

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO DE PEQUENA ALTURA EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, CONSIDERANDO A CONTINUIDADE DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR

José Francisco Anunciação Pinto¹, Ladir Antônio da Silva Junior², Ciro Maestre Dutra³ & José Luiz Rangel Paes⁴

Resumo

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo tridimensional para análise de um edifício de pequena altura para fins institucionais em concreto pré-moldado, com o objetivo de avaliar o desempenho estrutural devido à variação do grau de rigidez da ligação viga-pilar. O modelo de ligação semi-rígida adotado levou em consideração a facilidade de execução e é constituído basicamente por concretagem vertical com armaduras passivas contínuas nos pilares intermediários. Para o modelo estrutural do edifício foram considerados três comportamentos da ligação viga-pilar: ligação articulada, ligação semi-rígida e ligação rígida. Os pilares foram considerados engastados na base e foi admitido o efeito de diafragma rígido das lajes alveolares. Para o cálculo do grau de rigidez da ligação foram consideradas as rotações relativas e a rigidez das ligações associadas a dois mecanismos de deformação. Foi realizada uma análise de segunda ordem com aplicação de uma força horizontal equivalente mínima. Em função do estudo realizado, pode-se observar que as ligações semi-rígidas foram capazes de reduzir os momentos fletores máximos nas vigas para as combinações últimas onde as ações verticais são principais. À medida que se aumentou o grau de rigidez das ligações obteve-se uma redução nos momentos fletores nas bases dos pilares. Para o edifício estudado, a utilização de ligações semi-rígidas não aportou um ganho significativo com relação aos deslocamentos horizontais, uma vez que a estrutura com ligações articuladas já atendia ao limite de deslocamentos previstos em norma. No entanto, no modelo com ligações semi-rígidas constatou-se um expressiva redução dos momentos fletores nas bases dos pilares devido à redistribuição dos esforços, quando comparado com o modelo com ligações articuladas, o que permitiria reavaliar o dimensionamento dos elementos estruturais e das fundações.

Palavras-chave: Comportamento estrutural. Análise tridimensional. Ligações semi-rígidas.

STUDY OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF A LOW HEIGHT PRECAST CONCRETE BUILDING, CONSIDERING THE CONTINUITY OF BEAM-COLUMN CONNECTIONS

Abstract

This paper presents the development of a three-dimensional model for the analysis of a low height precast concrete building for institutional purposes in order to assess the structural performance due to the variation in the degree of stiffness of the beam-to-column connection. The assumed semi-rigid connection model took into consideration constructive aspects and consists primarily of continuous reinforcement over intermediate columns. For the structural model of the building were considered three beam-to-column connections behaviors: pinned, semi-rigid and fully rigid. The columns were considered fixed on the base and were considered the diaphragm action of the hollow core slabs. To evaluate the connection stiffness were considered relative rotations and stiffness rigidity of the connections associated with two strain mechanisms. A second order analysis was performed considering a notional load. Based on this study, it can be seen that the semi-rigid connections were able to reduce the maximum bending moments in the beams due to the ultimate combinations, where the main actions are vertical. As we increased the connections stiffness ratios, a reduction of the columns bases bending moment was obtained. For the multi-storey assessed building it is possible to conclude that the use of semi-rigid connections didn't provided a significant gain related to horizontal displacements, since the structure with pinned connections already verified the displacements limits defined in codes. However, in the model with semi-rigid connections we observed a significant reduction of bending moments at the columns bases due to redistribution of the internal forces, if compared with the model with pinned connections, allowing reevaluate the design of structural members and the foundations.

Keywords: Structural behavior. Three-dimensional analysis. Semi-rigid connections.

¹ Estudante de mestrado, Departamento de Engenharia Civil – UFV. E-mail: jose.anunciacao@ufv.br.

² Estudante de mestrado, Departamento de Engenharia Civil – UFV. E-mail: ladir@hotmail.com.

³ Estudante de mestrado, Departamento de Engenharia Civil – UFV. E-mail: ciro.myd@gmail.com.

⁴ Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil – UFV. E-mail: jlrangel@ufv.br.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas construtivos em concreto pré-moldado são uma opção para aumentar a racionalização do processo construtivo de edificações. O uso desses sistemas confere uma maior rapidez de execução, rígido controle de qualidade, coordenação modular e alto nível organizacional da produção.

A grande competitividade do mercado atual gera a demanda por soluções que, associadas ao sistema construtivo em concreto pré-moldado, melhorem a eficiência construtiva, eliminando etapas executivas, minimizando interferências entre os subsistemas e elevando a qualidade do produto final.

Para que todas as vantagens do concreto pré-moldado sejam potencializadas, a estrutura deve ser concebida de acordo com uma filosofia específica do projeto: grandes vãos, um conceito apropriado para estabilidade, detalhes simples, modulação, dentre outros. Desde a concepção, os projetistas devem considerar as possibilidades, as restrições e as vantagens do concreto pré-moldado, seu detalhamento, produção, transporte e montagem.

Do ponto de vista do comportamento estrutural, a presença das ligações é o que diferencia basicamente uma estrutura de concreto pré-moldado de uma estrutura convencional moldada no local (NÓBREGA, 2004). Desta forma, o desempenho do sistema estrutural e o êxito nas suas aplicações estão relacionados com o desempenho de suas ligações.

O assunto de ligações constitui-se em um dos tópicos mais importantes com relação às estruturas pré-moldadas. O papel das ligações é fazer uma união racional entre os elementos pré-moldados de forma a compor um sistema estrutural capaz de resistir a todas as forças atuantes, incluindo ações indiretas provenientes da retração, fluência, movimentos térmicos, fogo e outros.

A função principal das ligações é a transferência das forças entre as interfaces dos elementos pré-moldados, de forma que esses elementos interajam entre si, formando um sistema estrutural.

