
ANÁLISE DA ESTABILIDADE LOCAL EM EDIFÍCIOS DE ESTRUTURA MISTA EM AÇO E CONCRETO

Pedro Henrique Tavares Santos

Tatiana Aiello C. de Mello

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

O presente trabalho aborda e relaciona o sistema estrutural em concreto armado e o sistema misto composto por perfis de aço e elementos estruturais de concreto, amplamente utilizados na construção civil, definindo-os e apresentando uma comparação entre os esforços solicitantes em pilares de cada uma dessas estruturas. Este estudo foi realizado a partir do uso do *software* STRAP (Structural Analysis Program), em que foram modelados e dimensionados dois edifícios: um de concreto armado e outro de sistema estrutural misto com o uso de pilares de concreto, vigas metálicas e lajes *steel deck*, seguindo as normas técnicas vigentes, e do *software* PCalc, a fim de verificar o fator de segurança do dimensionamento dos pilares. Os resultados obtidos demonstram que a estrutura mista de aço e concreto propicia menores esforços solicitantes nos pilares de concreto armado, conferindo maior eficiência estrutural.

Palavras-chave: Sistemas estruturais. Estrutura mista Modelagem computacional.

1 INTRODUÇÃO

O sistema construtivo de concreto armado, que integra barras de aço com concreto para aumentar a resistência a esforços mecânicos, é amplamente reconhecido como o principal modelo estrutural utilizado no Brasil desde as primeiras décadas do século XX. Esse método, inicialmente desenvolvido para melhorar a capacidade de suporte das estruturas, rapidamente se destacou na construção civil devido à sua versatilidade, durabilidade e disponibilidade abundante de matérias-primas essenciais, como cimento e aço, no território brasileiro. Por oferecer uma excelente resistência à compressão proporcionada pelo concreto e à tração fornecida pelas barras de aço, resulta em estruturas robustas e duradouras.

Apesar de ter sua eficácia comprovada, o setor da construção civil continua a evoluir em busca de alternativas que possam reduzir custos, acelerar prazos de construção e melhorar o desempenho estrutural. Essa busca incessante tem impulsionado o desenvolvimento de novos sistemas construtivos, entre os quais se destaca o sistema misto de aço e concreto armado. Esse sistema combina perfis de aço, que podem ser laminados, soldados ou formados a frio, com o concreto, utilizando conectores mecânicos, para garantir a aderência e o atrito entre os dois materiais, de forma que ambos se deformem mutuamente. A interação sinérgica entre o aço e o concreto em sistemas mistos redundam em elementos estruturais altamente eficientes e capazes de suportar cargas significativas, atendendo às crescentes demandas da engenharia moderna. A fim de verificar tal eficiência, faz-se necessária também a análise da estabilidade local dos pilares no sistema estrutural, que consiste na verificação da suficiência da seção transversal e da armação do pilar estudado levando em conta a distância entre travamentos e os esforços de flexão atuantes em sua estrutura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Elementos estruturais

Estruturas são denominadas como a associação de elementos estruturais, tais como lajes, vigas, pilares e fundações, que, ao trabalharem em conjunto, oferecem resistência

aos esforços resultantes de ações permanentes e acidentais impostas sobre elas e transferem esses esforços para o solo, conforme ilustra a Figura 1. Segundo a norma NBR 6118, a classificação e definição dos elementos estruturais dependem de suas características geométricas e da função estrutural que apresentam, podendo ser classificados como elementos lineares ou elementos de barra (ABNT, 2023b).

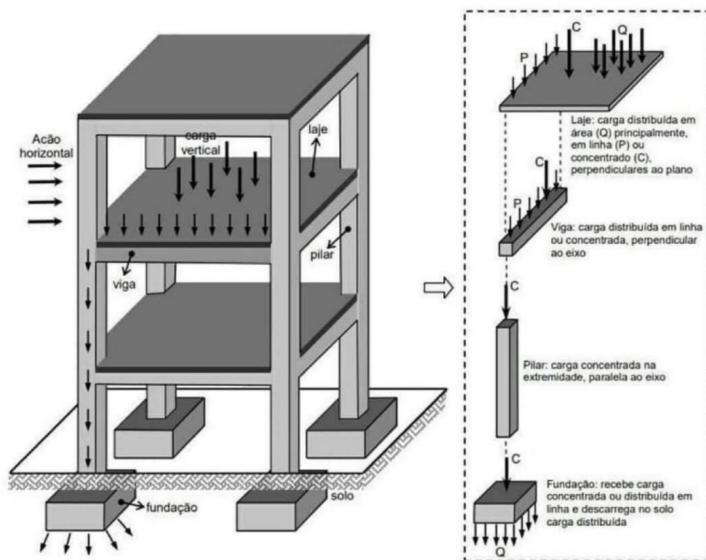


Figura 1 Fluxo de carga em elementos estruturais

Fonte: Freitas (2016).

2.1.1 Lajes

Elementos estruturais de superfície plana que estão sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano, ou seja, trabalham esforços de flexão em uma ou duas direções.

2.1.2 Vigas

Elementos estruturais lineares em que os esforços de flexão, perpendiculares a seu eixo longitudinal, são preponderantes. Em um sistema estrutural laje-viga-pilar, as vigas podem receber também os esforços transmitidos por lajes, outras vigas ou pilares nascentes, no caso de vigas-parede.

2.1.3 Pilares

Elementos estruturais lineares de eixo reto, que usualmente encontram-se dispostos na vertical. Neles atuam principalmente esforços normais de compressão, recebendo esforços de vigas e lajes, transmitindo-os até os elementos de fundação.

2.2 Estruturas mistas

Um sistema misto de aço e concreto é caracterizado pela integração de perfis de aço (laminados, soldados ou formados a frio) com o concreto por meio de conectores mecânicos, conhecidos como conectores de cisalhamento, que garantem a aderência e o atrito entre esses materiais. Tal combinação permite que elementos estruturais, como vigas, lajes e pilares, atendam eficientemente às solicitações de carga em um projeto estrutural.

Os elementos são considerados mistos quando o aço e o concreto se interligam de modo a se deformarem como uma única unidade estrutural, aproveitando as vantagens de ambos os materiais para oferecer maior resistência e desempenho, conforme ilustra a Figura 2.

