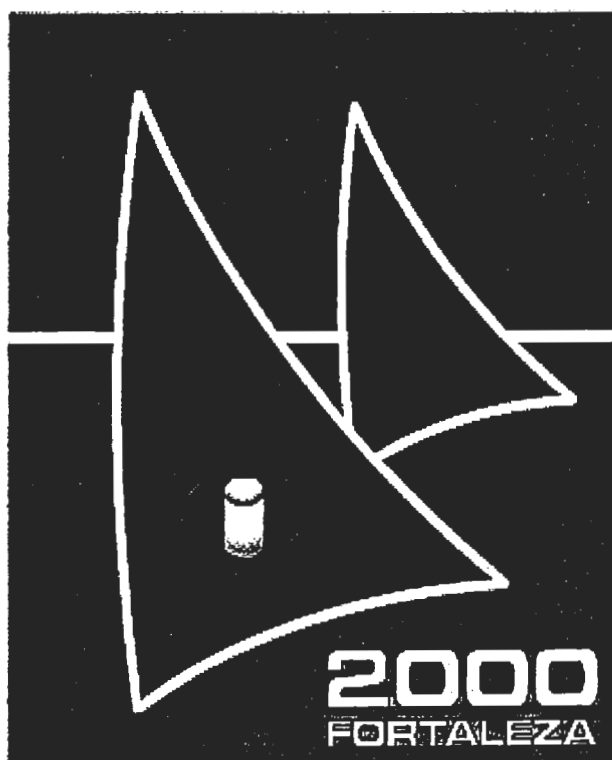


42º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO



**13 A 18 DE AGOSTO
Centro de Convenções
do Ceará**

Realização:



IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - casa 44

cep: 05508-901 - São Paulo - SP

Telefax: (11) 3714-2149

(11) 3765-0099

Site: <http://www.ibracon.org.br>

e-mail: office@ibracon.org.br

Produzido por Arte Interiores
com o apoio da IBRACON 2000

INTERAÇÃO NÚCLEO ESTRUTURAL E LAJES DE PAVIMENTOS

Helena Maria Cunha do Carmo Antunes *

e-mail: helenas@sc.usp.br

Edgard Sousa Junior *

e-mail: edgardjr@sc.usp.br

Carlos Humberto Martins *

e-mail: hmartins@sc.usp.br

* Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Engenharia de Estruturas

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP 13560-250,

São Carlos - SP, Brasil

A636 i

RESUMO

Neste trabalho, será apresentada a análise de um edifício que possui um núcleo estrutural como estrutura de enrijecimento. O núcleo estrutural deste edifício será discretizado com elementos de casca e com elementos de núcleo. Depois, será feita uma análise levando em consideração a contribuição da espessura da laje deste edifício. Será apresentada a comparação dos cálculos deste edifício em que a laje foi considerada como diafragma rígido e discretizada com elementos de casca. Como resultado de várias análises com a laje discretizada com elementos de casca e variando sua espessura, conclui-se que é necessário desenvolver um modelo de discretização de edifícios altos onde haja interação de elementos de núcleo com elementos de placa.

1 INTRODUÇÃO

Os edifícios altos e os muito esbeltos precisam de uma estrutura especial de enrijecimento para que possam resistir aos esforços horizontais. Ou seja, eles não podem ser formados por apenas elementos estruturais usuais como pilares, vigas e lajes.

Essas estruturas especiais podem ser barras diagonais dispostas de tal forma que venham a enrijecer o pórtico tridimensional. Porém, esta técnica é mais simples de ser aplicada quando a estrutura do edifício é formada por perfis metálicos. Para os edifícios de

1106898

061200

SYSNO	1106898
PROD	-000377
ACERVO EESC	

concreto armado, o detalhamento das ferragens nos nós que recebem vigas, pilares e barras diagonais, torna-se complexo tanto na fase de projeto como na execução, o que pode induzir a uma estrutura antieconômica.

Um outro arranjo estrutural usado para enrijecer edifícios altos são as estruturas tubulares, em que os pilares periféricos são pouco espaçados, conectados rigidamente ao nível dos pisos por lintéis, que são vigas de grande altura em relação ao vão. Desta forma, pode-se fazer uma analogia a um tubo oco com grande número de orifícios em sua superfície. O inconveniente desta técnica é que a planta do edifício não pode ser muito complexa, de preferência deve ser retangular, limitando o projeto arquitetônico.

