

5

Descrição do modelo estrutural

5.1

Introdução

No presente capítulo apresenta-se a descrição do modelo estrutural utilizado para avaliação do conforto humano. Trata-se de um modelo real formado por lajes de concreto que se apoia sobre vigas e pilares de aço trabalhando em regime de interação parcial e total. No que tange às ligações estruturais do tipo viga-viga, estas são consideradas como sendo, rígidas, semirrígidas e flexíveis (ligações viga-viga). Por outro lado, as ligações estruturais existentes entre as vigas e as colunas são do tipo, rígidas e semirrígidas, apenas em relação ao eixo de maior inércia dos pilares. As vigas e colunas foram modeladas por elementos finitos que consideram os efeitos de flexão e de torção. As lajes são modeladas por meio de elementos finitos de placa.

Para garantir a compatibilidade de deformações entre os nós dos elementos de viga e dos elementos de placa, ou seja, para que os modelos funcionem como um sistema misto é utilizado, conectores de cisalhamento na interface laje-viga. Considera-se também que os materiais, aço e concreto, trabalham no regime elástico-linear. Este capítulo apresenta a geometria dos modelos estruturais, as propriedades geométricas das peças e as propriedades físicas dos materiais.

5.2

Descrição dos sistemas estruturais

Dando sequência a este trabalho, em que se pretende estudar o comportamento dinâmico de pisos mistos aço-concreto em regime de interação parcial e total, propõe-se para o estudo um modelo estrutural que se baseia em um sistema de lajes maciças de concreto armado apoiado sobre vigas de aço, formando assim um sistema misto (aço-concreto). O sistema é composto por quatro vãos de 10m nas duas direções, perfazendo uma área total de 1600m². O espaçamento entre as vigas secundárias é mantido constante e igual a 2,5m. O

modelo estrutural possui colunas com uma altura de 4m. As vigas que se apoiam sobre pilares são ditas vigas principais, e aquelas que se apoiam sobre vigas principais são chamadas de vigas secundárias.

Ressalta-se que foram desenvolvidos quatro modelos estruturais, a saber: no primeiro modelo estrutural (Modelo I), considera-se apenas o piso misto, sem levar em consideração a rigidez real das colunas; no segundo modelo (Modelo II), a rigidez real das colunas foi considerada; no terceiro modelo estrutural (Modelo III), os pilares são considerados com as suas respectivas projeções para o segundo pavimento; e, finalmente, no quarto e último modelo (Modelo IV) considera-se um sistema estrutural com dois pavimentos, pé-direito de 4,0m.

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam a planta baixa e a seção transversal do modelo estrutural estudado. E para uma melhor compreensão da estrutura, as Figuras 5.3 e 5.4 ilustram respectivamente uma planta baixa e uma seção transversal genérica do piso. A área rachurada na Figura 5.1 representa um exemplo de uma seção genérica de um painel do piso misto, conforme ilustrado nas Figuras 5.3 e 5.4.