Um dos assuntos mais importantes no atual contexto do projeto e dimensionamento de estruturas de concreto pré-moldado é a caracterização do comportamento e a avaliação do uso de ligações semi-rígidas. O presente trabalho trata da avaliação do uso deste tipo de ligação em edifícios de pequena altura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tipos de ligações

As ligações entre elementos de estruturas pré-moldadas precisam levar em conta os mínimos detalhes a serem executado durante a sua "montagem". A existência dessas ligações diferencia a estrutura pré-moldada das moldadas "in loco", pois o restante do conceito e o funcionamento estrutural dos elementos são os mesmos para os dois sistemas (MELO, 2007).

As ligações viga-pilar podem ser classificadas em três tipos:

- articulada;
- semi-rígida;
- engastada.

Cada tipo de ligação possui um comportamento distinto, devendo estar em consonância com o funcionamento esperado no modelo estrutural. Se a ligação não for capaz de se comportar conforme o que foi projetado, a estrutura não apresentará as respostas esperadas.

A eficiência estrutural das ligações tem implicações na sua complexidade e no seu custo. No caso de estruturas pré-moldadas de múltiplos andares, normalmente a utilização de ligações articuladas leva a uma solução estrutural mais cara devido à necessidade de se limitar os deslocamentos horizontais, que são contidos somente pelos pilares. Desta forma, a utilização de ligações semi-rígidas pode contribuir significativamente para um melhor comportamento das estruturas de concreto pré-moldado.

O conceito de ligação semi-rígida foi amplamente estudado nos últimos anos, sendo a principal abordagem da revisão da ANBT NBR 9062:2006 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Nesta norma foi introduzido o fator de restrição à rotação (α_r), que varia de

0 a 1, sendo 0 para ligações perfeitamente articuladas (restrição nula ao giro relativo) e 1 para ligações engastadas (restrição completa ao giro relativo). O parâmetro α_r , representa de forma adimensional a restrição à rotação da ligação e é determinado por:

$$\alpha_R = \frac{1}{1 + \frac{3(EI)_{sec}}{R_{sec} L_{ef}}} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (1)$$

onde:

EI_{sec} é a rigidez secante da viga conforme a ABNT NBR 6118:2003;

L_{ef} é o vão efetivo da viga entre os centros dos apoios;

R_{sec} é a rigidez secante da ligação.

Para cálculo do fator de restrição à rotação (α_r) é necessário determinar a rigidez secante da ligação (R_{sec}). A rigidez ao momento fletor de uma ligação viga-pilar é definida pela sua relação momento-rotação. Por efeitos de simplificação, a ANBT NBR 9062:2006 permite simular o comportamento não-linear de uma ligação semi-rígida com base em uma análise linear considerando a sua rigidez secante (R_{sec}).

Para ser tratada como uma ligação semi-rígida, o fator de restrição a rotação da ligação (α_r) deve estar compreendido na seguinte faixa:

$$0,15 \leq \alpha_R \leq 0,85 \quad (2)$$

A ANBT NBR 9062:2006 apresenta uma classificação do tipo de ligação em função da rigidez secante (R_{sec}):

$$R_{sec} \leq \frac{0,5(EI)_{sec}}{L_{ef}} \quad \text{Ligações articuladas} \quad (3)$$

$$\frac{0,5(EI)_{sec}}{L_{ef}} \leq R_{sec} \leq \frac{20(EI)_{sec}}{L_{ef}} \quad \text{Ligações semi-rígidas} \quad (4)$$

$$\frac{20(EI)_{sec}}{L_{ef}} \leq R_{sec} \quad \text{Ligações engastadas} \quad (5)$$

A consideração da semi-rigidez das ligações representa um avanço na avaliação do comportamento das estruturas pré-moldadas, já que com isto representa com maior fidelidade o verdadeiro comportamento das ligações. Diversos estudos (FERREIRA et al., 2003; EL DEBS, 2010) mostram que as ligações geram alguma restrição à rotação do elemento, mesmo que esta restrição seja mínima.

2.2 Ligações semi-rígidas por concretagem vertical

As ligações semi-rígidas por concretagem vertical devem resistir a parte do momento fletor de engastamento dos elementos. Para que isso ocorra, as ligações devem ser suficientemente dúcteis para permitir a redistribuição dos momentos fletores. Desta maneira, quando os momentos atuantes tenderem a ultrapassar a resistência da ligação, não se atinge o colapso e ocorre uma rotação da ligação, gerando uma redistribuição dos esforços.

O mecanismo resistente deste tipo de ligação semi-rígida é composto por um binário formado pela força de tração na armadura superior e pela força de compressão no concreto da região inferior da viga (Figura 1) ou pelo binário formado pela força de tração nos pinos utilizados como guias de montagem da viga e pela força de compressão no concreto da viga (Figura 3).

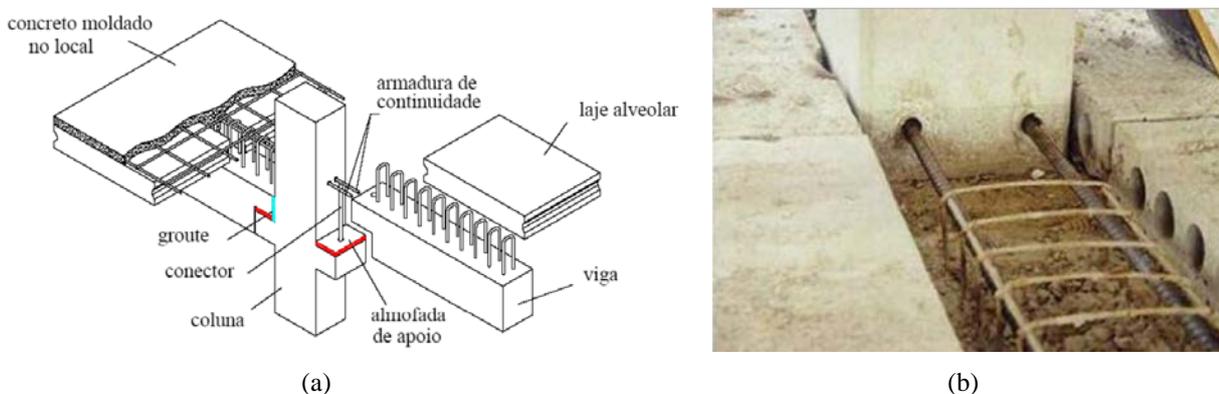


Figura 1 – (a) Ligação semi-rígida de pilares intermediários com concretagem vertical (CHASTRE - 2012); (b) Exemplo de ligação semi-rígida de concretagem vertical com armadura passiva contínua (ALVA – 2010).

