

**ANÁLISE COMPARATIVA PELO MÉTODO DOS  
ELEMENTOS FINITOS DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS  
DE UM EDIFÍCIO ALTO EM CONCRETO ARMADO COM  
SISTEMA ESTRUTURAL TUBULAR E NÚCLEO CENTRAL**

**Francisca Jaquelma Benigno Silva**

*À minha família Jessé, Graça e Jackson  
e ao Samuel.  
Presentes em todas as horas de minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por estar sempre comigo.

Ao meu orientador, professor Alcebíades de Vasconcellos Filho. Agradeço seu estímulo constante e sua dedicação de tempo e energia em ler e discutir as diversas versões do trabalho, desde o projeto até a versão final. Mais do que sua dedicação e atenção, seus questionamentos foram indispensáveis na elaboração dessa dissertação. Sou muito grata pelos conhecimentos e experiência transmitidos, pela atenção, pela paciência e sensibilidade, com as quais valorizou minhas pequenas conquistas, no desafio de me fazer acreditar na possibilidade deste projeto ser viabilizado.

À CAPES pelo benefício da bolsa para curso de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, aos professores do Curso, pelos ensinamentos que foram de grande valia na realização deste trabalho, e aos funcionários do Departamento de Engenharia de Estruturas, sou grata pelo apoio ao longo do Curso.

Aos meus colegas de mestrado, gostaria de agradecer o bom humor que prevaleceu frente a tantas angústias e ansiedades inerentes ao curso – foi um prazer estar na companhia de vocês.

Ao Samuel, companheiro presente em todos os momentos.

À minha família, pelo incentivo, apoio, compreensão e carinho.

Por fim, quero agradecer à todos os amigos pelo apoio e o conforto afetivo dados durante a elaboração deste trabalho.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	i
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS</b> .....	xxiv
<b>RESUMO</b> .....	xxvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xxviii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Generalidades</b> .....	1
<b>1.2 Objetivos</b> .....	2
<b>1.3 Organização do Texto</b> .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
<b>3 INTRODUÇÃO Á ANÁLISE ESTRUTURAL SEQÜENCIAL</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Considerações Gerais</b> .....	13
<b>3.2 Carregamento</b> .....	18
<b>3.3 Modelo SEQÜENCIAL PP</b> .....	20
<b>3.4 Modelo NÃO SEQÜENCIAL PP</b> .....	27
<b>3.5 Análise Numérica dos Resultados</b> .....	29
3.5.1 - Forças Axiais P.....	31
3.5.2 - Forças Cortantes V2.....	34
3.5.3 - Momentos Fletores M3 .....	38
3.5.4 - Reações Verticais de Apoio na Fundação .....	42
3.5.5 - Recalques Diferenciais entre os Pilares 1 e 2.....	44
<b>3.6 Histórico dos Esforços</b> .....	45

<b>4</b>	<b>ESTRUTURA ANALISADA .....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM ESTRUTURAL .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações Gerais .....</b>	<b>66</b>
5.1.1	- O elemento FRAME .....	67
5.1.2	- Conexões OFFSET.....	70
5.1.3	- O elemento SHELL.....	73
<b>5.2</b>	<b>Discretização da Estrutura .....</b>	<b>76</b>
<b>5.3</b>	<b>Carregamento Vertical.....</b>	<b>89</b>
<b>5.4</b>	<b>Carregamento Horizontal .....</b>	<b>91</b>
<b>6</b>	<b>MODELOS ESTRUTURAIS ANALISADOS .....</b>	<b>95</b>
<b>6.1</b>	<b>Nós com Restrições de Diafragma (NRD).....</b>	<b>95</b>
<b>6.2</b>	<b>Modelo NÃO SEQÜENCIAL .....</b>	<b>96</b>
<b>6.3</b>	<b>Modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD.....</b>	<b>96</b>
<b>6.4</b>	<b>Modelo SEQÜENCIAL .....</b>	<b>96</b>
<b>6.5</b>	<b>Modelo SEQÜENCIAL NRD .....</b>	<b>104</b>
<b>7</b>	<b>COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS NÃO SEQÜENCIAL E NÃO SEQÜENCIAL NRD .....</b>	<b>105</b>
<b>7.1</b>	<b>- Comparações Relativas ao Carregamento Vertical .....</b>	<b>106</b>
7.1.1	- Forças Axiais na Viga VF1 .....	106
7.1.2	- Momentos Fletores na Viga VF1 .....	110
7.1.3	- Forças Axiais no Pilar P3 .....	114
7.1.4	- Momentos Fletores no Pilar P3 .....	115
7.1.5	- Forças F11 e F22 nas Lajes.....	117
7.1.6	- Momentos Fletores M11 e M22 nas Lajes.....	129
7.1.7	- Forças F11 e F22 nas Paredes do Núcleo Central.....	141
7.1.8	- Momentos Fletores M11 e M22 nas Paredes do Núcleo Central.....	165
7.1.9	- Reações de Apoio na Fundação .....	177
<b>7.2</b>	<b>Comparações Relativas ao Carregamento Horizontal .....</b>	<b>180</b>
7.2.1	- Deslocamentos Nodais .....	180

7.2.2 - Índices de Deslocabilidade Lateral (IDL).....	182
<b>8 COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS SEQÜENCIAL E SEQÜENCIAL NRD.....</b>	<b>186</b>
<b>8.1 - Comparações Relativas ao Carregamento Vertical .....</b>	<b>187</b>
8.1.1 - Forças Axiais na Viga VF1 .....	187
8.1.2 - Momentos Fletores na Viga VF1 .....	191
8.1.3 - Forças Axiais no Pilar P3 .....	195
8.1.4 - Momentos Fletores no Pilar P3 .....	196
8.1.5 - Forças F11 e F22 nas Lajes .....	198
8.1.6 - Momentos Fletores M11 e M22 nas Lajes .....	210
8.1.7 - Forças F11 e F22 nas Paredes do Núcleo Central.....	222
8.1.8 - Momentos Fletores M11 e M22 nas Paredes do Núcleo Central.....	246
8.1.9 - Reações de Apoio na Fundação .....	258
<b>9 CONCLUSÕES .....</b>	<b>262</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>267</b>
<b>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR .....</b>	<b>270</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 3.1</b> - Planta do pavimento tipo do edifício (cotas em centímetros).....	14
<b>FIGURA 3.2</b> - Planta e Elevação do pórtico plano principal (cotas em centímetros) .....	15
<b>FIGURA 3.3</b> - Discretização para o 1º andar.....	17
<b>FIGURA 3.4</b> - Discretização para o pórtico completo.....	17
<b>FIGURA 3.5</b> - Carregamento distribuído nas vigas devido às reações das lajes.....	19
<b>FIGURA 3.6</b> - Carregamento vertical para o pórtico plano.....	20
<b>FIGURA 3.7</b> - Representação esquemática dos pórticos e carregamentos do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	21
<b>FIGURA 3.8</b> - Representação esquemática das etapas 1 e 2 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	23
<b>FIGURA 3.9</b> - Representação esquemática das etapas 3 e 4 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	24
<b>FIGURA 3.10</b> - Representação esquemática da etapa 5 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	25
<b>FIGURA 3.11</b> - Representação esquemática da etapa 6 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	26
<b>FIGURA 3.12</b> - Representação esquemática da etapa 7 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	27
<b>FIGURA 3.13</b> - Representação esquemática da estrutura e carregamento do modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> .....	28
<b>FIGURA 3.14</b> - Carregamento vertical do modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> .....	28
<b>FIGURA 3.15</b> - Força axial P, força cortante V2 e momento fletor M3 positivos no elemento de barra (FRAME) .....	29
<b>FIGURA 3.16</b> - Numeração das barras do pórtico plano.....	30

<b>FIGURA 3.17-</b> Diagramas da força axial P nas vigas para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	32
<b>FIGURA 3.18-</b> Diagramas da força axial P nos pilares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	34
<b>FIGURA 3.19-</b> Diagramas da força cortante V2 nas vigas para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	36
<b>FIGURA 3.20-</b> Diagramas da força cortante V2 nos pilares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	38
<b>FIGURA 3.21-</b> Diagramas do momento fletor M3 nas vigas para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	40
<b>FIGURA 3.22-</b> Diagramas do momento fletor M3 nos pilares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	42
<b>FIGURA 3.23-</b> Reações de apoio verticais R na fundação dos pilares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	43
<b>FIGURA 3.24-</b> Recalques diferenciais entre os pilares 1e 2 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	45
<b>FIGURA 3.25-</b> Momento fletor M3 na barra 04 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	46
<b>FIGURA 3.26-</b> Momento fletor M3 na barra 09 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	47
<b>FIGURA 3.27-</b> Momento fletor M3 na barra 14 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	48
<b>FIGURA 3.28-</b> Momento fletor M3 na barra 19 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	49
<b>FIGURA 3.29-</b> Momento fletor M3 na barras 24+25 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	50
<b>FIGURA 4.1</b> - Planta do 1º andar (cotas em centímetros).....	56
<b>FIGURA 4.2</b> - Planta do 2º ao 5º andar (cotas em centímetros).....	57
<b>FIGURA 4.3</b> - Planta do 6º ao 10º andar (cotas em centímetros).....	58
<b>FIGURA 4.4</b> - Planta do 11º ao 15º andar (cotas em centímetros).....	59
<b>FIGURA 4.5</b> - Planta do 16º ao 20º andar (cotas em centímetros).....	60
<b>FIGURA 4.6</b> - Planta do 21º ao 25º andar (cotas em centímetros).....	61



<b>FIGURA 4.7</b> - Planta do 26° ao 29° andar (cotas em centímetros).....	62
<b>FIGURA 4.8</b> - Planta do 30° andar (cotas em centímetros).....	63
<b>FIGURA 4.9</b> - Corte A-A (cotas em centímetros).....	64
<b>FIGURA 4.10</b> - Corte B-B (cotas em centímetros) .....	65
<b>FIGURA 5.1</b> - Graus de liberdade do nó de um elemento FRAME nos sistemas de coordenadas local e global.....	67
<b>FIGURA 5.2</b> - Sistema de coordenadas local de um elemento FRAME com seção transversal retangular e em L.....	68
<b>FIGURA 5.3</b> - Força axial P positiva e momento de torção T positivo no elemento de barra FRAME.....	69
<b>FIGURA 5.4</b> - Força cortante V2 positiva e momento fletor M3 positivo no elemento de barra FRAME.....	69
<b>FIGURA 5.5</b> - Força cortante V3 positiva e momento fletor M2 positivo no elemento de barra FRAME.....	69
<b>FIGURA 5.6</b> - Regiões de sobreposição da viga de fachada ( $VF_i$ ) com os pilares de canto e intermediário.....	70
<b>FIGURA 5.7</b> - Trechos rígidos e elásticos nas vigas $VF_i$ (cotas em centímetros).....	71
<b>FIGURA 5.8</b> - Conexões OFFSET nas vigas $VF_i$ .....	71
<b>FIGURA 5.9</b> - Conexões OFFSET nos pilares de canto.....	72
<b>FIGURA 5.10</b> - Conexões OFFSET nas vigas $VN_i$ (cotas em centímetros) .....	73
<b>FIGURA 5.11</b> - Sistema de coordenadas locais do elemento SHELL quadrilateral .....	73
<b>FIGURA 5.12</b> - Orientação dos eixos locais nas lajes .....	74
<b>FIGURA 5.13</b> - Orientação dos eixos locais nas paredes do núcleo central .....	74
<b>FIGURA 5.14</b> - Forças normais e de cisalhamento em um elemento SHELL .....	75
<b>FIGURA 5.15</b> - Momentos fletores e de torção em um elemento SHELL.....	75
<b>FIGURA 5.16</b> - Graus de liberdade de um nó do elemento SHELL .....	76
<b>FIGURA 5.17</b> - Representação esquemática da malha de elementos finitos do 1° andar (cotas em centímetros) .....	77
<b>FIGURA 5.18</b> - Representação esquemática da malha de elementos finitos do 2° ao 29° andar (cotas em centímetros) .....	78
<b>FIGURA 5.19</b> - Representação esquemática da malha de elementos finitos do 30° andar (cotas em centímetros) .....	79

<b>FIGURA 5.20-</b> Numeração dos nós e dos elementos da malha do 1º andar.....	80
<b>FIGURA 5.21-</b> Numeração dos nós e dos elementos da malha do 2º ao 29º andar.....	81
<b>FIGURA 5.22-</b> Numeração dos nós e dos elementos da malha do 30º andar.....	82
<b>FIGURA 5.23-</b> Numeração dos nós e dos elementos SHELL das malhas das paredes do 1º andar (cotas em centímetros).....	83
<b>FIGURA 5.24-</b> Numeração dos nós e dos elementos SHELL das malhas das paredes do 2º ao 30º andar (cotas em centímetros).....	83
<b>FIGURA 5.25-</b> Numeração dos elementos FRAME dos pilares do 1º andar (cotas em centímetros).....	84
<b>FIGURA 5.26-</b> Numeração dos elementos FRAME dos pilares do 2º ao 30º andar (cotas em centímetros).....	85
<b>FIGURA 5.27-</b> Discretização do 1º andar.....	86
<b>FIGURA 5.28-</b> Discretização do andar tipo (2º ao 29º).....	86
<b>FIGURA 5.29-</b> Discretização do 30º andar.....	87
<b>FIGURA 5.30-</b> Discretização da estrutura completa .....	88
<b>FIGURA 5.31-</b> Disposição das alvenarias sobre as vigas de fachada do 1º ao 29º andar (cotas em centímetros) .....	90
<b>FIGURA 5.32-</b> Disposição das cargas CXCM no 30º andar (cotas em centímetros) .....	90
<b>FIGURA 5.33-</b> Valores das cargas horizontais do 1º ao 7º andar.....	91
<b>FIGURA 5.34-</b> Valores das cargas horizontais do 8º ao 19º andar.....	92
<b>FIGURA 5.35-</b> Valores das cargas horizontais do 20º ao 30º andar.....	93
<b>FIGURA 5.36-</b> Esforços resultantes devido à ação da carga horizontal na caixa d'água e casa de máquinas.....	94
<b>FIGURA 6.1</b> - Representação esquemática das estruturas e carregamentos (de 1 a 4) do modelo SEQÜENCIAL .....	97
<b>FIGURA 6.2</b> - Representação esquemática da estrutura 30 e carregamentos 30, 31, 32 e 33 do modelo SEQÜENCIAL.....	98
<b>FIGURA 6.3</b> - Representação esquemática das etapas 1 e 2 de construção e carregamento do modelo SEQÜENCIAL.....	100
<b>FIGURA 6.4</b> - Representação esquemática das etapas 3 e 4 de construção e carregamento do modelo SEQÜENCIAL.....	101

<b>FIGURA 6.5</b> - Representação esquemática das etapas 30 e 31 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	102
<b>FIGURA 6.6</b> - Representação esquemática das etapas 32 e 33 de construção e carregamento do modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	103
<b>FIGURA 7.1</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 1º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	107
<b>FIGURA 7.2</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 15º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	108
<b>FIGURA 7.3</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 30º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	109
<b>FIGURA 7.4</b> - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 1º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	111
<b>FIGURA 7.5</b> - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 15º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	112
<b>FIGURA 7.6</b> - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 30º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	113
<b>FIGURA 7.7</b> - Forças axiais P no pilar P3 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	114
<b>FIGURA 7.8</b> - Momentos Fletores M3 no pilar P3 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	116
<b>FIGURA 7.9</b> - Gráficos da força F11 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	118
<b>FIGURA 7.10</b> - Nós nos eixos de simetria da laje do 1º e 15º andar (a) e 30º andar (b).....	119
<b>FIGURA 7.11</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	120
<b>FIGURA 7.12</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	121
<b>FIGURA 7.13</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	122
<b>FIGURA 7.14</b> - Gráficos da força F22 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	124

<b>FIGURA 7.15-</b> Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	126
<b>FIGURA 7.16-</b> Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	127
<b>FIGURA 7.17-</b> Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	128
<b>FIGURA 7.18-</b> Gráficos do momento fletor M11 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	130
<b>FIGURA 7.19-</b> Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	132
<b>FIGURA 7.20-</b> Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	133
<b>FIGURA 7.21-</b> Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	134
<b>FIGURA 7.22-</b> Gráficos do momento fletor M22 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	136
<b>FIGURA 7.23-</b> Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	138
<b>FIGURA 7.24-</b> Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	139
<b>FIGURA 7.25-</b> Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	140

<b>FIGURA 7.26-</b> Gráficos da força F11 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	142
<b>FIGURA 7.27-</b> Nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar (a) e no 15° e 30° andar (b).....	143
<b>FIGURA 7.28-</b> Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	144
<b>FIGURA 7.29-</b> Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	145
<b>FIGURA 7.30-</b> Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	146
<b>FIGURA 7.31-</b> Gráficos da força F11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	148
<b>FIGURA 7.32-</b> Nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar (a) e no 15° e 30° andar (b).....	149
<b>FIGURA 7.33-</b> Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	150
<b>FIGURA 7.34-</b> Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	151
<b>FIGURA 7.35-</b> Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	152
<b>FIGURA 7.36-</b> Gráficos da força F22 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	154

<b>FIGURA 7.37-</b> Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	156
<b>FIGURA 7.38-</b> Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	157
<b>FIGURA 7.39-</b> Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	158
<b>FIGURA 7.40-</b> Gráficos da força F22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	160
<b>FIGURA 7.41-</b> Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	162
<b>FIGURA 7.42-</b> Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	163
<b>FIGURA 7.43-</b> Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	164
<b>FIGURA 7.44-</b> Gráficos do momento fletor M11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	166
<b>FIGURA 7.45-</b> Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	168
<b>FIGURA 7.46-</b> Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	169

<b>FIGURA 7.47-</b> Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	170
<b>FIGURA 7.48-</b> Gráfico do momento fletor M22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	172
<b>FIGURA 7.49-</b> Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	174
<b>FIGURA 7.50-</b> Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	175
<b>FIGURA 7.51-</b> Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	176
<b>FIGURA 7.52-</b> Quadrante selecionado para análise das reações de apoio.....	177
<b>FIGURA 7.53-</b> Deslocamentos nodais UX ao longo da prumada do nó 481 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	182
<b>FIGURA 7.54-</b> Índices de deslocabilidade lateral IDL em todos os andares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	185
<b>FIGURA 8.1</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 1° andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	188
<b>FIGURA 8.2</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 15° andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	189
<b>FIGURA 8.3</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 30° andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	190
<b>FIGURA 8.4</b> - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 1° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	192
<b>FIGURA 8.5</b> - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 15° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	193
<b>FIGURA 8.6</b> - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	194

<b>FIGURA 8.7</b> - Forças axiais P no pilar P3 para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	195
<b>FIGURA 8.8</b> - Momentos Fletores M3 no pilar P3 para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	197
<b>FIGURA 8.9</b> - Gráficos da força F11 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	199
<b>FIGURA 8.10</b> - Nós nos eixos de simetria da laje do 1º e 15º andar (a) e 30º andar (b).....	200
<b>FIGURA 8.11</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	201
<b>FIGURA 8.12</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	202
<b>FIGURA 8.13</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	203
<b>FIGURA 8.14</b> - Gráficos da força F22 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	205
<b>FIGURA 8.15</b> - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	207
<b>FIGURA 8.16</b> - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	208
<b>FIGURA 8.17</b> - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	209
<b>FIGURA 8.18</b> - Gráficos do momento fletor M11 nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	211
<b>FIGURA 8.19</b> - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	213
<b>FIGURA 8.20</b> - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	214



<b>FIGURA 8.21-</b> Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	215
<b>FIGURA 8.22-</b> Gráficos do momento fletor M22 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	217
<b>FIGURA 8.23-</b> Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	219
<b>FIGURA 8.24-</b> Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	220
<b>FIGURA 8.25-</b> Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	221
<b>FIGURA 8.26-</b> Gráficos da força F11 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	223
<b>FIGURA 8.27-</b> Nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar (a) e no 15° e 30° andar (b).....	224
<b>FIGURA 8.28-</b> Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	225
<b>FIGURA 8.29-</b> Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	226
<b>FIGURA 8.30-</b> Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	227
<b>FIGURA 8.31-</b> Gráficos da força F11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	229

<b>FIGURA 8.32-</b> Nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar (a) e no 15º e 30º andar (b).....	230
<b>FIGURA 8.33-</b> Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	231
<b>FIGURA 8.34-</b> Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	232
<b>FIGURA 8.35-</b> Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	233
<b>FIGURA 8.36-</b> Gráficos da força F22 na PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	235
<b>FIGURA 8.37-</b> Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	237
<b>FIGURA 8.38-</b> Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	238
<b>FIGURA 8.39-</b> Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	239
<b>FIGURA 8.40-</b> Gráficos da força F22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	241
<b>FIGURA 8.41-</b> Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	243
<b>FIGURA 8.42-</b> Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	244

<b>FIGURA 8.43-</b> Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	245
<b>FIGURA 8.44-</b> Gráficos do momento fletor M11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	247
<b>FIGURA 8.45-</b> Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	249
<b>FIGURA 8.46-</b> Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	250
<b>FIGURA 8.47-</b> Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	251
<b>FIGURA 8.48-</b> Gráfico do momento fletor M22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	253
<b>FIGURA 8.49-</b> Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	255
<b>FIGURA 8.50-</b> Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	256
<b>FIGURA 8.51-</b> Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	257
<b>FIGURA 8.52-</b> Quadrante selecionado para análise das reações de apoio.....	258

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 3.1</b> - Resumo dos pórticos e carregamentos do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	22
<b>TABELA 3.2</b> - Forças axiais finais P e diferenças percentuais $\Delta P\%$ na VIGA ③ do 1º ao 5º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	31
<b>TABELA 3.3</b> - Forças axiais finais P e diferenças percentuais $\Delta P\%$ nos pilares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	33
<b>TABELA 3.4</b> - Forças cortantes finais V2 e diferenças percentuais $\Delta V2\%$ na VIGA ③ do 1º ao 5º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	35
<b>TABELA 3.5</b> - Forças cortantes finais V2 e diferenças percentuais $\Delta V2\%$ no PILAR 1 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	37
<b>TABELA 3.6</b> - Momentos fletores finais M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na VIGA ③ do 1º ao 5º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	39
<b>TABELA 3.7</b> - Momentos fletores finais M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ no PILAR 1 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	41
<b>TABELA 3.8</b> - Reações de apoio verticais R na fundação dos pilares 1, 2 e 3 e diferenças percentuais $\Delta R\%$ para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	43
<b>TABELA 3.9</b> - Recalques diferenciais entre os pilares 1 e 2 e diferenças percentuais $\Delta RD\%$ para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL PP</i> e <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	44

<b>TABELA 3.10</b> -Histórico do momento fletor M3 na barra 04 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	46
<b>TABELA 3.11</b> - Histórico do momento fletor M3 na barra 09 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	47
<b>TABELA 3.12</b> -Histórico do momento fletor M3 na barra 14 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	48
<b>TABELA 3.13</b> -Histórico do momento fletor M3 na barra 19 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	49
<b>TABELA 3.14</b> -Histórico do momento fletor M3 nas barras 24+25 nas sete etapas do modelo <i>SEQÜENCIAL PP</i> .....	50
<b>TABELA 3.15</b> -Valores máximos dos momentos fletores M3 positivos e negativos nas barras 04, 09 e 14 .....	51
<b>TABELA 3.16</b> -Valores máximos dos momentos fletores M3 positivos e negativos nas barras 19 e 24+25 .....	52
<b>TABELA 4.1</b> - Seção transversal dos pilares ao longo da altura do edifício .....	54
<b>TABELA 5.1</b> - Valores das cargas de montagem ( $CM_i$ ) do andar i .....	89
<b>TABELA 5.2</b> - Valores das alvenarias sobre a laje e vigas de fachada ( $ALV_i$ ) e revestimento ( $REV_i$ ) do andar i .....	89
<b>TABELA 5.3</b> - Valores das sobrecargas ( $SC_i$ ) do andar i .....	90
<b>TABELA 6.1</b> - Resumo das estruturas e carregamentos do modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	99
<b>TABELA 7.1</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 1º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	107
<b>TABELA 7.2</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 15º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	108
<b>TABELA 7.3</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 30º andar para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	109
<b>TABELA 7.4</b> - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na viga VF1 do 1º andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	111

<b>TABELA 7.5</b> - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na viga VF1 do 15° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	112
<b>TABELA 7.6</b> - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na viga VF1 do 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	113
<b>TABELA 7.7</b> - Forças axiais P e diferenças percentuais $\Delta P\%$ no pilar P3 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	114
<b>TABELA 7.8</b> - Momentos fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ no pilar P3 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	116
<b>TABELA 7.9</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção X, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	120
<b>TABELA 7.10</b> -Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção X, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	121
<b>TABELA 7.11</b> -Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção X, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	122
<b>TABELA 7.12</b> -Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção Y, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	126
<b>TABELA 7.13</b> -Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção Y, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	127
<b>TABELA 7.14</b> -Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção Y, para o modelo <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> .....	128
<b>TABELA 7.15</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	132
<b>TABELA 7.16</b> -Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	133
<b>TABELA 7.17</b> -Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	134

<b>TABELA 7.18</b> -Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	138
<b>TABELA 7.19</b> -Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	139
<b>TABELA 7.20</b> -Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	140
<b>TABELA 7.21</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	144
<b>TABELA 7.22</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	145
<b>TABELA 7.23</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30° andar, na direção X, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	146
<b>TABELA 7.24</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	150
<b>TABELA 7.25</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	151
<b>TABELA 7.26</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	152
<b>TABELA 7.27</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	156

<b>TABELA 7.28</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	157
<b>TABELA 7.29</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	158
<b>TABELA 7.30</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	162
<b>TABELA 7.31</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	163
<b>TABELA 7.32</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	164
<b>TABELA 7.33</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	168
<b>TABELA 7.34</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	169
<b>TABELA 7.35</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	170
<b>TABELA 7.36</b> -Momentos fletores M22 e diferenças percentuais $\Delta M22\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	174
<b>TABELA 7.37</b> -Momentos fletores M22 e diferenças percentuais $\Delta M22\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção	



Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	175
<b>TABELA 7.38</b> -Momentos fletores M22 e diferenças percentuais $\Delta M22\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	176
<b>TABELA 7.39</b> -Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais $\Delta FX\%$ , $\Delta FY\%$ e $\Delta FZ\%$ nos pilares P1, P3 e P10 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	178
<b>TABELA 7.40</b> -Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais $\Delta MX\%$ , $\Delta MY\%$ e $\Delta MZ\%$ nos pilares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	178
<b>TABELA 7.41</b> -Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais $\Delta FX\%$ , $\Delta FY\%$ e $\Delta FZ\%$ nas paredes 1 e 2 do núcleo central para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	179
<b>TABELA 7.42</b> -Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais $\Delta MX\%$ , $\Delta MY\%$ e $\Delta MZ\%$ nas paredes do núcleo central para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	180
<b>TABELA 7.43</b> -Deslocamentos nodais máximos UXmax e UYmax e diferenças percentuais $\Delta UXmax\%$ e $\Delta UYmax\%$ no 30° andar para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	181
<b>TABELA 7.44</b> -Deslocamentos nodais UX e diferenças percentuais $\Delta UX\%$ ao longo da prumada do nó 481 para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	181
<b>TABELA 7.45</b> -Índices de deslocabilidade lateral IDL e diferenças percentuais $\Delta IDL\%$ em todos os andares para os modelos <i>NÃO SEQÜENCIAL</i> e <i>NÃO SEQÜENCIAL NRD</i> .....	184
<b>TABELA 8.1</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 1° andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	188
<b>TABELA 8.2</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 15° andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	189

<b>TABELA 8.3</b> - Forças axiais P na viga VF1 do 30° andar para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	190
<b>TABELA 8.4</b> - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na viga VF1 do 1° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	192
<b>TABELA 8.5</b> - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na viga VF1 do 15° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	193
<b>TABELA 8.6</b> - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ na viga VF1 do 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	194
<b>TABELA 8.7</b> - Forças axiais P e diferenças percentuais $\Delta P\%$ no pilar P3 para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	195
<b>TABELA 8.8</b> - Momentos fletores M3 e diferenças percentuais $\Delta M3\%$ no pilar P3 para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	197
<b>TABELA 8.9</b> - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção X, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	201
<b>TABELA 8.10</b> -Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção X, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	202
<b>TABELA 8.11</b> -Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção X, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	203
<b>TABELA 8.12</b> -Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção Y, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	207
<b>TABELA 8.13</b> -Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção Y, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	208
<b>TABELA 8.14</b> -Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção Y, para o modelo <i>SEQÜENCIAL</i> .....	209
<b>TABELA 8.15</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	213

<b>TABELA 8.16</b> -Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	214
<b>TABELA 8.17</b> -Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	215
<b>TABELA 8.18</b> -Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	219
<b>TABELA 8.19</b> -Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	220
<b>TABELA 8.20</b> -Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	221
<b>TABELA 8.21</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	225
<b>TABELA 8.22</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	226
<b>TABELA 8.23</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30° andar, na direção X, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	227
<b>TABELA 8.24</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	231
<b>TABELA 8.25</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	232

<b>TABELA 8.26</b> -Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	233
<b>TABELA 8.27</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	237
<b>TABELA 8.28</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	238
<b>TABELA 8.29</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	239
<b>TABELA 8.30</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	243
<b>TABELA 8.31</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	244
<b>TABELA 8.32</b> -Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	245
<b>TABELA 8.33</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	249
<b>TABELA 8.34</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15° andar, na direção Y, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	250
<b>TABELA 8.35</b> -Momentos fletores M11 e diferenças percentuais $\Delta M11\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	251

<b>TABELA 8.36</b> -Momentos fletores M22 e diferenças percentuais $\Delta M22\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	255
<b>TABELA 8.37</b> -Momentos fletores M22 e diferenças percentuais $\Delta M22\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	256
<b>TABELA 8.38</b> -Momentos fletores M22 e diferenças percentuais $\Delta M22\%$ ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	257
<b>TABELA 8.39</b> -Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais $\Delta FX\%$ , $\Delta FY\%$ e $\Delta FZ\%$ nos pilares P1, P3 e P10 para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	259
<b>TABELA 8.40</b> -Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais $\Delta MX\%$ , $\Delta MY\%$ e $\Delta MZ\%$ nos pilares para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	259
<b>TABELA 8.41</b> -Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais $\Delta FX\%$ , $\Delta FY\%$ e $\Delta FZ\%$ nas paredes 1 e 2 do núcleo central para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	260
<b>TABELA 8.42</b> -Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais $\Delta MX\%$ , $\Delta MY\%$ e $\Delta MZ\%$ nas paredes do núcleo central para os modelos <i>SEQÜENCIAL</i> e <i>SEQÜENCIAL NRD</i> .....	261
<b>TABELA 9.1</b> - Número de nós, de elementos FRAME, de elementos SHELL, de etapas de construção, de etapas de carregamento e tempo médio de processamento dos modelos.....	264

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

1, 2 e 3	- Sistema de coordenadas locais
3D	- Tridimensional
a, b, c, d	- Dimensões dos lados dos pilares
ALV <sub>i</sub>	- Carregamento devido à alvenaria sobre as lajes do andar i Carregamento devido à alvenaria sobre as vigas de fachada do andar i
ANSYS	- Analysis Systems Inc.
ASCE	- American Society of Civil Engineers
CDA	- Com deformação axial
CIMNE	- Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería
CMi	- Carga de montagem do andar i
COPPE	- Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia
CX+CM	- Peso da caixa d'água e casa de máquinas
E	- Módulo de elasticidade longitudinal
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EVOL	- Evolutivo
EVOL+R	- Evolutivo mais realista
F11 e F22	- Forças normais no elemento SHELL
F12	- Força de cisalhamento no elemento SHELL
FRAME	- Elemento finito de barra do programa SAP2000
FX, FY e FZ	- Reações de apoio (forças) nas direções X, Y e Z, respectivamente
G	- grandeza
G <sub>NRD</sub>	- Valor da grandeza no modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD
G <sub>NS</sub>	- Valor da grandeza no modelo NÃO SEQÜENCIAL
G <sub>NSPP</sub>	- Valor da grandeza no modelo NÃO SEQÜENCIAL PP
G <sub>S</sub>	- Valor da grandeza no modelo SEQÜENCIAL

$G_{SNRD}$	- Valor da grandeza no modelo SEQUENCIAL NRD
$G_{SPP}$	- Valor da grandeza no modelo SEQUENCIAL PP
$h$	- Espessura da laje
$I$	- Nó inicial
$i, j, p, q$	- Pontos auxiliares
IBRACON	- Instituto Brasileiro do Concreto
IDL	- Índice de deslocabilidade lateral
$J$	- Nó final
$J_1, J_2, J_3, J_4$	- Nós do elemento SHELL
$M_{11}$ e $M_{22}$	- Momentos fletores no elemento SHELL
$M_{12}$	- Momento de torção no elemento SHELL
$M_2$	- Momento fletor no plano 1-3 (ao redor do eixo 2)
$M_3$	- Momento fletor no plano 1-2 (ao redor do eixo 3)
$M$ -MÁX	- Momento fletor máximo
$M$ -MÍN	- Momento fletor mínimo
$M_X, M_Y$ e $M_Z$	- Reações de apoio (momentos) nas direções X, Y e Z, respectivamente
$n$	- Número
NRD	- Nós com restrição de diafragma
$P$	- Força axial
$PAR.i$	- Parede número $i$ do núcleo central
$P_i$	- Pilar número $i$
PPCX	- Parcela do peso da caixa d'água
$PP_i$	- Peso próprio
$R_1, R_2$ e $R_3$	- Rotações nodais nas direções 1, 2 e 3, respectivamente
RD	- Recalque diferencial
$REV_i$	- Carregamento devido ao revestimento do andar $i$
$R_X, R_Y$ e $R_Z$	- Rotações nodais nas direções X, Y e Z, respectivamente
SAP2000	- Structural Analysis Program - Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures - Nonlinear 8.2.7
$SC_i$	- Sobrecarga do andar $i$
SDA	- Sem deformação axial
SHELL	- Elemento finito de casca do programa SAP2000

T	- Momento de torção
T	- Térreo
U1, U2 e U3	- Translações nodais nas direções 1, 2 e 3, respectivamente
UFMG	- Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	- Universidade de São Paulo
UX, UY e UZ	- Translações nodais nas direções X, Y e Z, respectivamente
ux, uy, uz	- Translações nas direções X, Y e Z, respectivamente, para o elemento SHELL
UXi	- Deslocamento lateral na direção X em cada andar
UXmax	- Módulo do deslocamento nodal máximo na direção X
UYmax	- Módulo do deslocamento nodal máximo na direção Y
V2	- Força cortante no plano 1-2
V3	- Força cortante no plano 1-3
VFi	- Viga de fachada número i
VNi	- Viga do núcleo central número i
X, Y e Z	- Sistema de coordenadas globais
Zi	- Altura de cada andar em relação a fundação
$\nu$	- Coeficiente de Poisson
	- Valor absoluto
$\gamma_{alv}$	- Peso específico da alvenaria
$\gamma_{conc}$	- Peso específico do concreto
$\Delta G\%$	- Módulo da diferença percentual da grandeza G
$\theta_x, \theta_y, \theta_z$	- Rotações nas direções X, Y e Z, respectivamente, para o elemento SHELL



## RESUMO

Nos últimos anos, o grande avanço na área computacional aplicada à análise de edifícios tem permitido o desenvolvimento de inúmeros programas de cálculo. Entretanto, a maioria destes programas tem sido usada considerando a estrutura totalmente construída e com todo o carregamento atuando simultaneamente. Atualmente o uso do cálculo seqüencial para estruturas de edifícios altos vem sendo mais difundido. Este trabalho está dentro desta linha de pesquisa; analisa-se uma estrutura de 30 andares com sistema tubular aporticado e núcleo central através de quatro modelos estruturais tridimensionais distintos. Nos dois primeiros modelos (NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD) considera-se todo o carregamento atuando simultaneamente após a estrutura concluída e nos dois últimos (SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD) a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída, considerando as etapas de construção e carregamento. Utiliza-se o programa SAP2000 que possibilita a análise tridimensional pelo Método dos Elementos Finitos. Os modelos analisados são compostos de elementos de barras (vigas e pilares) e elementos de cascas (lajes e núcleo central). São feitas duas análises comparativas entre os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD. Na primeira, relativa ao carregamento vertical, analisam-se forças e momentos nas vigas, pilares, lajes, núcleo central e apoios na fundação; na segunda, relativa ao carregamento horizontal, analisam-se deslocamentos nodais e índices de deslocabilidade lateral da estrutura. Nas duas análises são apresentados gráficos e tabelas relativos aos resultados obtidos. Para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD é feita uma análise comparativa, relativa apenas ao carregamento vertical, análoga à feita para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD. São também apresentados gráficos e tabelas relativos aos resultados obtidos. A partir dos resultados obtidos com os quatro modelos discute-se a viabilidade do uso do cálculo seqüencial na análise de edifícios altos de pequeno e grande porte com os microcomputadores disponíveis atualmente.

Palavras-chave: cálculo seqüencial, edifícios altos, etapas de carregamento, etapas de construção, modelos estruturais.

## ABSTRACT

In recent years, great advances in the computational area related to the analysis of building structures have allowed the development of softwares to analyze structures of tall buildings. However, most of the software has been used considering the complete structure with all loads acting simultaneously. Currently the use of the sequential analysis for structures of tall buildings is being more used. This work is in this line of research; it is analyzed a structure of 30 floors with framed tubular system and central core using four distinct three-dimensional structural models. In the two first models (NOT SEQUENTIAL and NOT SEQUENTIAL NRD) the total load is considered acting simultaneously in the complete structure; in the two last (SEQUENTIAL and SEQUENTIAL NRD) the structure is loaded gradually along its construction; consequently, stage of construction and loading are being taken in account. The SAP2000 software is used to perform the three-dimensional analysis with the Finite Elements Method. The analyzed models are composed of frame elements (beams and columns) and shell elements (slabs and central core). Two comparative analyses between the NOT SEQUENTIAL and NOT SEQUENTIAL NRD models are made. In the first one (vertical loads only), forces and moments in the beams, columns, slabs, central core and supports in the foundation are analyzed; in the second one (horizontal loads), nodal displacements and indexes for lateral displacements of the structure are discussed. Tables and graphics with respect to results are shown in both analyses. For the SEQUENTIAL and SEQUENTIAL NRD models just one comparative analysis is made, the relative to the vertical load, which is analogous to the one made for the NOT SEQUENTIAL and NOT SEQUENTIAL NRD models. Tables and graphics relative to gotten results are also shown. With the results obtained for the four models, it is discussed the viability of using sequential analysis to analyze tall buildings of small and large size with the currently available microcomputers.

Keywords: sequential analysis, tall buildings, stages of loading, stages of construction, structural models.

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Generalidades

Nos últimos anos, o grande avanço na área computacional aplicada à análise de edifícios em concreto armado tem permitido o desenvolvimento de programas de cálculo para os mais variados tipos de estruturas. Evoluiu-se rapidamente do modelo de “laje, viga contínua e pilares” para “laje, pórtico espacial com diafragma rígido”.

Entretanto, a maioria destes programas tem sido usada considerando a estrutura totalmente construída e com todo o carregamento atuando simultaneamente. A princípio esta hipótese é válida para ações horizontais e para ações verticais aplicadas à estrutura já concluída. Mas, para ações tais como peso próprio de alvenarias, pisos e revestimentos, que são impostas gradualmente e que dependem de um cronograma da obra, é conveniente que se considere a seqüência construtiva da edificação.

Atualmente o uso do cálculo seqüencial para estruturas de edifícios altos vem sendo mais difundido. Nele são considerados as etapas de construção e os carregamentos que são impostos gradualmente à estrutura. Alguns softwares foram desenvolvidos com a capacidade de realizar tal cálculo, entre os quais pode-se citar como exemplos o PPSEM (VASCONCELLOS FILHO, 1981), o ACON (KRIPKA, 1990) e o

PORTEVOL (COELHO, 2003). Entretanto, estes softwares tinham o propósito de analisar as estruturas propostas pelos autores citados em seus trabalhos, sendo, portanto, de aplicação específica.

Em CARVALHO (2003), o autor estudou a possibilidade do programa ANSYS, fazer o cálculo seqüencial de um edifício alto. Ele conseguiu então, analisar uma estrutura tridimensional de 30 andares, composta de lajes, vigas e pilares, pelo método dos elementos finitos e com cálculo seqüencial. Contudo, devido ao grau de dificuldade envolvido na análise concluiu que esse programa não era amigável para esse tipo de análise.

Recentemente foi divulgado que o programa SAP2000 seria capaz de realizar o cálculo seqüencial de estruturas de edifícios. Foram, então, feitas consultas a representantes técnicos do programa SAP2000 a este respeito, todavia, eles ainda não sabiam como usar essa ferramenta.

## **1.2 Objetivos**

O primeiro objetivo deste trabalho foi encontrar o “caminho das pedras” para poder usar o programa SAP2000, usando o cálculo seqüencial para calcular estruturas de edifícios altos.

Encontrado o “caminho das pedras”, o segundo objetivo foi analisar a estrutura de um edifício alto com sistema estrutural de tubo aporticado com núcleo central.

Constatou-se, também, que o cálculo seqüencial pode, de acordo com o porte e complexidade da estrutura exigir grande quantidade de memória de computador e longo tempo de processamento. Uma alternativa para contornar este inconveniente foi o uso do DIAPHRAGM CONSTRAINT que reduz o número de graus de liberdade da estrutura e, portanto, o número de equações a serem resolvidas. Isto levou a um terceiro objetivo, que foi o de validar ou não o uso deste comando,

comparando-se os resultados obtidos em modelos com e sem as restrições de diafragma.

### **1.3 Organização do Texto**

Apresenta-se, a seguir, uma breve descrição do conteúdo dos capítulos deste trabalho.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica em ordem cronológica.

É explicado, no capítulo 3, um exemplo de pórtico plano cujo modelo estrutural é analisado através do cálculo seqüencial, que leva em consideração as etapas de construção e carregamento.

As características da estrutura do edifício alto analisado estão descritas no capítulo 4, onde também estão representadas diversas plantas e cortes explicativos.

No capítulo 5 são feitas considerações sobre a modelagem estrutural. Apresentam-se os elementos finitos (de barra e de casca) utilizados na modelagem das vigas, pilares, lajes e núcleo central, as orientações e sentidos dos eixos dos sistemas locais, as convenções de sinais dos esforços internos e os tipos de conexões usadas entre os elementos. Neste capítulo é também apresentada a malha de elementos finitos usada na discretização da estrutura, com a numeração dos nós e dos elementos. Tanto a numeração quanto a convenção de sinais serão utilizadas posteriormente como referência na análise dos resultados. Apresentam-se, também, os carregamentos verticais e horizontais considerados na análise da estrutura.

No capítulo 6 apresentam-se os quatro modelos estruturais tridimensionais analisados pelo Método dos Elementos Finitos através do programa SAP2000. Neste capítulo também são descritas todas as etapas de construção e carregamento adotadas para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD.

---

No capítulo 7 são feitas duas análises comparativas entre os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD. Na primeira, relativa ao carregamento vertical, analisam-se forças e momentos nas vigas, pilares, lajes, núcleo central e reações de apoio na fundação; na segunda, relativa ao carregamento horizontal, analisam-se deslocamentos nodais e índices de deslocabilidade lateral na estrutura. Em ambas as análises são apresentados gráficos e tabelas com resultados.

No capítulo 8 é feita uma análise comparativa entre os modelos SEQUENCIAL e SEQUENCIAL NRD relativa apenas ao carregamento vertical. São apresentados gráficos e tabelas com resultados de forças e momentos nas vigas, pilares, lajes, núcleo central e reações de apoio na fundação na estrutura.

No capítulo 9 apresentam-se as conclusões finais.

Ao final deste trabalho são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas bem como uma bibliografia complementar.

# 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Já foram desenvolvidos diversos trabalhos sobre cálculo seqüencial de edifícios altos. Atualmente a pesquisa nesta área está aumentando na tentativa de encontrar modelos que representem de maneira mais precisa o comportamento real dessas estruturas. A seguir apresentam-se alguns destes trabalhos em ordem cronológica.

GRUNDY e KABAILA (1963) avaliam a evolução das ações nas lajes dos pavimentos e no escoramento dessas, levando-se em conta a sobreposição gradual de pavimentos, de acordo com a seqüência natural de construção. Apresenta-se um método para determinação das cargas oriundas do escoramento. Discute-se o efeito de se escorar números diferentes de andares. Mostra-se a importância de considerar corretamente os carregamentos aplicados na estrutura durante as etapas de construção. Ainda hoje, a maioria das pesquisas sobre o assunto utiliza o método por eles apresentados como referência.

SELVARAJ e SHARMA (1974) apresentam os resultados da influência da seqüência de construção e carregamento nas tensões em pórticos de edifícios altos. Neste trabalho três pórticos de 14 andares foram analisados: o primeiro com 2 vãos, o segundo com 4 vãos e um núcleo estrutural e o último com 7 vãos. A análise foi feita através de quatro modelos: dois que consideravam a seqüência de construção (caso I

– o pórtico é carregado gradativamente sem considerar o escoramento e caso II – o pórtico é carregado gradativamente considerando o escoramento) e dois modelos clássicos de cálculo (um sem considerar as deformações axiais dos pilares e o outro considerando as deformações axiais dos pilares.).

VASCONCELLOS FILHO (1981) apresenta além de vários sistemas e modelos estruturais aplicáveis em edifícios de andares múltiplos, uma comparação entre três modelos distintos usados na análise de dois pórticos planos, um de 16 e outro de 26 andares. No primeiro modelo - modelo SDA - a estrutura é carregada somente após estar pronta e, além disto, as deformações axiais das barras são desprezadas. No segundo modelo - modelo CDA - a estrutura também é carregada somente após estar pronta, mas as deformações axiais não são desprezadas. No terceiro e último modelo - modelo PPSEM - a estrutura é carregada gradativamente, à medida que é construída. Neste modelo as deformações axiais não são desprezadas. Os modelos foram submetidos aos mesmos carregamentos verticais e horizontais. Comparam-se os resultados obtidos através dos três modelos. Observam-se muitas divergências entre os resultados. Sendo que as maiores diferenças acontecem no pórtico de 26 andares. Verifica-se que os modelos SDA e CDA não apresentam bons resultados quando comparados com o modelo PPSEM (modelo mais realista). Conclui-se que as etapas de construção e carregamento são importantes na modelagem de um edifício alto não podendo ser negligenciadas.

CHOI e KIM (1985) apresentam um trabalho onde foram analisados dois pórticos diferentes, um com 60 andares em aço e outro com 10 andares em concreto armado. Foram usados dois modelos para análise destes pórticos considerando cargas verticais e seqüências de construção e carregamento. No primeiro modelo o pórtico é considerado com todo o carregamento agindo de uma só vez e no segundo considerando as seqüências de construção e carregamento. Em ambos os modelos os pilares puderam sofrer deformação axial. Comparam-se os resultados obtidos salientando os efeitos dos recalques diferenciais entre os pilares. Mostra-se que os resultados obtidos através dos dois modelos são discrepantes entre si.



FONTE e SORIANO (1989) publicaram um trabalho estudando o efeito construtivo incremental em edifícios altos. Os autores utilizaram dois processos de cálculo incremental conhecidos, um que analisa a estrutura de cima para baixo (CHOI e KIM, 1985) e outro de baixo para cima (VASCONCELLOS FILHO, 1981). Ambos os processos foram rerepresentados com notação matricial. As estruturas utilizadas em VASCONCELLOS FILHO (1981) são novamente analisadas, desta vez para modelos clássicos, incrementais e clássicos modificados. Basicamente dois modelos clássicos foram utilizados, um com deformação axial e outro sem deformação axial. Ambos foram comparados com o modelo incremental. Foram sugeridos outros quatro tipos de modelos clássicos com modificações particulares na rigidez axial dos pilares, visando melhorar os resultados para uma comparação com os modelos incrementais. Os resultados mostraram que os dois modelos clássicos foram inadequados para a análise, devido às discrepâncias em relação aos modelos incrementais. Tanto a análise incremental de “baixo para cima” quanto a de “cima para baixo” apresentaram valores próximos e são as mais recomendadas para a análise de edifícios altos. Os autores afirmam que a análise de baixo para cima é mais realista e deve ser utilizada com seqüências simplificadas de carregamento. Quanto aos modelos modificados os resultados foram bons e os autores sugerem novas pesquisas para essa linha de modelagem.

KRIPKA (1990) estuda a importância da consideração da seqüência de carregamento e construção na análise de edifícios bem como as formas de melhor simular esta seqüência. Com esta finalidade, desenvolve-se um programa de computador (ACON), baseado no método dos deslocamentos, que efetua a análise de pórticos planos de edifícios tanto pelo procedimento convencional como pelo procedimento incremental construtivo. Este último permite a obtenção não apenas dos esforços finais como também dos desenvolvidos durante uma determinada etapa de construção, podendo-se reproduzir os efeitos do processo de escoramento e da construção das alvenarias ou ainda efetuar a pesquisa dos esforços extremos, entre outras facilidades. Quatro pórticos foram utilizados como exemplos e foram feitos cálculos incrementais e clássicos para comparação. Com base nos resultados, constata-se a necessidade da análise incremental para a correta avaliação dos

esforços solicitantes. Em todas as comparações feitas, observou-se diferenças de resultados obtidos por intermédio da análise incremental construtiva com os gerados pelo procedimento convencional. Conclui-se que o procedimento convencional de análise pode conduzir a resultados pouco confiáveis sendo melhor, portanto, o uso do procedimento incremental para que se aproxime das reais condições a que as estruturas são submetidas.

PRADO et al. (1998a) analisam os efeitos das cargas de construção em estruturas de concreto armado usando modelos computacionais tridimensionais. Descreve-se um processo para a análise estrutural de edifícios de andares múltiplos em concreto armado. O processo considera a seqüência natural de construção, apresentando resultados mais exatos do que aqueles usualmente obtidos pelos modelos convencionais que consideram a estrutura concluída. O conhecimento das cargas que atuam nos andares durante a construção permite que se tenha uma visão do histórico dos esforços nos elementos estruturais do início ao fim da construção. Apresenta-se um modelo estrutural tridimensional (usando o método dos elementos finitos), onde se define uma seqüência de operações que permitem o desenvolvimento de um processo computacional visando à otimização da análise. Apresenta-se um exemplo numérico para ilustrar o processo proposto, considerando linearidade física e geométrica. Analisa-se seqüencialmente uma estrutura simples de quatro andares em concreto armado, considerando o uso de dois níveis escorados mais um nível reescorado, com concretagem de um andar a cada sete dias. Considera-se também a variação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto em função da idade do mesmo. Apresentam-se históricos de esforços que atuam em alguns elementos estruturais do início até o final da construção. Comparam-se os resultados obtidos usando a análise seqüencial com os obtidos sem considerar a análise seqüencial. Conclui-se que o processo seqüencial proposto apresenta resultados mais precisos para a análise de estruturas de edifícios de andares múltiplos em concreto armado. Nota-se, entretanto, que a análise de um edifício simples com somente quatro andares requer doze processamentos de estruturas diferentes. Torna-se, portanto, necessário automatizar ao máximo os cálculos, a fim de minimizar o exaustivo trabalho de processar um elevado número de estruturas diferentes.

PRADO et al. (1998b) afirmam que toda a estrutura passa por diversas fases durante seu processo construtivo. Mostram que os valores obtidos através de análise da seqüência construtiva diferem dos obtidos pela análise do edifício com carregamento completo. Descrevem a necessidade de se avaliar corretamente as cargas de construção, de obter-se uma avaliação precisa das características do concreto armado ao longo do tempo, bem como das propriedades à compressão da madeira que servirá como escoramento. Além disso, propõem a realização de uma maior quantidade de estudos, para se avaliar quais são os processos construtivos mais utilizados em nosso país, abrangendo tipos de fôrmas com escoras e reescoras, números de andares escorados, quantidade e posicionamento de pontaletes, cronograma de construção, tempo de desforma; enfim tudo que diz respeito ao sistema temporário de suporte dos andares. Estudos deste tipo, caracterizados pela objetividade e com embasamentos estatísticos, forçariam a adoção nas normas de novas combinações de ações que englobariam os esforços solicitantes e resistências que ocorrem durante o processo de construção. Concluem ao final, que as ações construtivas muitas vezes ocorrem antes do concreto atingir sua total maturidade e que nos últimos 25 anos ocorreram somente nos Estados Unidos, mais de 85 colapsos de estruturas durante a construção.