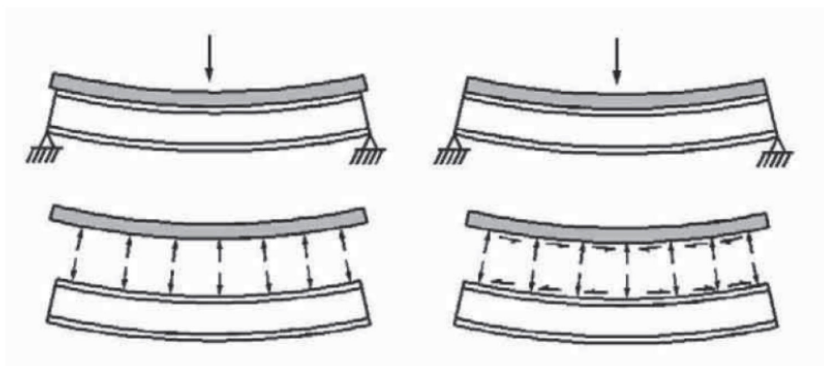


Figura 2 Comparação de vigas fletidas sem e com aço mista

Fonte: Queiroz et al. (2012).

2.2.1 Laje mista (steel deck)

As lajes mistas, também denominadas *steel deck*, são compostas por chapas de aço galvanizado em formato trapezoidal, que desempenham tanto a função de fôrma, permitindo a concretagem acima das chapas, quanto a função estrutural. A ligação com o concreto é realizada por meio de mossas, que servem como conectores de cisalhamento, como indicado na Figura 3.

Segundo Queiroz *et al.* (2012, p. 50), “[...] a fôrma de aço é incorporada ao sistema de sustentação das cargas, funcionando, antes da cura do concreto, como suporte das ações permanentes e sobrecargas de construção e, depois da cura, como parte ou toda a armadura de tração da laje”.

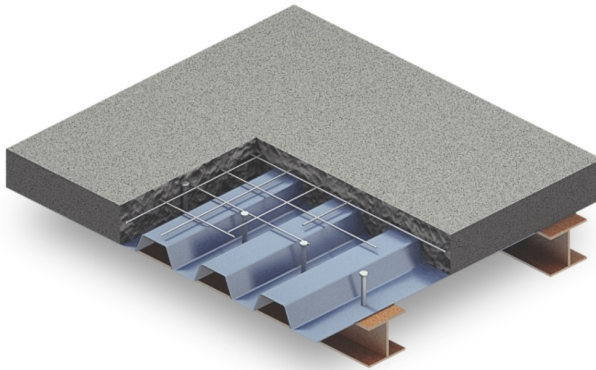


Figura 3 Laje *steel deck*

Fonte: Engenharia e etc. (2015).

2.2.2 Viga mista

A viga mista é um perfil metálico que recebe esforços de uma laje maciça de concreto ou de uma laje *steel deck*. De acordo com Queiroz *et al.* (2012), a ligação desses elementos por meio de conectores de cisalhamento permite a resistência à flexão que passa pelo centro geométrico da mesa do perfil metálico, conforme ilustra a Figura 4.

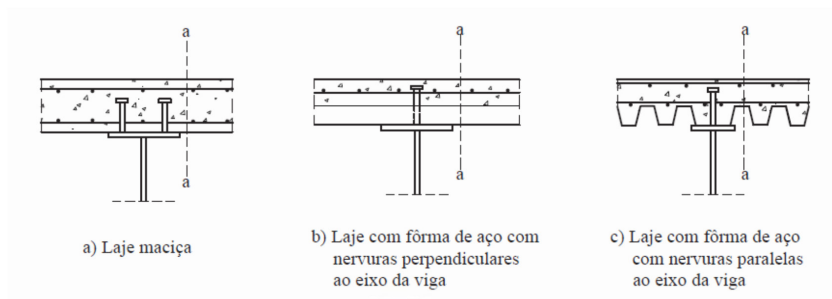


Figura 4 Exemplos de viga mista

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

2.3 Estabilidade global

A verificação da estabilidade global de edifícios é imprescindível, pois por meio dela podemos constatar se o projeto estrutural atende aos critérios de segurança exigidos por norma, por meio da análise de seus deslocamentos e deformações.

De acordo com a Norma NBR 6118 (ABNT, 2023b), as estruturas podem ser classificadas como estruturas de nós fixos, em que o acréscimo de esforços, por meio dos deslocamentos laterais, é menor que 10% dos esforços existentes; ou estruturas de nós móveis, em que o acréscimo de esforços supera os 10% previstos pela norma, sendo obrigatório considerar os efeitos de segunda ordem, conforme indica a Figura 5.

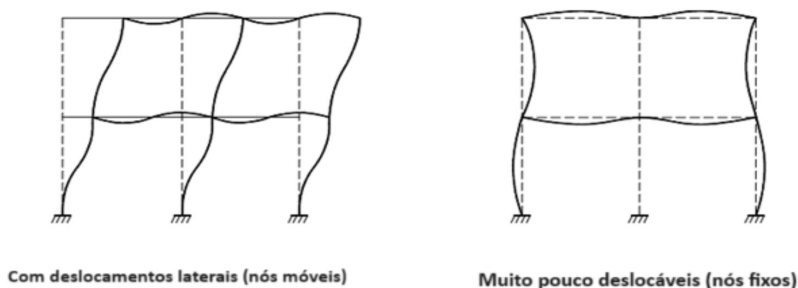


Figura 5 Modos de deformação em pórticos

Fonte: Adaptada de Carneiro e Martins (2008).

Para a análise da estabilidade global utilizam-se dois parâmetros de cálculo, o coeficiente gama-z (γ_z) e o parâmetro de instabilidade alfa (α).

2.3.1 Coeficiente gama-Z

Coeficiente utilizado para avaliar a importância dos esforços de segunda ordem globais presentes em estruturas de no mínimo quatro pavimentos. Para cada combinação de carregamentos, sua expressão é dada pela Equação 1.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (1)$$

Em que:

$M_{1,tot,d}$ = momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ = soma do produto de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos em análise de primeira ordem.

Para que a estrutura seja considerada de nós fixos, deve obedecer a imposta condição da Equação 2.

$$\gamma_z \leq 1,1 \quad (2)$$

2.3.2 Parâmetro alfa

Segundo Zumaeta Moncayo (2011, p. 30), “O parâmetro α é um meio para avaliar a estabilidade global de estruturas de concreto, porém não é capaz de estimar efeitos de segunda ordem”.

Uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que α_1 , sendo seus valores dados pelas equações 3 e 4, respectivamente.

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{N_k / (E_{cs} I_c)} \quad (3)$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n, \text{ se } n \leq 3 \quad (4)$$

Caso n seja um valor menor ou igual a 4, assumir $\alpha_1 = 0,6$.

Em que:

n = número de níveis de barras horizontais (pavimentos) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

H_{tot} = altura total da estrutura, medida a partir da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

$E_{cs} I_c$ = somatório dos valores de rigidez de todos os pilares considerados na direção determinada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças e mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs} I_c$ de um pilar equivalente de seção constante.