Uma terceira técnica muito utilizada nos projetos estruturais para enrijecer as estruturas dos edifícios altos é a utilização de núcleos estruturais de concreto armado. Estes são formados por uma combinação tridimensional de pilares-parede formando uma seção transversal aberta ou semifechada. Com esta técnica os projetos arquitetônicos ficam mais livres, já que os núcleos podem ser localizados nos poços dos elevadores ou das escadas. Frequentemente, a posição do núcleo estrutural causa assimetria à estrutura do edifício e com isso, quando o edifício recebe o carregamento horizontal, surgem efeitos de flexão e torção que devem ser considerados no cálculo dos núcleos estruturais.

A verificação dos núcleos de rigidez pode ser feita utilizando-se a Técnica do Meio Contínuo ou processos discretos como o Método dos Elementos Finitos ou a Técnica Matricial com o Processo dos Deslocamentos.

A Técnica do Meio Contínuo tem como vantagem o número reduzido de parâmetros de entrada de dados. Para um núcleo estrutural que apresenta características elásticas e geométricas constantes ao longo da altura, pode-se até mesmo dispensar o uso de computadores. Nesta técnica, o núcleo estrutural é substituído por um meio contínuo equivalente, uniformemente distribuído ao longo de toda a altura do núcleo. As lajes do edifício são consideradas como diafragmas rígidos para compatibilizar os deslocamentos horizontais. O comportamento do modelo estrutural é expresso por meio de uma equação diferencial ou por um sistema de equações diferenciais, que podem ser resolvidos por integração direta ou por processos numéricos. Uma das desvantagens que a Técnica do Meio Contínuo apresenta para o cálculo de núcleos estruturais é a definição de um modelo arquitetônico que seja o mais uniforme possível, pois para cada variação da arquitetura é preciso definir uma equação diferencial. Esta técnica introduz perturbações junto à base e ao topo que não podem ser desprezadas em edifícios com pouca altura. Por isso, ela se aplica

aberta ou semi-aberta. A Figura 01 mostra um elemento de núcleo com os seus graus de liberdade. A matriz de rigidez deste elemento já foi apresentada por vários pesquisadores como TARANATH (1968), TARANATH (1975), BECKER (1989), MORI (1992), MATIAS JUNIOR (1997) e outros. Ela é baseada na teoria de flexo-torção, ou teoria de vigas de parede fina com seção aberta, apresentada por VLAZOV (1961).

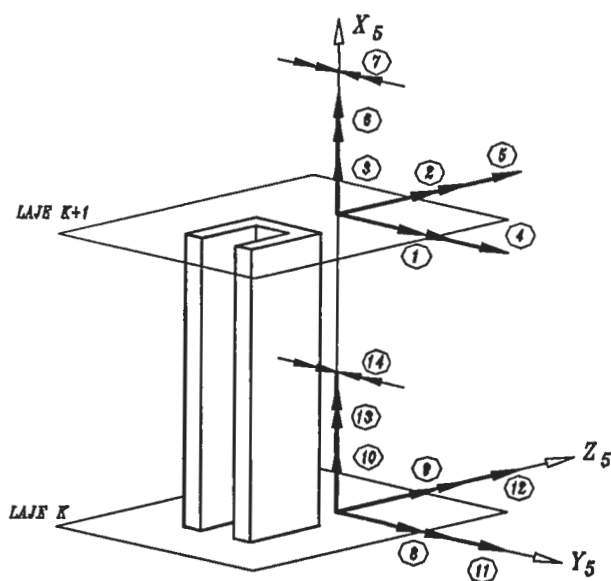


Figura 01 - Elemento de núcleo e seus graus de liberdade nodal

2 MODELAGEM DE UM EDIFÍCIO COM NÚCLEO ESTRUTURAL

Obteve-se uma discrepância entre o cálculo do núcleo estrutural discretizado com elementos de casca e o cálculo do núcleo estrutural modelado com elementos de núcleo. O modelo com elementos de casca ficou mais rígido do que o modelo com elementos de núcleo. Isto se deve, talvez, porque o elemento finito de casca empregado na modelagem não leva em consideração a deformação a cortante. Já o elemento de núcleo leva em consideração a existência do bimomento, que provoca o surgimento de esforços adicionais no plano da parede do núcleo estrutural.

Modelou-se um edifício simples obtido de SILVA (1989). O prédio é de concreto armado com 15 pavimentos e 4 m de pé direito. Possui dez pilares e um núcleo estrutural. As

melhor em edifícios altos. Outra desvantagem desta técnica é que a variação do carregamento ao longo da altura torna os cálculos mais complexos.