A ligação por concretagem vertical se caracteriza pela concretagem entre o pilar e a viga ou console. Ou seja, ela não apresenta nenhum tipo de união resistente a esforços de tração na região inferior da viga. Esta região geralmente está comprimida devido ao momento negativo que a viga insere na ligação. Desta forma, a transmissão dos esforços horizontais nesse tipo de ligação se dá pelo atrito entre o pino de montagem e o material de apoio, pela transmissão de esforço nas armaduras passantes e pela transmissão de esforços pelo contato direto entre a viga e o pilar, devido ao grauteamento dos vazios (folga construtiva entre a viga e o pilar).

As aberturas nos pilares para passagem das armaduras podem ser feitas no campo ou com a utilização de luvas instaladas na peça durante a etapa de fabricação. A utilização de aberturas feitas no campo é mais recomendada pois, com elas, tem-se a folga necessária para a instalação das armaduras negativas, posicionando-as de forma correta após a montagem das peças. Já as luvas requerem uma maior precisão na etapa de fabricação do pilar e na montagem dos elementos, sendo mais complexo e requerendo um maior nível de detalhamento.

Uma boa estratégia de projeto de estruturas pré-moldadas para edifícios de múltiplos andares consiste em utilizar ligações articuladas nos pilares de extremidade e empregar as ligações semi-rígidas por concretagem vertical nos pilares intermediários (de centro).

2.3 Modelo analítico para determinação da rigidez da ligação semi-rígida

Ferreira (2003) propôs um modelo analítico para a determinação da rigidez de uma ligação por concretagem vertical. De acordo com este modelo, o cálculo de rotações relativas e da rigidez da ligação estão associados a dois mecanismos de deformação, que consistem no alongamento da armadura no trecho L_e e no alongamento por flexão no trecho L_p (Figura 2).

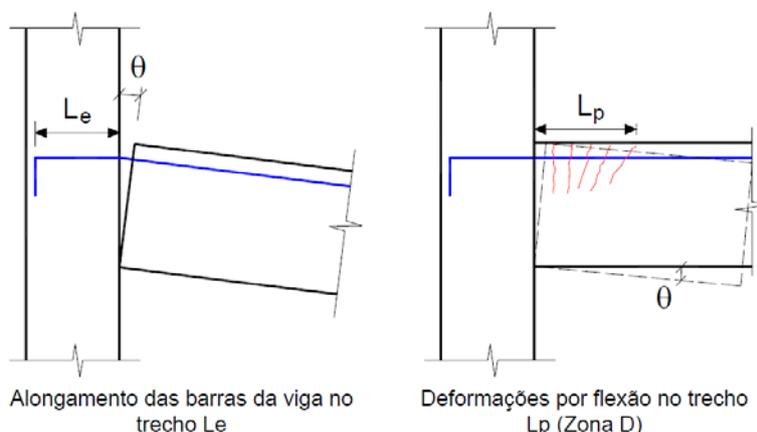


Figura 2 – Modelo representativo das deformações na ancoragem da armadura e devido à rotação da ligação semi-rígida (ALVA – 2010).

Segundo este modelo, a rigidez secante da ligação (R_{sec}) pode ser calculada a partir da seguinte expressão:

$$R_{sec} = \left[\left(\frac{L_e}{0,9A_s E_s d^2} \right) + \left(\frac{L_p}{E_{cs} I_{II}} \right) \right]^{-1} = \frac{M_{cr}}{\theta_c} \quad (6)$$

onde:

A_s é a seção de armadura da ligação;

E_s é o módulo de elasticidade do aço;

d é a altura efetiva da viga ($d = h - d'$);

E_{cs} é o módulo de elasticidade secante do concreto, calculado de acordo com a ABNT NBR 6118:2003;

I_{II} é o momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II, calculado com $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}}$;

M_{cr} é o momento resistente da ligação no limite de escoamento da armadura tracionada;

θ_c é a rotação da ligação.

O valores de L_e e L_p da Expressão 6 são indicados na Figura 3.

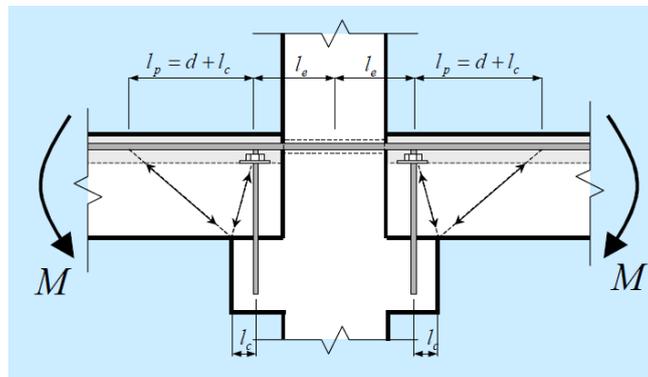


Figura 3 – Considerações adotadas para obtenção do L_p (FERREIRA – 2002).