COELHO (2003) procura mostrar que podem existir divergências de resultados entre o modelo estrutural usando cálculo evolutivo (etapas de construção e carregamento) e o modelo que considera a estrutura pronta e carregada de uma única vez. Para isso foram analisados três pórticos planos diferentes, um com 16 andares e dois com 26 andares (um com e outro sem variação das seções transversais de vigas e pilares). Três modelos distintos foram utilizados para se calcular as estruturas. O modelo de cálculo evolutivo foi desenvolvido tendo como base o mesmo esquema de carregamento apresentado por VASCONCELLOS FILHO (1981). Os outros dois modelos desenvolvidos seguiram a linha clássica, ou seja, consideraram a estrutura pronta e totalmente carregada, sendo que a distinção entre eles estava na ausência ou não de deformação axial dos pilares. Com os resultados obtidos para os três modelos foram feitas comparações, onde constataram-se discrepâncias entre eles. Para facilitar as análises comparativas foi desenvolvido o software PORTEVOL que permite fazer o cálculo evolutivo de pórticos planos. COELHO também mostrou que

as discrepâncias entre os modelos aumentam com a altura do edifício. Além disto, as discrepâncias entre os modelos também aumentam com o enrijecimento à flexão do vigamento. Por outro lado as discrepâncias entre os modelos diminuem à medida que as tensões normais nos centróides dos pilares de cada andar tendem a uniformizar-se.

MATHEUS (2003) evidencia em seu trabalho a importância de se considerar as deformações axiais dos pilares, bem como as etapas de construção e carregamento ao se analisar um edifício alto. Analisa-se tridimensionalmente um edifício de 40 andares com lajes lisas (sem vigamento) através de quatro modelos estruturais distintos: um primeiro modelo, no qual os pilares são simulados por molas translacionais, é desenvolvido para mostrar a importância das deformações axiais nos pilares; o segundo e o terceiro modelos são clássicos (com e sem deformação axial dos pilares), nos quais a estrutura é suposta pronta e carregada simultaneamente; um quarto modelo que leva em consideração as etapas de construção e carregamento. Mostra-se com o primeiro modelo que os esforços nas lajes podem variar ao longo da altura do edifício, o que sugere não ser adequado o uso de uma mesma armação em concreto armado para as diversas lajes-tipo. Comparam-se os outros três modelos e verifica-se que os resultados obtidos são discrepantes entre si. Conclui-se que o modelo de cálculo seqüencial é mais realista do que os modelos clássicos. Em todos os modelos varia-se a espessura das lajes e observa-se sua influência na redistribuição das cargas verticais nos pilares e nos esforços solicitantes na laje-tipo.

CARVALHO e VASCONCELLOS FILHO (2003) analisam um edifício de 20 andares com lajes lisas, sem vigamento, através de três modelos estruturais distintos: modelo EVOL (evolutivo), onde os pilares sofrem deformação axial e a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída; modelo CDA, onde os pilares sofrem deformação axial e todas as lajes são carregadas simultaneamente após a estrutura estar concluída; modelo SDA, onde as deformações axiais dos pilares são impedidas e todas as lajes são carregadas simultaneamente após a estrutura estar concluída. Mostra-se que os resultados obtidos através dos três modelos diferem substancialmente entre si. Percebe-se, quando se utilizam modelos estruturais mais realistas, que a idéia da existência de um andar tipo ao longo de toda a altura do

edifício não é verdadeira. Conclui-se que é necessário trabalhar com modelos estruturais mais realistas, para obter resultados mais próximos do real comportamento das estruturas.

CARVALHO (2004) analisa uma estrutura tridimensional de 30 andares, composta por lajes, vigas e pilares, através de quatro modelos estruturais distintos: dois modelos clássicos, com e sem deformação axial dos pilares, onde todo o carregamento atua simultaneamente após a estrutura estar concluída e dois modelos de cálculo evolutivo, um mais realista do que o outro, onde os pilares sofrem deformação axial e a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída, considerando as etapas de construção e carregamento. As estruturas são modeladas tridimensionalmente, utilizando-se o Método dos Elementos Finitos e são analisadas através do programa de análise estrutural ANSYS versão 6.1. Considera-se apenas o carregamento vertical. Verifica-se que os dois modelos clássicos apresentam resultados bastante discrepantes em relação aos dois modelos evolutivos. Conclui-se que o modelo de cálculo evolutivo, onde se consideram as etapas de construção e carregamento, é superior aos modelos clássicos. Porém, devido ao grande aumento de trabalho envolvido, é necessário o desenvolvimento de programas que tornem viável o uso corrente do modelo de cálculo evolutivo em escritórios de cálculo estrutural.

COELHO e GORZA (2005) apresentam um modelo de análise estrutural de edifícios de andares múltiplos considerando a rigidez transversal à flexão das lajes, a seqüência de construção e o carregamento. O modelo estrutural proposto permite a interação entre todos os elementos e considera a presença de lajes no cálculo da edificação, através do Método dos Elementos Finitos. Neste modelo, considera-se o trecho rígido entre vigas e pilares, as excentricidades entre pilares com redução de seção e as rótulas na fundação e apoios de vigas. É apresentado um programa computacional que efetua a análise elástica linear tanto pelo procedimento convencional como pelo procedimento incremental construtivo, obtendo os esforços e os deslocamentos referentes a cada etapa construtiva. Finalmente, apresentam-se os

recursos deste programa, um exemplo numérico e comparam-se os resultados obtidos através da modelagem usual com os do modelo proposto.

O presente trabalho faz parte da linha de pesquisa Análise e Modelagem de Estruturas de Edifícios Altos existente no Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG. Este trabalho difere dos anteriores em diversos aspectos, tais como:

- a) é utilizado, pela primeira vez, o programa SAP2000 para fazer o cálculo sequencial;
- b) devido às facilidades oferecidas pelo programa SAP2000, é feita uma modelagem mais realista, conforme pode ser visto no capítulo 5;
- c) a estrutura é estabilizada lateralmente através do uso de um sistema tubular aporticado externo unido a um núcleo interno por lajes lisas;
- d) o núcleo interno é composto de três paredes estruturais de concreto armado que foram modeladas por elementos finitos de casca;
- e) foram analisados modelos com e sem o uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT aplicado aos nós das lajes.

# 3

## INTRODUÇÃO À ANÁLISE ESTRUTURAL SEQÜENCIAL

### 3.1 Considerações Gerais

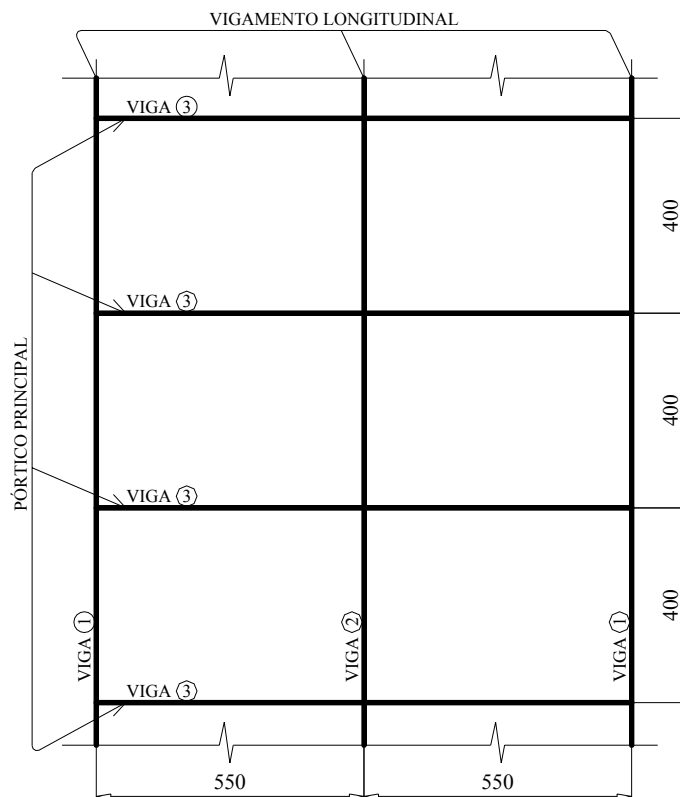
O modelo de cálculo seqüencial faz uma simulação aproximada daquilo que realmente ocorre com uma estrutura durante seu processo de execução e carregamento.

O fato de se calcular uma estrutura levando em consideração as etapas de construção e carregamento proporciona uma interação entre o que é feito no escritório de projetos e no canteiro de obras. Isto porque é possível que se tenha um histórico dos esforços e deslocamentos a partir do momento que um elemento é colocado na estrutura e carregado pela primeira vez. Essas informações refinam os resultados tornando o modelo estrutural mais realista.

A idéia é mostrar que por mais simples que seja o modelo, desde que ele seja calculado de forma gradativa, ele sempre apresentará resultados mais realistas que aqueles calculados considerando a estrutura pronta com todo o carregamento aplicado.

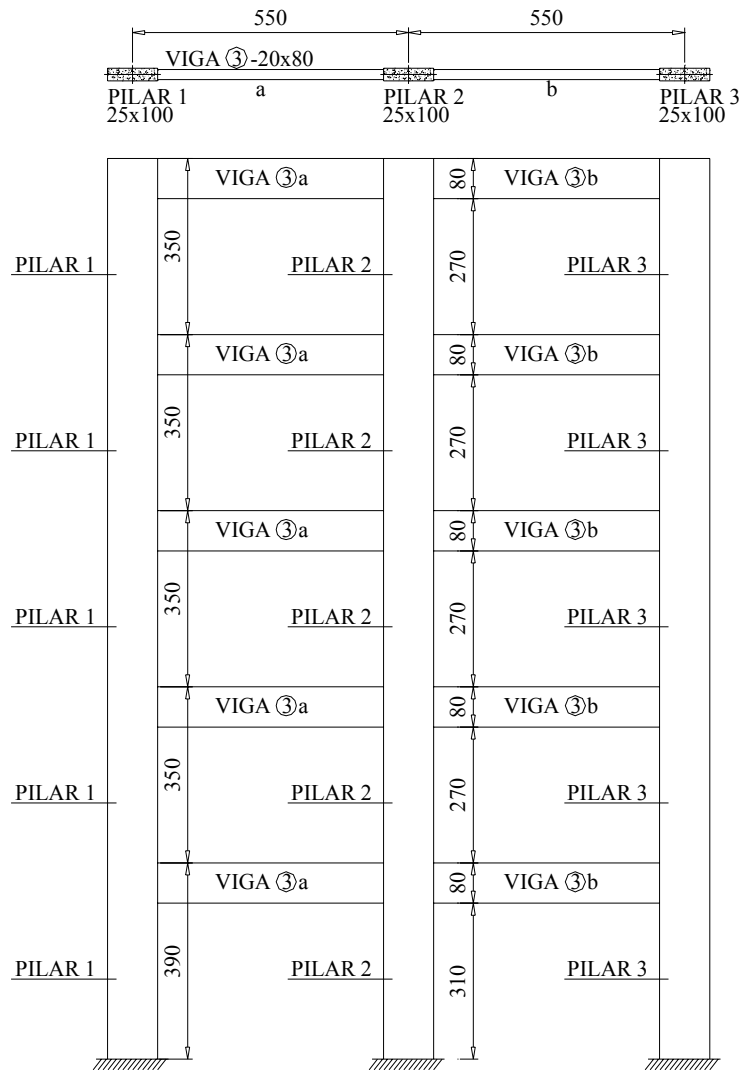
A maneira mais simples de mostrar a utilização de um modelo que leve em consideração as diversas etapas de construção e carregamento consiste em descrever um exemplo.

Assim com o intuito de explicar todo esse processo vai-se analisar um edifício de 5 andares cujo sistema estrutural é constituído por pórticos planos (FIGURA 3.2) de três prumadas de pilares, paralelos, igualmente espaçados a cada 4,00 metros e com vãos de 5,50 metros. Esse exemplo é semelhante ao apresentado por VASCONCELLOS FILHO (1986). Conforme se vê na FIGURA 3.1, que representa uma parte da planta do pavimento tipo do edifício, o vigamento principal é formado pelas VIGAS ③ transversais. A VIGA ① e a VIGA ② são vigas longitudinais que constituem um vigamento secundário.



**FIGURA 3.1** - Planta do pavimento tipo do edifício (cotas em centímetros)





**FIGURA 3.2** - Planta e Elevação do pórtico plano principal (cotas em centímetros)

Considera-se, então, o pórtico principal com as seguintes características:

- a) a altura de cada andar é de 3,5 metros, exceto o 1º andar que é 3,90 metros;
- b) possui três pilares com seção transversal de  $25 \times 100 \text{ cm}^2$ ;
- c) possui uma VIGA 3 de seção transversal de  $20 \times 80 \text{ cm}^2$  com dois vãos de 5,5 metros por andar;
- d) todos os pilares são engastados na fundação.

O pórtico é constituído de concreto armado. Não se considera a fissuração do concreto, sendo este tratado como um material elástico, linear e isotrópico, com as seguintes propriedades:

- a) módulo de elasticidade  $E = 2,1 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ;
- b) coeficiente de Poisson  $\nu = 0,2$ ;
- c) peso específico  $\gamma_{\text{conc}} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Neste exemplo o modelo utilizado para a análise seqüencial do pórtico plano será chamado de modelo *SEQÜENCIAL PP*, onde:

- a) consideram-se cargas verticais nas vigas e pilares;
- b) não se consideram cargas laterais devido ao vento;
- c) não se aborda a questão da estabilidade lateral;
- d) considera-se a análise elástico-linear;
- e) nas vigas e pilares consideram-se apenas deformações de flexão e axial.

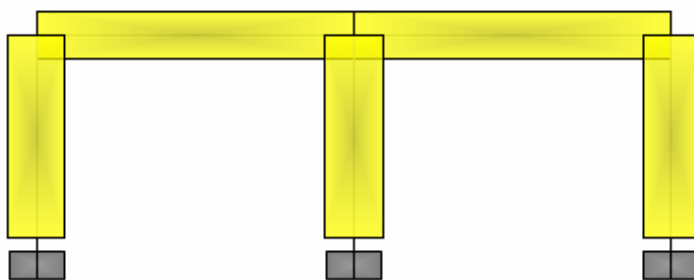
Os modelos são analisados através do método dos elementos finitos, utilizando-se o programa *SAP2000* versão 8.27. Adota-se o elemento finito *FRAME* para as vigas e pilares.

Discretiza-se o pórtico da seguinte forma:

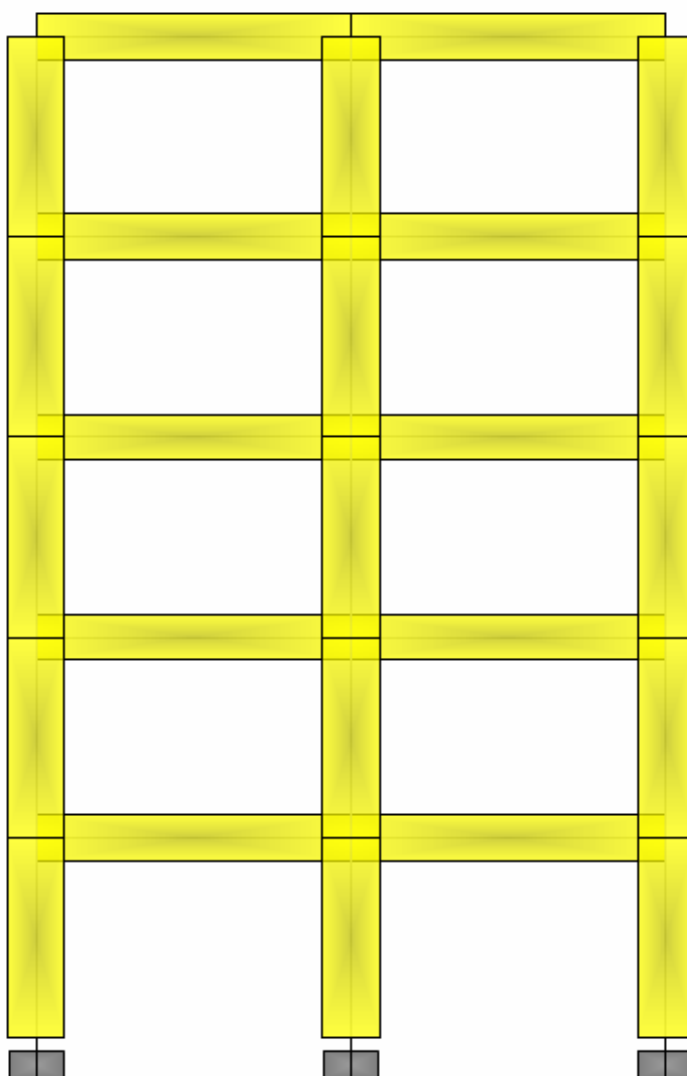
- a) 1 elemento finito de barra (*FRAME*) com comprimento de 550 cm para cada um dos dois vãos de viga, totalizando 2 elementos finitos de barra por andar;
- b) 1 elemento finito de barra (*FRAME*) com comprimento de 350 cm para cada um dos três pilares, totalizando 3 elementos finitos de barra por andar.

Portanto, considerando-se vigas e pilares, o pórtico completo apresenta um total de 25 elementos finitos.

A FIGURA 3.3 mostra a discretização utilizada para o 1º andar e a FIGURA 3.4 para a pórtico completo.



**FIGURA 3.3** - Discretização para o 1º andar



**FIGURA 3.4** - Discretização para o pórtico completo

### 3.2 Carregamento

A estrutura está submetida, em geral, às seguintes cargas verticais:

- a) peso próprio;
- b) alvenaria;
- c) revestimento;
- d) sobrecarga;
- e) cargas de montagem (escoramento das lajes, formas, material estocado, etc.).

Vai-se admitir para este exemplo o mesmo carregamento vertical em todas as lajes (ver VASCONCELLOS FILHO, 1986), ou seja, têm-se por  $m^2$  de laje:

$$\begin{aligned} \text{PP} &= \text{peso próprio da estrutura} = && 4,75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{ALV+REV} &= \text{alvenaria (5,25) + revestimento (0,50)} = && 5,75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SC} &= \text{sobrecarga} = && 2,00 \text{ kN/m}^2 \\ &&& \text{TOTAL} = 12,50 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Note-se que PP corresponde a 38% da carga total de  $12,50 \text{ kN/m}^2$ , ALV+REV a 46% e SC a 16%.

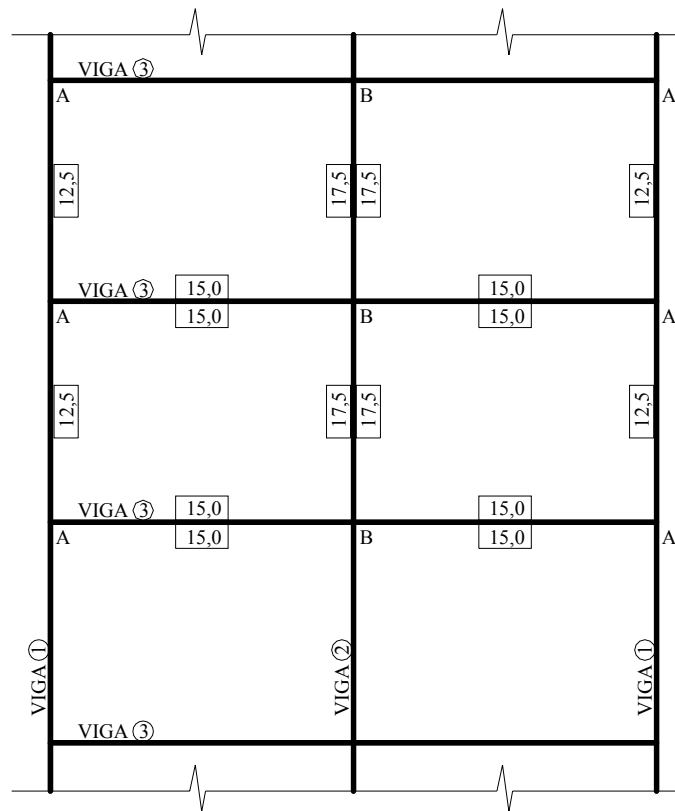
As reações nas lajes devido ao carregamento acima podem ser vistas na FIGURA 3.5, sendo que o carregamento nas vigas fica da seguinte maneira:

- a) carga distribuída de  $12,5 \text{ kN/m}$  na viga longitudinal: VIGA ①;
- b) carga distribuída de  $35,0 \text{ kN/m}$  na viga longitudinal: VIGA ②;
- c) carga distribuída de  $30,0 \text{ kN/m}$  na viga transversal: VIGA ③.

Nos nós A e B têm-se:

- a) carga concentrada de  $50,0 \text{ kN}$  nos nós A (reações da VIGA ① calculadas por área de influência, ou seja,  $4,0\text{m} \times 12,5 \text{ kN/m} = 50,0 \text{ kN}$ );
- b) carga concentrada de  $140,0 \text{ kN}$  nos nós B (reações da VIGA ② calculadas por área de influência, ou seja,  $4,00\text{m} \times 35,0 \text{ kN/m} = 140,0 \text{ kN}$ ).

A caixa d'água encontra-se apoiada em vigas do último andar. Sendo assim, no pórtico a ser analisado considera-se como carregamento devido à caixa d'água duas forças concentradas de 70 kN cada, atuando na VIGA ③ do 5º andar.



**FIGURA 3.5** - Carregamento distribuído nas vigas devido às reações das lajes

Na FIGURA 3.6 encontra-se os valores das parcelas das cargas verticais que solicitam o pórtico plano, a saber:

- PP = peso próprio das lajes, vigas e pilares de um andar (38%);
- ALV + REV = alvenaria e revestimento de um andar (46%);
- SC = sobrecarga de um andar (16%);
- CM = carga de montagem considerada igual ao valor do peso próprio (PP) de um andar;
- PPCX = parcela do peso da caixa d'água.

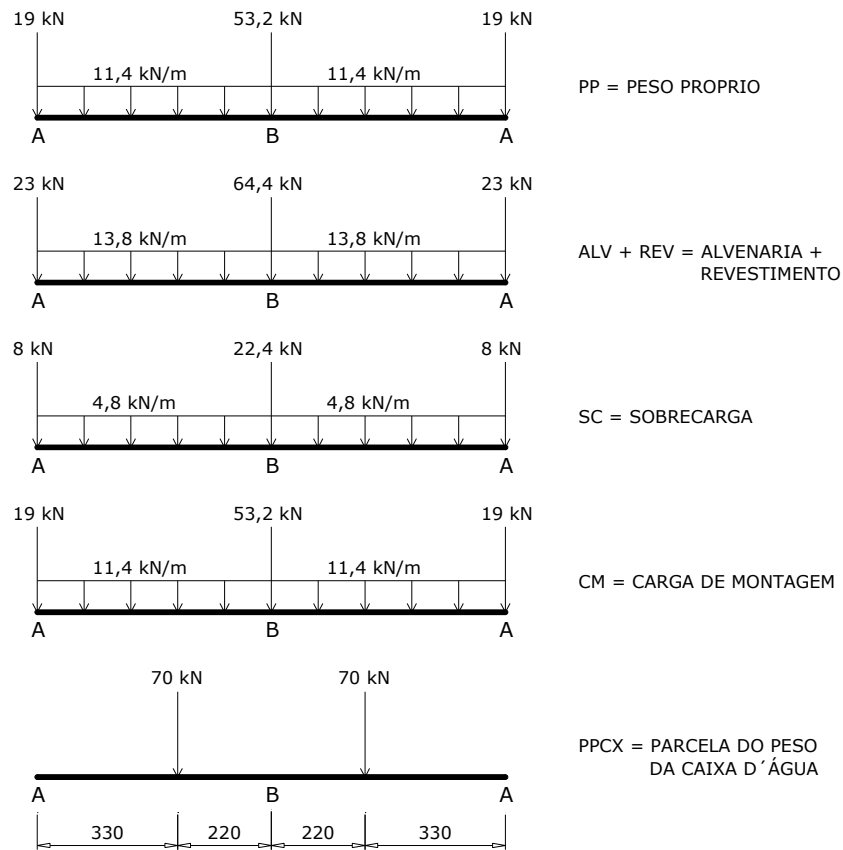


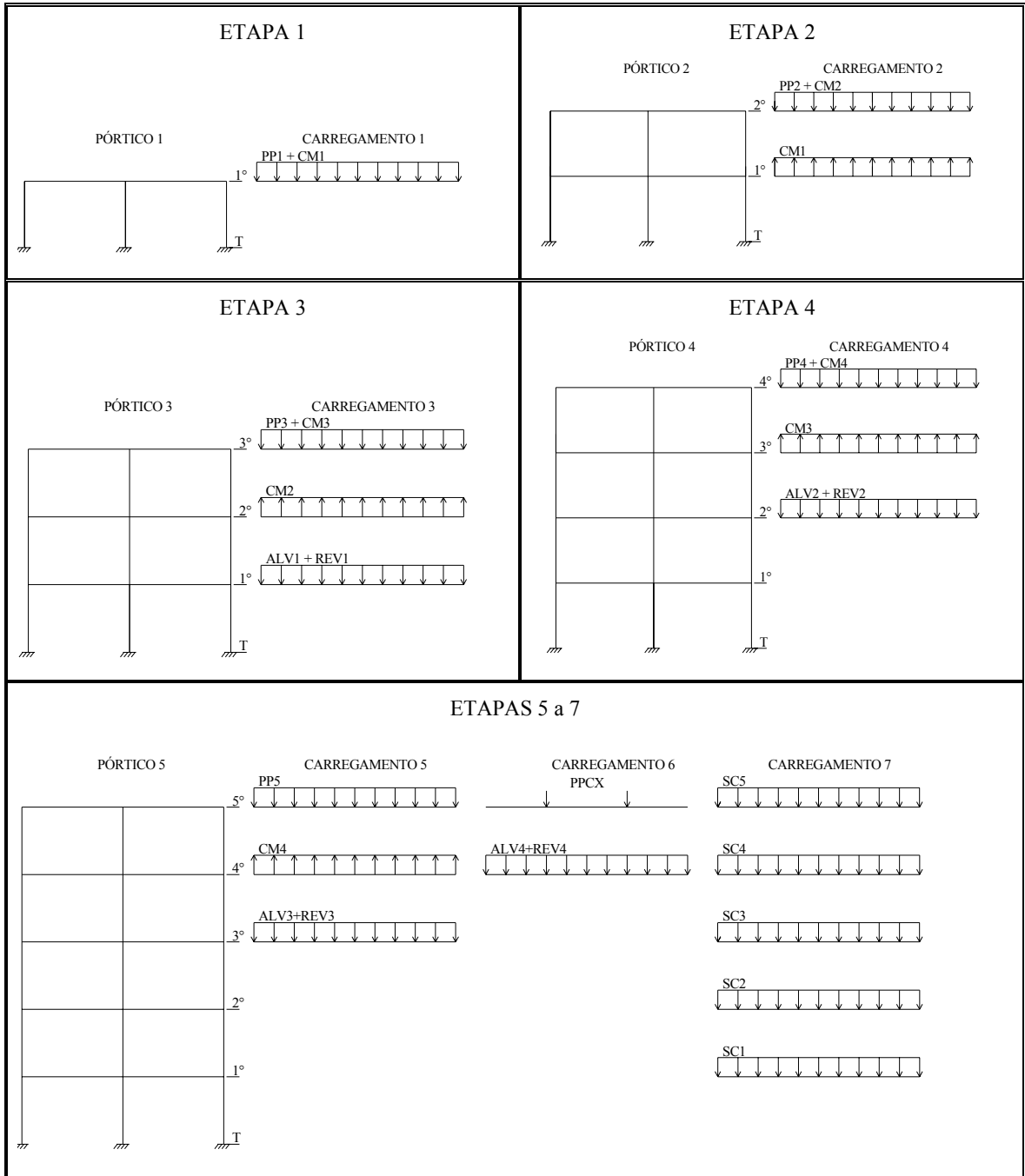
FIGURA 3.6 - Carregamento vertical para o pórtico plano

### 3.3 Modelo SEQÜENCIAL PP

No modelo *SEQÜENCIAL PP* a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída, ou seja, a seqüência dos carregamentos (peso próprio, alvenaria, revestimento, sobrecarga, carga de montagem e caixa d'água) é uma informação incorporada ao modelo.