2.4 Estabilidade local

A estabilidade local em pilares de edificações é um conceito fundamental para garantir a segurança e a integridade estrutural das construções.

De acordo com a norma técnica NBR 6118 – norma que rege o projeto de estruturas de concreto no Brasil –, a estabilidade local está relacionada à flambagem (instabilidade por flexão) e deformações excessivas, que podem ocorrer devido à esbeltez (relação entre altura e dimensão transversal) dos pilares ou a falhas no material (ABNT, 2023b).

Portanto, determina que os pilares devem ser dimensionados para suportar todas as cargas permanentes (como o peso próprio da estrutura) e acidentais (como vento e ocupação). É essencial levar em conta os esforços de compressão, flexão e torção.

3 METODOLOGIA

A partir do *software* STRAP (Structural Analysis Program), desenvolvido pela empresa ATIR Engineering Software Development Ltd., focado na análise estrutural por meio da discretização dos elementos estruturais utilizando o método dos elementos finitos, foram criados dois pórticos: um modelado em sistema convencional de concreto armado, conforme a Norma Técnica NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2023b), e outro em sistema estrutural misto, com vigas metálicas, lajes em *steel deck* e pilares de concreto armado, de acordo com a Norma Técnica NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto em Edifícios (ABNT, 2008). Tendo como objetivo comparar a estabilidade de ambos os modelos, a partir dos resultados obtidos, realizou-se um estudo comparativo do fator de segurança dos pilares, razão entre momentos resistentes e os momentos solicitantes, com o uso do *software* PCALC.

Para garantir a confiabilidade comparativa dos dados, ambos os modelos apresentarão as mesmas características arquitetônicas, conforme a Figura 6, carregamentos piso a piso e quantidade de pavimentos, tendo seus carregamentos verticais em conformidade com a Norma NBR 6120 – Ações para o Cálculo de Estruturas de Edificações (ABNT, 2019) e carregamentos horizontais, decorrentes da ação do vento, em conformidade com a Norma NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 2023a).

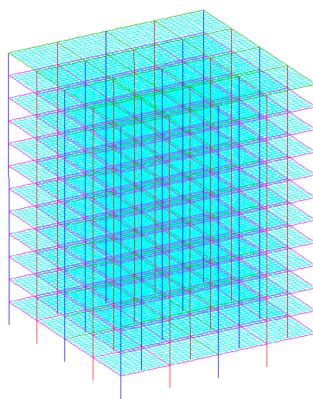


Figura 6 Modelo do pórtico no *software*

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.1 Modelo computacional de concreto armado

O pórtico espacial modelado inteiramente em concreto armado foi concebido com o uso de pilares de dimensões 25 x 60 cm, tendo seus eixos de inércia rotacionados intercaladamente, vigas de 20 x 50 cm e lajes planas com espessura de 12 cm, sendo todos os elementos de concreto de especificação C35. Este modelo, assim como o modelo de estrutura mista, caracteriza-se como um edifício residencial de 12 pavimentos, com pé-direito de 3,06 metros e dimensões de 20 x 20 metros, formando quatro vãos de 5 metros em ambas as direções do prédio. Portanto, cada andar totaliza uma área de 400 m², com altura total do edifício de 36,72 metros, conforme ilustram as figuras 7 e 8.

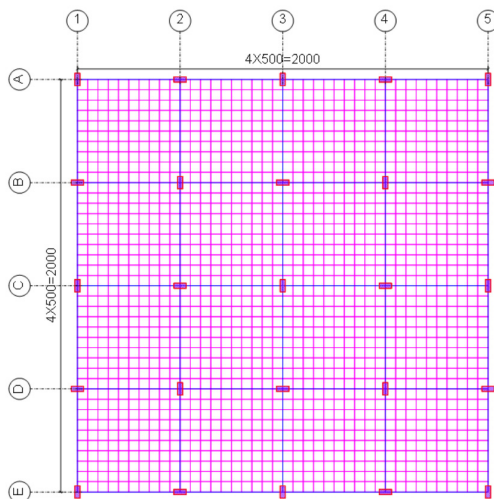


Figura 7 Vista em planta

Fonte: Elaborada pelos autores.

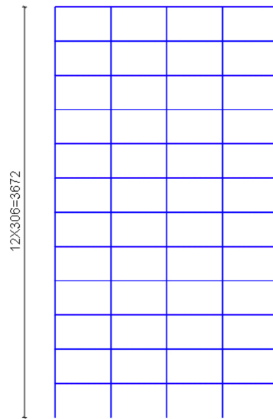


Figura 8 Corte esquemático

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Modelo computacional em estrutura mista

O pórtico em estrutura mista foi concebido com o uso de pilares de concreto C35 de dimensões 25 x 60 cm, tendo seus eixos de inércia rotacionados intercaladamente, as vigas em perfis metálicos de categoria W310x44,8 e lajes *steel deck* de modelo MF-50, com altura total de 120 mm e chapa de aço de 0,95 mm, segundo catálogo comercial da empresa Metform (Figura 11).

Esse modelo também é caracterizado como um edifício residencial de 12 pavimentos, com pé-direito de 3,06 metros e dimensões de 20 x 20 metros, formando quatro vãos de 5 metros na direção das nervuras da laje e oito vãos de 2,5 metros na direção ortogonal às nervuras, a fim de sustentar o vão desta categoria de *steel deck*. Portanto, cada andar também totaliza uma área de 400 m² e altura total do edifício de 36,72 metros, como indicam as figuras 9 e 10.

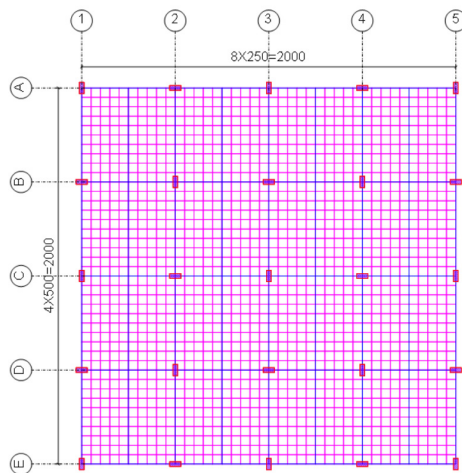


Figura 9 Vista em planta

Fonte: Elaborada pelos autores.