O momento de inércia da seção fissurada de concreto no Estádio II é calculado pela seguinte expressão:

$$I_{II} = \frac{bx_{II}^3}{3} + \alpha_s A_s (d - x_{II})^2 \quad (7)$$

onde:

x_{II} é a posição da linha neutra no Estádio II;

b é a largura da viga.

A posição da linha neutra no Estádio II pode ser retirada da seguinte equação:

$$\frac{bx_{II}^2}{2} - \alpha_s A_s (d - x_{II}) = 0 \quad (8)$$

3 ESTUDO DE CASO DE UM EDIFÍCIO DE PEQUENA ALTURA

3.1 Características da estrutura

Para desenvolvimento do estudo de variação da rigidez da ligação viga-pilar sobre o comportamento estrutural, foi considerado o Edifício de Laboratórios de Ensino que será construído no Campus de Rio Paranaíba da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A estrutura em concreto pré-moldado deste edifício é constituída por pilares, vigas e lajes alveolares. A edificação possui dois pavimentos, uma área de aproximadamente 1140 m² por pavimento e altura total de 7,20 m.

Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se as plantas de forma da estrutura referentes ao projeto básico.

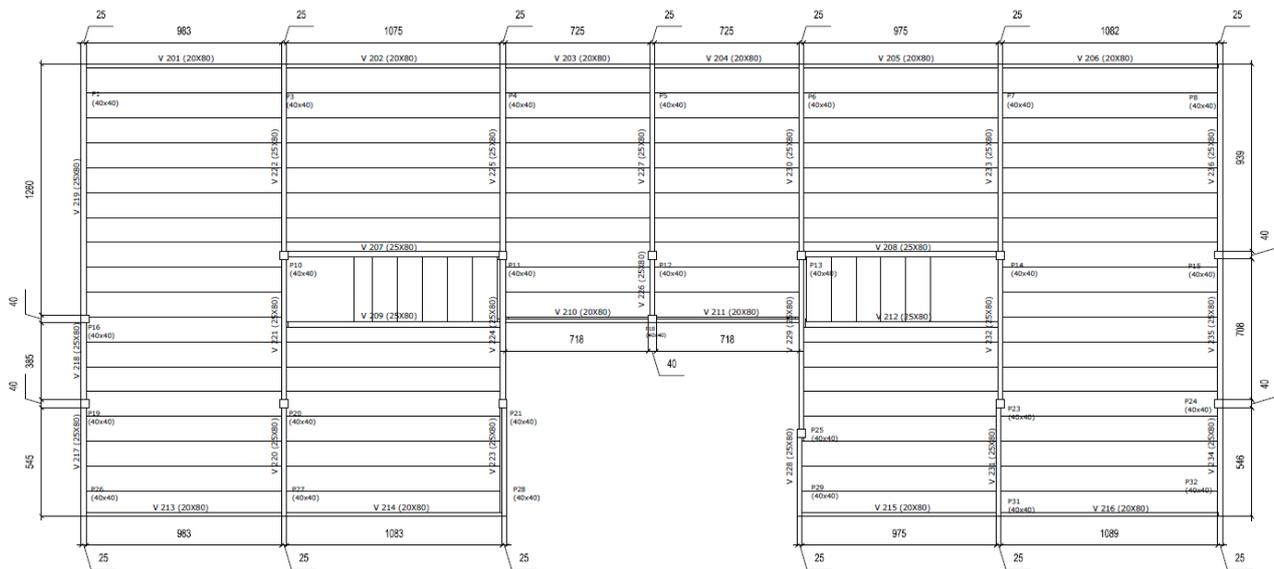


Figura 4 – Planta de forma primeiro pavimento (Nível 360).

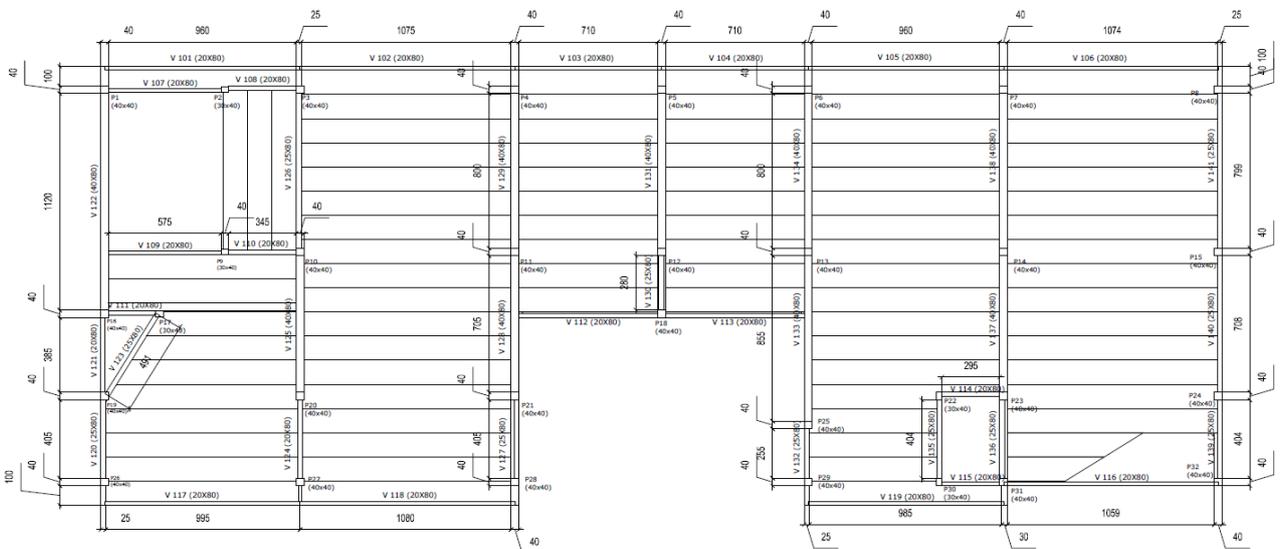


Figura 5 – Planta de forma segundo pavimento (Nível 720).