Os processos discretos consistem em subdividir a estrutura em elementos mais simples interligados entre si através dos nós. A matriz de rigidez de cada elemento tem que ser conhecida, e assim, é possível montar a matriz de rigidez global da estrutura. Com este procedimento, os processos discretos possibilitam o cálculo de estruturas com variadas disposições arquitetônicas e de carregamentos e, ainda, tornam-se mais simples o desenvolvimento de algoritmos para implementar programas de computador que calculam estruturas. A grande desvantagem dos processos discretos está no grande número de parâmetros de entrada de dados. Mas, com o avanço da computação gráfica, já foram desenvolvidas técnicas de geração de malhas que minimizam a possibilidade de erros de entrada de dados e agilizam o processo de discretização de uma estrutura. Tratar os núcleos estruturais discretizados com elementos de casca, com seis graus de liberdade nodal, aumentaria muito o tamanho da matriz de rigidez global da estrutura, visto que as lajes também teriam que ser discretizadas com elementos de casca para compatibilizar os deslocamentos e não com elementos de placa, com apenas três graus de liberdade nodal. Desta forma, o número de parâmetros de entrada de dados pode dificultar a utilização deste processo de cálculo. Mais adiante, neste trabalho, veremos que calcular um núcleo estrutural discretizado com elemento de núcleo, ou seja, elemento de barra com sete graus de liberdade nodal, e calcular o mesmo núcleo discretizado com elementos de casca, obtém-se uma discrepância nos resultados finais.

Neste trabalho, será apresentada a análise de um edifício que possui um núcleo estrutural como estrutura de enrijecimento. O núcleo estrutural deste edifício será discretizado com elementos de casca e com elementos de núcleo. Depois, será feita uma análise levando em consideração a contribuição da espessura da laje deste edifício. Será apresentada a comparação dos cálculos deste edifício em que a laje foi considerada como diafragma rígido e discretizada com elementos de casca. Como resultado de várias análises com a laje discretizada com elementos de casca e variando sua espessura, conclui-se que é necessário desenvolver um modelo de discretização de edifícios altos onde haja interação de elementos de núcleo com elementos de placa. O elemento de núcleo é um elemento de barra que considera três deslocamentos e três rotações referentes aos três eixos cartesianos, mais o sétimo grau de liberdade que é a consideração do esforço bimomento. A consideração do bimomento tem como efeito o empenamento do núcleo. O elemento de núcleo pode ter uma seção qualquer formada por retas e curvas, a única exigência é que esta seção tem que ser

vigas e pilares possuem seção transversal de 20 cm x 60 cm e 25 cm x 50 cm respectivamente. O núcleo tem seção transversal em forma de U com paredes de 15 cm de espessura. Os módulos de elasticidade longitudinal e transversal são 2.000 kN/cm² e 800 kN/cm² respectivamente. A planta baixa do pavimento é mostrada na Figura 02 em que se pode observar mais detalhes da disposição dos elementos estruturais.