A estrutura analisada neste capítulo é um pórtico plano com 5 andares. No cálculo tradicional este pórtico seria calculado uma única vez com o carregamento solicitante total. Como se mostra a seguir, a análise deste pórtico feita com o modelo *SEQÜENCIAL PP* requer o cálculo de 5 pórticos distintos sujeito a 7 carregamentos.

Para melhor entendimento da seqüência de análise adotada no modelo *SEQÜENCIAL PP*, apresenta-se, na FIGURA 3.7, um esquema dos pórticos calculados e dos carregamentos que os solicitam.



**FIGURA 3.7** - Representação esquemática dos pórticos e carregamentos do modelo *SEQÜENCIAL PP*

A TABELA 3.1 mostra um resumo dos pórticos calculados e dos carregamentos que os solicitam, onde adota-se a seguinte notação:

- a)  $PP_i$  = peso próprio do andar  $i$ ;
- b)  $ALV_i + REV_i$  = alvenaria e revestimento no andar  $i$ ;
- c)  $SC_i$  = sobrecarga do andar  $i$ ;
- d)  $CM_i$  = carga de montagem do andar  $i$ ;
- e)  $PPCX$  = carregamento devido à caixa d'água.

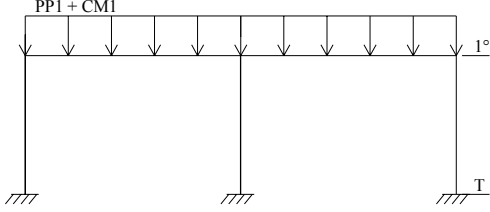
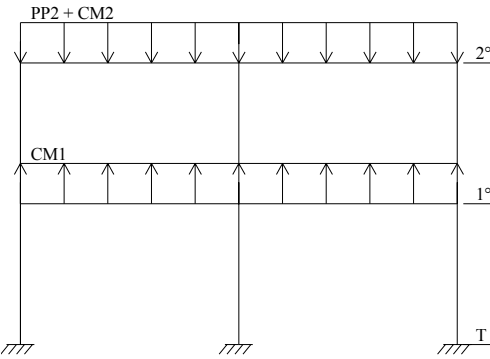
**TABELA 3.1-** Resumo dos pórticos e carregamentos do modelo *SEQÜENCIAL PP*

Pórtico	Carregamento	Descrição do carregamento
1	1	$PP_1 + CM_1$
2	2	$PP_2 + CM_2$ - $CM_1$
3	3	$PP_3 + CM_3$ - $CM_2$ $ALV_1 + REV_1$
4	4	$PP_4 + CM_4$ - $CM_3$ $ALV_2 + REV_2$
5	5	$PP_5$ - $CM_4$ $ALV_3 + REV_3$
	6	$ALV_4 + REV_4$ $PPCX$
	7	$SC_1$ a $SC_5$

A análise seqüencial é realizada de baixo para cima e as cargas verticais são postas na estrutura seguindo uma programação feita pelo construtor e pelo calculista, com o objetivo de definir a época da concretagem, da execução da alvenaria, da aplicação da carga de montagem, etc. Essa programação é parte integrante do projeto estrutural.



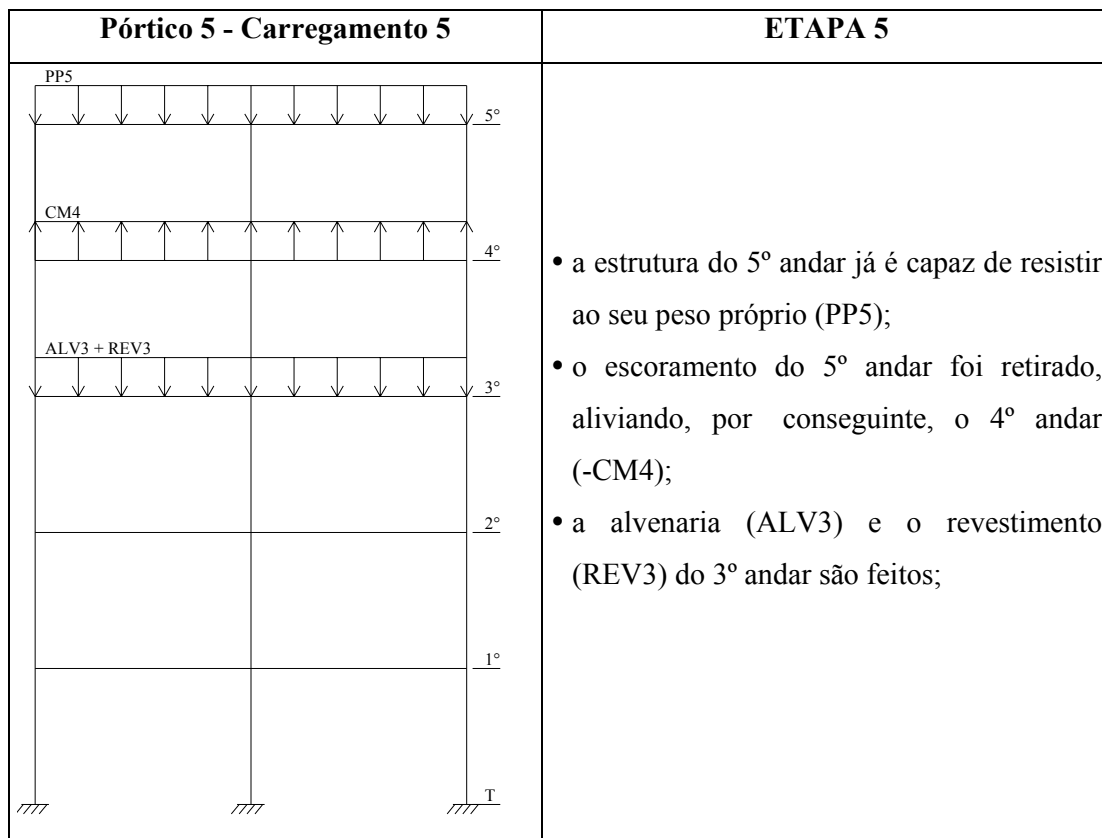
Nas figuras a seguir são feitos comentários sobre cada uma das etapas de construção e carregamento adotadas para o modelo *SEQÜENCIAL PP*.

Pórtico 1 - Carregamento 1	ETAPA 1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 1º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP1);</li> <li>• o peso próprio do 2º andar, que é uma carga de montagem (CM1), é suportado pelo 1º andar;</li> <li>• os pesos próprios dos andares são as únicas cargas de montagem (sobrecarga temporária) consideradas neste exemplo.</li> </ul>
Pórtico 2 - Carregamento 2	ETAPA 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 2º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP2);</li> <li>• o escoramento do 2º andar foi retirado aliviando, por conseguinte, o 1º andar (-CM1);</li> <li>• o peso próprio do 3º andar, que é uma carga de montagem (CM2), é suportado pelo 2º andar;</li> </ul>

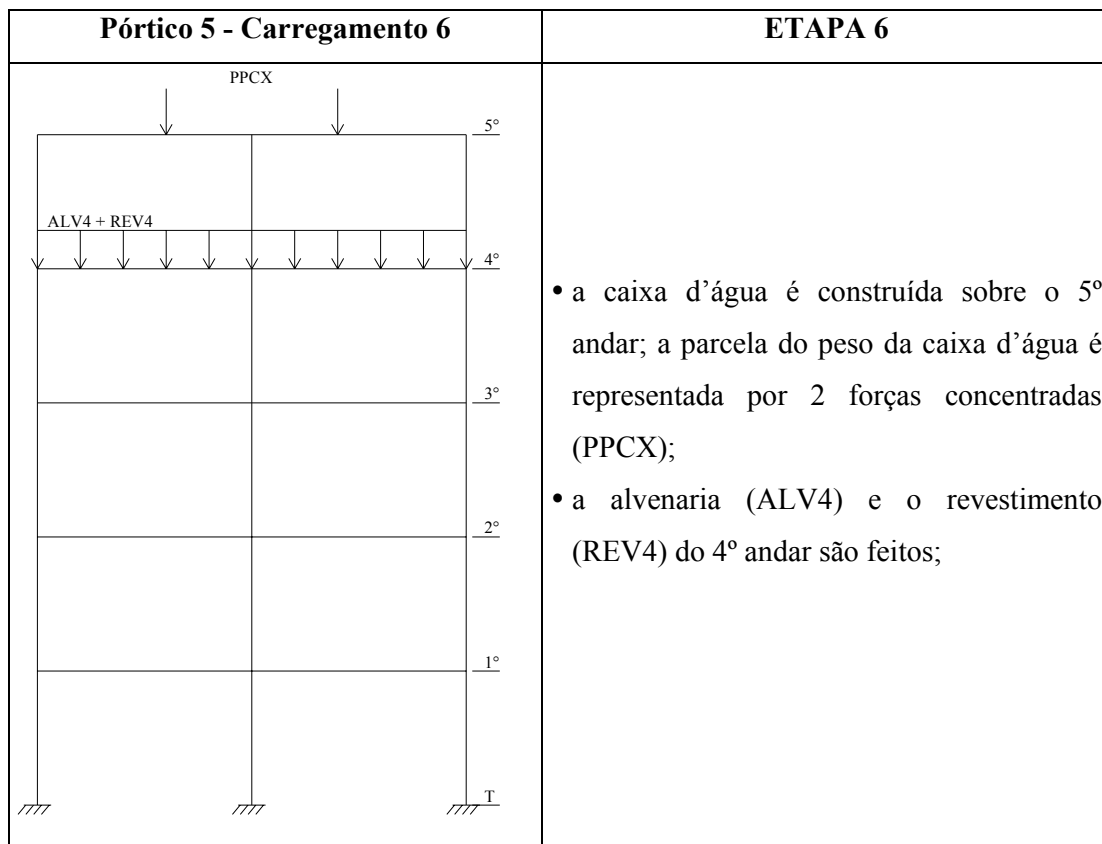
**FIGURA 3.8** - Representação esquemática das etapas 1 e 2 de construção e carregamento do modelo *SEQÜENCIAL PP*

Pórtico 3 - Carregamento 3	ETAPA 3
<p>Diagrama esquemático do pórtico 3 em carregamento 3. O pórtico tem três andares. O 3º andar está carregado com PP3 + CM3 (setas para baixo). O 2º andar está carregado com CM2 (setas para cima). O 1º andar está carregado com ALV1 + REV1 (setas para baixo). O pórtico é apoiado em três pontos no solo (T).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 3º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP3);</li> <li>• o escoramento do 3º andar foi retirado aliviando, por conseguinte, o 2º andar (-CM2);</li> <li>• o peso próprio do 4º andar, que é uma carga de montagem (CM3), é suportado pelo 3º andar;</li> <li>• a alvenaria (ALV1) e o revestimento (REV1) do 1º andar são feitos;</li> </ul>
Pórtico 4 - Carregamento 4	ETAPA 4
<p>Diagrama esquemático do pórtico 4 em carregamento 4. O pórtico tem quatro andares. O 4º andar está carregado com PP4 + CM4 (setas para baixo). O 3º andar está carregado com CM3 (setas para cima). O 2º andar está carregado com ALV2 + REV2 (setas para baixo). O 1º andar não tem carga. O pórtico é apoiado em três pontos no solo (T).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 4º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP4);</li> <li>• o escoramento do 4º andar foi retirado aliviando, por conseguinte, o 3º andar (-CM3);</li> <li>• o peso próprio do 5º andar, que é uma carga de montagem (CM4), é suportado pelo 4º andar;</li> <li>• a alvenaria (ALV2) e o revestimento (REV2) do 2º andar são feitos;</li> </ul>

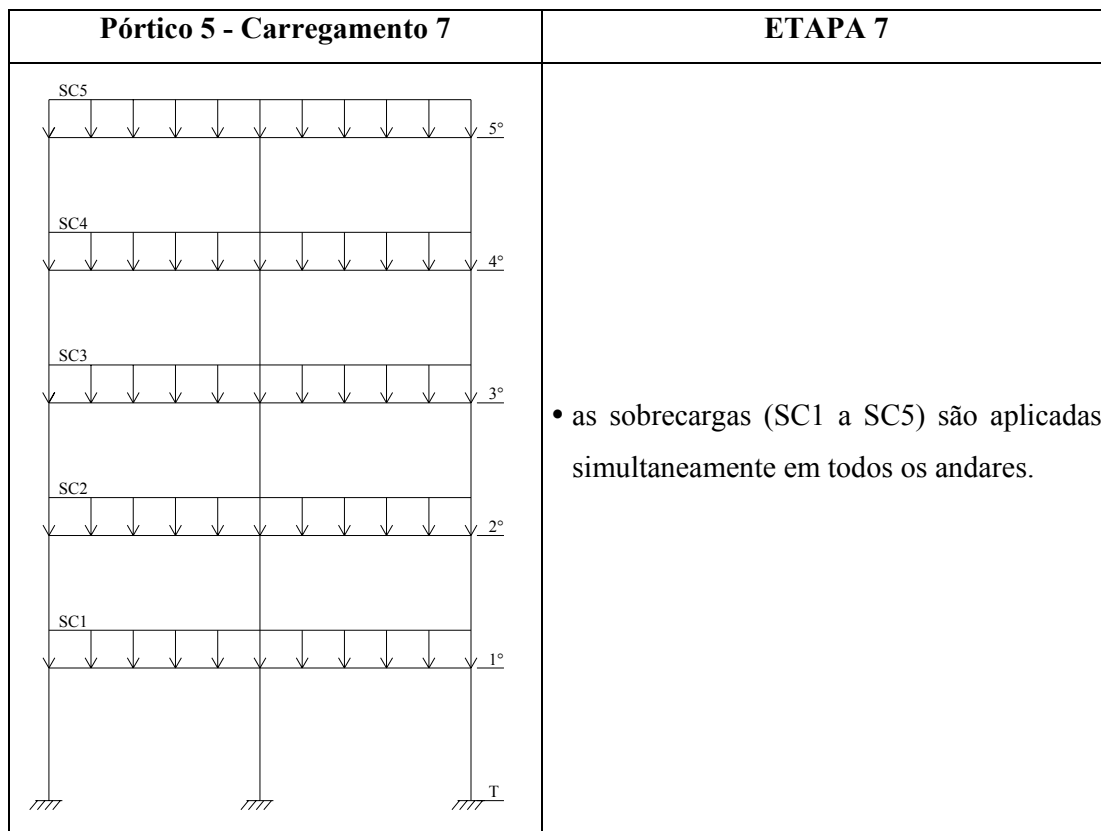
**FIGURA 3.9** - Representação esquemática das etapas 3 e 4 de construção e carregamento do modelo *SEQÜENCIAL PP*



**FIGURA 3.10** - Representação esquemática da etapa 5 de construção e carregamento do modelo *SEQÜENCIAL PP*



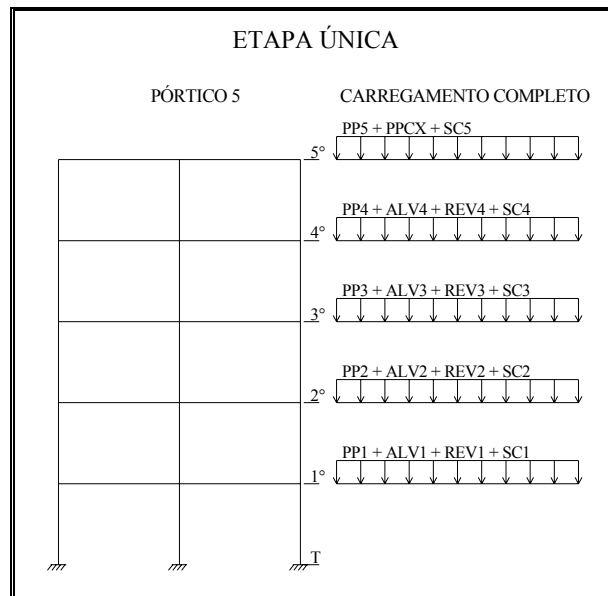
**FIGURA 3.11** - Representação esquemática da etapa 6 de construção e carregamento do modelo *SEQÜENCIAL PP*



**FIGURA 3.12** - Representação esquemática da etapa 7 de construção e carregamento do modelo *SEQÜENCIAL PP*

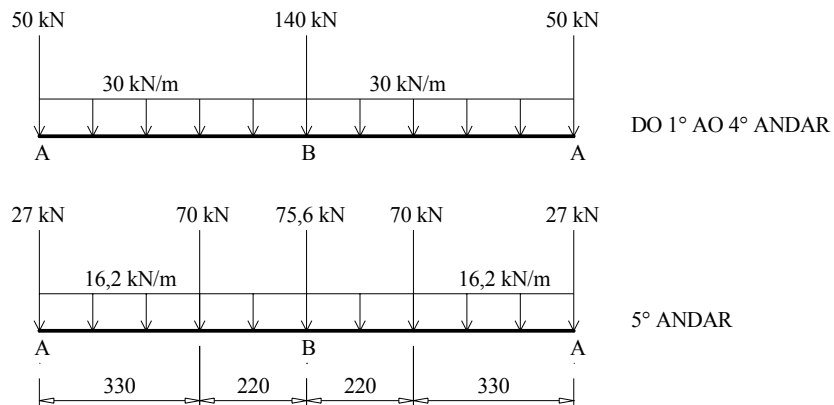
### 3.4 Modelo NÃO SEQÜENCIAL PP

No modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP* (FIGURA 3.13) a estrutura é carregada somente após estar pronta, ou seja, ela é carregada simultaneamente em todos os andares pelo carregamento completo.



**FIGURA 3.13** - Representação esquemática da estrutura e carregamento do modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*

Na FIGURA 3.14 apresenta-se o carregamento que solicita o modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP* cujos valores são a soma das cargas verticais mostradas na FIGURA 3.6, ou seja:



**FIGURA 3.14** - Carregamento vertical do modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*

### 3.5 Análise Numérica dos Resultados

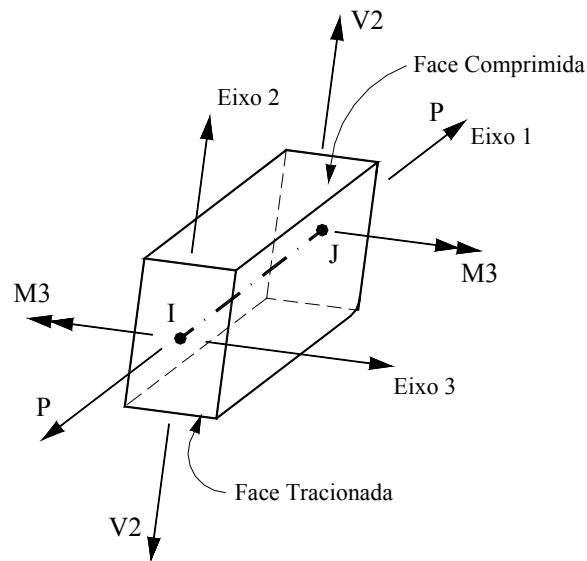
Neste item vai-se apresentar e discutir os resultados finais da análise do pórtico plano da FIGURA 3.2. Para efeito de comparação são feitas análises em dois modelos estruturais distintos:

- modelo SEQÜENCIAL PP;
- modelo NÃO SEQÜENCIAL PP.

São comparadas as seguintes grandezas (G):

- forças axiais P;
- forças cortantes V2;
- momentos fletores M3;
- reações de apoio verticais R na fundação;
- recalques diferenciais RD entre os pilares.

As tabelas comparativas dos resultados estão organizadas a partir dos dados gerados pelo programa SAP2000, de acordo com a convenção de sinal mostrada na FIGURA 3.15 para um elemento de barra (FRAME) de nós I e J.



**FIGURA 3.15-** Força axial P, força cortante V2 e momento fletor M3 positivos no elemento de barra (FRAME)

Nelas adota-se a numeração de barras do pórtico plano conforme FIGURA 3.16 e a numeração de vigas e pilares conforme a FIGURA 3.2.

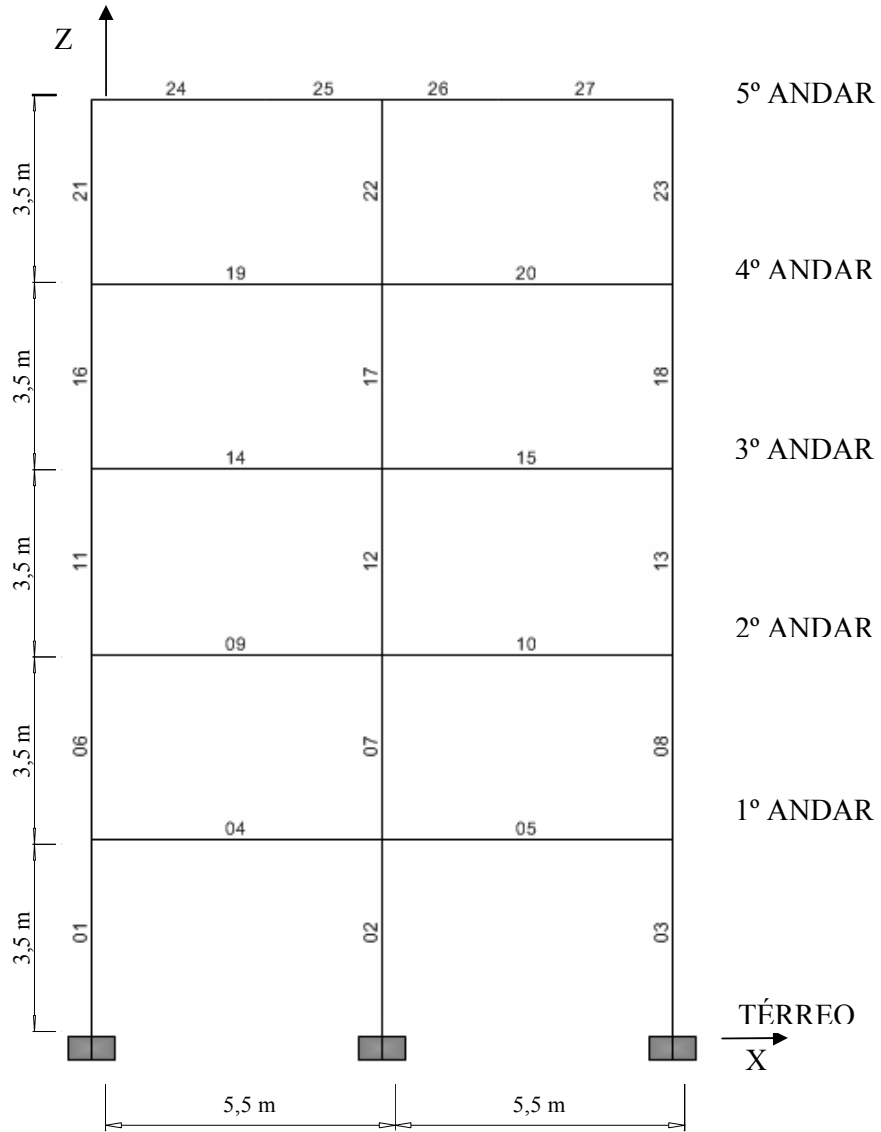


FIGURA 3.16 - Numeração das barras do pórtico plano



### 3.5.1 - Forças Axiais P

Obtém-se os valores das forças axiais P das vigas ao longo dos 5 andares para o modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $P_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $P_{SPP}$ ). Os valores finais de P obtidos são mostrados na TABELA 3.2. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais das forças axiais P ( $\Delta P\%$ ) entre os dois modelos.