3.2 Bases do modelo numérico e da análise estrutural

Foi desenvolvido um modelo tridimensional com elementos de barra para pilares e vigas e de placa para as lajes, com auxílio do programa computacional SAP 2000. Para este modelo, cujo aspecto geral é mostrado na Figura 6, foram feitas as seguintes considerações:

- i. para a ligação viga-pilar foram consideradas três hipóteses:
 - modelo articulado - modelo com ligações articuladas entre vigas e pilares nos pórticos transversais;
 - modelo com ligações semi-rígidas - modelo com ligações semi-rígidas entre vigas e pilares nos pórticos transversais;
 - modelo engastado - modelo com ligações engastadas entre vigas e pilares nos pórticos transversais;
- ii. as vigas de extremidade na direção longitudinal foram consideradas articuladas nos pilares;
- iii. todos os pilares foram considerados engastados nas bases nas duas direções principais do modelo;
- iv. para a consideração do efeito diafragma considerou-se um malha de elementos finitos, tipo shell, simulando uma laje de concreto com $f_{ck} = 40$ MPa e espessura de 15 e 11 cm para o primeiro e segundo pavimentos respectivamente;
- v. foi adotada uma seção de 40x40 cm para os todos os pilares, exceto para aqueles da caixa de escada, cuja seção foi de 40x30 cm. Para as vigas dos pórticos transversais foram consideradas seções de 40x80 cm e 25x80 cm e para as vigas de extremidade adotou-se uma seção de 20x80 cm;

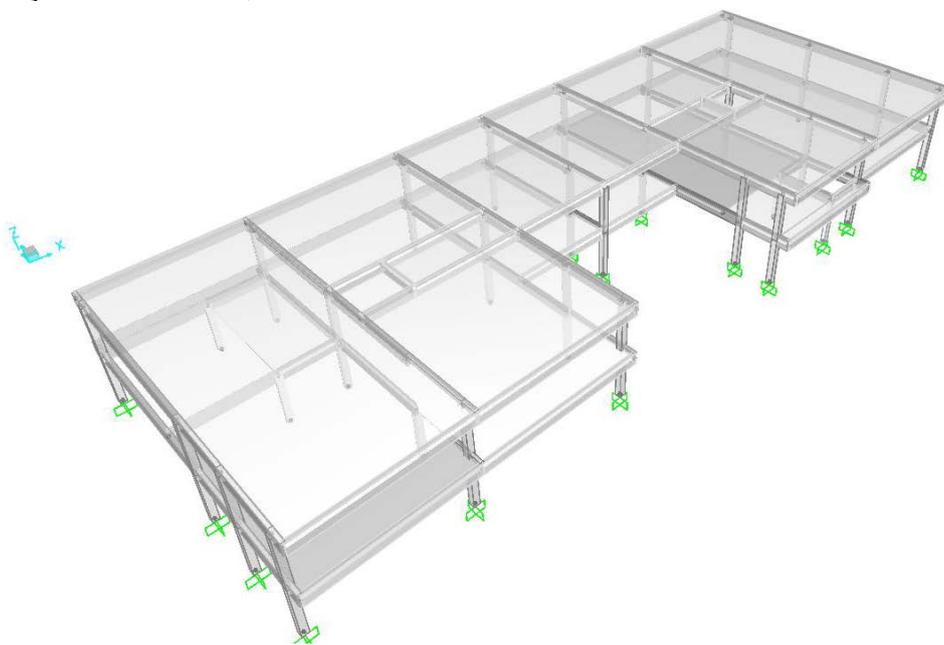


Figura 6 – Aspecto geral do modelo tridimensional da estrutura de concreto pré-moldado.

Para efeitos de análise estrutural os efeitos das imperfeições globais foram considerados por meio da aplicação de um carregamento horizontal mínimo correspondente a 0,005 do total das cargas verticais majoradas pelos seus respectivos coeficientes de ponderação das ações, conforme prevê a ANBT NBR 9062:2006.

De forma simplificada, no modelo numérico com ligações semi-rígidas entre vigas e pilares nos pórticos transversais não foi considerada a existência de ligações articuladas na fase de montagem, na qual atua basicamente o peso próprio da estrutura pré-moldada.

Com base nessas premissas foi realizada uma análise de segunda ordem simplificada com auxílio do programa computacional SAP 2000.

3.3 Comportamento das ligações semi-rígidas

Para o modelo numérico com ligações semi-rígidas entre vigas e pilares nos pórticos transversais foram admitidas ligações semi-rígidas por concretagem vertical nos pilares intermediários, de acordo com o modelo analítico apresentado no item 2.2.

Inicialmente foi realizado o dimensionamento das armaduras negativas sobre os pilares intermediários pressupondo a existência de ligações perfeitamente rígidas. Em função dessas armaduras, foi feita a determinação da rigidez secante (R_{sec}) de cada ligação e a estrutura com ligações semi-rígidas foi recalculada. Este procedimento iterativo foi realizado até a convergência das seções de armadura sobre os pilares intermediários.

Além disso, foi admitida uma variação das seções de armadura sobre os pilares intermediários em função de aspectos construtivos de estruturas pré-moldadas convencionais com lajes alveolares.

Através do processo iterativo de cálculo das armaduras mínimas em função da rigidez da ligação foram obtidas seções de aço correspondentes a 3 Φ 25 mm para o segundo pavimento e 7 Φ 25 mm para o primeiro pavimento.

Pelo fato da laje alveolar não permitir o uso de armaduras passantes nas laterais dos pilares e considerando que a capa de concreto não tem altura suficiente para comportar tais armaduras, considerou-se que todas as barras devem passar dentro dos pilares. Como consequência disto, torna-se inviável a disposição de 7 barras de Φ 25 mm por dentro dos pilares. Assim, tanto para o primeiro pavimento, quanto para o segundo, admitiu-se como máximo 3 barras de Φ 25 mm, de modo a contemplar as disposições construtivas, conforme esquema da Figura 1.b.