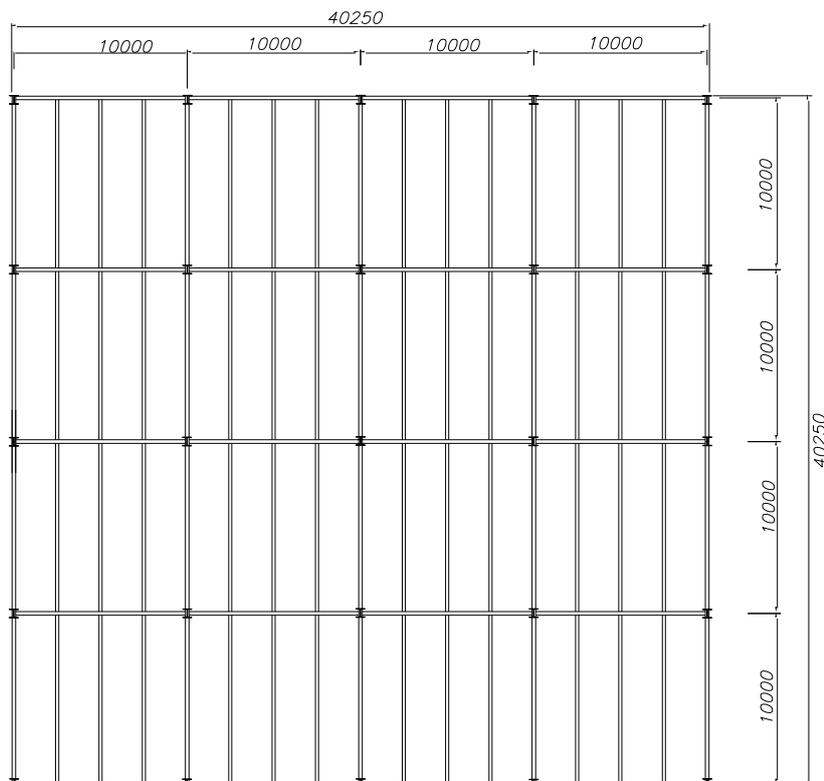


Figura 5.1 – Planta baixa do piso misto investigado. Cotas em (mm).

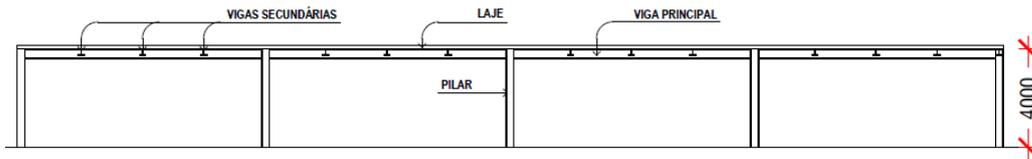


Figura 5.2 - Seção transversal típica. Cotas em (mm).

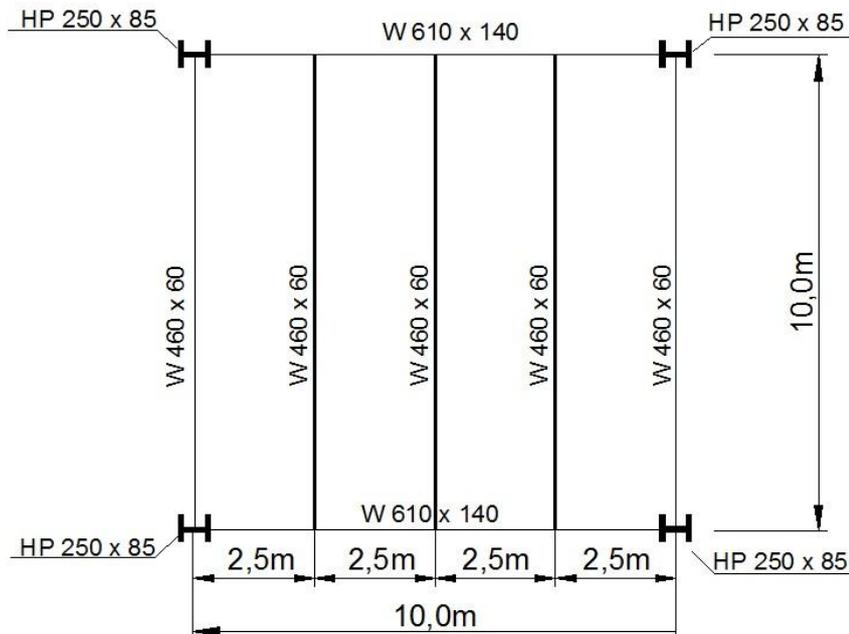


Figura 5.3 – Planta baixa genérica do painel do piso em estudo.