Os valores dos módulos dessas diferenças percentuais são obtidos através da equação 3.1:

$$\Delta G\% = \left| \frac{G_{NSPP} - G_{SPP}}{G_{SPP}} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

onde:

$\Delta G\%$  = módulo da diferença percentual da grandeza G;

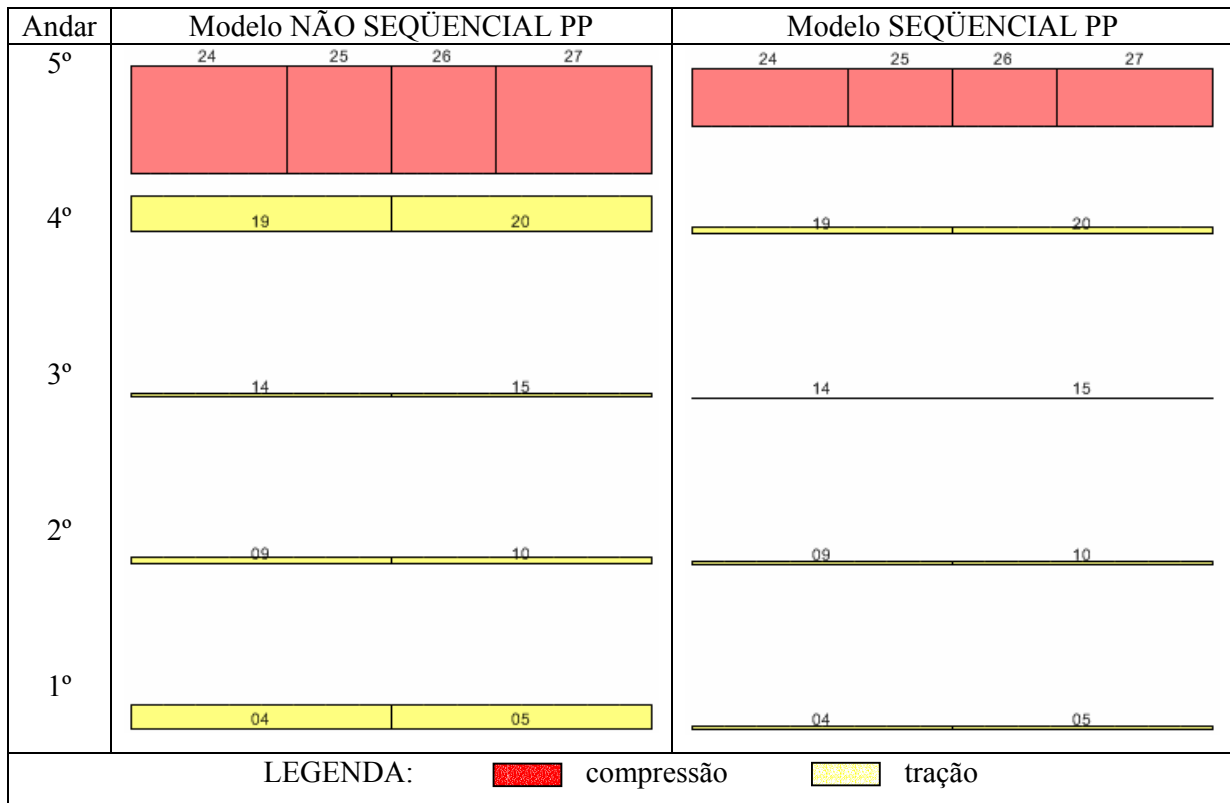
$G_{NSPP}$  = valor da grandeza no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*;

$G_{SPP}$  = valor da grandeza no modelo *SEQÜENCIAL PP*;

**TABELA 3.2** - Forças axiais finais P e diferenças percentuais  $\Delta P\%$  na VIGA ③ do 1º ao 5º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

VIGA ③			
Andar	Força Axial P (kN)		$\Delta P\%$
	$P_{NSPP}$	$P_{SPP}$	
1º	10,36	1,42	629,6
2º	2,19	1,62	35,2
3º	1,55	0,54	187,0
4º	15,17	3,85	294,0
5º	-45,59	-30,53	49,3

O programa SAP2000 gera diagramas dessas forças (FIGURA 3.17) o que permite uma visualização do comportamento das vigas como um todo.



**FIGURA 3.17** - Diagramas da força axial P nas vigas para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

A partir dos valores das tabelas e gráficos mostrados acima, verifica-se que:

- a) nas vigas do 1°, 2°, 3° e 4° andares, as forças axiais são de tração e maiores no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*;
- b) na viga do 5° andar, as forças axiais são de compressão e maiores em valor absoluto no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*;
- c) ocorrem diferenças percentuais  $\Delta P\%$  nas vigas em todos os andares; note-se, todavia, que a maioria das forças axiais  $P_{SPP}$  no modelo *SEQÜENCIAL PP* são pequenas com exceção das do 5° andar.

Os valores finais das forças axiais P no pilares (PILAR 1 = PILAR 3 e PILAR 2), para os dois modelos, são mostrados na TABELA 3.3. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais das forças axiais P ( $\Delta P\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).

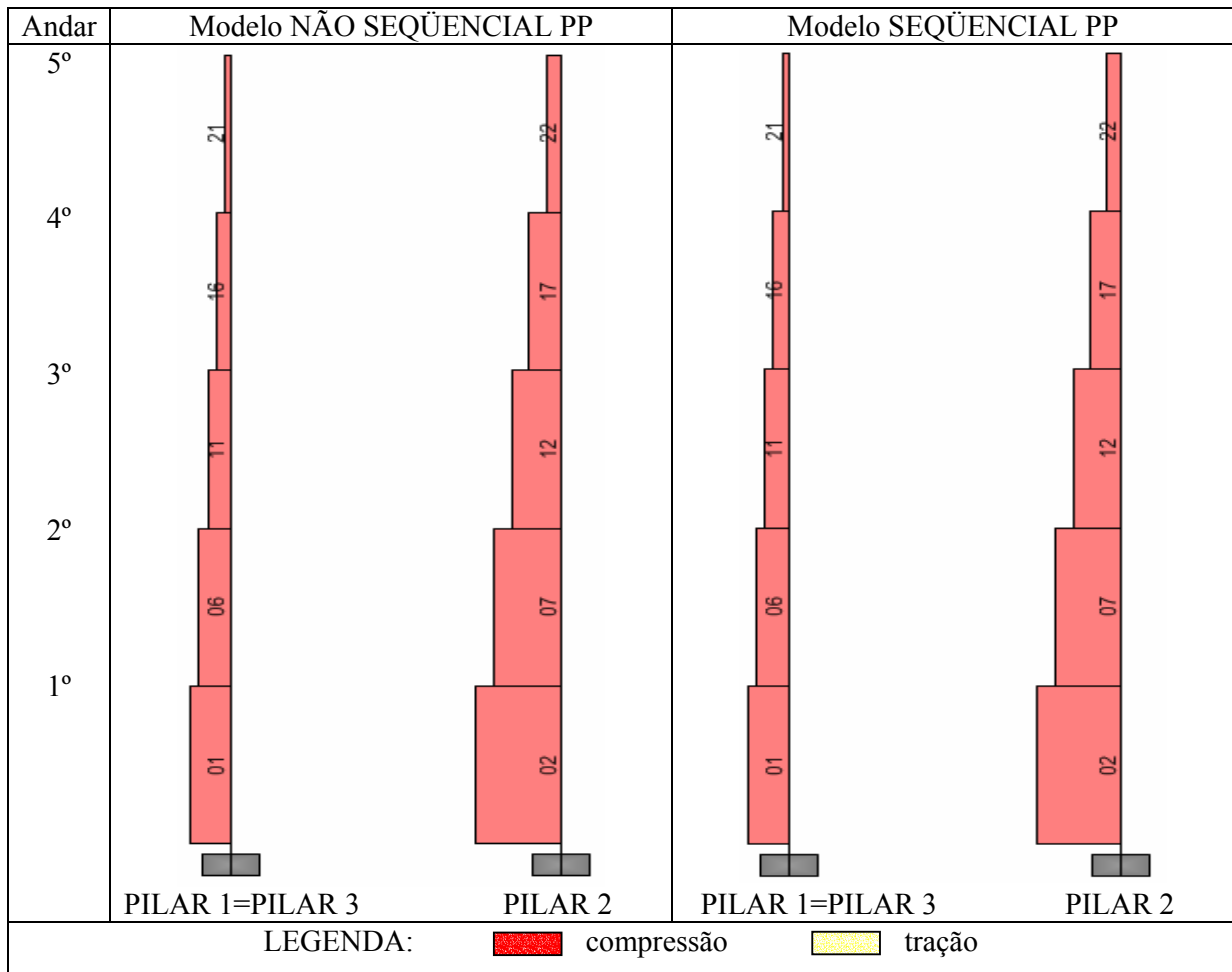
**TABELA 3.3** - Forças axiais finais P e diferenças percentuais  $\Delta P\%$  nos pilares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

Andar	PILAR 1 = PILAR 3			PILAR 2		
	Força Axial P (kN)		$\Delta P\%$	Força Axial P (kN)		$\Delta P\%$
	$P_{NSPP}$	$P_{SPP}$		$P_{NSPP}$	$P_{SPP}$	
1°	-674,34	-653,11	3,3	-1379,12	-1421,58	2,9
2°	-538,13	-517,77	3,9	-1081,54	-1122,25	3,6
3°	-397,21	-379,36	4,7	-793,38	-829,09	4,3
4°	-253,02	-239,05	5,8	-511,77	-539,71	5,2
5°	-106,24	-99,01	7,3	-235,33	-249,78	5,8

A partir dos valores das TABELA 3.3 obtêm-se os diagramas mostrados na FIGURA 3.18.

O exame da TABELA 3.3 mostra que:

- todas as barras dos pilares 1, 2 e 3 estão comprimidas;
- as forças de compressão no PILAR 1 = PILAR 3 são maiores no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*; todavia no PILAR 2 as forças de compressão são maiores no modelo *SEQÜENCIAL PP*;
- de maneira geral, as diferenças percentuais aumentam do 1° ao 5° andar tanto no PILAR 1 = PILAR 3 como no PILAR 2;
- comparando-se os resultados acima nota-se uma transferência de cargas entre os pilares ao se passar do modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP* para o modelo *SEQÜENCIAL PP*.



**FIGURA 3.18** - Diagramas da força axial P nos pilares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

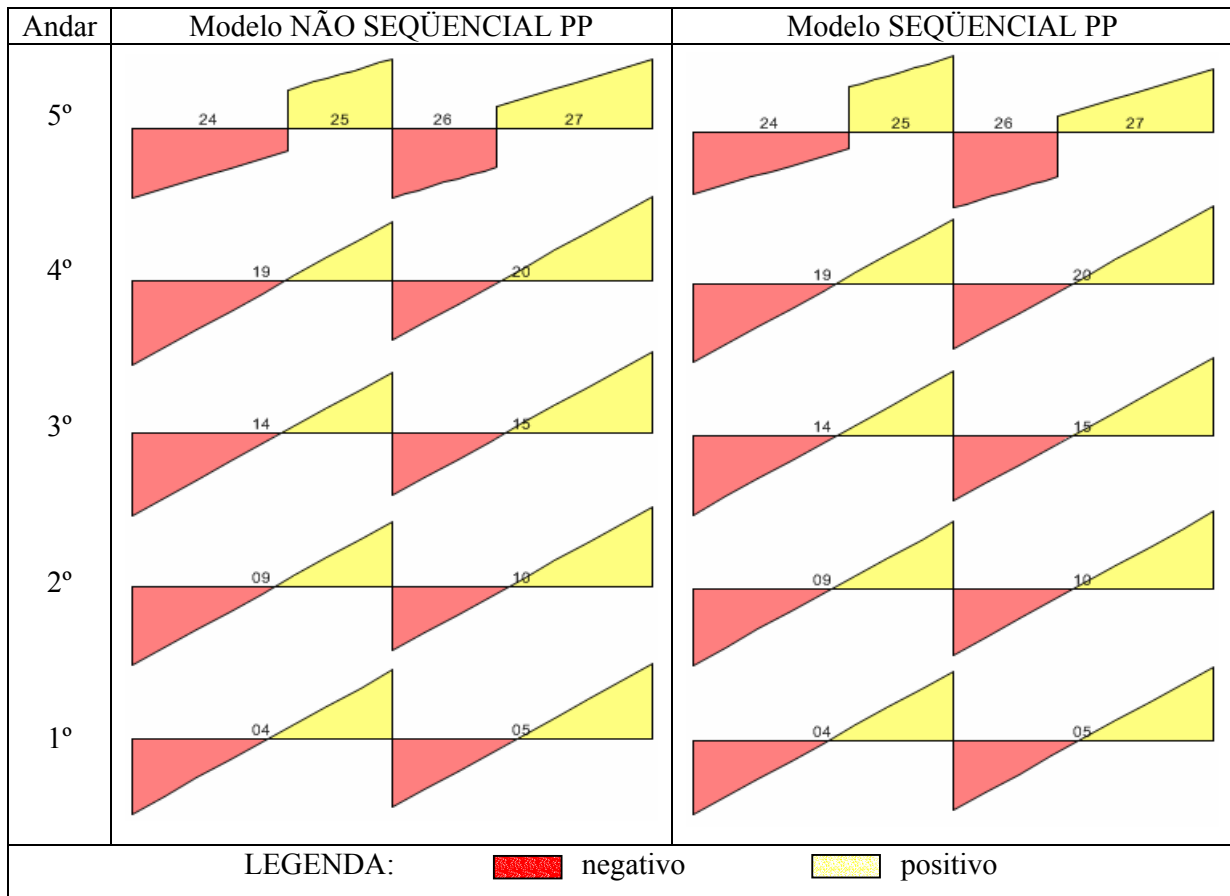
### 3.5.2 - Forças Cortantes V2

Obtêm-se, agora, os valores das forças cortantes V2 das vigas ao longo dos 5 andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $V2_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $V2_{SPP}$ ). Os valores finais de V2 obtidos são mostrados na TABELA 3.4 Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais das forças cortantes V2 ( $\Delta V2\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).

**TABELA 3.4** - Forças cortantes finais V2 e diferenças percentuais  $\Delta V2\%$  na VIGA ③ do 1º ao 5º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

VIGA ③				
Andar	Eixo X (m)	Força Cortante V2 (kN)		$\Delta V2\%$
		V2 <sub>NSPP</sub>	V2 <sub>SPP</sub>	
1º	0	-86,21	-85,34	1,0
	5,5	78,79	79,66	1,1
	5,5	-78,79	-79,66	1,1
	11	86,21	85,34	1,0
2º	0	-90,92	-88,42	2,8
	5,5	74,08	76,58	3,3
	5,5	-74,08	-76,58	3,3
	11	90,92	88,42	2,8
3º	0	-94,19	-90,31	4,3
	5,5	70,81	74,69	5,2
	5,5	-70,81	-74,69	5,2
	11	94,19	90,31	4,3
4º	0	-96,78	-90,04	7,5
	5,5	68,22	74,96	9,0
	5,5	-68,22	-74,96	9,0
	11	96,78	90,04	7,5
5º	0	-79,24	-72,01	10,0
	3,3	-25,78	-18,55	39,0
	3,3	44,22	51,45	14,1
	5,5	79,86	87,09	8,3
	5,5	-79,86	-87,09	8,3
	7,7	-44,22	-51,45	14,1
	7,7	25,78	18,55	39,0
	11	79,24	72,01	10,0

O programa SAP2000 gera diagramas dessas forças (FIGURA 3.19) o que permite uma visualização do comportamento das vigas como um todo.



**FIGURA 3.19** - Diagramas da força cortante V2 nas vigas para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

A partir dos valores da TABELA 3.4 e dos diagramas (FIGURA 3.19) mostrados anteriormente, verifica-se que:

- a) os valores das forças cortantes nas vigas, no ponto  $X = 11,0$  metros, aumentam gradativamente do 1° ao 4° andar em ambos os modelos;
- b) os valores da diferença percentual  $\Delta V2\%$ , de modo geral, aumentam gradativamente do 1° ao 5° andar.

Obtêm-se, a seguir, os valores finais das forças cortantes V2 nos pilares 1, 2 e 3 ao longo dos 5 andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $V2_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $V2_{SPP}$ ). Devido à simetria, os valores das forças cortantes no PILAR 3 são iguais e opostos aos do PILAR 1. Além disso, a força cortante no PILAR 2 é nula em todos os andares. Os valores finais de V2 relativos ao PILAR 1

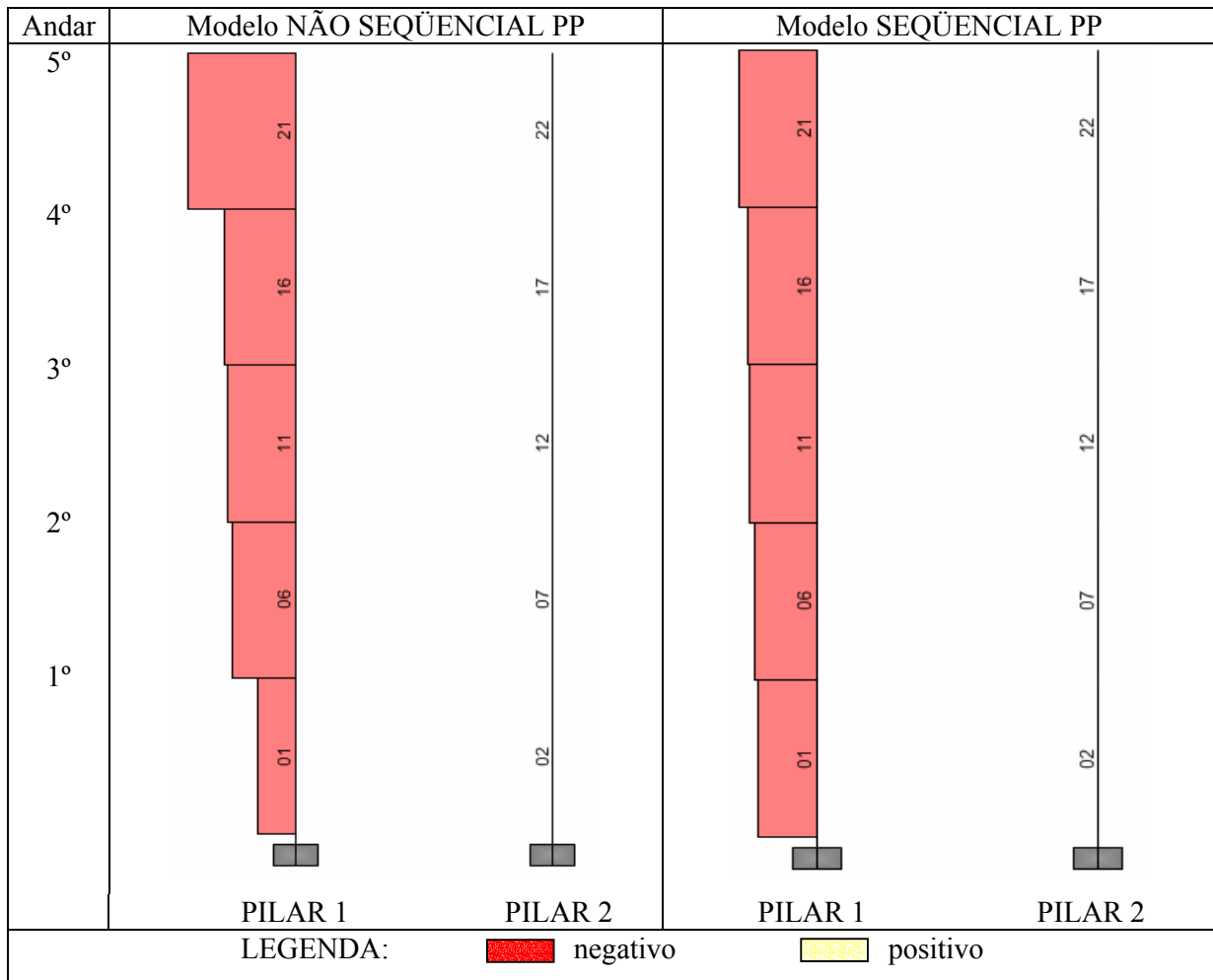
são mostrados na TABELA 3.5. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais das forças cortantes V2 ( $\Delta V2\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).

**TABELA 3.5** - Forças cortantes finais V2 e diferenças percentuais  $\Delta V2\%$  no PILAR 1 para os modelos *NÃO SEQUENCIAL PP* e *SEQUENCIAL PP*

PILAR 1			
Andar	Força Cortante V2 (kN)		$\Delta V2\%$
	V2 <sub>NSPP</sub>	V2 <sub>SPP</sub>	
1°	-16,32	-23,09	29,3
2°	-26,68	-24,52	8,8
3°	-28,87	-26,13	10,5
4°	-30,42	-26,68	14,0
5°	-45,59	-30,53	49,3

Analisando os valores da TABELA 3.5 e os diagramas (FIGURA 3.20) verifica-se que:

- a) os módulos das forças cortantes V2 nas barras verticais (pilares) aumentam gradativamente do 1° ao 4° andar em ambos os modelos;
- b) ocorrem diferenças percentuais  $\Delta V2\%$  expressivas em todos os andares.



**FIGURA 3.20** - Diagramas da força cortante V2 nos pilares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

### 3.5.3 - Momentos Fletores M3

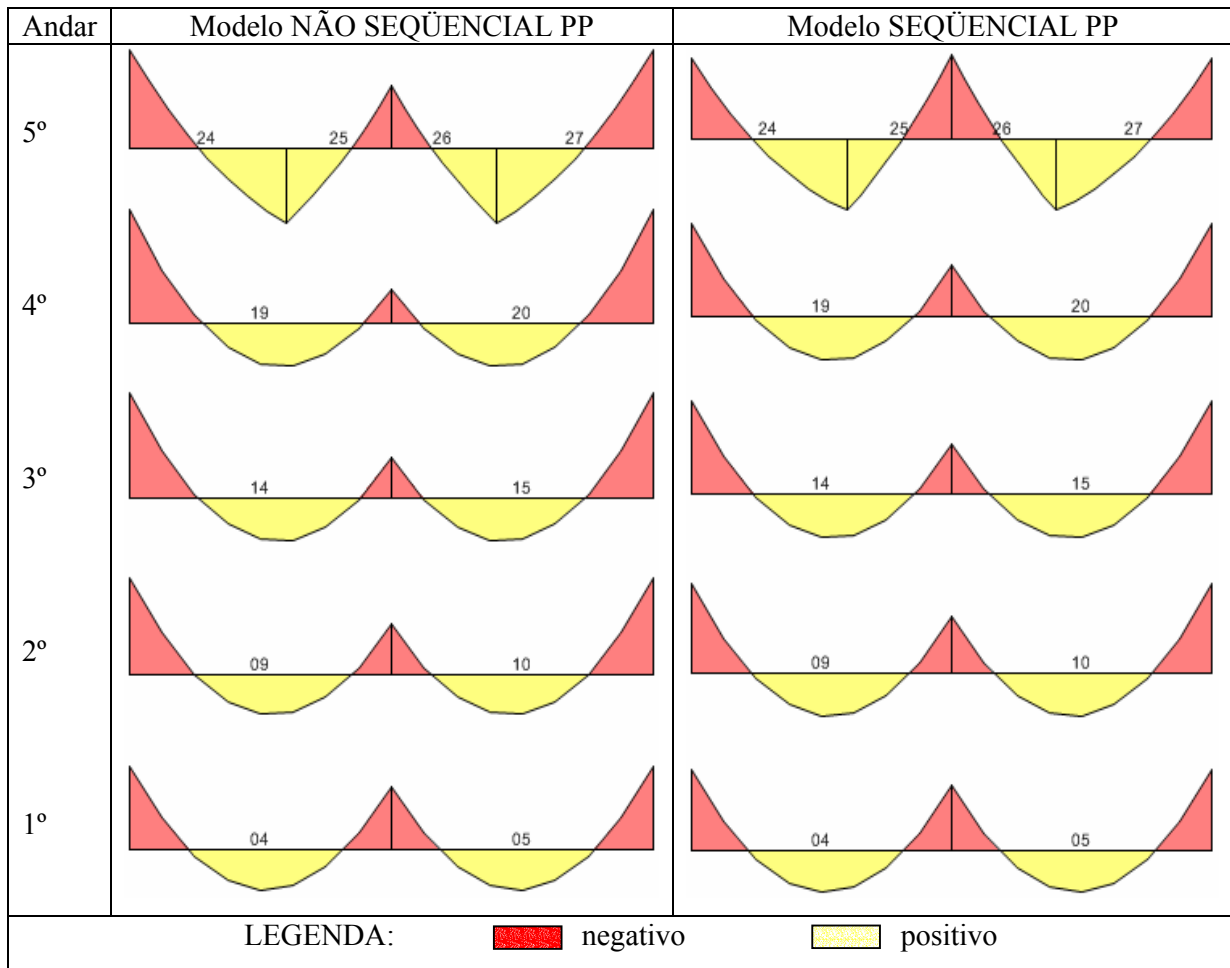
Obtêm-se, agora, os valores dos momentos fletores M3 nas vigas ao longo dos 5 andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $M3_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $M3_{SPP}$ ). Os valores finais de M3 obtidos são mostrados na TABELA 3.6. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais dos momentos fletores M3 ( $\Delta M3\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).



**TABELA 3.6** - Momentos fletores finais M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na VIGA ③ do 1° ao 5° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

VIGA ③				
Andar	Eixo X (m)	Momento Fletor M3 (kN.m)		$\Delta M3\%$
		M3 <sub>NSPP</sub>	M3 <sub>SPP</sub>	
1°	0	-83,66	-79,96	4,6
	5,5	-63,26	-64,35	1,7
	11	-83,66	-79,96	4,6
2°	0	-96,64	-87,57	10,4
	5,5	-50,33	-55,03	8,5
	11	-96,64	-87,57	10,4
3°	0	-105,51	-92,61	13,9
	5,5	-41,20	-49,65	17,0
	11	-105,51	-92,61	13,9
4°	0	-112,96	-91,90	22,9
	5,5	-34,41	-50,45	31,8
	11	-112,96	-91,90	22,9
5°	0	-98,58	-79,15	24,5
	3,3	74,69	70,27	6,3
	5,5	-61,81	-82,12	24,7
	7,7	74,69	70,27	6,3
	11	-98,58	-79,15	24,5

Com os valores da TABELA 3.6 obtêm-se os diagramas mostrados na FIGURA 3.21.



**FIGURA 3.21** - Diagramas do momento fletor M3 nas vigas para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

A partir dos valores da TABELA 3.6 e diagramas (FIGURA 3.21) mostrados anteriormente, verifica-se que:

- a) os módulos dos momentos fletores nas vigas em  $X = 0$  aumentam gradativamente do 1° ao 4° andar no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*; já no modelo *SEQÜENCIAL PP* esses valores aumentam gradativamente do 1° ao 3° andar e diminuem no 4° andar;
- b) as diferenças percentuais entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL PP* e *NÃO SEQÜENCIAL PP* são pequenas no 1° andar mas aumentam gradativamente nos andares superiores.

Obtêm-se, a seguir, os valores finais dos momentos fletores M3 nos pilares 1, 2 e 3 ao longo dos 5 andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $M3_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $M3_{SPP}$ ). Devido à simetria, os valores dos momentos fletores no PILAR 3 são iguais e opostos aos do PILAR 1. Além disso, o momento fletor no PILAR 2 é nulo em todos os andares. Os valores finais de M3 relativos ao PILAR 1 são mostrados na TABELA 3.7. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais dos momentos fletores M3 ( $\Delta M3\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).

**TABELA 3.7** - Momentos fletores finais M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  no PILAR 1 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

PILAR 1				
Andar	Eixo Z (m)	Momento Fletor M3 (kN.m)		$\Delta M3\%$
		$M3_{NSPP}$	$M3_{SPP}$	
1°	0	-20,25	-27,11	25,3
	3,5	36,87	53,72	31,4
2°	3,5	-46,79	-26,24	78,3
	7,0	46,60	59,56	21,8
3°	7,0	-50,04	-28,01	78,7
	10,5	51,02	63,45	19,6
4°	10,5	-54,49	-29,16	86,9
	14,0	51,98	64,21	19,0
5°	14,0	-60,98	-27,69	120,2
	17,5	98,58	79,15	24,6

Analisando os valores da TABELA 3.7 e diagramas (FIGURA 3.22) verifica-se que:

- os valores dos momentos fletores positivos aumentam gradativamente ao longo da altura em ambos os modelos;
- no modelo *SEQÜENCIAL PP* os valores dos momentos fletores negativos variam muito pouco ao longo da altura;
- as diferenças percentuais dos momentos fletores negativos aumentam gradativamente do 1° ao 4° andar;
- as diferenças percentuais dos momentos fletores positivos diminuem gradativamente do 1° ao 4° andar.