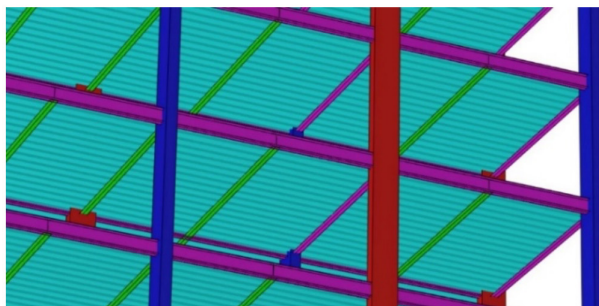


Figura 10 Representação renderizada das nervuras da laje

Fonte: Elaborada pelos autores.

Utilizaram-se no dimensionamento das nervuras da *steel deck* as seguintes dimensões, segundo catálogo comercial da Metform:

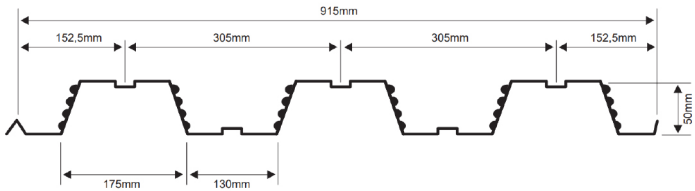


Figura 11 Modelo de steel deck adotado

Fonte: Metform (2007).

3.3 Carregamentos considerados e combinações

3.3.1 Carregamento permanente

Segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019), os carregamentos permanentes (Tabela 1) são aqueles que atuam continuamente sobre a estrutura durante toda a sua vida útil. Estes carregamentos incluem, mas não se limitam ao peso próprio dos elementos estruturais e não estruturais, como paredes, lajes, vigas, pilares, revestimentos e coberturas. Adicionalmente, os carregamentos permanentes podem englobar equipamentos fixos, como sistemas de climatização, instalações elétricas e hidráulicas, além de mobiliário embutido. Foram considerados em todos aos pavimentos os seguintes carregamentos, além do peso próprio da estrutura, conforme a norma:

TABELA 1

Carregamentos permanentes

Revestimento de piso residencial de 7 cm (Tabela 4)	0,14 tf/m ²
Forro de gesso em placas com estrutura de suporte	0,015 tf/m ²
Dutos de ar-condicionado	0,03 tf/m ²
Bloco de concreto vazado de 19 cm e 1 cm de revestimento	0,22 x (3,06-0,5) = 0,542 tf/m

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3.2 Carregamento accidental

De acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2019), os carregamentos acidentais são aqueles que podem ocorrer esporadicamente durante a vida útil da estrutura e que não são permanentes. Eles incluem, por exemplo, o peso das pessoas, móveis, veículos e equipamentos temporários, além de cargas resultantes de eventos como ventos fortes, impactos e explosões. Caracterizam-se por sua variabilidade e imprevisibilidade, exigindo uma consideração cuidadosa no dimensionamento estrutural.

Para este estudo, foram estimados carregamentos variáveis de 0,3 tf/m², ou seja, 3 kN/m² para todos os pavimentos, seguindo valor normativo para áreas de uso comum. Porém, segundo o item 6.12 dessa norma, em caso de determinação de esforços solicitantes em pilares de um conjunto de pisos adjacentes de mesmo uso, pode-se utilizar um fator de redução de carga variável nos pavimentos, a depender do número de pisos que atuam sobre o elemento, de acordo com as informações da Figura 12 e da Tabela 2, a seguir:

MULTIPLICADOR DAS CARGAS VARIÁVEIS	
Número de pisos que atuam sobre o elemento	Multiplicador das cargas variáveis
1 a 3	1,0
4	0,8
5	0,6
6 ou mais	0,4

Figura 12 Tabela de redução de cargas variáveis – item 6.12 da NBR 6120:2019

Fonte: ABNT (2019).

TABELA 2

Carregamentos acidentais adotados

CARREGAMENTOS ACIDENTAIS	
Pavimento do edifício	Carga considerada (tf/m ²)
12º Pavimento	0,30
11º Pavimento	0,30
10º Pavimento	0,30
9º Pavimento	0,30
8º Pavimento	0,24
7º Pavimento	0,18
6º Pavimento	0,12
5º Pavimento	0,12
4º Pavimento	0,12
3º Pavimento	0,12
2º Pavimento	0,12
1º Pavimento	0,12

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3.3 Carregamento devido à ação do vento

De acordo com a NBR 6123 (ABNT, 2023a), os carregamentos devidos ao vento são aqueles que resultam da ação do vento sobre as superfícies expostas de uma edificação. Para aplicar a pressão dinâmica do vento às superfícies da edificação, a NBR 6123 define coeficientes de pressão que dependem da forma e orientação da edificação em relação ao vento.

Utilizaram-se como parâmetros para o cálculo da pressão dinâmica do vento em cada pavimento: velocidade básica do vento (V_0) igual a 38 m/s; fator topográfico (S1) igual a 1,0; categoria de rugosidade do terreno IV (S2); classe da edificação B (S2); fator estatístico igual a 1,0 (S3); e coeficientes de arrasto iguais a 1,0 nas direções 0° e 90°, resultando nos carregamentos demonstrados na Tabela 3 e na Figura 13, a seguir:

TABELA 3

Carregamentos devidos à ação do vento

Pavimento	H (m)	S2	Vk (m/s)	q (kN/m²)	Fad (kN)	Fad/m (tf/m)
12º	36,72	0,98	37,24	0,85	72,85	0,364
11º	33,66	0,97	36,84	0,83	71,28	0,356
10º	30,6	0,96	36,40	0,81	69,60	0,348
9º	27,54	0,95	35,93	0,79	67,79	0,339
8º	24,48	0,93	35,40	0,77	65,83	0,329
7º	21,42	0,92	34,82	0,74	63,67	0,318
6º	18,36	0,90	34,15	0,71	61,26	0,306
5º	15,3	0,88	33,38	0,68	58,53	0,293
4º	12,24	0,85	32,46	0,65	55,35	0,277
3º	9,18	0,82	31,32	0,60	51,51	0,258
2º	6,12	0,78	29,77	0,54	46,55	0,233
1º	3,06	0,72	27,30	0,46	39,14	0,196
Fundação	0	0	0	0	0	0,000

Fonte: Elaborada pelos autores.

