



EFEITOS DE DIAFRAGMA RÍGIDO NA ANÁLISE SÍSMICA DE EDIFÍCIOS MODULARES EM AÇO

Paola Silva^a, Rita Peres^b, Nuno Neves^a e José Miguel Castro^b

^a Bysteel, Braga, Portugal

^b CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal

Resumo. A construção modular surge como uma alternativa eficiente à construção tradicional combinando rapidez, qualidade e sustentabilidade. Contudo, a descontinuidade entre módulos e a eficácia das ligações intermodulares representam desafios significativos para o desempenho estrutural, sobretudo em contexto sísmico. Este artigo analisa o impacto da modelação de diafragmas rígidos no comportamento global de edifícios modulares. A análise com o software SAP2000 valida o modelo de diafragma rígido (*Constraints*) como o mais eficaz, apesar de ser um modelo idealizado. Conclui-se que a aplicação de diafragmas rígidos nos pisos e, apenas, na cobertura é suficiente, otimizando o projeto e o uso de material.

1. Introdução

A necessidade de otimizar os processos de construção tem impulsionado o desenvolvimento de soluções mais rápidas e eficientes. A construção modular, um dos Métodos Modernos de Construção (MMC), emerge como uma alternativa promissora. Ao produzir componentes estruturais em ambiente controlado, fora do local da obra, este sistema permite a entrega de módulos prontos para instalação [1], oferecendo vantagens significativas em termos de rapidez e controlo de qualidade. Apesar de ser frequentemente considerada uma abordagem recente, a construção modular tem uma longa história, com origens no período colonial americano [2]. Desde então, o conceito evoluiu, ganhando destaque em momentos de necessidade urgente de habitação, como durante a Corrida do Ouro na Califórnia, e expandindo-se progressivamente para o setor comercial.

A aplicação da construção modular continua a ser estratégica, especialmente para responder ao crescimento populacional e à procura por soluções sustentáveis e industrializadas. No entanto, a sua adoção em larga escala é limitada por desafios técnicos e económicos. Apesar de a viabilidade económica depender de fatores como a repetibilidade das unidades e a escolha de materiais [3], a principal barreira reside na ausência de regulamentação específica e na descontinuidade estrutural entre os módulos.

Esta descontinuidade impede que a estrutura se comporte como um bloco monolítico, o que restringe a sua aplicação em regiões com atividade sísmica. Para ultrapassar esta limitação, é

fundamental investigar o papel das ligações intermodulares e da rigidez dos diafragmas na distribuição de esforços laterais. O presente estudo foca-se, precisamente, em avaliar e comparar a resposta sísmica de edifícios modulares em aço, com diferentes configurações estruturais em planta e em altura, utilizando várias técnicas de modelação de diafragma rígido em software comercial.

2. Revisão da Literatura

2.1 Definição da construção modular

O conceito de construção modular é muitas vezes interpretado de formas diferentes. Enquanto alguns associam o termo à pré-fabricação de elementos isolados (como lajes e paredes), outros definem a construção modular volumétrica como o processo de conceção e fabrico de unidades tridimensionais em ambiente controlado, que são depois transportadas e montadas no local da obra [4]. A ênfase na tridimensionalidade é, por isso, um traço essencial desta definição.

O Royal Institute of British Architects (RIBA) [5] corrobora esta perspetiva ao identificar sete categorias de construção modular, sendo a primeira dedicada à pré-fabricação de sistemas estruturais primários em 3D, ou seja, unidades volumétricas completas, praticamente prontas para a instalação final no terreno. Com esta definição estabelecida, é importante agora compreender como esta abordagem se distingue da construção tradicional, tanto nos seus princípios como nos impactos no projeto e na execução.

2.2 Construção modular face à tradicional

A construção modular volumétrica apresenta-se como uma alternativa mais eficiente à construção tradicional, principalmente por decorrer maioritariamente em ambiente fabril e controlado. Segundo Subramanya et al. [6], a redução do transporte de materiais, a montagem mais rápida e a gestão otimizada dos recursos em fábrica contribuem para uma redução global dos custos. Adicionalmente, este sistema oferece ganhos em segurança e sustentabilidade, com menor presença em estaleiro e um maior potencial de reutilização de componentes.