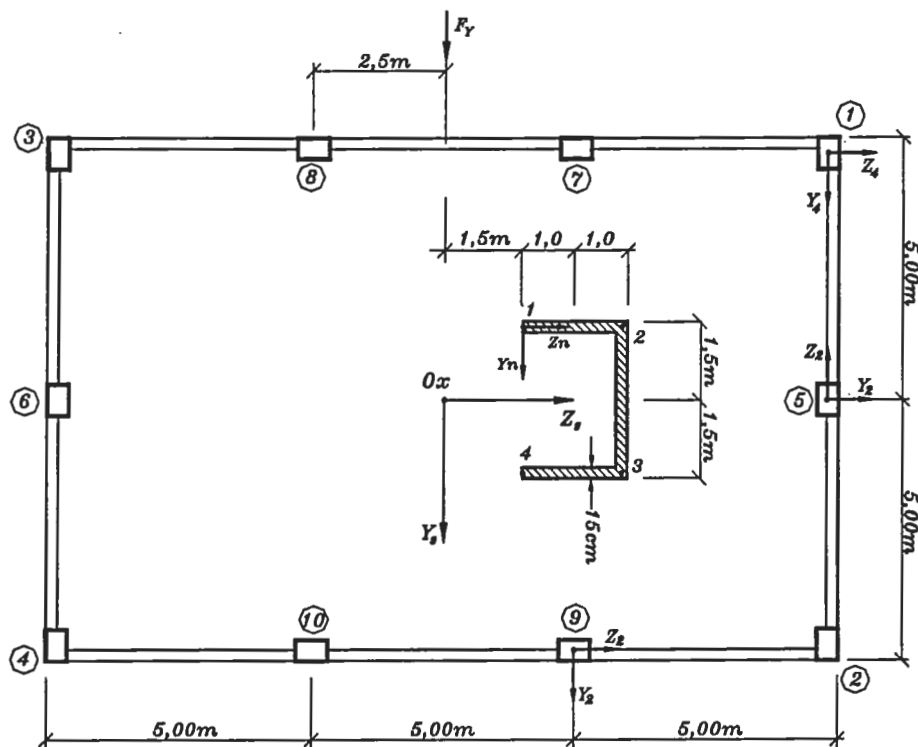


Figura 02 - Planta baixa do edifício

O carregamento no edifício obedece as seguintes disposições:

Ações aplicadas no último pavimento:

- Cargas uniformemente distribuídas ao longo das vigas: 10 kN/m
- Cargas aplicadas nos pontos 1, 2, 3 e 4 situados na seção transversal do núcleo:

Ponto 1 - 35 kN

Ponto 2 - 90 kN

Ponto 3 - 90 kN

Ponto 4 - 35 kN

- Ação horizontal aplicada na direção e sentido do eixo Y_g : 25.5 kN

Ações aplicadas nos demais pavimentos:

- Cargas uniformemente distribuídas ao longo das vigas: 20 kN/m
- Cargas aplicadas nos pontos 1, 2, 3 e 4 situados na seção transversal do núcleo:

Ponto 1 - 70 kN

Ponto 2 - 180 kN

Ponto 3 - 180 kN

Ponto 4 - 70 kN

- Ações horizontais aplicadas na direção e sentido do eixo Y_g : 51 kN

A primeira análise do edifício foi feita no programa de elementos finitos ANSYS. Ela foi denominada NUCLEO_CASCA. O núcleo estrutural do edifício foi discretizado com o elemento finito de casca **SHELL 63** do ANSYS. A laje, também foi discretizada com o mesmo elemento, e a espessura adotada para a laje foi a mesma das paredes do núcleo, 15 cm. As vigas e pilares foram modelados com o elemento de barra 3D **BEAM 4** do ANSYS. A Figura 03 mostra o edifício discretizado e a Figura 04 mostra alguns detalhes do carregamento aplicado no edifício.

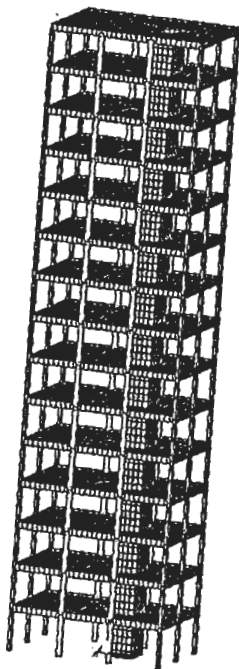


Figura 03 - Edifício discretizado

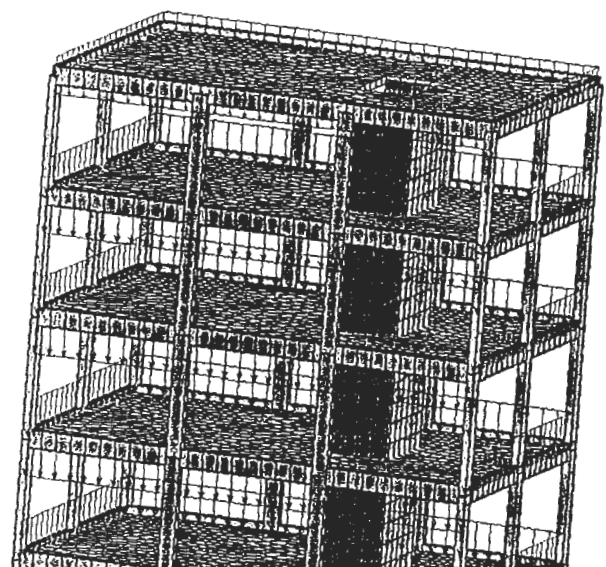


Figura 04 - Carregamento aplicado no edifício

A segunda análise, denominada NUCLEO_BARRA, foi feita em um programa de análise de edifícios altos que está sendo desenvolvido pelos autores. Neste programa, o pórtico espacial foi discretizado com elementos tridimensionais de barra. O núcleo estrutural, com elemento de núcleo com sete graus de liberdade nodal. Para cada andar, o núcleo foi modelado com apenas um elemento com comprimento igual ao pé direito, 4 m. As lajes foram consideradas como diafragma rígido, ou seja, é como se fossem uma membrana totalmente rígida em seu plano e sem resistência alguma a flexão.