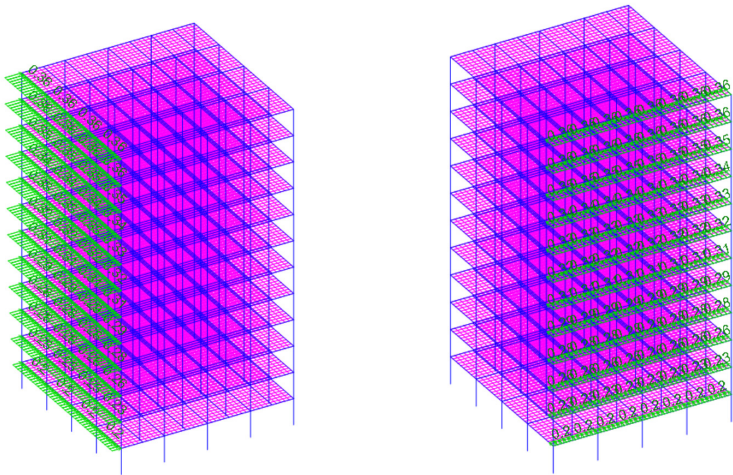


Figura 13 Carregamento devido ao vento aplicado no pórtico a 0º e 90º (respectivamente)

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3.4 Combinações

Para o dimensionamento, a fim de garantir a segurança estrutural e a funcionalidade das edificações modeladas, foram consideradas duas combinações: o estado limite último (ELU) e o estado limite de serviço quase permanente (ELS QP). No ELU, a prioridade é garantir que a estrutura possa suportar as cargas máximas previstas sem colapso, utilizando coeficientes de majoração que proporcionam uma margem de segurança adequada. Enquanto no ELS QP, o foco está na manutenção do desempenho da estrutura sob condições normais de uso, evitando problemas como fissuras excessivas, vibrações desconfortáveis ou deformações que possam comprometer a utilização segura e eficiente da edificação. Segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019), foram considerados os seguintes coeficientes de majoração nestas combinações, conforme ilustrado na Tabela 4:

TABELA 4

Combinações utilizadas do STRAP

Nome	C. Perm Lajes	C. Perm Vigas	C. Perm Pilares	C. Var. Lajes	Vento 0°	Vento 90°
Característica 1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
Característica 2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
ELU 1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,0
ELU 2	1,4	1,4	1,4	1,4	0,0	1,4
ELS QP 1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,0
ELS QP 2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,3

Fonte: Elaborada pelos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Verificação dos esforços sobre a laje *steel deck*

Para validar a modelagem realizada no *software*, foi necessário verificar se a laje da estrutura mista foi adequadamente representada como elemento de nervuras unidirecionais, significando que a estrutura foi considerada um elemento plano onde os esforços solicitantes são distribuídos exclusivamente no sentido das nervuras. A análise foi conduzida através dos mapas de contorno dos momentos fletores da laje, os quais foram comparados com os da laje plana do modelo de concreto armado. Essas comparações são ilustradas nas figuras 14 e 15 subsequentes.

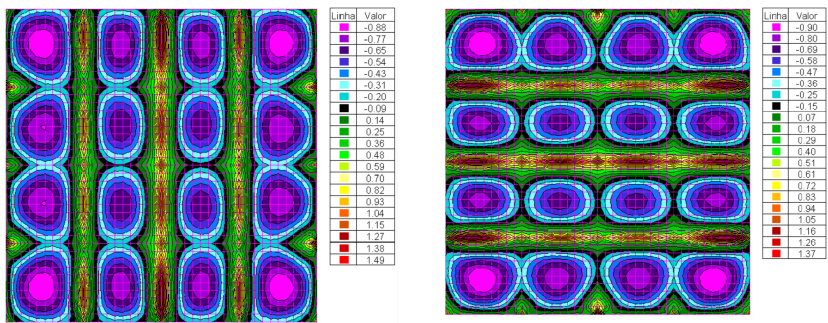


Figura 14 Momentos fletores – laje plana – direções X e Y (tf.m)

Fonte: Elaborada pelos autores.

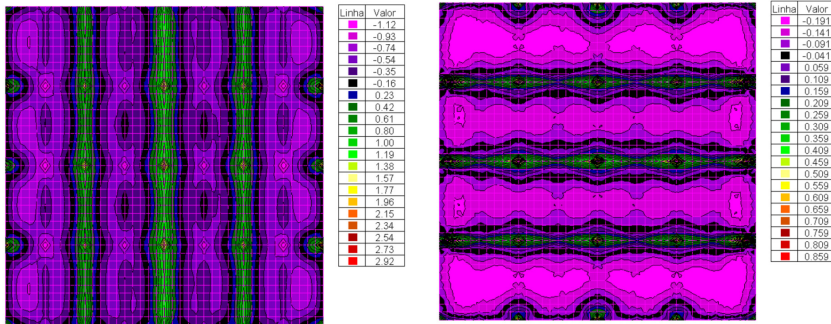


Figura 15 Momentos fletores – laje steel deck – direções X e Y (tf.m)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme apresentado, os momentos fletores se distribuem em ambas as direções em uma laje plana de material isotrópico, enquanto se concentram predominantemente na direção das nervuras na steel deck, um material ortotrópico. Assim, a validação dos elementos planos foi confirmada.

4.2 Comparação da deslocabilidade dos nós dos modelos

Foram analisados, em ambos os modelos, os deslocamentos no topo do edifício para cada carregamento de vento, sendo a base de ambos os pórticos engastadas, a fim de comparar a deslocabilidade dos nós dos pórticos dimensionados. Notou-se que o modelo de concreto apresenta menores deslocamentos laterais (Figura 16), o que já era esperado, visto que as ligações monolíticas entre peças de concreto apresentam maior rigidez que a ligação entre peças estruturais metálicas (Figura 17).

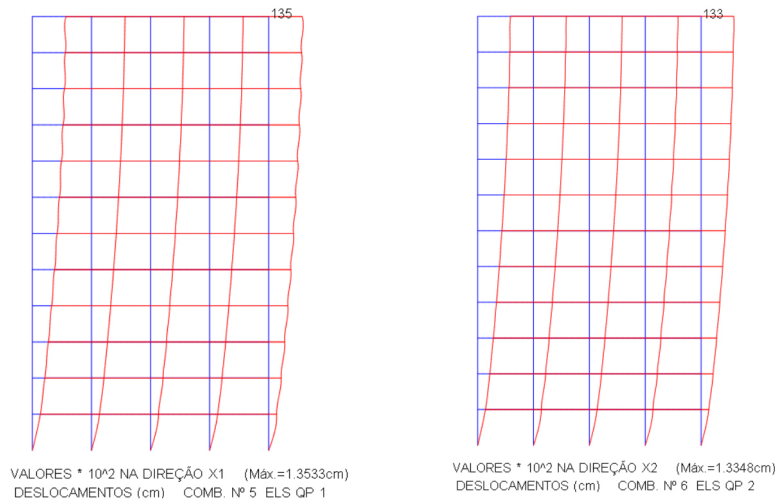


Figura 16 Deslocabilidade lateral do pórtico de concreto – vento 0° e 90°

Fonte: Elaborada pelos autores.