A fim de avaliar o desempenho estrutural do modelo em função da variação do grau de rigidez da ligação viga-pilar foram admitidas seis configurações de armadura sobre os pilares intermediários, conforme mostrado na Tabela 1. A solução com 7 barras de 25 mm foi mantida para efeitos de referência, embora não seja viável sob o ponto de vista construtivo com lajes alveolares. Na Tabela 1 também se apresentam os fatores de restrição à rotação (α_r) médios da estrutura para cada caso.

Tabela 1 – Seções de aço utilizadas e parâmetro α_r médio da estrutura

Modelo	$\alpha_{r,médio}$
Modelo Articulado	0,00
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 10 mm	0,17
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 16 mm	0,32
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 20 mm	0,41
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 25 mm	0,50
Modelo com ligações semi-rígidas - 3 Φ 25 mm	0,58
Modelo com ligações semi-rígidas - Máx. - 7 Φ 25 mm	0,73
Modelo engastado	1,00

3.4 Ações e combinações de esforços

As ações e combinações de ações utilizadas na análise estrutural seguiram as prescrições de norma e são mostradas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Ações atuantes

Ações Permanentes			
Primeiro Pavimento		Segundo Pavimento	
Tipo	Valor (kN/m²)	Tipo	Valor (kN/m²)
Peso Próprio das Lajes	3,50	Peso Próprio das Lajes	3,50
Peso Próprio da Capa de Concreto	1,25	Peso Próprio da Capa de Concreto	1,25
Peso Próprio do Revestimento	1,50	Peso Próprio do Revestimento	0,50
Peso Próprio das Alvenarias	1,50	Peso Próprio das Alvenarias	0,00
Ações Variáveis			
Primeiro Pavimento		Segundo Pavimento	
Tipo	Valor (kN/m²)	Tipo	Valor (kN/m²)
Sobrecarga	3,00	Sobrecarga	2,00
Vento (W_{0° e W_{180°)	0,522	Vento (W_{0° e W_{180°)	0,576
Vento (W_{90° e W_{270°)	0,305	Vento (W_{90° e W_{270°)	0,328

Tabela 3 – Combinações utilizadas

Combinações Utilizadas		
Combinações Últimas		Combinações de Serviço
COMB 1: G + Q + Fn	COMB 6: G + W0 + Q	COMBS1: G + Q
COMB 2: G + Q + W0	COMB 7: G + W90 + Q	COMBS2: G + W0
COMB 3: G + Q + W90	COMB 8: G + W180 + Q	COMBS3: G + W180
COMB 4: G + Q + W180	COMB 9: G + W270 + Q	COMBS4: G + W90
COMB 5: G + Q + W270	-	-

Nota: Fn - força nocional - carregamento horizontal mínimo correspondente a 0,005 do total das cargas verticais majoradas pelos seus respectivos coeficientes de ponderação das ações,

Tendo em vista o objetivo central deste trabalho e por limitações do programa de análise estrutural, todas as ações e combinações de ações foram aplicadas na estrutura considerando-se o modelo com ligações semi-rígidas viga-pilar, mesmo para a fase de montagem.

4 RESULTADOS

Na Figura 7 são apresentados os resultados da análise dos momentos fletores máximos atuantes na base de alguns pilares da estrutura.

De acordo com a Figura 7 pode-se observar que à medida que se incrementa a rigidez das ligações, os momentos fletores na base dos pilares se reduzem. Esse fato é consequência da redistribuição de esforços no sistema, proporcionado pelo aumento da rigidez da ligação.

Comparando-se os resultados dos modelos com diferentes fatores de restrição à rotação, observa-se uma diferença média de 27 % do modelo com α_r médio de 0,50 em relação ao modelo com ligações articuladas ($\alpha_r = 0,00$). A diferença de momentos fletores máximos nas bases dos pilares do modelo com ligações articuladas com relação ao modelo com ligações perfeitamente rígidas foi de aproximadamente 183%.

Para efeitos de uma avaliação do comportamento global da estrutura, os resultados dos deslocamentos horizontais máximos na estrutura para os modelos com ligações semi-rígidas definidos na Tabela 1 para a combinação última COMB9 são apresentados na Figura 8.