Contudo, o mesmo estudo identifica as suas limitações: maior complexidade na fase de projeto, transporte condicionado pelas dimensões dos módulos, inexistência de normalização técnica e baixa familiaridade com o sistema. Estes fatores podem aumentar os custos iniciais e exigir mão de obra especializada. Para promover a confiança nesta solução, é fundamental garantir que a sua aplicação seja sempre a mais adequada ao contexto.

2.3 Classificação dos módulos

Os módulos tridimensionais podem ser classificados com base no material utilizado, uma escolha orientada pelos princípios da construção modular: leveza, facilidade de transporte, rapidez de montagem e simplicidade de manuseamento em obra. Entre os materiais mais comuns estão o betão, a madeira e o aço. Este último tem vindo a assumir um papel predominante, segundo Lim et al. [7], devido à sua elevada resistência, facilidade de fabrico e montagem, e ao rigoroso controlo de qualidade que permite reduzir significativamente o tempo de execução e o desperdício de materiais.

Além da classificação por material, é importante considerar os mecanismos de transferência de carga. De acordo com Thai et al. [8], os módulos podem ser divididos em dois tipos: aqueles que apresentam paredes estruturais e os que se apoiam em elementos de canto. No primeiro

caso, as cargas gravíticas são transmitidas pelas paredes laterais, enquanto no segundo, a transferência ocorre através das vigas de bordo e dos quatro pilares de canto.

Independentemente do sistema estrutural adotado, garantir a correta ligação entre módulos é crucial. Por isso, é essencial compreender os diferentes tipos de ligações possíveis neste tipo de construção.

2.4 Ligações em estruturas modulares

A transição de unidades independentes para um edifício modular depende, essencialmente, das ligações que asseguram a continuidade e o desempenho global da estrutura. Estas ligações subdividem-se em três categorias: ligações intramodulares, intermodulares e ligações entre módulo e fundação.

Segundo Rajanayagam et al. [9], as ligações intermodulares são as uniões horizontais entre módulos adjacentes e as verticais entre módulos empilhados, sendo cruciais para a transmissão de esforços e a continuidade estrutural. As ligações intramodulares, por sua vez, referem-se às uniões internas de cada módulo. Já as ligações entre os módulos e a fundação controlam fenómenos como o deslizamento e podem assumir diferentes soluções construtivas, desde fundações em betão (in situ ou pré-fabricadas) até estacas metálicas. Estas são particularmente relevantes em edifícios de média e grande altura ou em construções expostas a ações laterais significativas.

Entre os três tipos, as ligações intermodulares assumem um papel de destaque, dada a necessidade de garantir a continuidade estrutural e a resistência a ações laterais, como sismos ou vento. Diversas soluções inovadoras têm sido desenvolvidas para este tipo de ligação, muitas delas com geometrias e mecanismos complexos.

Entre estas destacam-se os dispositivos de bloqueio, uniões com pós-tensionamento e ligações aparafusadas. Os primeiros recorrem a mecanismos acionados manualmente ou pela gravidade, combinando a simplicidade de montagem com elevada capacidade de resistir a forças laterais. As uniões com pós-tensionamento, baseadas em varões instaladas nos cantos dos módulos, oferecem bom desempenho, embora possam aumentar o tempo de execução e introduzir zonas frágeis em pontos críticos. Já as ligações aparafusadas, pela sua versatilidade e uso de componentes de aço comuns, apresentam uma ampla gama de soluções, agrupadas em três configurações principais: pilar-a-pilar, viga-a-viga e “*fitting-to-fitting*”. A ligação pilar-a-pilar deriva das juntas clássicas de secções tubulares, podendo transferir cargas verticais e horizontais de forma independente ou simultânea, através de placas intermédias. As ligações viga-a-viga deslocam a união dos módulos para as vigas de piso e de teto, recorrendo a placas de reforço adaptadas para otimizar o espaço entre lajes. Por fim, o tipo “*fitting-to-fitting*” utiliza acessórios de canto, cuja geometria pode ir desde o formato padrão ISO, típico de contentores, até soluções otimizadas por modelação computacional [1].