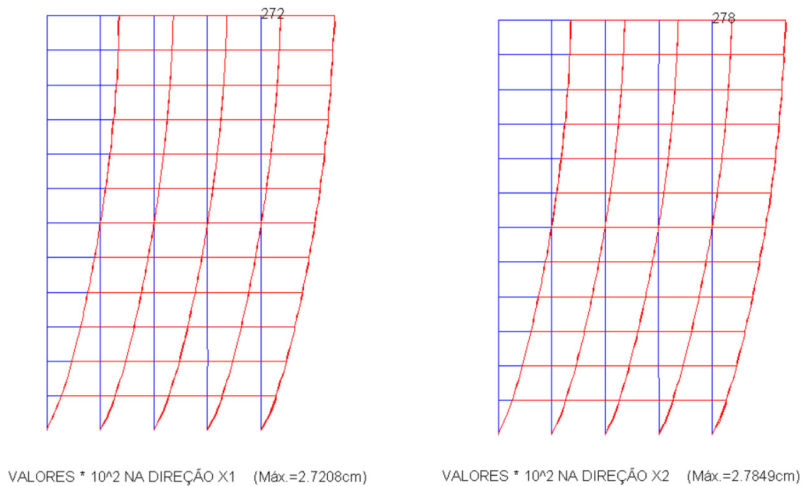


Figura 17 Deslocabilidade lateral do pórtico misto – vento 0° e 90°

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 Comparação dos esforços solicitantes dos modelos

A seguir serão apresentados os esforços solicitantes no “eixo 1”, figuras 18, 19 e 20, e no “eixo E”, figuras 21, 22 e 23, que receberam o carregamento de vento a 0° e a 90°, e os valores encontrados no pórtico em concreto armado, à esquerda nas figuras, e no pórtico misto, à direita nas figuras, a fim de realizar uma comparação entre os resultados.

A nomenclatura dos pilares apresentados nos diagramas do “eixo 1”, da esquerda para a direita, é P21, P16, P11, P6 e P1, e no “eixo E”, P21, P22, P23, P24 e P25, respectivamente:

4.3.1 Esforços solicitantes – eixo 1

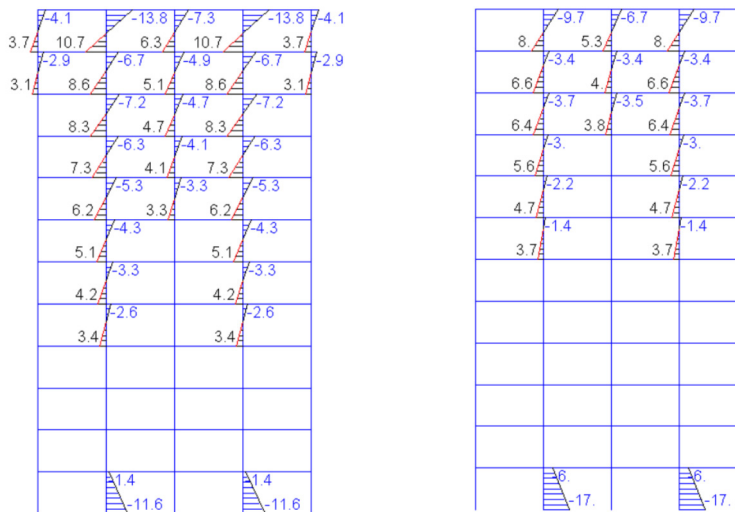


Figura 18 Momentos fletores – ELU 1 direção X (tf.m)

Fonte: Elaborada pelos autores.

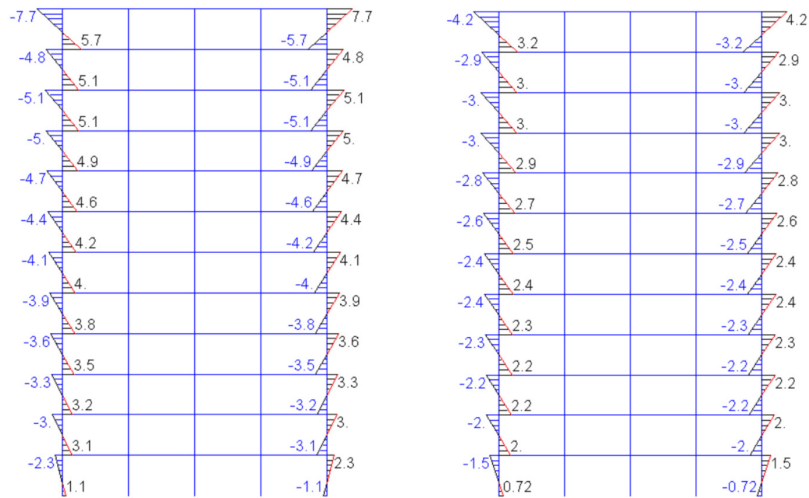


Figura 19 Momentos fletores – ELU 1 direção Y (tf.m)

Fonte: Elaborada pelos autores.

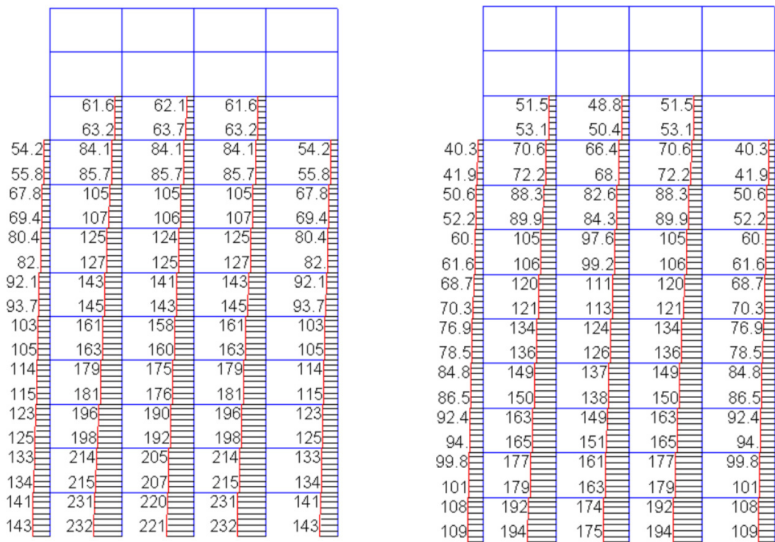


Figura 20 Esforços axiais – ELU 1 (tf)

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3.2 Esforços solicitantes – eixo E