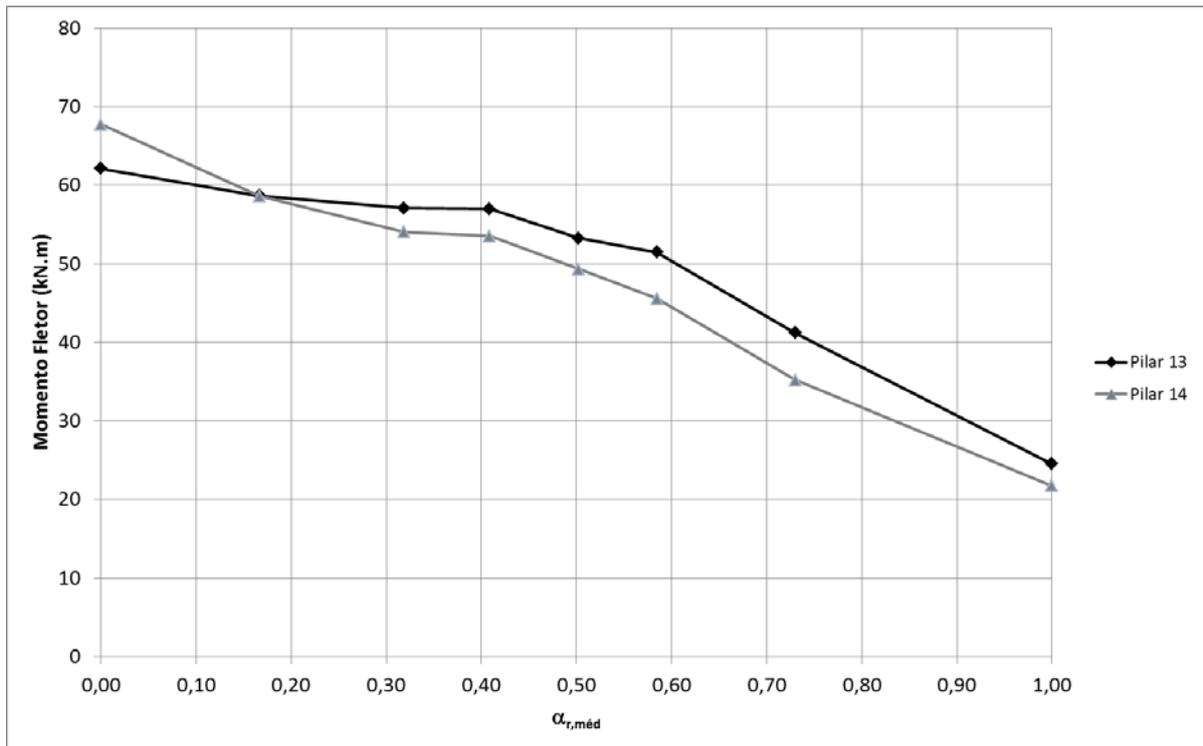


Figura 7 - Momentos fletores máximos na base dos pilares, para COMB9 não linear

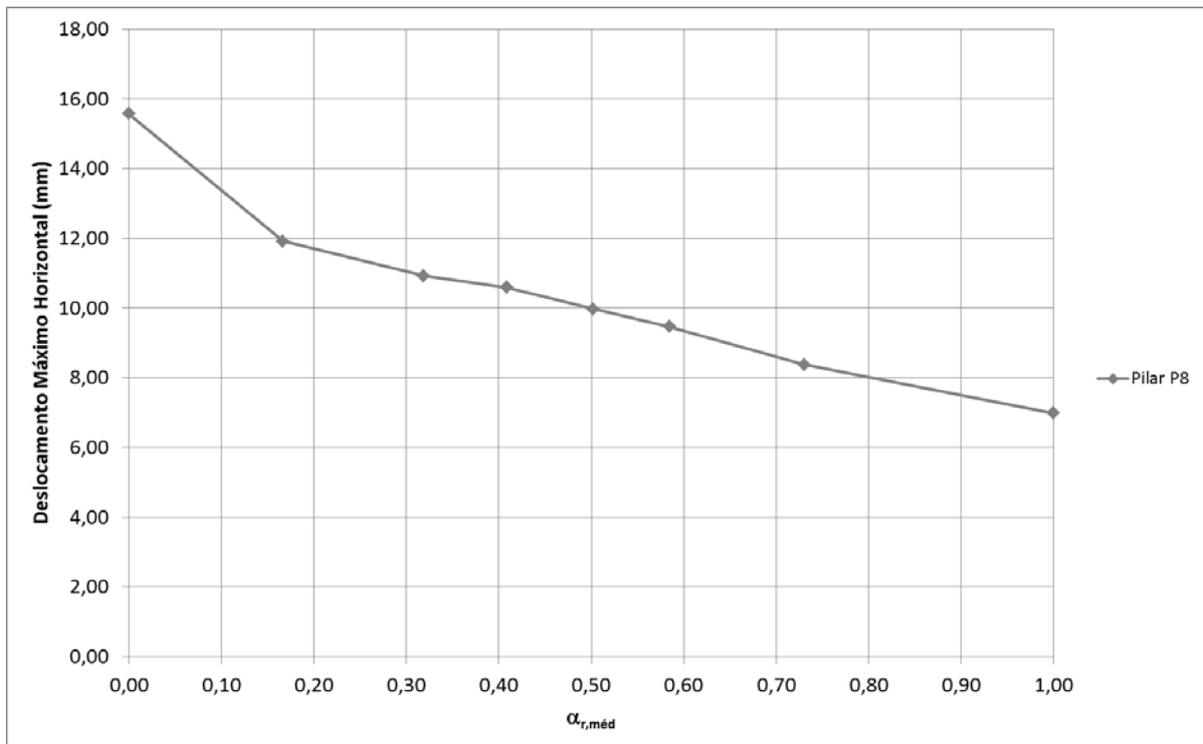


Figura 8 - Deslocamento horizontal máximo, para a COMB9.

Como esperado desde o início, foram observados maiores deslocamentos horizontais nos modelos que apresentam ligações com menor rigidez. Nota-se, por exemplo, que para um modelo com α_r igual a 0,58 o deslocamento horizontal máximo da estrutura foi cerca de 39% menor do que no modelo que considera ligações articuladas.

Na Figura 9 apresentam-se curvas de variação dos momentos fletores positivos e negativos em algumas vigas do modelo, em função da variação do fator de restrição à rotação (α_r) médio da estrutura.

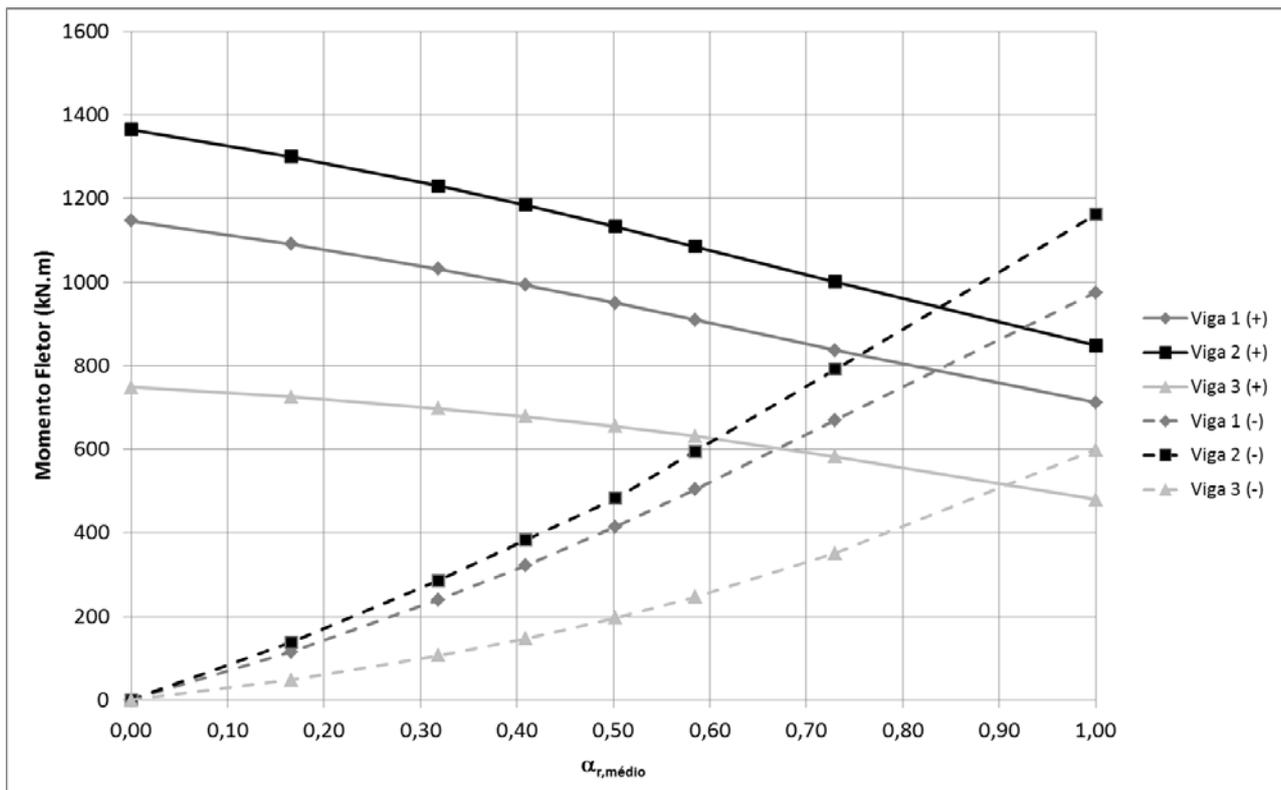


Figura 9 - Momentos fletores positivos e negativos máximos nas vigas (em módulo) para a COMB5.

Nota-se que o aumento do grau de rigidez da ligação provocou uma redução dos momentos positivos máximos e amplificação dos momentos negativos máximos, causado pela redistribuição de esforços nas vigas.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliado o desempenho estrutural da estrutura de um edifício de pequena altura em função da variação do grau de rigidez da ligação viga-pilar sobre os pilares intermediários.

Tendo em vista a maior configuração de armaduras possível por razões construtivas sobre os pilares intermediários, com 3 barras de Φ 25 mm, obteve-se um fator de restrição à rotação médio da estrutura de 0,58.

Mesmo considerando as limitações construtivas para as configurações de armaduras que criam as ligações semi-rígidas por concretagem vertical, o uso dessas ligações contribuiu para a redução dos momentos fletores na base dos pilares, redução dos deslocamentos horizontais e redistribuição de esforços.

Apesar de ter havido um ganhos consideráveis nos deslocamentos horizontais para o modelo com ligações semi-rígidas em relação ao modelo com ligações articuladas, este benefício não é um fator determinante no dimensionamento de uma estrutura de pequena altura, uma vez que o dimensionamento é determinado pelas ações verticais.

No entanto, se forem analisados os benefícios da utilização de ligações semi-rígidas em relação aos momentos fletores na base dos pilares, a sua aplicação pode apontar vantagens técnicas e econômicas consideráveis, já que há significativa redução dos momentos fletores promovidos pela redistribuição dos esforços na estrutura.

6 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6123: 1988. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 9062: 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro.

ALVA, G. M. S. (2010). **Notas de aula de ECC 840 – Ligações semi-rígidas em estruturas de concreto**. UFSM, Santa Maria.

CHASTRE, C. et al. (2012). **Estruturas Pré-Moldadas no Mundo – Aplicações e Comportamento Estrutural**. Editora Parma, São Paulo

EL DEBS, M. K. (2000). **Concreto Pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos EESC-USP.

EL DEBS, M. K. (2010) **Analysis of a semi-rigid connection for precast concrete**. ICE- Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings.

FERREIRA, M. A., EL DEBS, M. K., ELLIOT, K.S. (2003). **Modelo Teórico para Projeto de Ligações Semi-rígidas em Estruturas de Concreto Pré-moldado**. Instituto Brasileiro do concreto - 44 ° Congresso Brasileiro, Belo Horizonte.

KATAOKA, M. N. (2007) **Estudo da continuidade em ligações laje-viga-pilar em estruturas pré-moldadas de concreto**. EESC-USP, São Carlos.

MELO, C. E. E. **Manual Munte em Pré-fabricados de Concreto**. 2ª Edição. PINI, São Paulo, 2007.

NÓBREGA, P. G. B (2004) **Análise dinâmica de estruturas de concreto: Estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. Tese de doutorado, EESC-USP, São Carlos.

QUEIROS, L. U. A. (2007). **Análise estrutural de galpões pré-moldados em concreto considerando a influência da rigidez nas ligações viga-pilar**. Dissertação de mestrado. UFA, Alagoas.

SOARES, A. M. M. (2001) **Análise estrutural de pórticos planos de Elementos pré-fabricados de concreto considerando a deformabilidade das ligações**. Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos, nº 17.