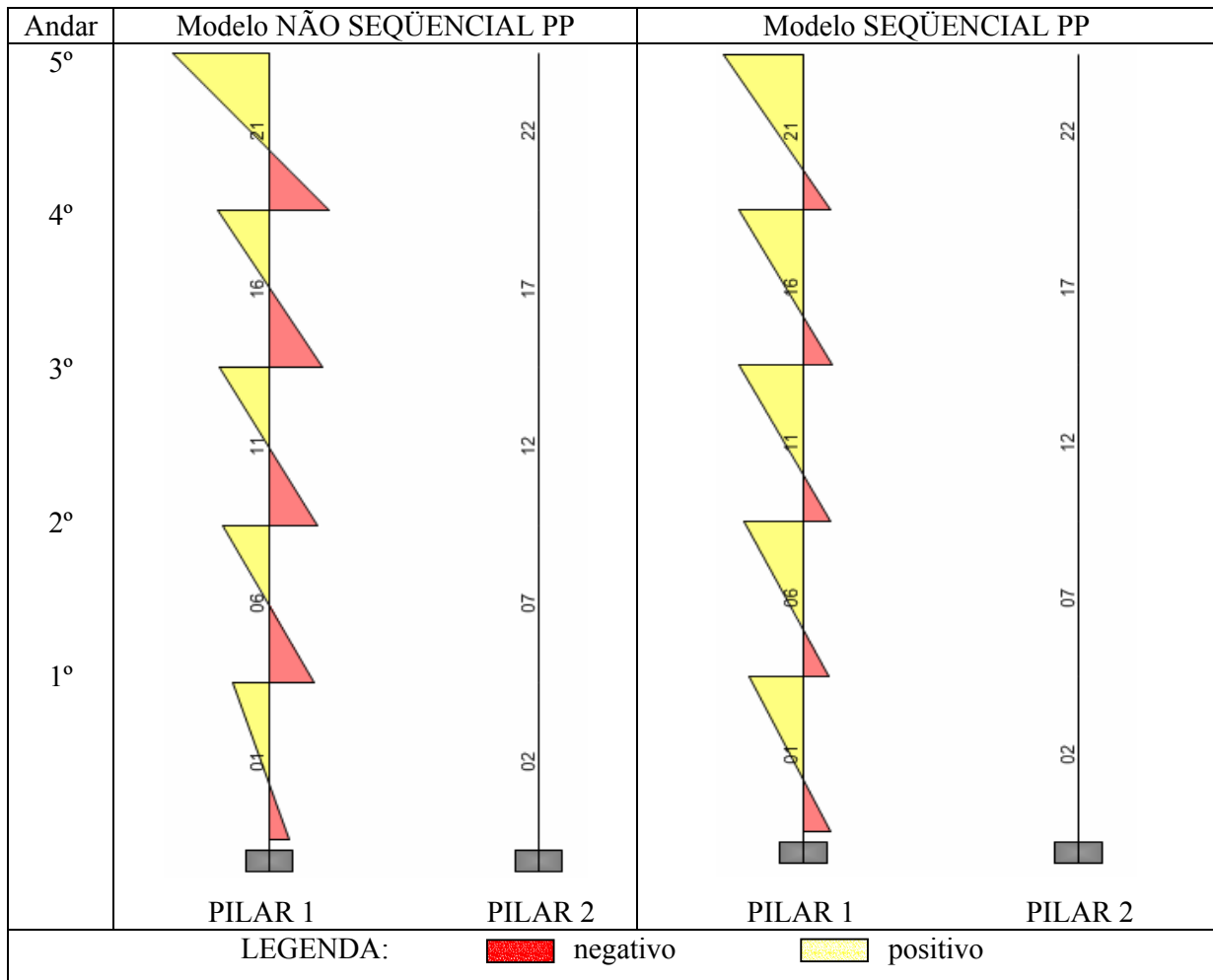


FIGURA 3.22 - Diagramas do momento fletor M3 nos pilares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

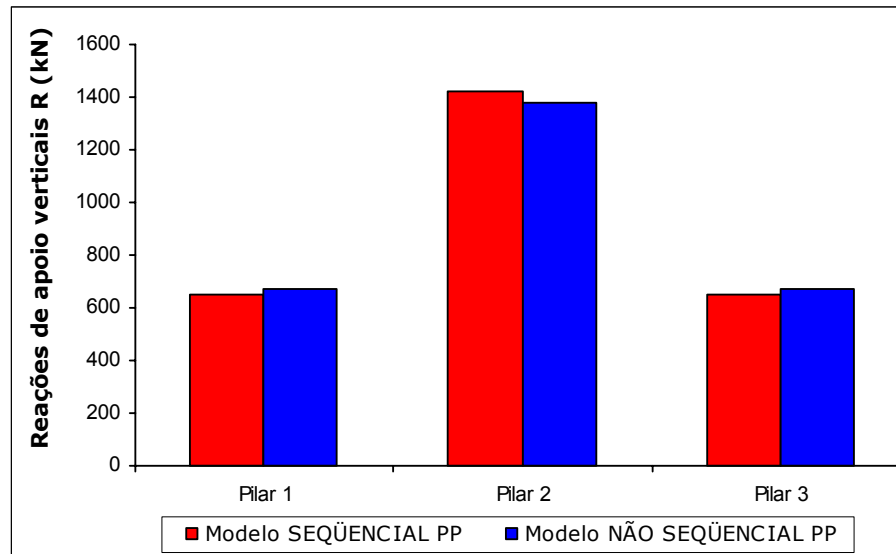
### 3.5.4 - Reações Verticais de Apoio na Fundação

Obtêm-se os valores das reações de apoio verticais R na fundação dos pilares 1, 2 e 3 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $R_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $R_{SPP}$ ). Os valores finais obtidos são mostrados na TABELA 3.8. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais das reações de apoio verticais R ( $\Delta R\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).

**TABELA 3.8** - Reações de apoio verticais R na fundação dos pilares 1, 2 e 3 e diferenças percentuais  $\Delta R\%$  para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

PILAR	Reação de Apoio (kN)		$\Delta R\%$
	$R_{NSPP}$	$R_{SPP}$	
1	674,34	653,11	3,3
2	1379,12	1421,58	3,0
3	674,34	653,11	3,3

Com os dados da TABELA 3.8 faz-se o gráfico mostrado na FIGURA 3.23.



**FIGURA 3.23** - Reações de apoio verticais R na fundação dos pilares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

Analisando os valores da TABELA 3.8 e o gráfico mostrado na FIGURA 3.23 verifica-se que:

- nas fundações dos pilares 1=3, os valores das reações de apoio verticais são maiores no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*;
- na fundação do PILAR 2, o valor da reação de apoio vertical é maior no modelo *SEQÜENCIAL PP*;
- ao se passar do modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP* para o modelo *SEQÜENCIAL PP* nota-se uma transferência de cargas entre os pilares.

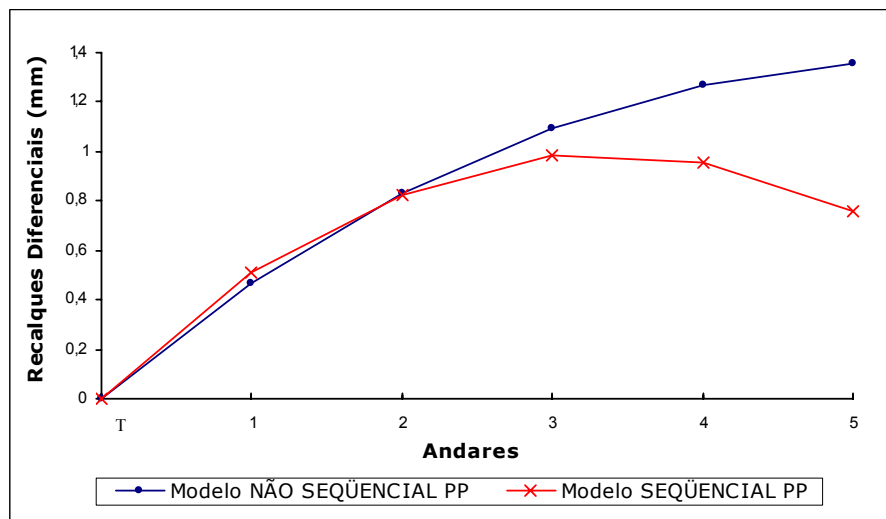
### 3.5.5 - Recalques Diferenciais entre os Pilares 1 e 2

Obtêm-se os valores finais dos recalques diferenciais RD entre os pilares 1 e 2 ao longo dos 5 andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* ( $RD_{NSPP}$ ) e *SEQÜENCIAL PP* ( $RD_{SPP}$ ). Os valores finais obtidos são mostrados na TABELA 3.9. Nesta tabela são também apresentados os módulos das diferenças percentuais dos recalques diferenciais RD ( $\Delta RD\%$ ) entre os dois modelos (ver equação 3.1).

**TABELA 3.9** - Recalques diferenciais entre os pilares 1 e 2 e diferenças percentuais  $\Delta RD\%$  para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

Recalques diferenciais entre os pilares 1 e 2 (mm)			
Andar	$RD_{NSPP}$	$RD_{SPP}$	$\Delta RD\%$
T	0	0	0
1°	0,469	0,513	8,6
2°	0,832	0,823	1,1
3°	1,096	0,984	11,4
4°	1,269	0,958	32,5
5°	1,354	0,758	78,6

Com os dados da TABELA 3.9 faz-se o gráfico mostrado na FIGURA 3.24.



**FIGURA 3.24** - Recalques diferenciais entre os pilares 1 e 2 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL PP* e *SEQÜENCIAL PP*

Analisando a TABELA 3.9 e o gráfico mostrado na FIGURA 3.24, verifica-se que:

- a) no modelo *NÃO SEQÜENCIAL PP*, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 5º andar, onde atinge seu valor máximo;
- b) no modelo *SEQÜENCIAL PP*, os recalques diferenciais crescem do 1º até o 3º andar, onde atinge seu valor máximo; a partir deste ponto os recalques diferenciais diminuem;
- c) existem diferenças percentuais em todos os andares, sendo essas maiores nos dois últimos andares.

### 3.6 Histórico dos Esforços

No modelo *SEQÜENCIAL PP* é possível se ter um histórico dos esforços, de todos os elementos da estrutura, calculados nas diversas etapas.

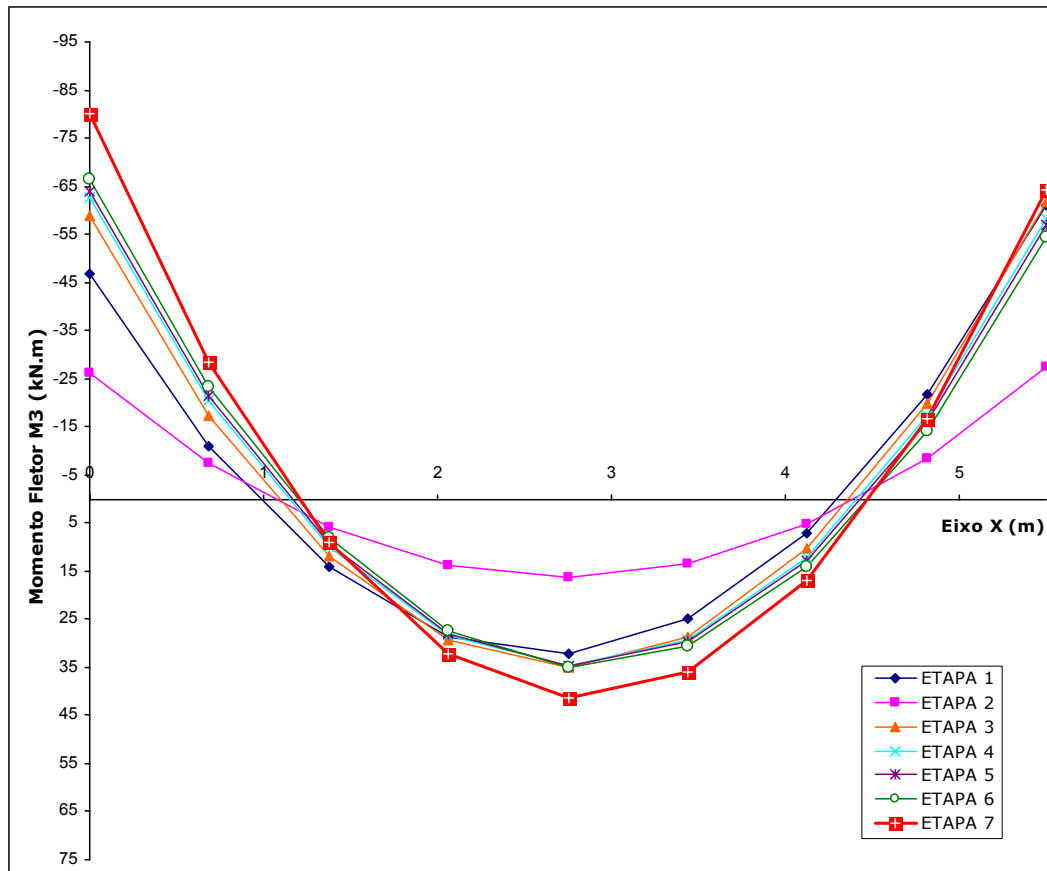
O pórtico analisado neste capítulo está submetido a sete carregamentos em níveis diferentes. Como se viu, os efeitos do carregamento 1 devem ser calculados no pórtico 1, os do carregamento 2 no pórtico 2 e assim por diante. Portanto, apenas as barras do pórtico 1 são solicitadas pelos sete carregamentos. As barras do pórtico 2 são solicitadas por seis carregamentos, as do pórtico 3 por cinco carregamentos e assim sucessivamente.

Mostra-se a seguir o histórico do momento fletor  $M_3$  nas barras 04, 09, 14, 19 e 24+25 (FIGURA 3.16) nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*. Os valores do momento fletor  $M_3$  ao longo do eixo  $x$  das barras 04, 09, 14, 19 e 24+25, para cada etapa, são mostrados, respectivamente, nas tabelas 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14.

Com os dados das tabelas 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14 fazem-se os gráficos comparativos mostrados nas figuras 3.25, 3.26, 3.27, 3.28 e 3.29, respectivamente.

**TABELA 3.10** - Histórico do momento fletor M3 na barra 04 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

MOMENTO FLETOR M3 – BARRA 04									
ETAPA	EIXO X (m)								
	0	0,6875	1,375	2,0625	2,75	3,4375	4,125	4,8125	5,5
1	-46,82	-10,89	14,26	28,63	32,23	25,04	7,09	-21,65	-61,16
2	-26,25	-7,55	5,76	13,68	16,21	13,36	5,12	-8,51	-27,53
3	-58,72	-17,42	11,97	29,45	35,02	28,68	10,42	-19,74	-61,82
4	-62,62	-20,39	9,92	28,32	34,81	29,39	12,06	-17,19	-58,34
5	-64,06	-21,47	9,21	27,98	34,83	29,78	12,81	-16,06	-56,85
6	-66,54	-23,32	7,99	27,39	34,88	30,46	14,13	-14,11	-54,27
7	-79,96	-28,38	9,02	32,24	41,28	36,14	16,82	-16,67	-64,35

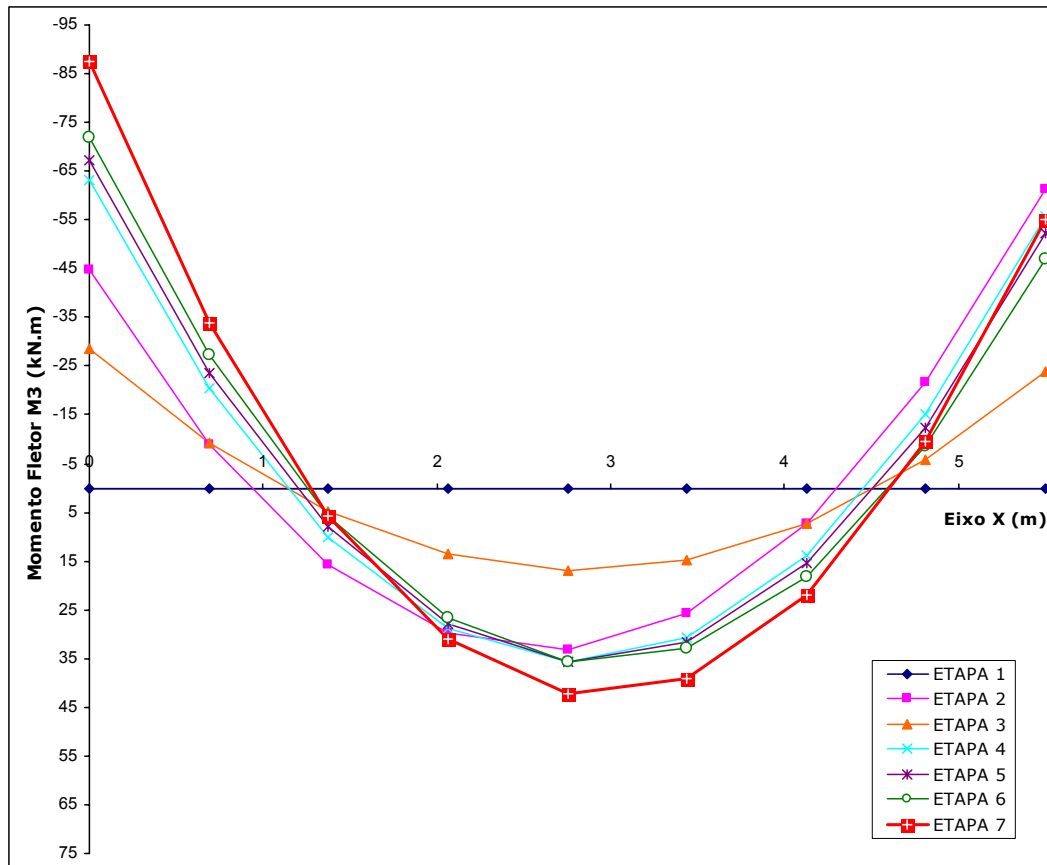


**FIGURA 3.25** - Momento fletor M3 na barra 04 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*



**TABELA 3.11** - Histórico do momento fletor M3 na barra 09 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

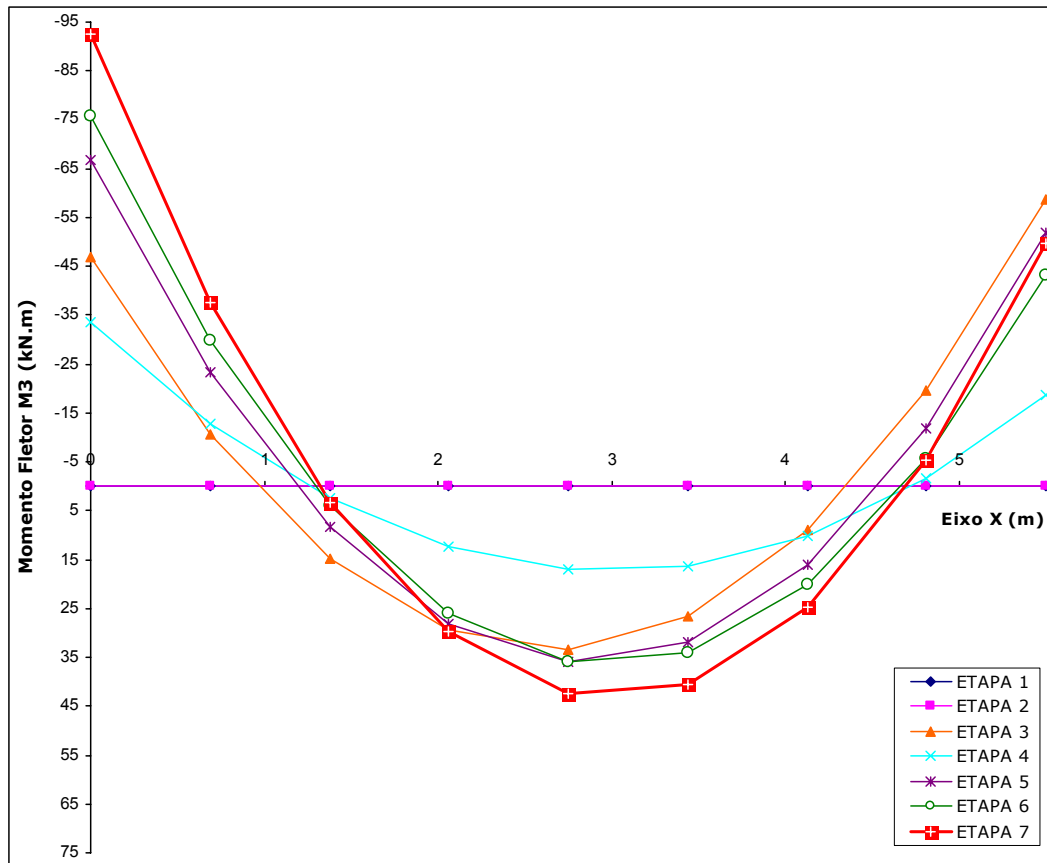
MOMENTO FLETOR M3 – BARRA 09									
ETAPA	EIXO X (m)								
	0	0,6875	1,375	2,0625	2,75	3,4375	4,125	4,8125	5,5
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-44,62	-9,01	15,83	29,89	33,18	25,69	7,43	-21,62	-61,44
3	-28,54	-9,12	4,92	13,57	16,84	14,71	7,20	-5,70	-23,99
4	-63,12	-20,51	10,18	28,96	35,83	30,80	13,85	-15,02	-55,79
5	-67,09	-23,55	8,09	27,81	35,62	31,52	15,51	-12,41	-52,24
6	-72,05	-27,23	5,67	26,66	35,74	32,91	18,17	-8,48	-47,05
7	-87,57	-33,88	5,64	30,98	42,14	39,11	21,91	-9,47	-55,03



**FIGURA 3.26** - Momento fletor M3 na barra 09 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

**TABELA 3.12** - Histórico do momento fletor M3 na barra 14 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

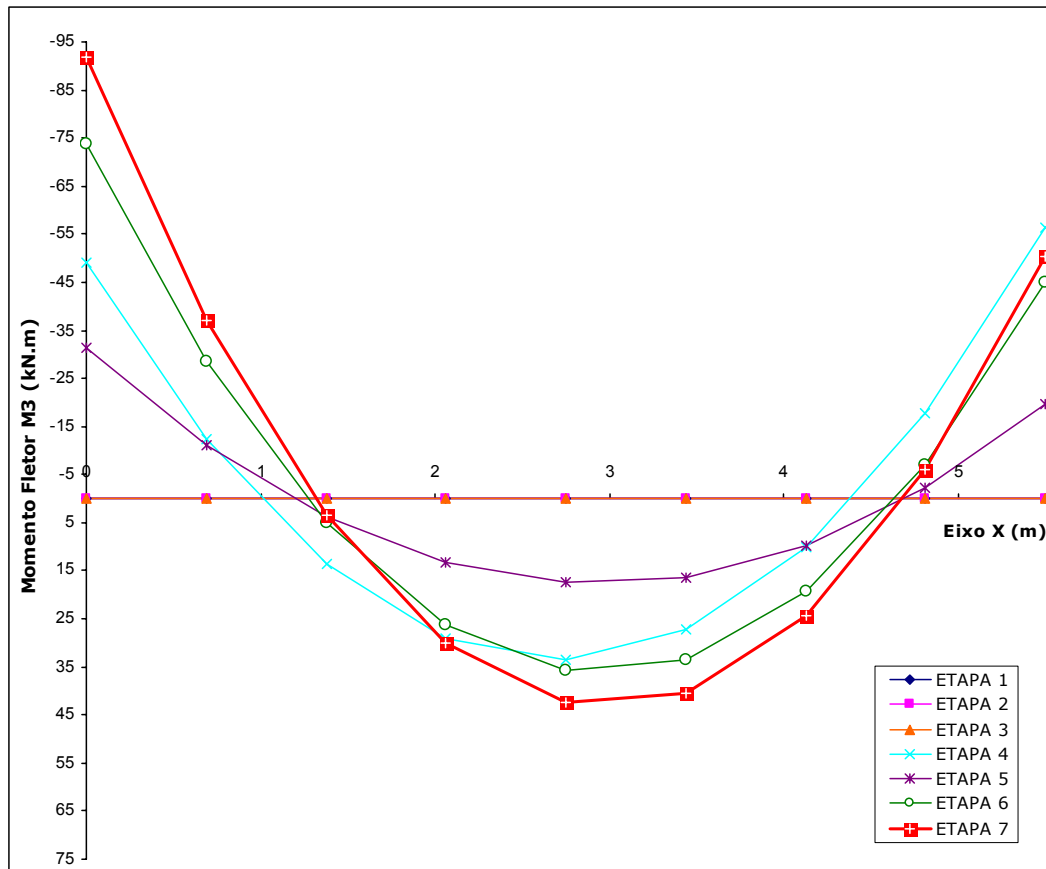
MOMENTO FLETOR M3 – BARRA 14									
ETAPA	EIXO X (m)								
	0	0,6875	1,375	2,0625	2,75	3,4375	4,125	4,8125	5,5
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	-47,03	-10,77	14,71	29,42	33,35	26,51	8,89	-19,51	-58,69
4	-33,54	-12,81	2,53	12,48	17,05	16,22	10,01	-1,59	-18,58
5	-66,81	-23,23	8,43	28,18	36,02	31,95	15,97	-11,93	-51,73
6	-75,62	-29,88	3,96	25,88	35,89	34,00	20,19	-5,53	-43,16
7	-92,61	-37,61	3,21	29,85	42,31	40,59	24,69	-5,39	-49,65