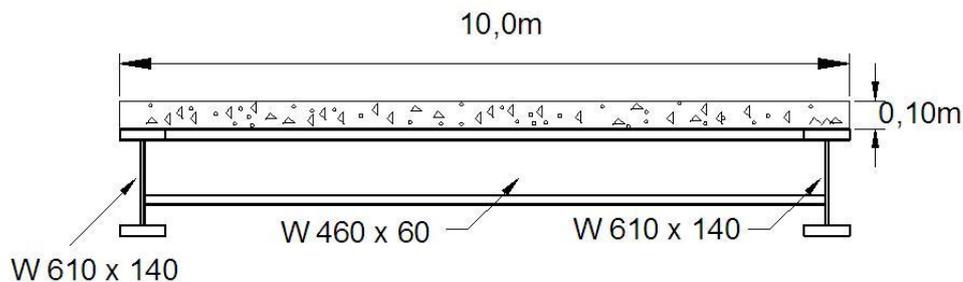


Figura 5.4 – Seção transversal genérica do painel do piso em estudo.

Como se pode verificar nas Figuras 5.3 e 5.4, os perfis metálicos são do tipo “W”, constituídos por um aço com limite de escoamento de 345MPa, coeficiente de Poisson de 0,3, massa específica de 7850kg/m^3 e o módulo de elasticidade considerado foi igual a 205GPa. A laje de concreto possui espessura de 0,10m, resistência característica a compressão de 30MPa, módulo de elasticidade igual a 26GPa, coeficiente de Poisson de 0,2 e massa específica de 2500kg/m^3 . A Figura 5.5 ilustra a perspectiva do modelo do piso misto e a Tabela 5.1 apresenta as propriedades geométricas dos perfis de aço.

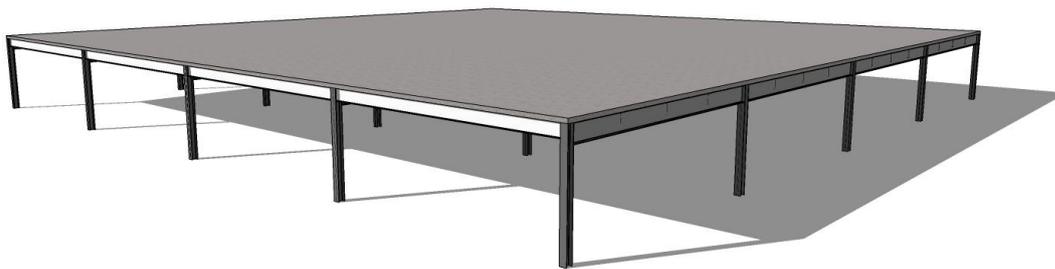


Figura 5.5 – Perspectiva do modelo de piso misto (aço-concreto).

Tabela 5.1 - Características geométricas das vigas e colunas do piso misto (dimensões em mm).

Tipo de perfil	Altura (d)	Largura da Mesa (bf)	Espessura da Mesa Superior (tf)	Espessura da Mesa Inferior (tf)	Espessura da Alma (tw)
Viga: W 610 x 140	617	230	22,2	22,2	13,1
Viga: W 460 x 60	455	153	13,3	13,3	8,0
Coluna: HP 250 x 85	254	260	14,4	14,4	14,4

Em se tratando das ligações estruturais existentes no modelo estrutural, sabe-se que essas são consideradas como sendo, do tipo, rígidas, semirrígidas e flexíveis (ligações viga-viga) e servem para conectar as vigas secundárias às vigas principais. E com relação às ligações viga-coluna, essas são do tipo, rígidas e semirrígidas, apenas em relação ao eixo de maior inércia dos pilares, conforme ilustrado na Figura 5.6.



a) Ligações viga-viga Oliveira (2005)



b) ligações viga-coluna Lima (2003)

Figura 5.6 - Vistas das ligações. Viga-viga e viga-coluna.

Convém mencionar que, para simular o comportamento das ligações semirrígidas, o conhecimento da curva momento *versus* rotação de uma ligação, é imprescindível para que sua influência possa ser considerada na análise

estrutural. Tal fato irá facilitar a calibração dos modelos numéricos desenvolvidos neste trabalho de pesquisa para análise do conforto humano, com base na consideração dos modelos mistos em regime de interação parcial e total.

Destaca-se, que neste trabalho de pesquisa, a rigidez inicial empregada para a modelagem das ligações viga-coluna foi considerada como sendo igual a 20kNmm/rad (20000Nm/mrad) (Carvalho 1997). Para as ligações viga-viga, esta rigidez inicial foi tomada como sendo da ordem de 15kNmm/rad (15000Nm/mrad) (Oliveira 2005).