Na Tabela 01 têm-se o resultado comparativo destas duas análises. É mostrada a translação em Y, em centímetros. Isto é, têm-se o quanto o edifício se deslocou na horizontal, no sentido do eixo global Y. O eixo global Y foi o eixo no qual se obteve o maior deslocamento horizontal porque ele coincide com o sentido do carregamento horizontal aplicado na estrutura.

	NUCLEO_CASCA	NUCLEO_BARRA
Pavimento	Translação Y	Translação Y
0 (base)	0,00	0,00
1	0,75	0,51
2	1,94	1,49
3	3,23	2,68
4	4,53	4,00
5	5,81	5,41
6	7,05	6,85
7	8,23	8,30
8	9,34	9,87
9	10,38	11,12
10	11,33	12,44
11	12,20	13,70
12	12,97	14,89
13	13,65	16,00
14	14,25	17,05
15 (topo)	14,76	18,05

Tabela 01 - Deslocamentos da estrutura

A Tabela 01 é mostrada graficamente na Figura 05. Pode-se ver que a estrutura NUCLEO_CASCA é mais rígida do que a estrutura NUCLEO_BARRA. Isto se deve a duas hipóteses. Primeiro, o núcleo estrutural da estrutura NUCLEO_CASCA foi discretizado com elementos de casca. O núcleo estrutural da estrutura NUCLEO_BARRA foi discretizado com elementos de núcleo. Pode-se concluir que discretizar o núcleo estrutural com elementos de casca não é uma boa representação, visto que, os elementos de núcleo foram aferidos com ensaios em laboratórios por TARANATH (1968) e obteve-se bons resultados. A segunda hipótese desta discrepância de valores é porque, na estrutura NUCLEO_CASCA, a laje foi discretizada com elementos de casca, que possuem resistência a flexão. Na estrutura NUCLEO_BARRA, a laje foi modelada como diafragma rígido, sem resistência a flexão. A consideração da resistência a flexão da laje pode ter provocado esta diferença nos deslocamentos dos modelos analisados.