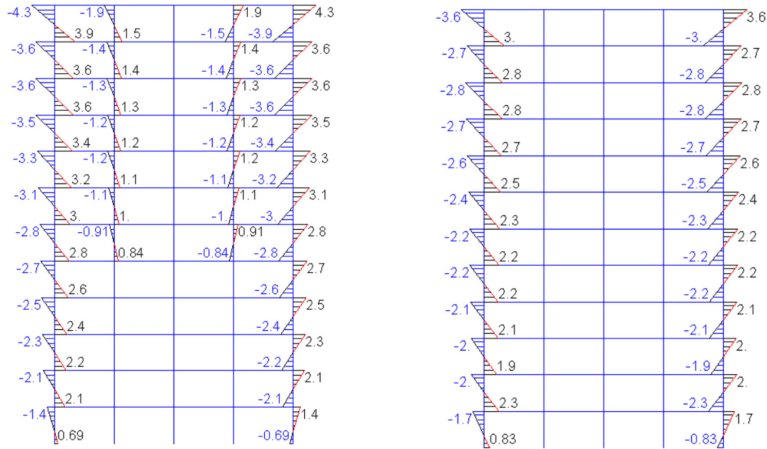


Figura 21 Momentos fletores – ELU 2 direção X (tf.m)

Fonte: Elaborada pelos autores.

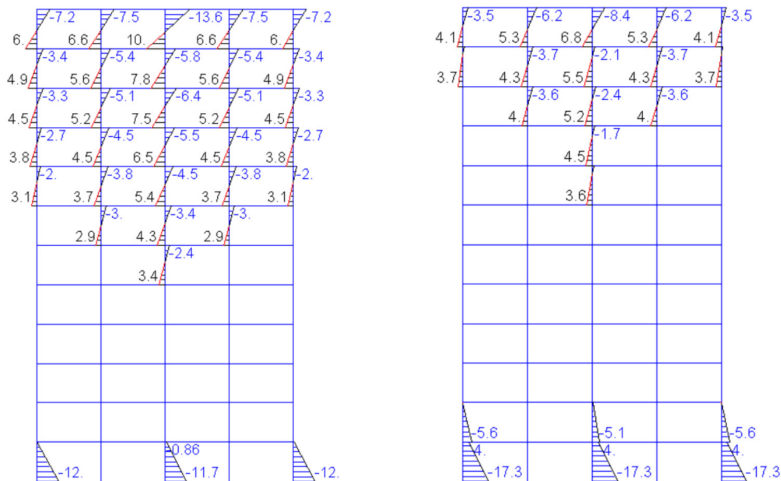


Figura 22 Momentos fletores – ELU 2 direção Y (tf.m)

Fonte: Elaborada pelos autores.

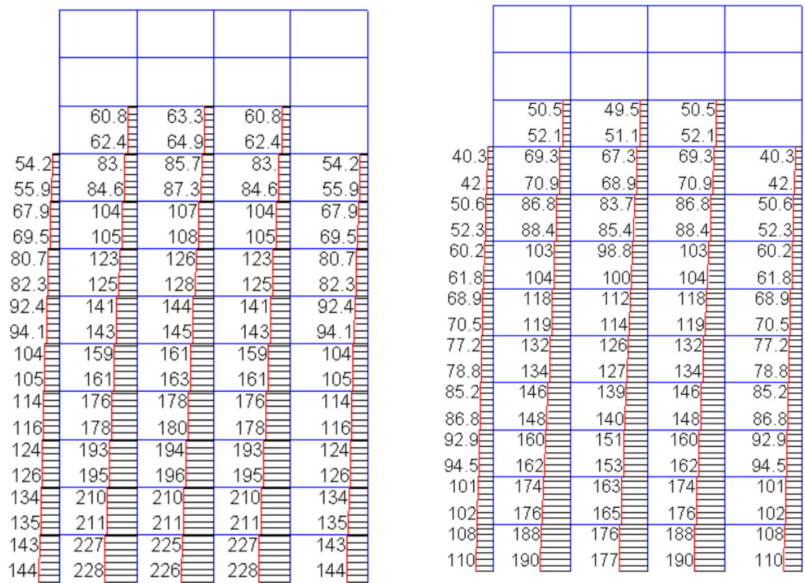
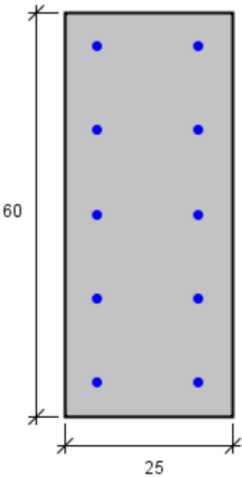


Figura 23 Esforços axiais – ELU 2 (tf)

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3.3 Análise dos esforços

A partir dos esforços solicitantes demonstrados nas seções 4.3.1 e 4.3.2, foi feito o dimensionamento dos pilares a partir do *software* PCALC, desenvolvido pelo engenheiro Sander David Cardoso, admitindo que todos os pilares teriam a mesma armação de dez barras de 16 mm (Figura 24), a fim de comparar os fatores de segurança de ambos os modelos. Cada uma das tabelas apresentadas a seguir (tabelas 5, 6, 7 e 8) consta com a numeração dos pilares e os lances respectivos.



Armação: 10φ16 mm ($A_s = 20.11 \text{ cm}^2$)

Propriedade seção bruta de concreto:

Área: $A_c = 1500 \text{ cm}^2$

Centro de gravidade: $x_{cg} = 12.5 \text{ cm}$

$y_{cg} = 30 \text{ cm}$

Inércia em relação ao cg: $I_x = 450000 \text{ cm}^4$

$I_y = 78125 \text{ cm}^4$

Taxa de armadura: $\rho_s = 1.34 \%$

Materiais: Concreto $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Aço $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Tipo de vinculação: Pilar Biapoado

Comprimento: $L = 306 \text{ cm}$

Índice de Esbeltez: $\lambda_x = 18$

$\lambda_y = 42$

Figura 24 Dados da seção considerada – PCALC

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 5

Resultados do modelo de concreto armado – eixo 1

Pilar	Lance	Nsd (tf)	Msd,x Topo (tf.m)	Msd,x Base (tf.m)	Msd,y Topo (tf.m)	Msd,y Base (tf.m)	F.S.
P1	2º lance	-134,0	3,0	-3,1	1,3	-1,5	3,06
P6	5º lance	-163,0	-2,6	3,4	0,6	-0,5	3,14
P11	1º lance	-232,0	-1,4	-11,6	0,0	0,0	2,52
P16	12º lance	-38,8	-13,8	10,7	1,2	-1,2	1,90
P21	6º lance	-93,7	-4,1	4,0	-0,5	0,5	4,01
P21	12º lance	-10,9	7,7	-5,0	-4,1	3,7	1,79