Ressalta-se, ainda, que segundo o Eurocode 3 (1993), uma ligação estrutural viga-coluna pode ser classificada como semirrígida se atender os limites estabelecidos pela equação (5.1):

$$\frac{K_b E_b}{L_b} \geq S_{j,ini} \geq \frac{0,5 E_b}{L_b} \quad (5.1)$$

Onde:

$S_{j,ini}$: rigidez inicial à rotação da ligação;

E_b : rigidez à flexão da viga conectada;

L_b : vão da viga conectada.

K_b : valor médio de I_b/L_b para todas as vigas no topo do pavimento.

Sendo que $K_b=8$ para pórticos indeslocáveis, onde o contraventamento reduz os deslocamentos horizontais no mínimo em 80%, ou $K_b=25$ para pórticos deslocáveis, desde que $K_b/K_c \geq 0,1$, sendo K_c o valor médio de I_c/L_c para todas as colunas do pavimento.

Para as ligações do modelo estrutural investigado têm-se os seguintes limites para as ligações viga-coluna e ligações viga-viga, de acordo com as equações (5.2) e (5.3), respectivamente:

$$65\text{kNmm/rad} \geq S_{j,ini} \geq 5\text{kNmm/rad} \quad (5.2)$$

$$600\text{kNmm/rad} \geq S_{j,ini} \geq 11\text{kNmm/rad} \quad (5.3)$$

As representações das curvas momento *versus* rotação utilizadas nesta investigação podem ser visualizadas nas Figuras 5.7 e Figura 5.8.

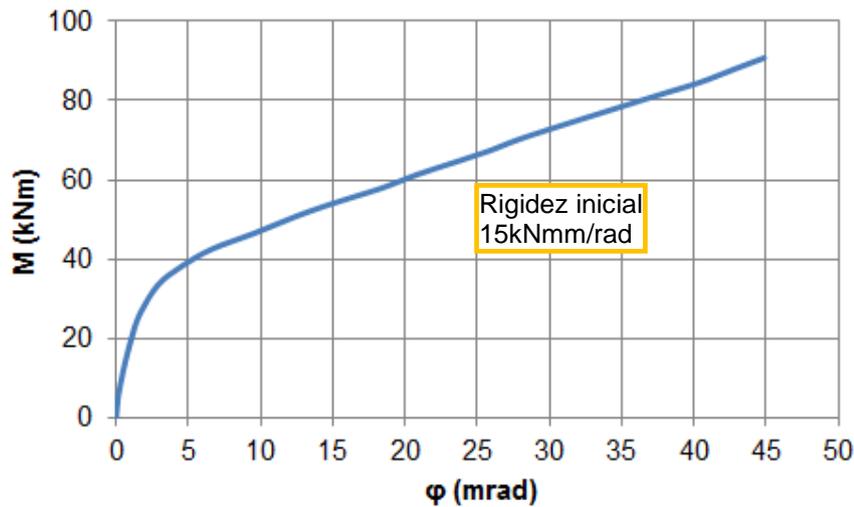


Figura 5.7 - Curva momento *versus* rotação das ligações viga-viga semirrígidas Oliveira (2005).