2.5 Implicações estruturais da descontinuidade modular

Como mencionado, cada módulo é uma “caixa” tridimensional fabricada de forma independente e montada no local da obra. Esta abordagem construtiva introduz descontinuidades físicas entre os módulos, o que compromete a continuidade de elementos como pavimentos e vigas. Consequentemente, as ligações, geralmente localizadas nos cantos, tornam-se os únicos pontos de contacto, impedindo a partilha natural de esforços entre módulos, algo que ocorre em estruturas tradicionais.

Segundo Sendanayake et al. [10], esta descontinuidade permite que os módulos rodem e se deformem de forma independente. Isso sujeita as ligações verticais e horizontais a deslocamentos e esforços consideráveis. Esta distribuição desigual de cargas pode comprometer a estabilidade global da estrutura, especialmente em situações dinâmicas como um sismo.

Em edifícios que não possuem paredes resistentes, núcleos ou contraventamentos, toda a resistência lateral depende exclusivamente dos módulos e das suas ligações. Por esta razão, a forma como os módulos são unidos tem um impacto direto no comportamento estrutural global da edificação.

3. Estudo de caso

3.1 Descrição geral das estruturas analisadas

As estruturas selecionadas são estruturas de dois a três pisos de altura, ambas constituídas por 20 módulos metálicos, com contraventamentos nas extremidades transversais. A geometria do módulo é a indicada na Figura 1 e a configuração em planta das duas estruturas é ilustrada na Figura 2.

O dimensionamento destas estruturas não fez parte do âmbito deste estudo, pelo que toda a informação relativa a materiais, secções e ações permanentes e variáveis foi fornecida pela empresa que comercializa esta solução construtiva.

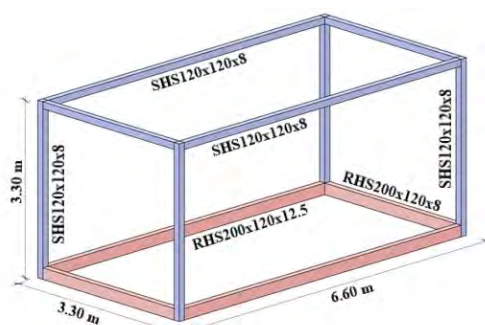


Fig. 1: Geometria e dimensões das secções dos módulos

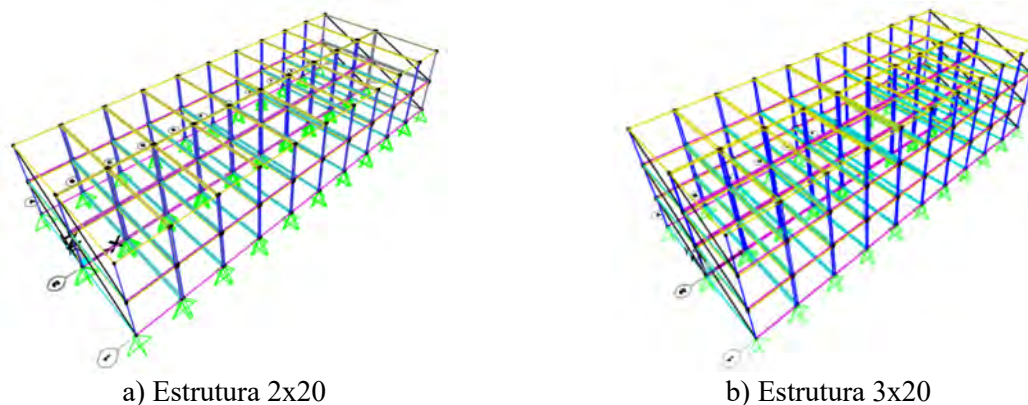


Fig. 2: Edifícios modulares modelados no SAP2000 [11]