**FIGURA 3.27** - Momento fletor M3 na barra 14 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

**TABELA 3.13** - Histórico do momento fletor M3 na barra 19 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

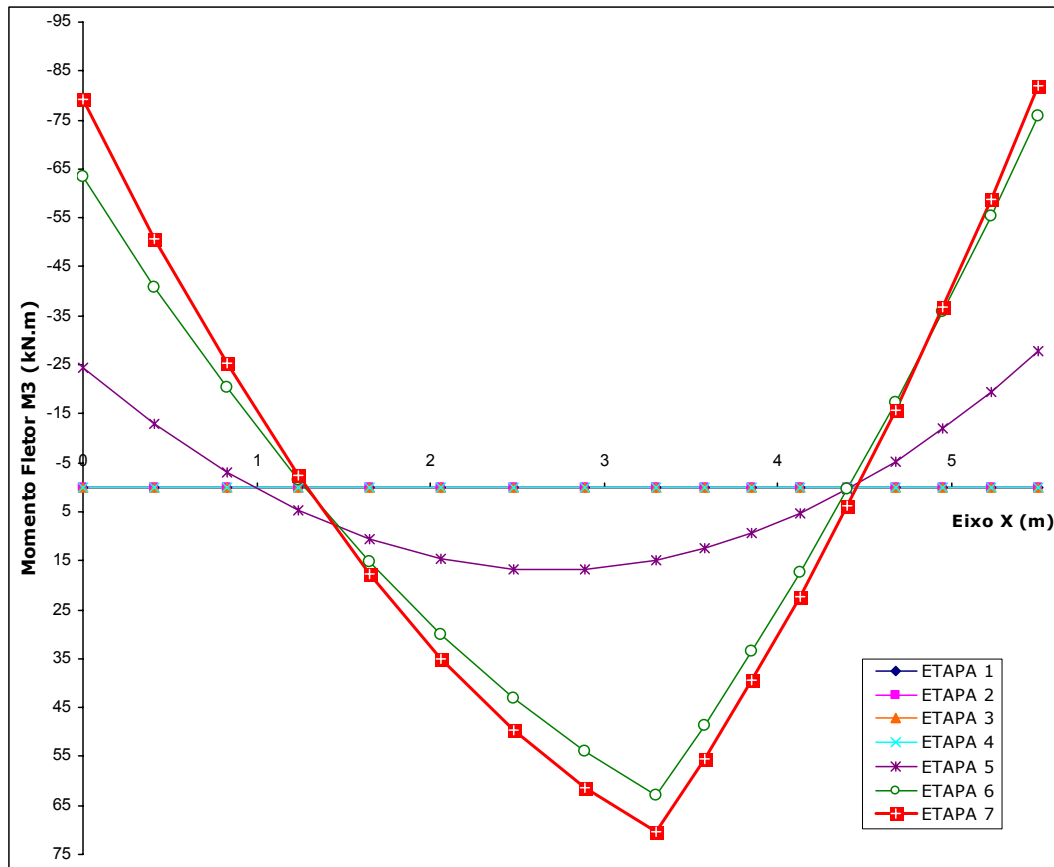
MOMENTO FLETOR M3 – BARRA 19									
ETAPA	EIXO X (m)								
	0	0,6875	1,375	2,0625	2,75	3,4375	4,125	4,8125	5,5
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-49,15	-12,33	13,72	29,00	33,49	27,21	10,16	-17,68	-56,29
5	-31,50	-11,17	3,78	13,33	17,50	16,28	9,67	-2,33	-19,71
6	-73,70	-28,44	4,92	26,36	35,90	33,52	19,23	-6,97	-45,08
7	-91,90	-37,09	3,54	29,99	42,26	40,36	24,27	-6,00	-50,45



**FIGURA 3.28** - Momento fletor M3 na barra 19 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

**TABELA 3.14** - Histórico do momento fletor M3 nas barras 24+25 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

MOMENTO FLETOR M3 - BARRAS 24+25																		
ETAPA	EIXO X (m)																	
	0	0,413	0,825	1,238	1,65	2,063	2,475	2,888	3,3	3,575	3,85	4,125	4,4	4,675	4,95	5,225	5,5	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	-24,54	-12,82	-3,03	4,81	10,71	14,67	16,69	16,78	14,92	12,60	9,43	5,39	0,49	-5,28	-11,91	-19,39	-27,74	
6	-63,48	-40,89	-20,24	-1,52	15,25	30,08	42,97	53,92	62,94	48,62	33,43	17,39	0,49	-17,28	-35,91	-55,40	-75,76	
7	-79,15	-50,82	-25,25	-2,44	17,62	34,91	49,46	61,24	70,27	55,51	39,52	22,31	3,88	-15,79	-36,67	-58,79	-82,12	



**FIGURA 3.29** - Momento fletor M3 na barras 24+25 nas sete etapas do modelo *SEQÜENCIAL PP*

A seguir, apresentam-se nas tabelas 3.15 e 3.16, os valores máximos dos momentos fletores M3 positivos e negativos. Pode-se observar que esses valores não ocorrem necessariamente na última etapa (etapa 7).

**TABELA 3.15** - Valores máximos dos momentos fletores M3 positivos e negativos nas barras 04, 09 e 14

<b>MOMENTO FLETOR M3 - BARRAS 04</b>									
<b>MOMENTOS POSITIVOS E NEGATIVOS MÁXIMOS</b>									
<b>ETAPA</b>	<b>EIXO X (m)</b>								
	<b>0</b>	<b>0,6875</b>	<b>1,375</b>	<b>2,0625</b>	<b>2,75</b>	<b>3,4375</b>	<b>4,125</b>	<b>4,8125</b>	<b>5,5</b>
1			14,26					-21,65	
2									
3									
4									
5									
6									
7	-79,96	-28,38		32,24	41,28	36,14	16,82		-64,35

<b>MOMENTO FLETOR M3 - BARRAS 09</b>									
<b>MOMENTOS POSITIVOS E NEGATIVOS MÁXIMOS</b>									
<b>ETAPA</b>	<b>EIXO X (m)</b>								
	<b>0</b>	<b>0,6875</b>	<b>1,375</b>	<b>2,0625</b>	<b>2,75</b>	<b>3,4375</b>	<b>4,125</b>	<b>4,8125</b>	<b>5,5</b>
1									
2			15,83					-21,62	-61,44
3									
4									
5									
6									
7	-87,57	-33,88		30,98	42,14	39,11	21,91		

<b>MOMENTO FLETOR M3 - BARRAS 14</b>									
<b>MOMENTOS POSITIVOS E NEGATIVOS MÁXIMOS</b>									
<b>ETAPA</b>	<b>EIXO X (m)</b>								
	<b>0</b>	<b>0,6875</b>	<b>1,375</b>	<b>2,0625</b>	<b>2,75</b>	<b>3,4375</b>	<b>4,125</b>	<b>4,8125</b>	<b>5,5</b>
1									
2									
3			14,71					-19,51	-58,69
4									
5									
6									
7	-92,61	-37,61		29,85	42,31	40,59	24,69		

**TABELA 3.16** - Valores máximos dos momentos fletores M3 positivos e negativos nas barras 19 e 24+25

<b>MOMENTO FLETOR M3 - BARRAS 19</b>									
<b>MOMENTOS POSITIVOS E NEGATIVOS MÁXIMOS</b>									
<b>ETAPA</b>	<b>EIXO X (m)</b>								
	<b>0</b>	<b>0,6875</b>	<b>1,375</b>	<b>2,0625</b>	<b>2,75</b>	<b>3,4375</b>	<b>4,125</b>	<b>4,8125</b>	<b>5,5</b>
1									
2									
3									
4			13,72					-17,68	-56,29
5									
6									
7	-91,90	-37,09		29,99	42,26	40,36	24,27		

<b>MOMENTO FLETOR M3 - BARRAS 24+25</b>																	
<b>MOMENTOS POSITIVOS E NEGATIVOS MÁXIMOS</b>																	
<b>ETAPA</b>	<b>EIXO X (m)</b>																
	<b>0</b>	<b>0,413</b>	<b>0,825</b>	<b>1,238</b>	<b>1,65</b>	<b>2,063</b>	<b>2,475</b>	<b>2,888</b>	<b>3,3</b>	<b>3,575</b>	<b>3,85</b>	<b>4,125</b>	<b>4,4</b>	<b>4,675</b>	<b>4,95</b>	<b>5,225</b>	<b>5,5</b>
1																	
2																	
3																	
4																	
5				4,81													
6														-17,28			
7	-79,15	-50,82	-25,25	-2,44	17,62	34,91	49,46	61,24	70,27	55,51	39,52	22,31	3,88		-36,67	-58,79	-82,12

Apresentou-se neste item o histórico do momento fletor M3 nas vigas. Entretanto, pode-se ter analogamente, um histórico da força cortante, outro da força axial e assim por diante, tanto para as vigas como para os pilares.

# 4

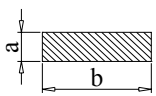
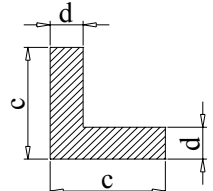
## **ESTRUTURA ANALISADA**

Neste trabalho analisa-se um edifício de andares múltiplos em concreto armado com as seguintes características:

- a) a estrutura possui trinta andares;
- b) a altura do 1º andar é 6,0m e a dos demais andares 3,5m, totalizando 107,50m de altura;
- c) a estrutura tem dimensões em planta de 15m x 15m, medidas de eixo a eixo das vigas de fachada;
- d) a estrutura apresenta dois planos verticais de simetria;
- e) não existem pilotis nem subsolo;
- f) a estrutura é composta por lajes, vigas, pilares e núcleo central;
- g) consideram-se todos os pilares e o núcleo central engastados na fundação;

- h) do 2° ao 30° andar existem vinte e quatro pilares por andar, dos quais quatro são pilares de canto em forma de L e os vinte restantes são retangulares distribuídos nas quatro fachadas, como pode ser visto nas figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 ;
- i) no 1° andar há uma redução no número de pilares, ou seja, este andar possui doze pilares, dos quais quatro são pilares de canto em forma de L e oito são retangulares distribuídos nas quatro fachadas do edifício (FIGURA 4.1);
- j) os pilares acima mencionados sofrem reduções de seção transversal ao longo da altura do edifício conforme mostrado na TABELA 4.1:

**TABELA 4.1** - Seção transversal dos pilares ao longo da altura do edifício

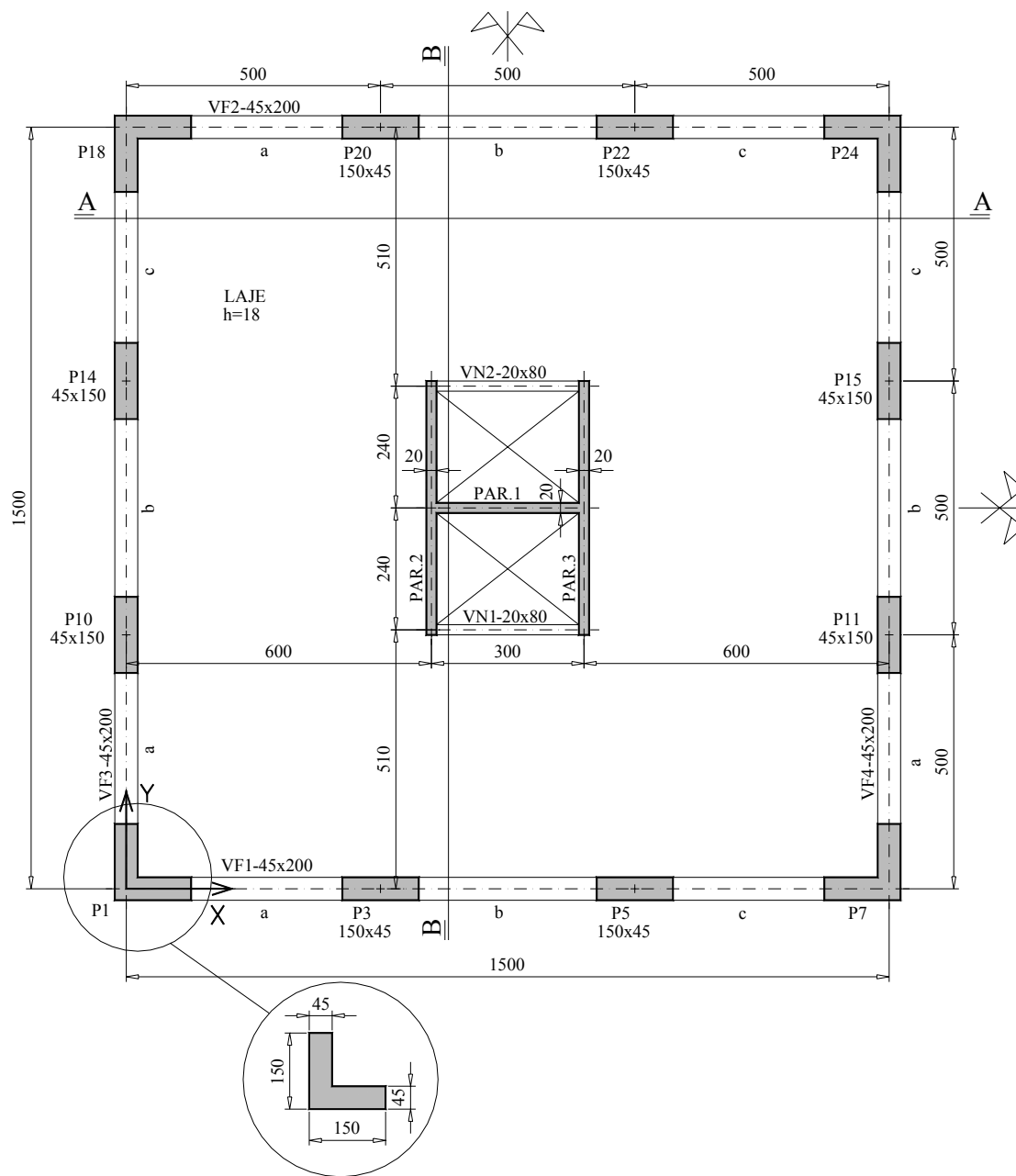
Andar	Pilar intermediário		Pilar de canto	
				
	a (cm)	b (cm)	c (cm)	d (cm)
1°	45	150	150	45
2° ao 5°	45	70	82,5	45
6° ao 10°	40	70	80	40
11° ao 15°	35	70	77,5	35
16° ao 20°	30	70	75	30
21° ao 25°	25	70	72,5	25
26° ao 30°	20	70	70	20

- k) a estrutura possui um núcleo central em forma de H formado por paredes (PAR.1, PAR.2 e PAR.3) com espessura de 20 cm;
- l) as vigas das fachadas são denominadas VF<sub>i</sub> (i = 1, 2, 3, 4) e possuem seção transversal de 20cm x 100cm em todos os andares, exceto no 1° andar onde, por serem de transição, possuem seção transversal de 45cm x 200cm ;



- m) existem duas vigas denominadas  $VN_i$  ( $i = 1, 2$ ), com seção transversal de 20cm x 80cm, interligando as paredes do núcleo central em todos os andares;
- n) as lajes são maciças com espessura igual a 18cm em todos os andares;
- o) existem duas aberturas nas lajes, correspondentes ao poço de elevador e caixa de escada, em todos os andares, exceto no último;
- p) existem caixa d'água e casa de máquinas situadas no topo do núcleo central;
- q) não se considera a fissuração do concreto, sendo este tratado como um material elástico, linear e isotrópico, com as seguintes propriedades:
- módulo de elasticidade  $E = 2,1 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ;
  - coeficiente de Poisson  $\nu = 0,2$ ;
  - peso específico  $\gamma_{\text{conc}} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
- r) as alvenarias internas tem espessura de 15 cm e as externas 20 cm; ambas possuem peso específico  $\gamma_{\text{alv}} = 18 \text{ kN/m}^3$ .

As figuras a seguir mostram em detalhes a estrutura analisada.



**FIGURA 4.1** - Planta do 1º andar (cotas em centímetros)

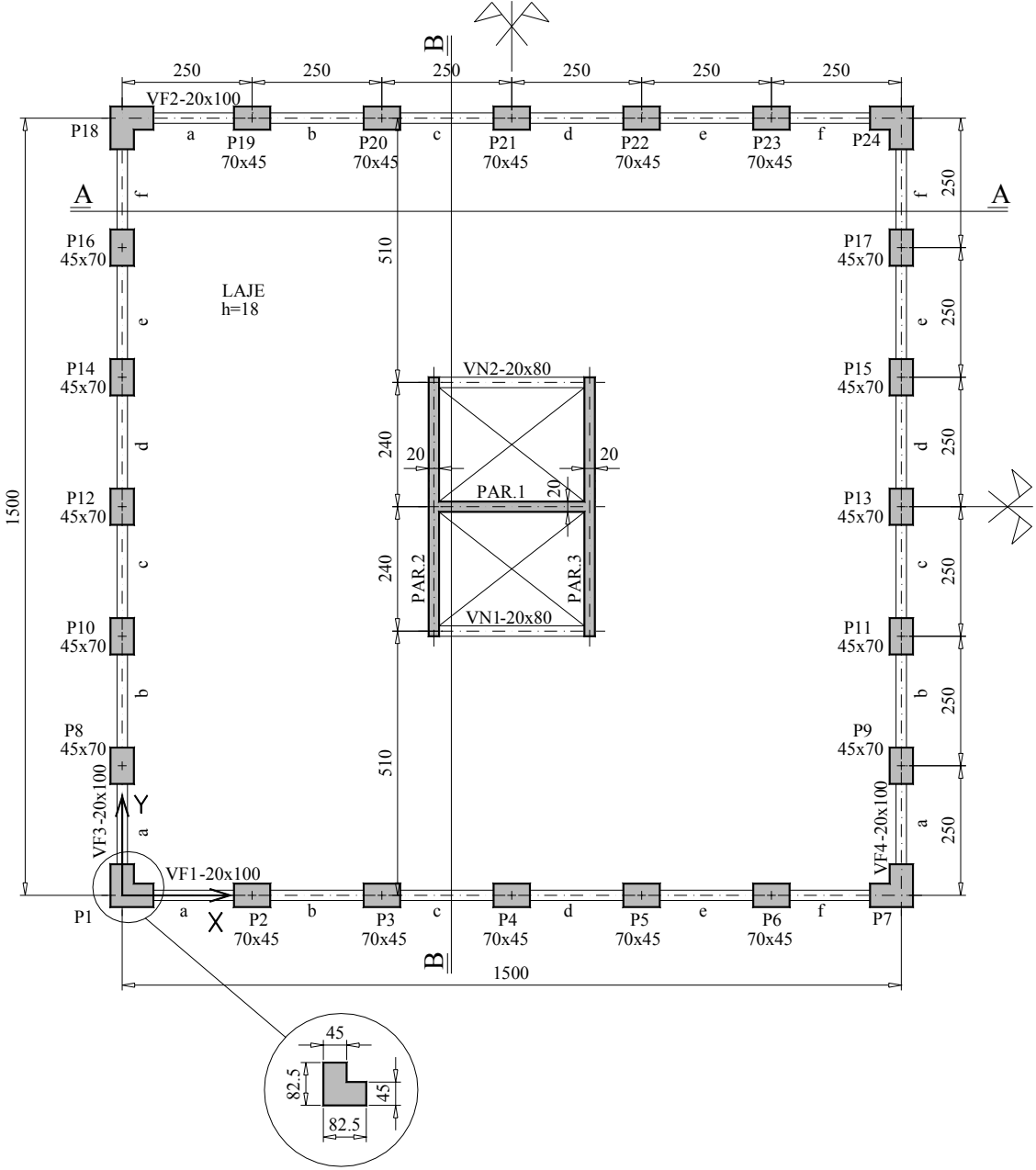


FIGURA 4.2 - Planta do 2° ao 5° andar (cotas em centímetros)

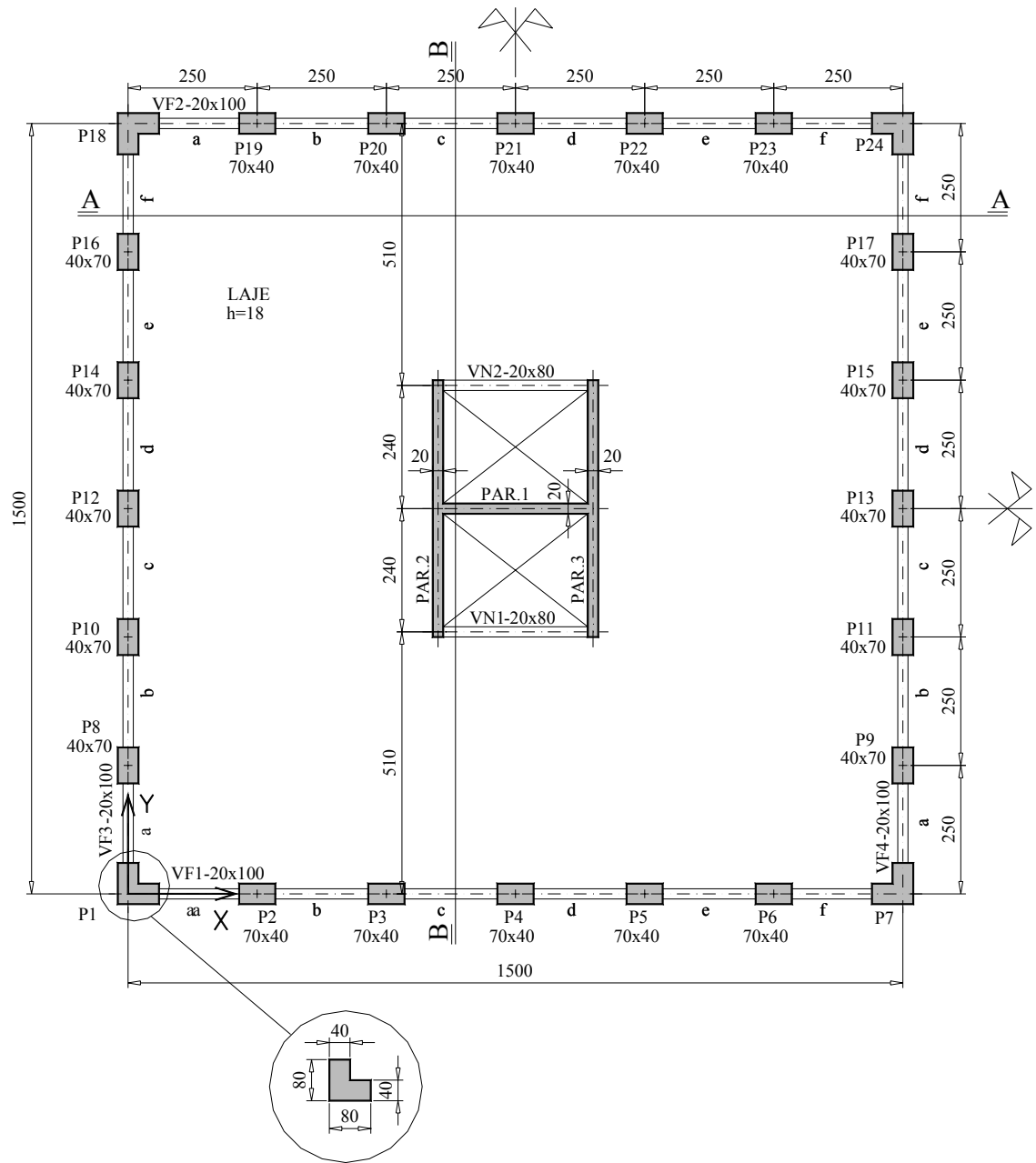


FIGURA 4.3 - Planta do 6º ao 10º andar (cotas em centímetros)

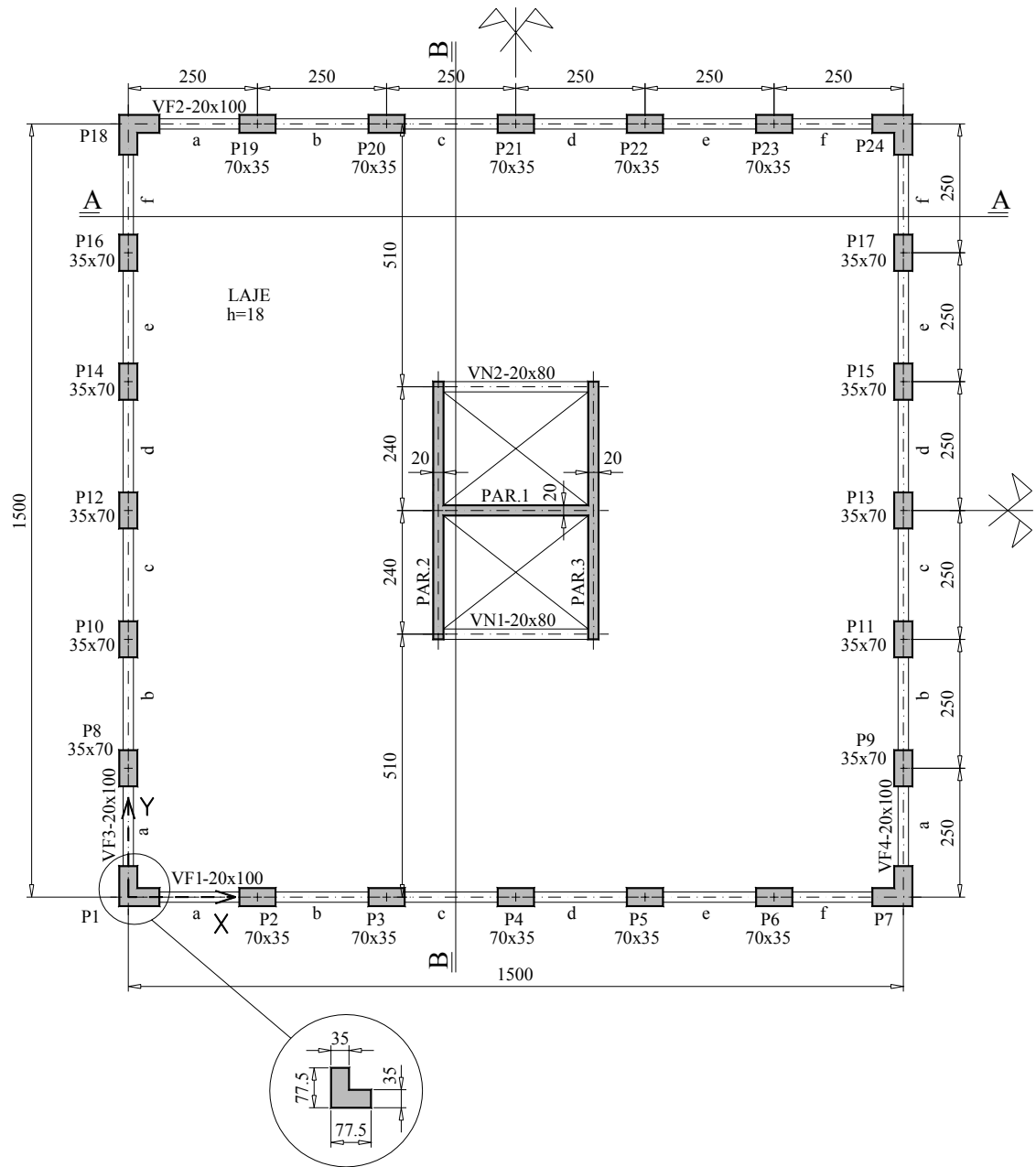


FIGURA 4.4 - Planta do 11° ao 15° andar (cotas em centímetros)