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 6

Resultados do modelo em sistema misto – eixo 1

Pilar	Lance	Nsd (tf)	Msd,x Topo (tf.m)	Msd,x Base (tf.m)	Msd,y Topo (tf.m)	Msd,y Base (tf.m)	F.S.
P1	2º lance	-101,0	2,0	-2,0	0,9	-1,3	4,04
P6	5º lance	-136,0	-0,3	2,4	0,2	-0,2	4,47
P11	1º lance	-194,0	-6,0	-17,0	0,0	0,0	1,90
P16	12º lance	-32,8	-9,7	8,0	0,6	-0,5	2,65
P21	6º lance	-70,3	-2,4	2,4	0,3	0,0	6,00
P21	12º lance	-7,8	4,2	-3,2	-3,0	2,8	2,60

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 7

Resultados do modelo de concreto armado – eixo E

Pilar	Lance	Nsd (tf)	Msd,x Topo (tf.m)	Msd,x Base (tf.m)	Msd,y Topo (tf.m)	Msd,y Base (tf.m)	F.S.
P21	1º lance	-144,0	-2,1	-12,0	-1,4	0,7	2,52
P21	12º lance	-10,9	-7,2	6,0	-4,3	3,9	1,78
P22	7º lance	-125,0	-1,1	1,0	-3,0	2,9	2,69
P23	12º lance	-18,8	-13,6	10,0	0,0	0,0	1,81
P24	11º lance	-39,8	1,4	-1,4	-5,4	5,6	1,74
P25	3º lance	-126,0	1,0	-0,7	2,3	-2,2	3,07

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA 8

Modelo em sistema misto – eixo E

Pilar	Lance	Nsd (tf)	Msd,x Topo (tf.m)	Msd,x Base (tf.m)	Msd,y Topo (tf.m)	Msd,y Base (tf.m)	F.S.
P21	1º lance	-110,0	-4,6	-17,3	-1,7	0,8	1,89
P21	12º lance	-7,8	-3,5	4,1	-3,6	3,0	2,27
P22	7º lance	-104,0	-0,2	0,2	-1,6	1,9	3,88
P23	12º lance	-14,5	-8,0	6,8	0,0	0,0	2,98
P24	11º lance	-33,0	0,3	-0,3	-3,7	4,3	2,24
P25	3º lance	-94,5	1,6	-2,0	2,0	-1,9	3,44

Fonte: Elaborada pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados supracitados, o presente estudo examinou o desempenho de sistemas estruturais mistos de aço e concreto, com foco na distribuição dos esforços solicitantes em pilares e na carga aplicada sobre eles. A análise revelou que, embora os momentos fletores no sistema misto sejam maiores no primeiro lance dos pilares, essa característica não se mantém ao longo de toda a estrutura, visto que o engastamento simulado entre os perfis metálicos e os pilares não transmitiram tanto momento para os pilares quanto as vigas no modelo de concreto, que apresentam uma ligação monolítica com os pilares. Assim, vemos nos lances superiores do edifício uma redução significativa nos momentos fletores nesses elementos estruturais.

Além disso, um fator importante a ser destacado é a redução da carga total sobre os pilares, devido ao uso de perfis metálicos. Os perfis, sendo significativamente mais leves que as vigas de concreto armado, contribuem para uma menor solicitação nas fundações e nos pilares inferiores. Essa característica não só melhora a eficiência estrutural, resultado apresentado nos fatores de segurança demonstrados, como também pode trazer economia de materiais e de custos na construção de uma edificação.

Portanto, o uso de sistemas estruturais mistos de aço e concreto oferece vantagens notáveis em termos de desempenho estrutural. Essas conclusões reforçam a viabilidade e a eficácia dos sistemas mistos, sendo uma opção a ser considerada em projeto não

apenas por seus benefícios já conhecidos, como a facilidade de execução sem uso de escoramentos e menor poluição pós-obra, mas também por sua eficiência estrutural comprovada.

ANALYSIS OF LOCAL STABILITY IN MIXED STEEL AND CONCRETE BUILDINGS

Abstract

This work discusses and relates the reinforced concrete structural system and the mixed system made up of steel profiles and concrete structural elements, which are widely used in civil construction, defining them and presenting a comparison between the stresses in the columns of each of these structures. This study was carried out using the software STRAP (Structural Analysis Program), in which two buildings were modeled and sized: one in reinforced concrete and the other in a mixed structural system using concrete columns, metal beams and steel deck slabs, following the technical standards in force, and PCalc software, in order to verify the safety factor of the design of the studied columns. The results show that the mixed steel and concrete structure gives lower stresses on the reinforced concrete columns, making it more structurally efficient.

Keywords: Structural systems. Mixed structure. Computational modeling.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Ações para o cálculo de estruturas de edificações* – NBR 6120. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto* – NBR 8800. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Forças devidas ao vento em edificações* – NBR 6123. Rio de Janeiro, 2023a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento* – NBR 6118. Rio de Janeiro, 2023b.

ATIR ENGINEERING SOFTWARE LTD. *Manual STRAP*. 2019. Disponível em: <https://www.sastrap.com.br/manuais/>. Acesso em: 13 set. 2024.

CARNEIRO, F.; MARTINS, J. G. *Análise de estruturas: contraventamento de edifícios*. 2008. 1 v. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2008.

ENGENHARIA E ETC. *Steel deck* – tecnologia de lajes mistas que dispensa escoramento, 14 jun. 2015. Disponível em: <https://engenhariaetc.wordpress.com/2015/06/14/steel-deck-tecnologia-de-lajes-mistas-que-dispensa-escoramento/>. Acesso em: 30 out. 2023.

FREITAS, L. W. *Análise estrutural de um edifício em concreto armado e proposta de um novo projeto estrutural* – estudo de caso. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, Varginha, 2016.

METFORM. *Catálogo Metform*, 2007. Disponível em: [https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/metform/steel_deck_metform\[1\].pdf](https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/metform/steel_deck_metform[1].pdf). Acesso em: 23 maio 2024.

QUEIROZ, G. *et al. Estruturas mistas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012. v. 1 e 2. Disponível em: <http://www.cbcaacobrasil.org.br/site/publicacoesmanuais.php>. Acesso em: 29 out. 2023.

ZUMAETA MONCAYO, W. J. *Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Contato

Tatiana Aiello C. de Mello
tatiana.aiello@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em: 25/07/2024

Aprovado em: 16/09/2024