No desenvolvimento deste estudo, foram exploradas três abordagens distintas para a modelação dos diafragmas: i) o Modelo 1, que recorre a bielas com rigidez axial infinita, ii) o Modelo 2, que utiliza elementos do tipo casca, capazes de representar de forma mais realista a rigidez das lajes em CLT e iii) o Modelo 3, que usa o comando “*Constraints*” para definir diafragmas rígidos (“*Rigid Diaphragms*”) nos nós selecionados.

Cada um destes modelos foi subdividido em três variantes, designadas por .1, .2 e .3, consoante a localização dos diafragmas: apenas ao nível do piso, simultaneamente no piso e no teto, ou no piso e na cobertura, respetivamente.

No caso da Estrutura 2x20, foram consideradas duas hipóteses adicionais relativas à rigidez das ligações intermodulares: ligações "normais", com a rigidez real dos elementos que as constituem, e ligações "rígidas", assumindo rigidez infinita. Esta idealização foi feita com o objetivo de avaliar o impacto das ligações no comportamento global da estrutura.

3.2 Modelação das estruturas no SAP2000

A modelação foi realizada com recurso ao software SAP2000. Cada módulo foi modelado como um paralelepípedo com 6,60 m de comprimento, 3,30 m de largura e 3,30 m de altura. Com base nestas dimensões, e considerando os espaçamentos de 0,2 m na vertical e 0,18 m na horizontal entre os módulos, foi possível construir o modelo global da estrutura. Os elementos estruturais utilizados apresentam as secções indicadas na Figura 1: pilares e vigas de teto SHS 120x120x8; vigas de piso RHS 200x120x8 (na direcção transversal) e RHS 200x120x12.5 (na direcção longitudinal).

As ligações intermodulares foram definidas segundo o estudo de Chua et al. [12], com uma ligação vertical articulada e uma ligação horizontal rígida, utilizando chapas metálicas de 600x600x10 mm. As ligações intramodulares, por sua vez, foram consideradas integralmente soldadas. As ligações à fundação foram modeladas com apoios duplos, restringindo os deslocamentos horizontais e verticais na base dos pilares.

Quanto aos materiais, foi utilizado o aço estrutural S355, cujas propriedades foram obtidas de acordo com a norma EN 10025-2 e o Eurocódigo 3 [13]. Adicionalmente, a presença de madeira CLT foi tida em conta nos modelos com elementos de casca.

No que se refere às ações, as cargas gravíticas permanentes e variáveis foram incluídas, com base nos dados fornecidos pela empresa, assumindo que as lajes de CLT funcionam unidirecionalmente. Para as cargas laterais, foi considerada a ação sísmica para a cidade de Lagos, em conformidade com as recomendações do Eurocódigo 8 [14]. Para tal, considerou-se uma aceleração sísmica de projeto de $ag/g = 0,25$, para o espectro de tipo 1, com um solo do tipo B. Dadas as características estruturais da solução, assumiu-se um coeficiente de comportamento de $q=1,5$.

4. Apresentação e Análise de Resultados

4.1 Estrutura 2x20

A seguir, é apresentada a análise de resultados para a Estrutura 2x20. Para isolar a influência do diafragma rígido no comportamento global, foram consideradas apenas as ligações rígidas.

4.1.1 Comparação de períodos de vibração

Os primeiros três modos de vibração da Estrutura 2x20, apresentados na Tabela 1, mostram que os Modelos 1 e 3 têm períodos de vibração semelhantes. Em contraste, o Modelo 2, que representa a rigidez da laje em CLT, revela-se ligeiramente mais rígido, o que se reflete em períodos de vibração ligeiramente menores.