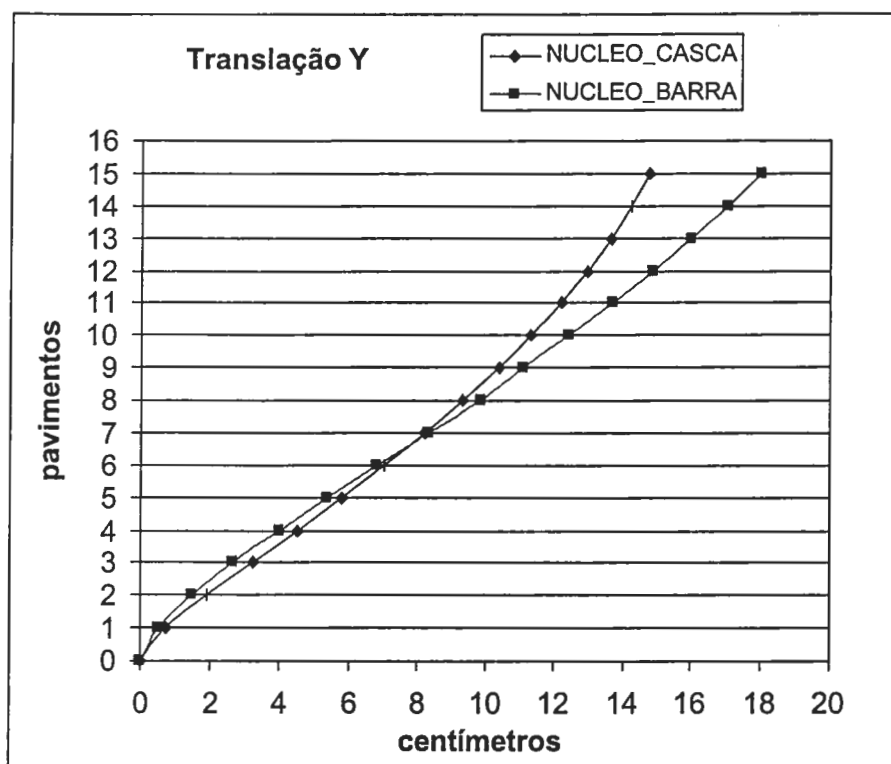


Figura 05 - Representação gráfica da Tabela 01

Para tirar-se a dúvida de qual destas duas hipóteses é a que mais influenciou na diferença dos resultados, foram feitos mais dois estudos. Primeiro, foi feito o cálculo de uma estrutura composta por apenas um núcleo estrutural. Este núcleo foi discretizado com elementos de casca em uma análise, e com elementos de núcleo em outra. No segundo estudo, foi feita uma análise da variação da espessura da laje para verificar o quanto a flexão da laje enrijece a estrutura do edifício.

3 MODELAGEM DO NÚCLEO ESTRUTURAL

A partir da estrutura analisada anteriormente, eliminou-se o pórtico espacial e ficou-se apenas com o núcleo estrutural. As cargas verticais aplicadas na seção transversal do núcleo permaneceram as mesmas do exemplo anterior. As cargas horizontais, adaptadas do exemplo anterior, foram decompostas em duas, um momento e uma carga horizontal, e foram aplicadas no centro de gravidade do núcleo. Com esta segunda estrutura idealizada, foram feitas duas

análises. Uma discretizando o núcleo estrutural com elementos de casca e outra modelando o núcleo com 15 elementos de núcleo de 4 metros de comprimento cada um. Esta estrutura, discretizada com elementos de casca, pode ser vista na Figura 06. Os resultados dos cálculos são mostrados na Tabela 02 e na Figura 07, onde a legenda CASCA se refere ao cálculo do núcleo discretizado com elementos de casca e a legenda NÚCLEO, ao cálculo do núcleo modelado com elementos de núcleo.