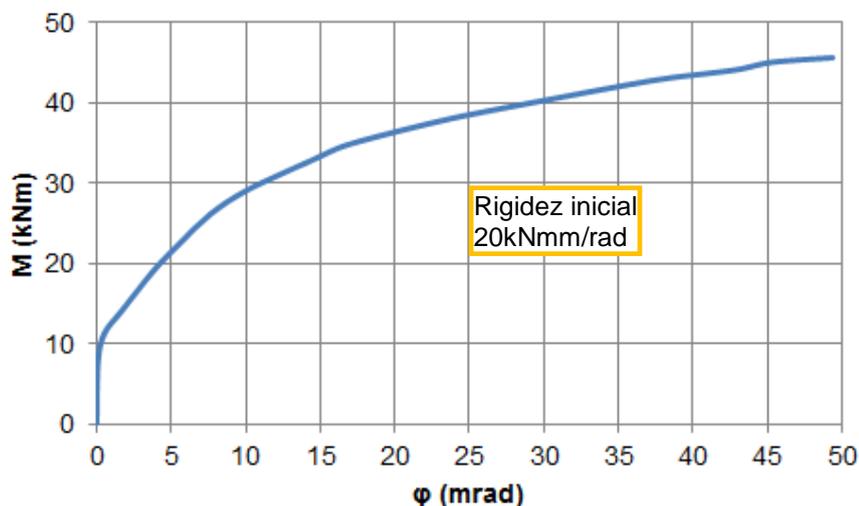


Figura 5.8 - Curva momento *versus* rotação das ligações viga-coluna semirrígidas Carvalho (1997).

Sobre a resposta dinâmica não linear de pisos mistos, foram considerados, neste estudo, conectores do tipo pino com cabeça (*stud bolt*) e os perfobond. Pela Figura 5.9, pode-se observar a posição ocupada pelos conectores de cisalhamento na interface laje-viga quando composta por forma de aço incorporada à laje. Foram utilizados aqui os conectores Studs de 13mm, 16mm e 19mm, com rigidez inicial variando de 65kN/mm até 200kN/mm (Tristão 2002, Lam et al. 2007 e Ellobody 2005). Com relação ao conector do tipo Perfobond foi empregado o modelo P-2F-120, com rigidez inicial adotada da ordem de 2400kN/mm, Vianna (2009).



a) Stud bolts



b) Perfobond

Figura 5.9 - Conectores de cisalhamento do tipo Stud bolts e Perfobond, Vianna, (2009).

As Figuras 5.10 a 5.13 apresentam as curvas força *versus* deslizamento, obtidas a partir de ensaios experimentais (Tristão 2002, Ellobody 2005, Lam *et al.* 2007, Vianna, 2009) no que diz respeito aos diferentes tipos de conectores de cisalhamento empregados neste trabalho de pesquisa.

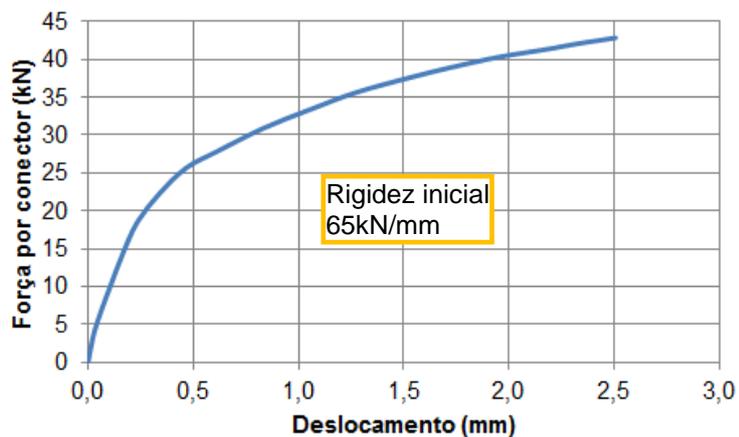


Figura 5.10 - Curva força x deslizamento dos conectores de cisalhamento para o conector do tipo Stud 13mm Tristão (2002).

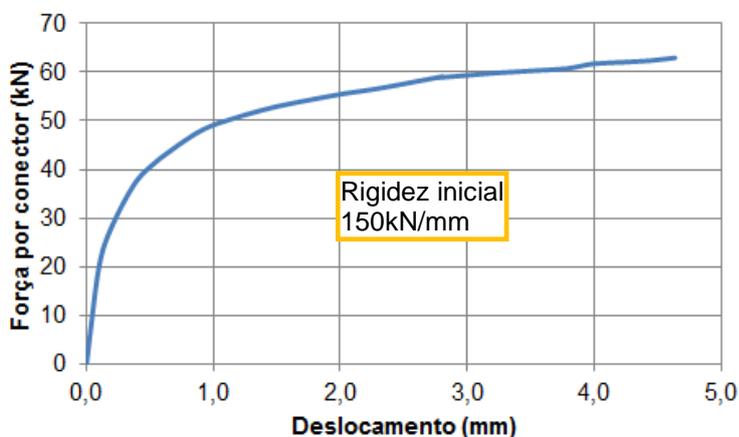


Figura 5.11 - Curva força x deslizamento dos conectores de cisalhamento. para o conector do tipo Stud 16mm, Lam *et al.* (2007).