Tabela 1: Períodos de vibração por modelo da Estrutura 2x20

Modelo	$T_1 = T_X$ [s]	$T_2 = T_Y$ [s]	$T_3 = T_{RY}$ [s]
1.1	0,619	0,438	0,325
1.2	0,619	0,394	0,275
2.1	0,605	0,431	0,320
2.2	0,579	0,377	0,264
3.1	0,619	0,411	0,322
3.2	0,619	0,375	0,272

A análise das deformadas no segundo modo, que corresponde a uma translação no eixo Y, revela diferenças importantes entre os Modelos 1 e 3. Conforme ilustrado na Figura 3, o Modelo com bielas (1.2) não transmite os esforços com a mesma eficácia que o Modelo com diafragma rígido (3.2). Este último aproxima-se do comportamento idealizado de translação completa, evidenciando uma maior rigidez e uniformidade na distribuição de cargas.

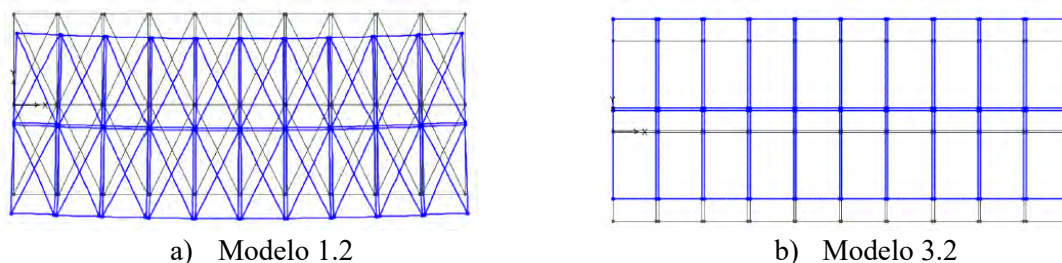


Fig. 3: Segundo modo de vibração da Estrutura 2x20

Estes resultados reforçam a importância das opções de modelação no comportamento global e sublinha a importância de analisar com maior detalhe os deslocamentos associados a cada solução.

4.1.2 Comparação de deslocamentos sob ação sísmica

Para comparar os deslocamentos sob ação sísmica, analisa-se um pilar exterior localizado no centro da estrutura, onde se observam os maiores deslocamentos no segundo modo de vibração (Figura 3a).

Da observação da Figura 4 e da Tabela 2, verifica-se que o Modelo 3 é o que apresenta deslocamentos inferiores, sobretudo quando incorpora diafragmas rígidos ao nível do teto dos módulos (modelos terminados em .2). De facto, para todos os modelos, a inclusão de diafragma nos tetos conduz a uma redução dos deslocamentos na cobertura em cerca de 40 a 50%. Este efeito evidencia a importância da rigidez ao nível dos tetos de cada módulo para limitar deformações, especialmente na direção transversal (direção Y).

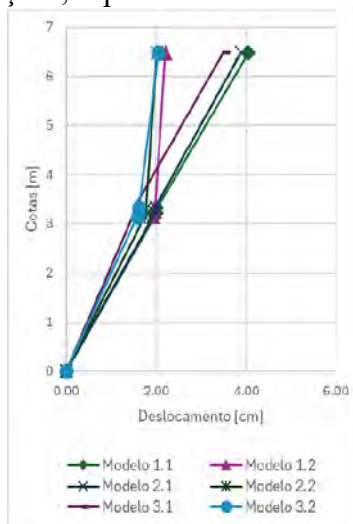


Fig. 4: Deslocamentos do pilar central da Estrutura 2x20 para o caso de carga sísmica: Direção Y

Tabela 2: Comparação entre deslocamentos medidos ao nível da cobertura do pilar central da Estrutura 2x20, na direção Y

Modelos	Deslocamentos [cm]	Diferença	
		[cm]	[%]
1.1	4,064	1,853	45,59
1.2	2,211		
2.1	3,894	2,004	51,45
2.2	1,891		
3.1	3,492	1,446	41,40
3.2	2,046		

4.1.3 Validação da escolha do Modelo 3 com base no corte basal

Para complementar a análise da Estrutura 2x20, avalia-se a distribuição do corte basal na direção Y. Para tal, foram considerados apenas os modelos com diafragmas rígidos em piso e teto (1.2, 2.2 e 3.2) e ligações rígidas entre módulos. O gráfico de barras da Figura 5 apresenta o

esforço transversal transmitido à base pelos pórticos, excluindo os pórticos de extremidade com contraventamentos, para maior clareza.