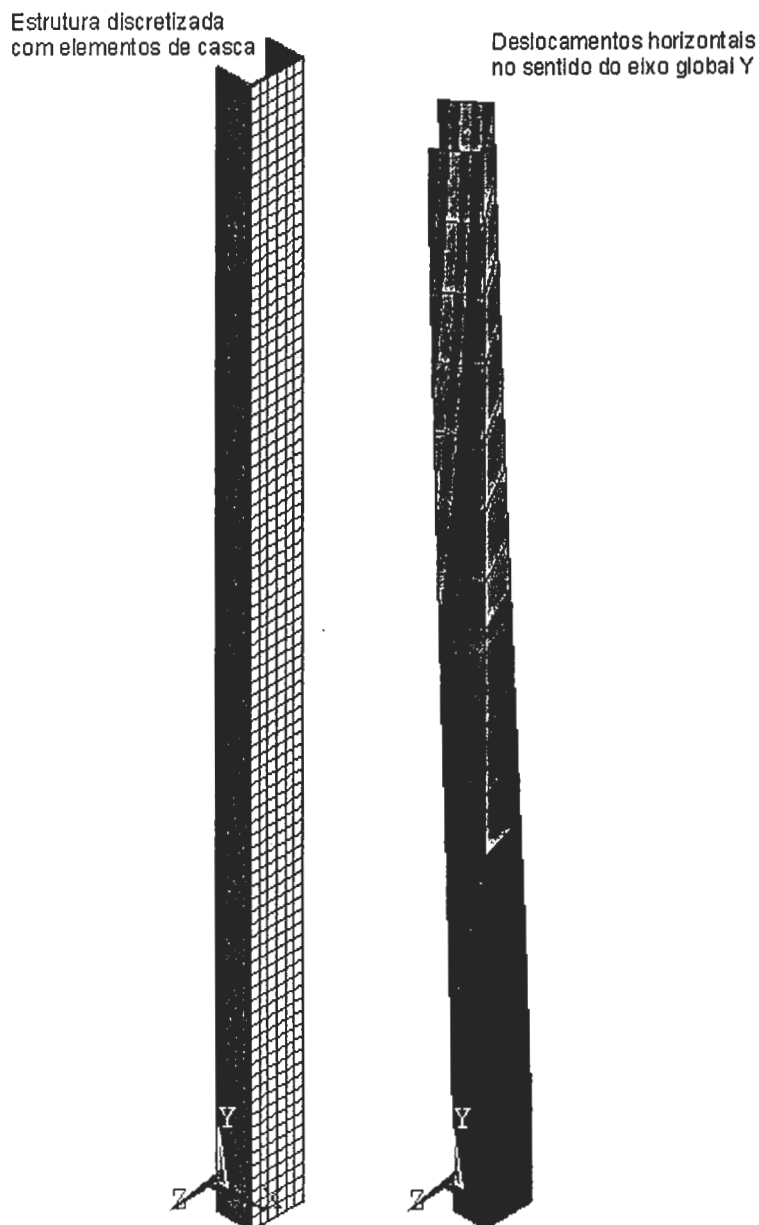


Figura 06 - Estrutura NÚCLEO

Pavimento	Elementos de casca		Elementos de núcleo	
	Translação Y	Rotação X	Translação Y	Rotação X
0 (base)	0	0	0	0
1	0,60	0,0021	0,85	0,0019
2	1,87	0,0061	3,06	0,0067
3	3,67	0,0117	6,18	0,0134
4	5,81	0,0182	9,88	0,0213
5	8,17	0,0253	13,91	0,0298
6	10,65	0,0327	18,06	0,0385
7	13,16	0,0400	22,20	0,0471
8	15,64	0,0472	26,21	0,0553
9	18,05	0,0540	30,03	0,0631
10	20,35	0,0603	33,60	0,0702
11	22,51	0,0661	36,90	0,0766
12	24,53	0,0714	39,94	0,0824
13	26,43	0,0762	42,74	0,0877
14	28,19	0,0805	45,34	0,0925
15 (topo)	29,63	0,0828	47,84	0,0970

Tabela 02 - Deslocamentos do núcleo

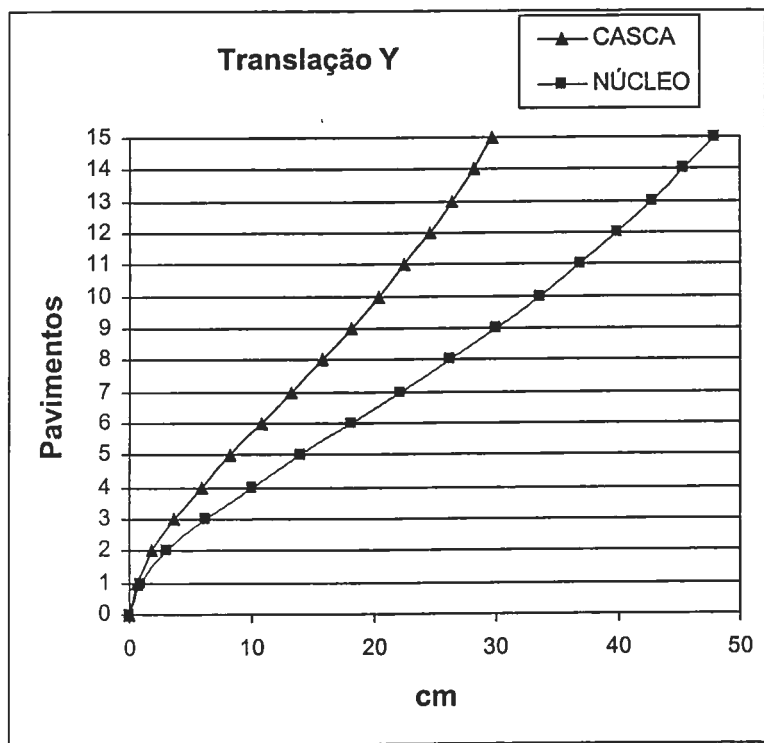


Figura 07 - Representação gráfica das translações Y da Tabela 02

4 INFLUÊNCIA DA LAJE NO ENRIJECIMENTO DO EDIFÍCIO

Para analisar a influência da laje no enrijecimento do edifício, adotou-se a primeira estrutura idealizada do edifício, aquela em que tanto o núcleo quanto a laje foram discretizados com elementos de casca. A única alteração nos cálculos foi a espessura da laje. O cálculo desta estrutura foi feito várias vezes e para cada uma das vezes foi adotado uma espessura diferente para a laje. A Tabela 03 mostra os resultados do deslocamento horizontal das estruturas calculadas para cada espessura de laje adotada, dados em centímetros. A Figura 08 também mostra estes resultados. Com estas análises mostra-se que dependendo da espessura da laje, esta pode influenciar muito no enrijecimento global da estrutura do edifício.