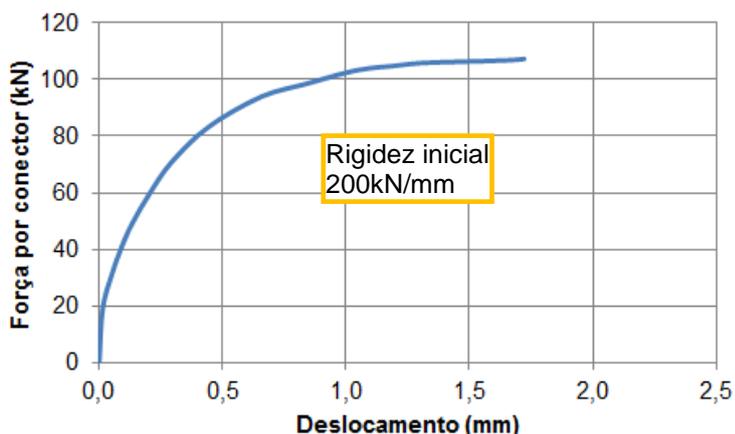


Figura 5.12 - Curva força x deslizamento dos conectores de cisalhamento. para o conector do tipo Stud 19mm, Ellobody (2005).

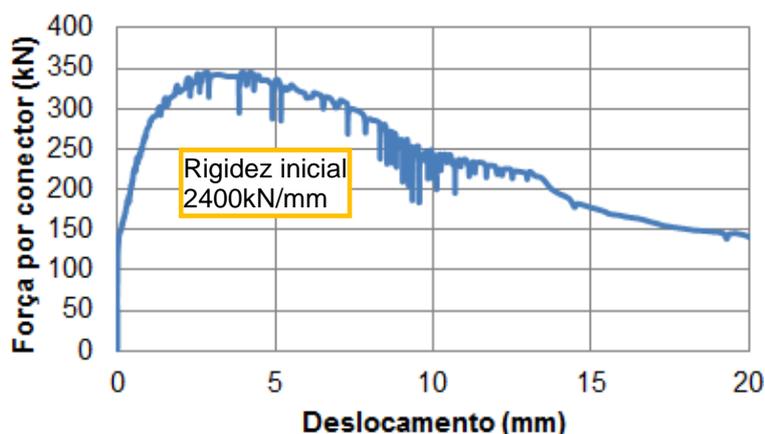


Figura 5.13 - Curva força x deslizamento dos conectores de cisalhamento. para o conector do tipo Perfobond, Vianna (2009).

A Tabela 5.2 apresenta o número de conectores utilizado em cada viga de aço, de forma a se garantir a compatibilidade de deformações entre os nós dos elementos de placa, representativos da laje de concreto e os elementos de viga tridimensionais, simulando o comportamento de um sistema estrutural misto (aço-concreto), com interação total.

Tabela 5.2. Características e quantidade de conectores utilizados

Tipo de Conector	f_{ck} (MPa)	Rigidez Inicial (kN/mm)	Referências Utilizadas	Número de Conectores por Viga	
				Vigas Secundárias	Vigas Principais
Stud 13mm	20	65	Tristão (2002)	112	180
Stud 16mm	30	150	Lam <i>et al.</i> (2007)	72	116
Stud 19mm	34,6	200	Ellobody (2005)	50	80
Perfobond	43,9	2400	Vianna (2009)	16	26

As estruturas estudadas neste trabalho serão submetidas, correntemente, a carregamentos induzidos por seres humanos, associados a atividades rítmicas para análise do conforto humano. O modelo de piso misto aço-concreto analisado neste trabalho foi verificado quanto ao método do estado-limite. Entretanto, os cálculos não foram apresentados, visto que o principal objetivo deste trabalho é a análise do comportamento dinâmico do piso.

5.3

Esquema da aplicação das cargas

São consideradas ao longo do estudo duas situações de carregamento: estático e dinâmico. O carregamento estático leva em consideração as ações permanentes (peso próprio e revestimento) e acidentais (está em função do uso da construção). No que diz respeito ao carregamento dinâmico oriundo de atividades humanas, pode-se considerar o carregamento periódico, ou seja, a variação da carga é repetida por vários ciclos sucessivos. Trata-se de um carregamento em que a magnitude, direção e posição podem variar ao longo do tempo. Tal comportamento faz com que as respostas do sistema estrutural, em termos de deslocamento, velocidade e aceleração também variem ao longo do tempo.

5.3.1

Carregamento estático

Foi considerado o peso próprio da estrutura, a carga permanente de revestimento e divisórias no piso de 1,1 kN/m² e 1,8 kN/m², respectivamente. (NBR 6120). A parcela de carga acidental utilizada foi de 5 kN/m² (salão de danças). Esse carregamento foi aplicado nos diferentes sistemas estruturais utilizados nesta análise. Com o objetivo de comparar as diferenças entre os modelos, foram analisados os momentos fletores máximos (positivos e negativos) nas vigas principais e secundárias, bem como os deslocamentos do piso. A planta baixa esquemática do piso com os nós escolhidos para a obtenção dos deslocamentos é mostrada na Figura 5.14.

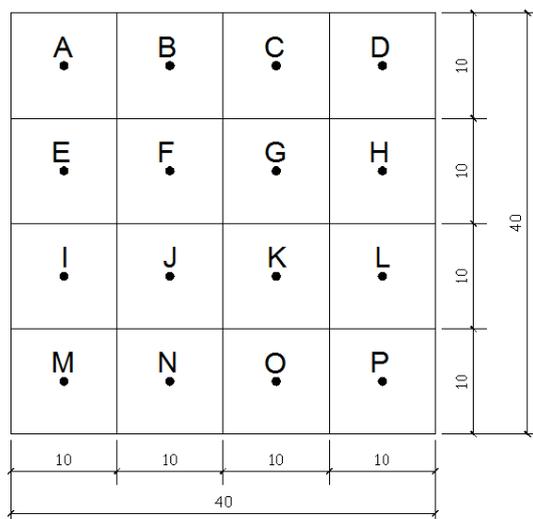


Figura 5.14 - Nós do modelo para a análise estática (dimensões em metros).

5.3.2 Carregamento dinâmico

Com o intuito de avaliar a influência da vibração em toda área do piso, foram considerados três casos de carregamentos dinâmicos, sobre os modelos estruturais correspondentes a 16 pessoas e 32 pessoas, conforme apresentado nas Figuras 5.15 a 5.17, que ilustram detalhadamente todos os esquemas em planta, a distribuição das pessoas e seu posicionamento sobre o piso. As ações dinâmicas induzidas pelos seres humanos analisadas neste trabalho, ginástica aeróbica e saltos à vontade, são aplicadas sobre o piso, variando-se a aplicação do carregamento em setores. A parte rachurada das Figuras 5.15 a 5.17 correspondem ao setor de aplicação do carregamento. Para tanto, as leituras dos deslocamentos e acelerações serão tomadas nos nós centrais dos painéis indicados.

A incorporação das colunas no modelo computacional visa obter uma situação mais real em termos de projeto, no que tange a rigidez na ligação viga-coluna. As ligações viga-coluna são consideradas como sendo rígidas e semirrígidas, considerando sempre o eixo de maior inércia. Pois, com as ligações semirrígidas, viga-viga e viga-pilar, haverá um acréscimo de rigidez proporcionado pelo aumento nas frequências naturais nos primeiros modos de vibração da nova concepção estrutural em comparação com a solução mais tradicional com vigas rotuladas. A distribuição foi feita utilizando uma taxa e ocupação da ordem de 0,25 pessoas/m² centradas no painel de laje. Foi considerado, ainda, que o peso de uma pessoa é igual a 800N.