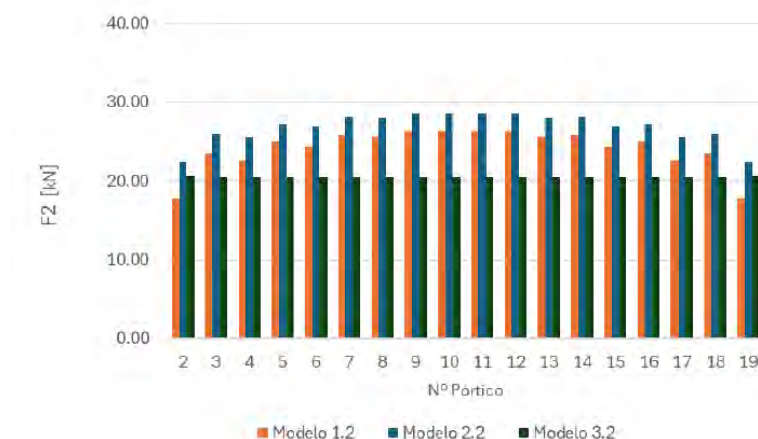


Fig. 5: Esforço transversal total nos pórticos sem contraventamentos nos três modelos a estudar

É evidente que o Modelo 3.2 mantém uma distribuição mais uniforme dos esforços ao longo da estrutura, ao contrário dos Modelos 1.2 e 2.2, que mostram variações mais acentuadas e concentrações nos pórticos centrais. Essa regularidade na transferência de esforços reforça a escolha do Modelo 3.2 para os estudos subsequentes.

4.1.4 Ligações rígidas vs. Normais

Para avaliar a influência das ligações, a Estrutura 2x20 foi também modelada com as ligações "normais", utilizando o Modelo 3.2. A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam os períodos de vibração e os deslocamentos no pilar central para esta configuração.

Os modos de vibração são semelhantes em ambos os casos, com a estrutura de ligações rígidas a apresentar períodos ligeiramente menores, como seria de esperar. Os deslocamentos registados são próximos, indicando que, para o modelo estudado, as ligações normais se comportam de forma semelhante às rígidas.

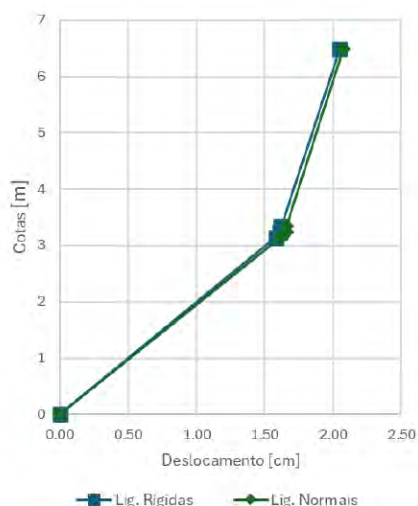


Fig. 6: Deslocamentos registados no pilar da zona central da Estrutura 2x20 sob ação sísmica, nos modelos com ligações normais e ligações rígidas

Tabela 3: Períodos de vibração da Estrutura 2x20 para os modelos com ligação normal e rígida

Modo	Lig. Normal	Lig. Rígida
	T [s]	T [s]
1	$T_X = 0,6329$	$T_Y = 0,6188$
2	$T_Y = 0,3786$	$T_Y = 0,3747$
3	$T_{RZ} = 0,2736$	$T_X = 0,2715$