Espessura da laje (cm)	Maior deslocamento horizontal do edifício (cm)
5	18,183
15	14,763
25	12,304

Tabela 03 - Análise da espessura da laje

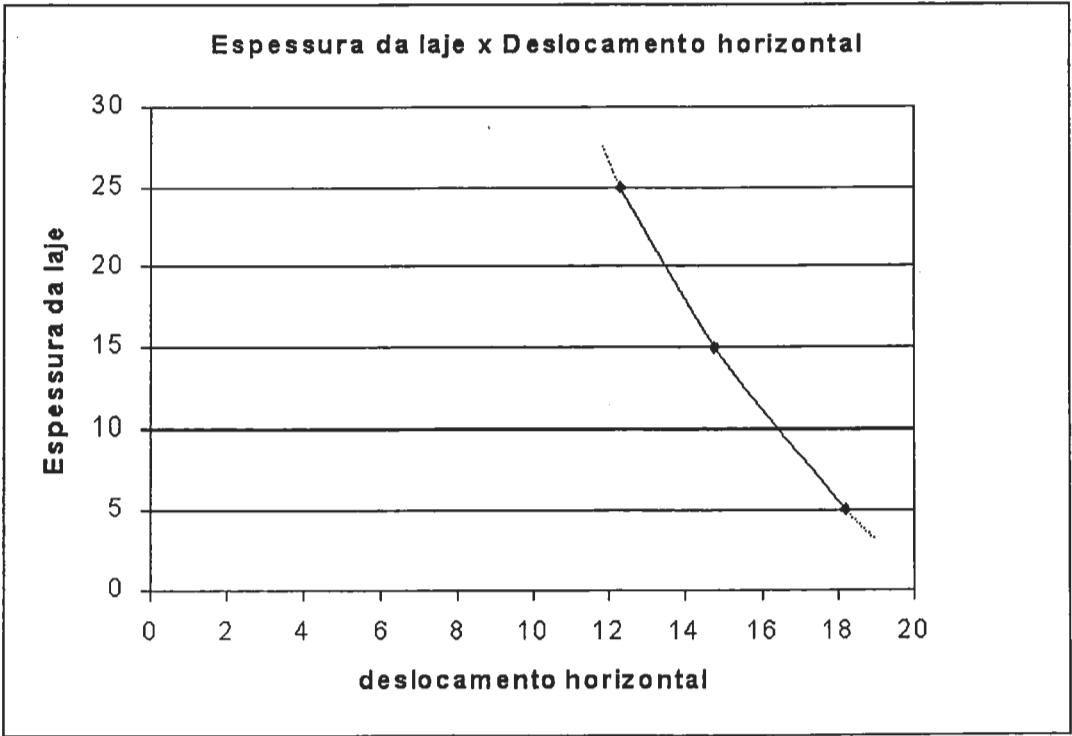


Figura 08 - Representação gráfica da Tabela 03

5 CONCLUSÃO

Pôde-se comprovar que as diferenças obtidas nas análises do edifício apresentado neste trabalho são decorrentes tanto da forma como o núcleo estrutural é modelado quanto como as lajes também são modeladas. Verificou-se que a melhor forma de modelar os núcleos estruturais, sob o ponto de vista da segurança, é usar os elementos de núcleo com sete graus de liberdade nodal. Com o cálculo do núcleo estrutural usando estes elementos obteve-se deslocamentos maiores. Pôde-se comprovar também que não levar em consideração a resistência a flexão das lajes no cálculo total do edifício pode resultar em erros consideráveis. O ideal seria calcular as lajes por elementos finitos e os núcleos estruturais modelados com elementos de núcleo. Este estudo está sendo feito pelos autores.

6 BIBLIOGRAFIA

- BECKER, E. P. (1989). *Edifícios altos: interação tridimensional das peças de contraventamento*. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MATIAS JUNIOR, I. G. (1997). *Análise não linear de estruturas tridimensionais de edifícios altos com núcleos resistentes sobre fundações flexíveis*. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MORI, D. D. (1992). *Os núcleos estruturais e a não linearidade geométrica na análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos*. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, R. M. (1989). *Análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos com núcleos resistentes considerando o efeito P-Δ*. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TARANATH, B. S. (1968). *Torsional behavior of open section shear wall structures*. Southampton, England, University of Southampton.
- TARANATH, B. S. (1975). Analysis of interconnected open section shear wall structures. *Journal of the Structural Division*, p. 2367-2384, November.
- VLAZOV, V. Z. (1961). *Thin walled elastic beams*. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem.