dos três casos de carga deve ser considerada para efeitos do dimensionamento do diafragma.

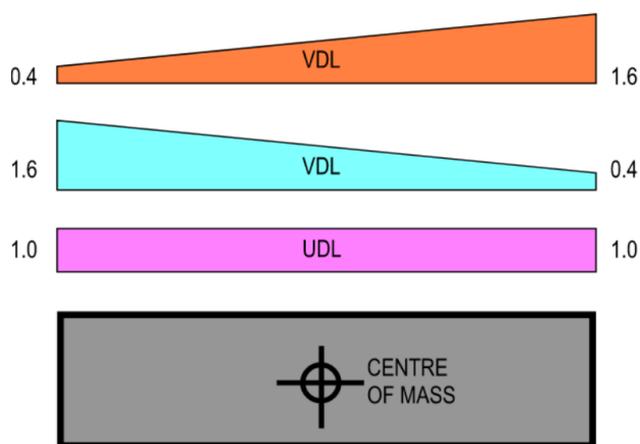


Figura 9 Conectores de diafragma: tirantes perimetrais e conectores de corte entre lajes

4.4.3 Dimensionamento do diafragma e fator de sobrerresistência

Os diafragmas são utilizados para transmitir as forças sísmicas ao sistema resistente à ação sísmica (SFRS) a que estão conectados. No caso de edifícios CREE este sistema constitui-se por elementos verticais de contraventamento com elevada rigidez como núcleos em betão armado. As zonas críticas do SFRS absorvem a energia através da sua capacidade para absorver repetidamente deformações no regime não elástico sem uma degradação significativa da sua rigidez ou resistência. Todos os elementos primários fora destas zonas críticas necessitam de ter uma sobrerresistência adequada para ser capaz de transportar as forças até essas zonas sem comprometer a estrutura do edifício como um todo.

Com base nas regras do cálculo pela capacidade real, descritas em 5.4.2.2 e 5.4.2.3 da EN 1998-1, as forças obtidas da análise são amplificadas por um fator de sobrerresistência, γ_{Rd} . O valor recomendado, de acordo com a secção 4.4.2.5 da EN 1998-1, é 1,30 para modos de rotura frágil, como os por esforço transversal em diafragmas de betão, e 1,10 para modos de rotura dúctil.

Dada a natureza do diafragma CREE, sem uma lâmina de compressão betonada in-situ, tendo em conta a falta de dados de ensaios e tendo em conta a abordagem adotada por outros regulamentos, acredita-se que um fator de sobrerresistência de 1,30 possa não estar do lado da segurança. Propõe-se a utilização de um fator de sobrerresistência de 1,50 para o dimensionamento de todas as conexões de diafragma CREE.

5 Caso de estudo

5.1 Descrição do caso de estudo

O edifício alvo deste estudo (Figura 10) tem sete pisos, 60,70 metros de comprimento, e está localizado no Algarve (zona com mais alta sismicidade em Portugal). Trata-se de um edifício CREE com dois núcleos em betão armado de dimensões generosas que envolvem as

caixas de escadas e elevadores. A classe de importância é II e o fator de importância é 1,00. O tipo de solo é E. A classe de ductilidade é DCM. O fator de comportamento (3,00) foi determinado com base em 5.2.2.2 da NP EN 1998-1.

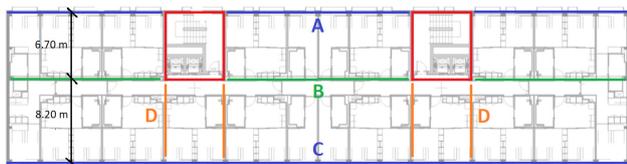


Figura 10 Planta do piso tipo do edifício alvo de estudo

5.2 Forças sísmicas

O período natural de vibração da estrutura é 0,5 s e o corte basal total é de 13268 kN. A maior carga sísmica horizontal acontece no Piso 07, com um valor de 2791 kN.

Tabela 2 Forças horizontais equivalentes à ação sísmica nos diafragmas

Piso	Altura	Massa do Piso	Força no piso	Força no diafragma
6	18,40 m	7457 kN	2901 kN	2294 kN
7	21,40 m	6861 kN	3114 kN	2791 kN

5.3 Análise simplificada, pressupostos de modelação e carregamento

Utilizando um software adequado, o diafragma é modelado como um elemento de viga contínuo (Figura 11) ao longo do comprimento do edifício. Os apoios simples representam o centro dos núcleos em betão armado. As forças equivalentes à ação sísmica são aplicadas ao longo do diafragma. No caso da direção Y, 2791 kN : 60,70 m = 46,00 kN/m. Três esquemas de carregamento são considerados para cada direção (X e Y) de forma a ter em conta os efeitos acidentais da torção (excentricidade 10%) referidos em capítulo anterior deste documento.

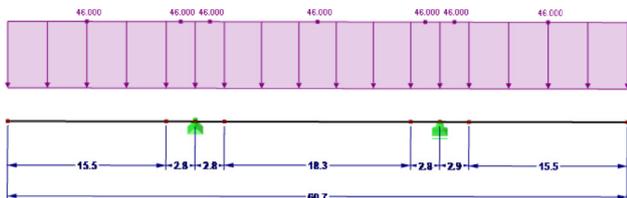


Figura 11 Modelo simplificado com aplicação da carga linear. Direção Y

5.4 Resultados

A envolvente de esforços dos três esquemas de carregamento permite obter a situação mais gravosa em termos de momentos fletores (Figura 12) e esforços transversos (Figura 13).

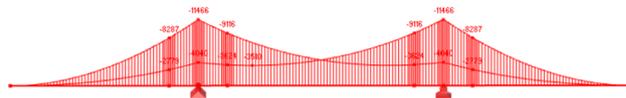


Figura 12 Envolvente de momentos fletores para três esquemas de carregamento. Y

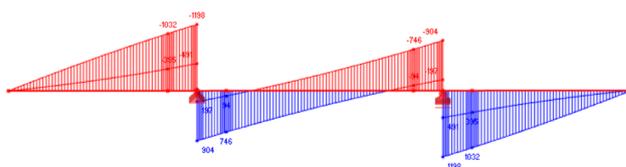


Figura 13 Envolvente de esforços corte para três esquemas de carregamento. Y

5.5 Dimensionamento das cordas de diafragma A e C

Quando a ação sísmica atua na direção Y, os tirantes designados por A e C funcionam como cordas de diafragma. O momento fletor máximo no modelo simplificado é de 11466 kN.m. Este valor divide-se pela distância (14,90 m) entre os tirantes perimetrais para obter valores de tração de 770 kN. Este valor é majorado por um fator de sobrerresistência igual a 1,50. Obtem-se 1155 kN.

5.6 Dimensionamento dos coletores de diafragma A e B

Quando a ação sísmica atua na direção X os tirantes A e B funcionam como coletores de diafragma. Para a estimativa das forças de tração instaladas nestes coletores é útil estimar a carga sísmica horizontal unitária no diafragma, igual a 2791 kN : 815 m² = 3,42 kN/m². A multiplicação deste valor de carga unitária pelas áreas de influência marcadas na Figura 14 permite estimar os valores máximos de tração instalados nos coletores A (206 kN) e B (711 kN). Os valores devem ser amplificados pelo fator de sobrerresistência 1,50. Obtém-se, respetivamente, 309 kN e 1067 kN.

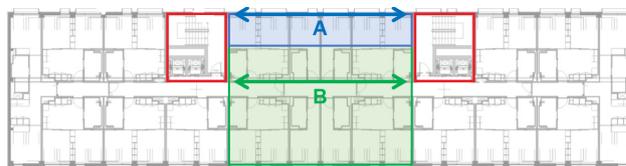


Figura 14 Estimativa da força de tração instalada nos coletores A e B. Sismo direção X

5.7 Dimensionamento do coletor de diafragma D

Quando a ação sísmica atua na direção Y os esforços máximos de corte acontecem na interface entre o diafragma e o núcleo. Nesta interface, e de acordo com o modelo simplificado, ocorrem esforços de corte na ordem dos 1032 kN / 14,90 m = 69 kN/m. O coletor D tem comprimento igual a 8,20 m o que significa que nele atua uma

força de tração de $69 \text{ kN/m} \times 8,20 \text{ m} = 566 \text{ kN}$. O valor é majorado por 1,50 para obter 849 kN.

5.8 Dimensionamento de conectores de corte entre painéis de laje

De acordo com o procedimento exposto em 5.7 a interface de corte mais solicitada deve ser capaz de resistir a um esforço máximo de $849 \text{ kN} : 8,20 \text{ m} = 69 \text{ kN/m}$. Este esforço é majorado por um fator de sobrerresistência igual a 1,50 para obter 103 kN/m . A solução de junta indentada, definida em capítulo anterior deste documento, não é uma opção viável uma vez que tem resistência de 25-35 kN/m. A utilização de Pfeifer VS Slimboxes também não é uma opção. A solução passa por utilizar peças BT- Spannschloss, capazes de desenvolver resistências na ordem dos 120 kN/m.

6 Conclusão

Apesar de não serem apresentadas no Eurocódigo 8 disposições específicas para diafragmas pré-fabricados sem uma lâmina de compressão betonada in-situ, pode inferir-se que as disposições fornecidas em 5.10 e 5.11.3.5 podem ser aplicadas.

A utilização de modelos simplificados revela-se eficiente para análise das forças de diafragma. A utilização de modelos de elementos finitos (FEM) pode ser útil, mas pode consumir muito tempo e está propenso a erros.

Propõe-se a utilização de um fator de sobredimensionamento de 1,50 para o dimensionamento de todas as conexões de diafragma CREE.

Referências

- [1] NP EN 1992-1-1. 2010 – Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. CT 115 (LNEC).
- [2] NP EN 1998-1. 2010 – Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos, Parte 1: Regras gerais e regras para edifícios. CT 115 (LNEC).