4.2 Estrutura 3x20

Como a análise da Estrutura 2x20 já evidenciou, existem diferenças importantes entre os modelos com diafragmas rígidos no piso e no teto e os modelos com diafragmas apenas no piso. Com a análise da Estrutura 3x20, o objetivo é avaliar se é realmente necessário incluir diafragmas rígidos em todos os tetos dos módulos, além dos diafragmas de piso, ou se basta incluí-los apenas no teto do módulo da cobertura. Para isso, o estudo foca-se em três variantes: Modelo 3.1 (diafragma rígido no piso dos módulos), Modelo 3.2 (diafragma rígido no piso e no teto de todos os módulos) e Modelo 3.3 (diafragma rígido no piso dos módulos e no teto do módulo da cobertura). Uma vez que a análise anterior demonstrou que as ligações rígidas e normais produziram resultados semelhantes, nestes modelos as ligações foram mantidas com a rigidez real dos seus elementos.

4.2.1 Comparação de períodos de vibração

A Tabela 4 indica os períodos de vibração obtidos para os três modelos. Observa-se que os valores são todos muito próximos.

Tabela 4: Períodos de vibração da Estrutura 3x20 para as variantes do Modelo 3

Modelo	$T_1 = T_X$ [s]	$T_2 = T_Y$ [s]	$T_3 = T_{RY}$ [s]
3.1	0,989	0,614	0,451
3.2	0,988	0,594	0,430
3.3	0,989	0,604	0,439

4.2.2 Comparação de deslocamentos sob ação sísmica

Os valores de deslocamento para a ação sísmica no pilar central estão apresentados na Figura 7 e na Tabela 5. Os resultados revelam que os Modelos 3.2 e 3.3 apresentam respostas semelhantes, enquanto o Modelo 3.1 tem um deslocamento maior na cobertura.

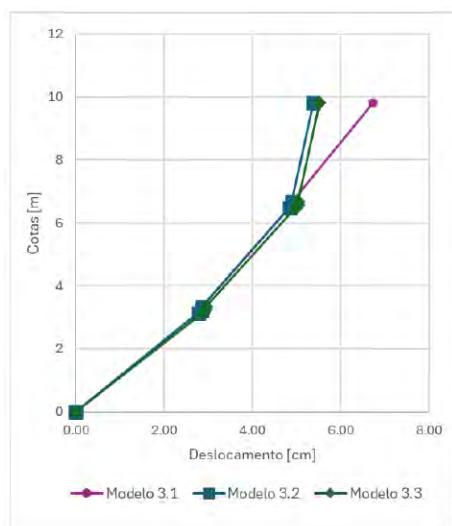


Fig. 7: Deslocamentos na direção Y dos três modelos em estudo da Estrutura 3x20 sob ação sísmica

Tabela 5: Diferença nos deslocamentos do pilar central nos pontos da cobertura entre variantes de cada modelo da Estrutura 3x20, na direção Y

		Modelos		
		3.1	3.2	3.3
Deslocamento	[cm]	6,740	5,384	5,518
Diferença	[cm]	1,222	-0,134	-
	[%]	22,15	-2,43	-

Esta análise, no âmbito do estudo do efeito da modelação do diafragma rígido no SAP2000, sugere que, para o controlo dos deslocamentos em edifícios modulares de aço, a aplicação de

diafragmas rígidos apenas nos pisos e na cobertura é suficiente, dispensando a sua implementação em todos os tetos dos módulos.

Porém, importa realçar que esta conclusão se refere exclusivamente ao Modelo 3, que demonstrou a melhor uniformização dos deslocamentos e reações, sendo, portanto, a opção mais adequada para as análises realizadas. Porém, este modelo poderá não ser o que representa com maior rigor o comportamento real da estrutura.

5. Conclusões

Este estudo avaliou a influência da modelação dos diafragmas no comportamento sísmico de estruturas modulares em aço, focando-se nos deslocamentos, períodos de vibração e distribuição de esforços. Dos três modelos analisados (bielas, casca e diafragma rígido), o que utiliza a restrição de diafragma rígido (comando disponível no SAP2000), revelou-se o mais eficaz, pois uniformiza a distribuição de esforços de corte, aproximando o comportamento da estrutura do ideal.

A inclusão de diafragmas rígidos nos tetos dos módulos, em complemento aos dos pisos, provou ser crucial para a redução dos deslocamentos, com a análise a mostrar uma redução de 40% a 50%. No entanto, a análise da Estrutura 3x20 indicou que é suficiente implementar diafragmas apenas nos pisos e no teto do módulo da cobertura para controlar os deslocamentos.

A rigidez entre as ligações "normais" e "rígidas" não teve um impacto significativo no comportamento global da estrutura, mas essa conclusão pode não se aplicar a todas as configurações modulares. Embora o modelo de diafragma rígido seja o mais adequado, a sua representação idealizada pode não capturar a complexidade do comportamento real. Por isso, análises não lineares e ensaios experimentais são recomendados para estudos futuros.

Agradecimentos

Este trabalho é apoiado pelo projeto “R2UTechnologies - sistemas modulares”, contrato C644876810-00000019, projeto de investimento 48, financiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) e pela União Europeia – NextGeneration EU.

Referências

- [1] D.-A. Corfar and K. D. Tsavdaridis, "A comprehensive review and classification of inter-module connections for hot-rolled steel modular building systems," *Journal of Building Engineering*, vol. 50, p. 104006, 2022/06/01/ 2022.
- [2] Modular Building Institute. "The (Surprisingly long) history of modular construction " Modular Building Institute <https://www.modular.org/2021/07/12/the-surprisingly-long-history-of-modular-construction/> (accessed 03/04/2025).
- [3] M. Musa, M. R. Yusof, M. Mohammad, and N. s. Samsudin, "Towards the adoption of modular construction and prefabrication in the construction environment: A case study in Malaysia," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, pp. 8122-8131, 07/01 2016.
- [4] B. Qi, M. Razkenari, A. Costin, C. Kibert, and M. Fu, "A systematic review of emerging technologies in industrialized construction," *Journal of Building Engineering*, vol. 39, p. 102265, 2021/07/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102265>.

- [5] Royal Institute of British Architects, "DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work," London, 2021. [Online]. Available: <https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2021/09/DfMA-Overlay-to-the-RIBA-Plan-of-Work-2020-2nd-edpdf.pdf>
- [6] K. Subramanya, S. Kermanshachi, and B. Rouhanizadeh, "Modular construction vs. traditional construction: Advantages and limitations: A comparative study," in *Creative Construction e-Conference 2020*, 2020: Budapest University of Technology and Economics, pp. 11-19.
- [7] Y.-W. Lim, P. C. H. Ling, C. S. Tan, H.-Y. Chong, and A. Thurairajah, "Planning and coordination of modular construction," *Automation in Construction*, vol. 141, p. 104455, 2022/09/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104455>.
- [8] H.-T. Thai, T. Ngo, and B. Uy, "A review on modular construction for high-rise buildings," *Structures*, vol. 28, pp. 1265-1290, 2020/12/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.070>.
- [9] H. Rajanayagam *et al.*, "A-State-Of-The-Art review on modular building connections," *Structures*, vol. 34, pp. 1903-1922, 2021/12/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.114>.
- [10] S. V. Sendanayake, D. P. Thambiratnam, N. J. Perera, T. H. T. Chan, and S. Aghdamy, "Enhancing the lateral performance of modular buildings through innovative inter-modular connections," *Structures*, vol. 29, pp. 167-184, 2021/02/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.047>.
- [11] SAP2000 (2005) Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures. Computers and Structures.
- [12] Y. S. Chua, J. Y. R. Liew, and S. D. Pang, "Modelling of connections and lateral behavior of high-rise modular steel buildings," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 166, p. 105901, 2020/03/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105901>.
- [13] CEN (2005) EN1998-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures- Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- [14] CEN (2004) EN1998-1-3, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance- Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.