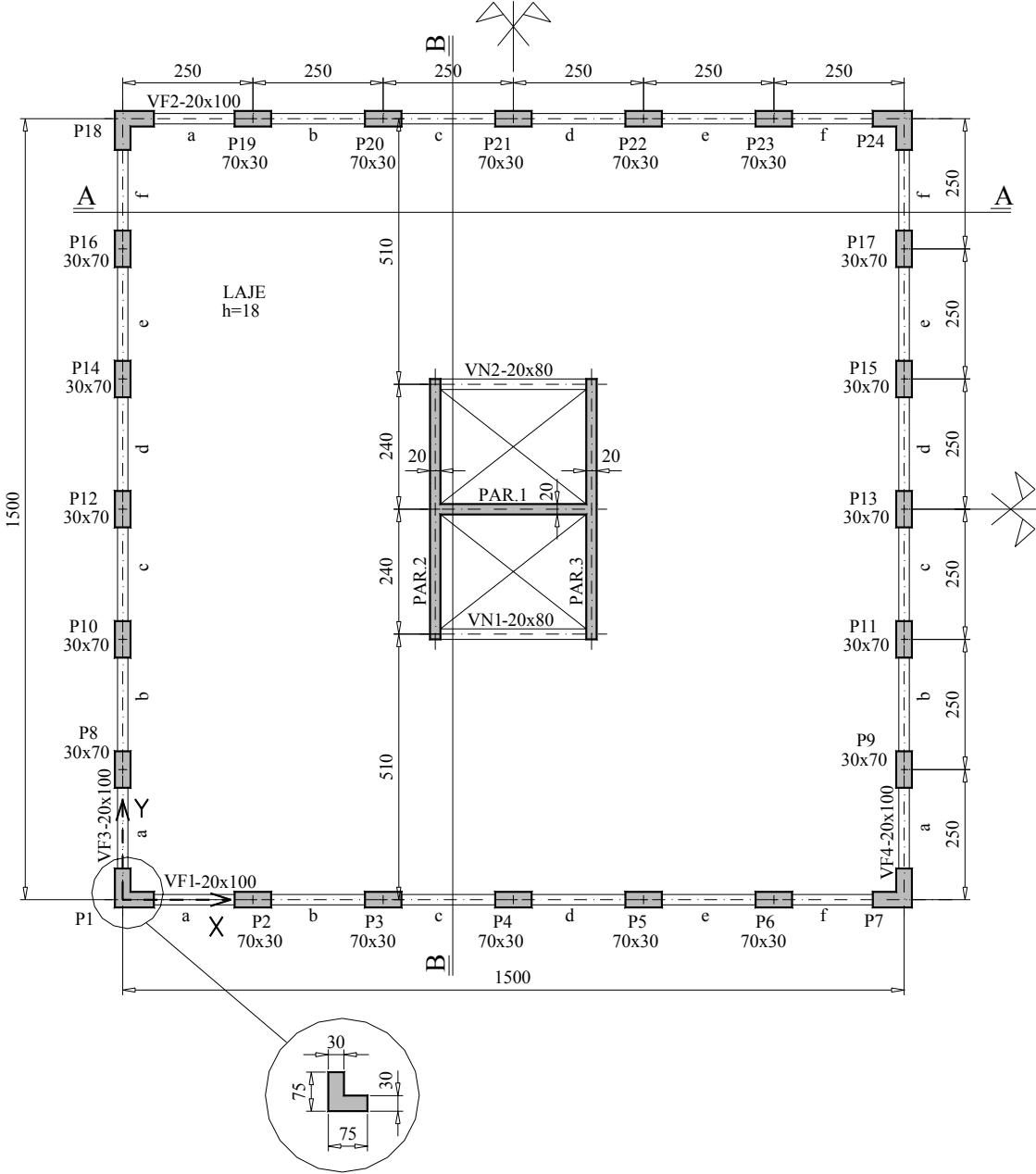
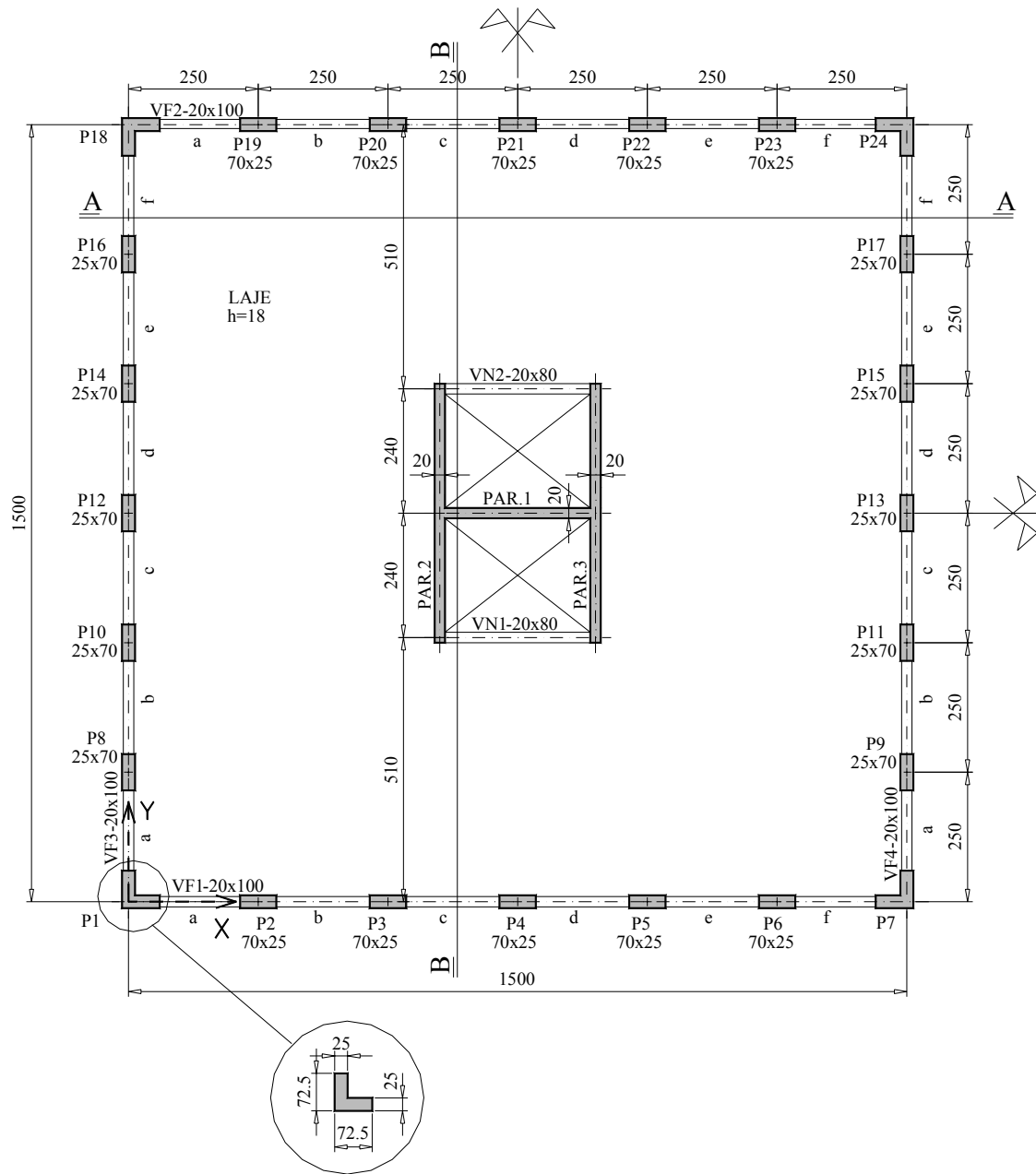


FIGURA 4.5 - Planta do 16° ao 20° andar (cotas em centímetros)



**FIGURA 4.6** - Planta do 21° ao 25° andar (cotas em centímetros)

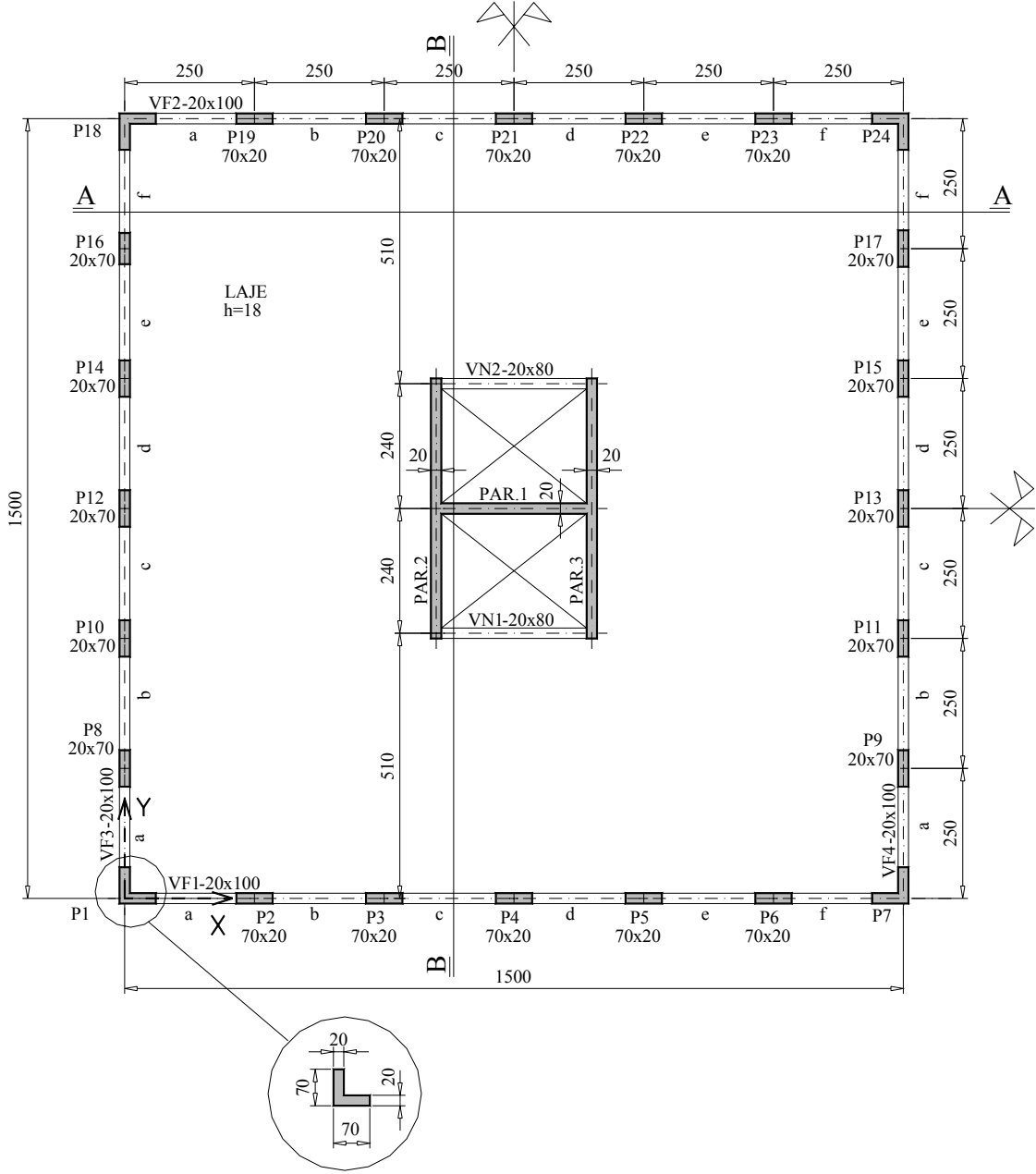


FIGURA 4.7 - Planta do 26° ao 29° andar (cotas em centímetros)



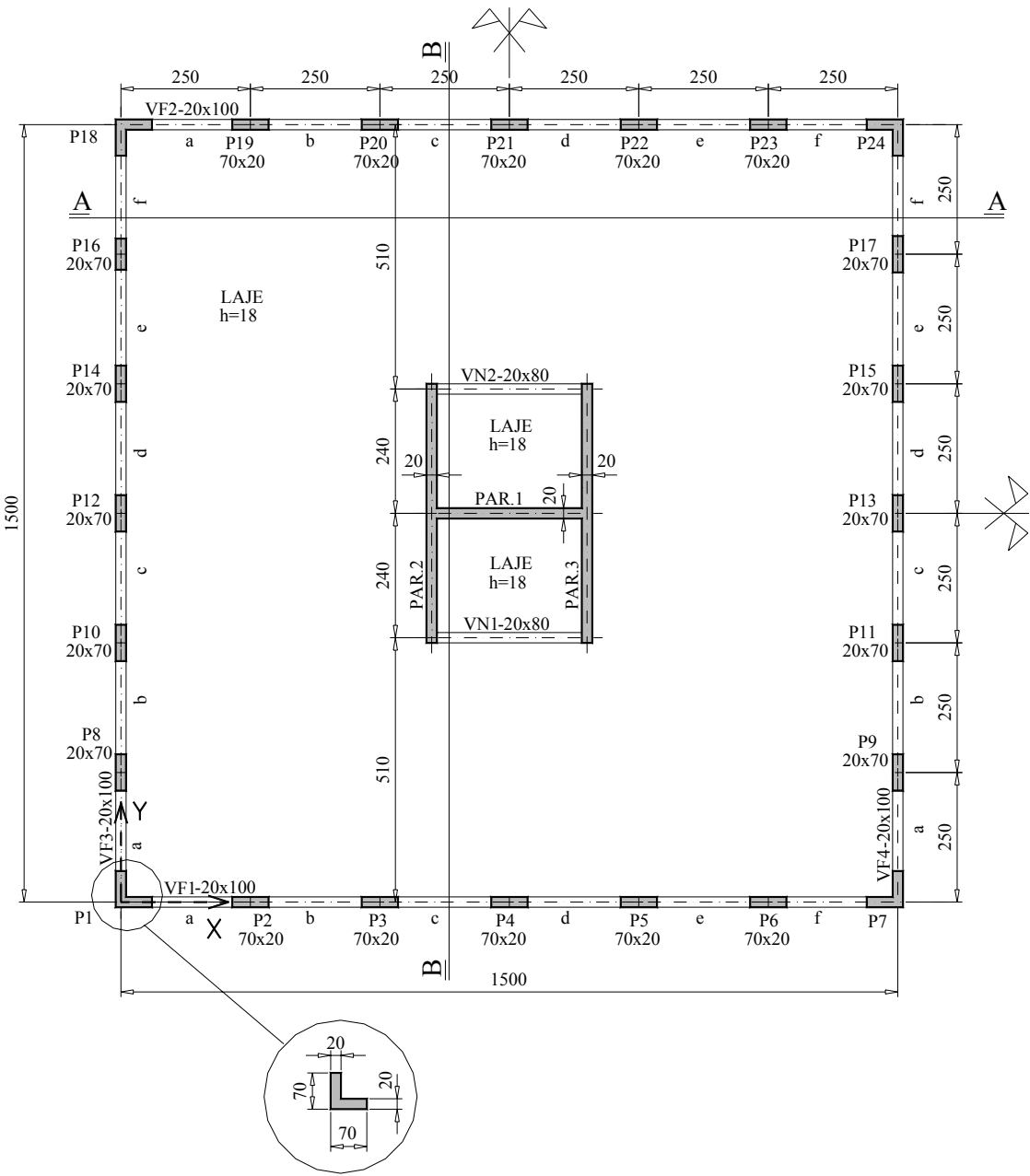


FIGURA 4.8 - Planta do 30º andar (cotas em centímetros)

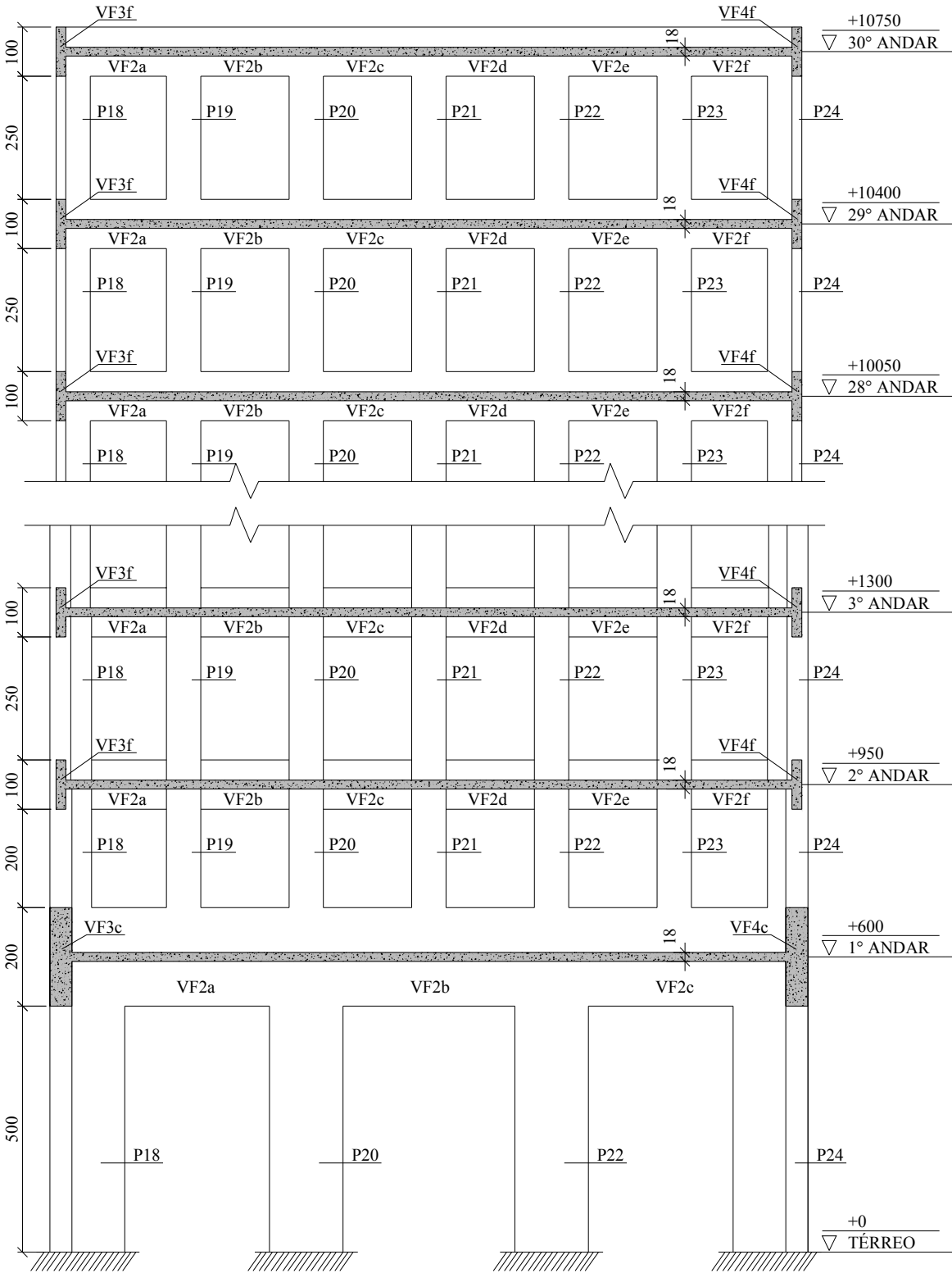


FIGURA 4.9- Corte A-A (cotas em centímetros)

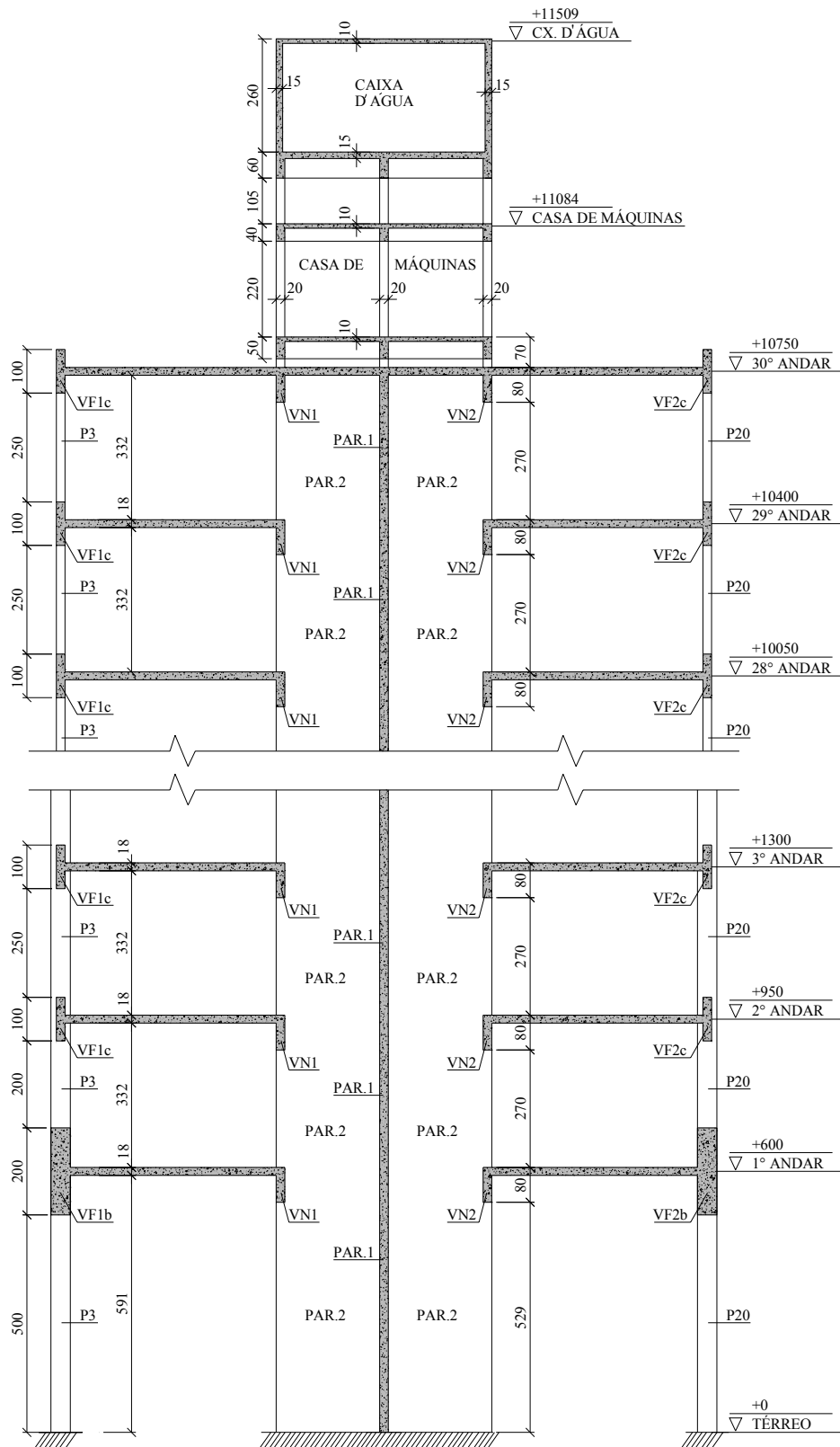


FIGURA 4.10 - Corte B-B (cotas em centímetros)

# 5

## CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM ESTRUTURAL

Neste capítulo são feitas considerações relativas à modelagem da estrutura descrita no capítulo 4.

Analisa-se esta estrutura através de modelos onde:

- a) consideram-se cargas verticais devidas ao peso próprio e sobrecargas;
- b) consideram-se cargas laterais devidas ao vento;
- c) considera-se a análise elástico-linear;
- d) consideram-se as deformações axiais, de flexão, de torção e de cisalhamento no cálculo dos deslocamentos;
- e) não se aborda a questão da estabilidade lateral do edifício.

### 5.1 Considerações Gerais

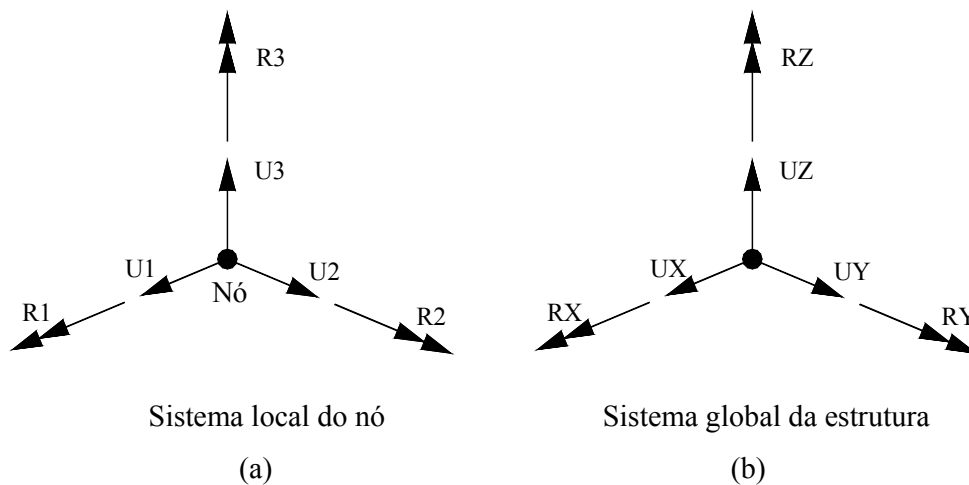
A modelagem será feita tridimensionalmente pelo Método dos Elementos Finitos, utilizando-se o programa SAP2000 versão 8.2.7.

As vigas e os pilares são modelados usando o elemento de barra FRAME (item 5.1.1) e as lajes e paredes do núcleo central o elemento de casca SHELL (item 5.1.3).

### 5.1.1 - O elemento FRAME

O elemento FRAME é representado por uma linha reta conectando dois pontos que são designados como nós I e J, respectivamente. Essa linha coincide com o eixo longitudinal do elemento que passa pelos centróides das seções transversais do mesmo.

Os nós I e J do elemento FRAME possuem cada um seis graus de liberdade, os quais são denominados  $U_1, U_2, U_3, R_1, R_2$  e  $R_3$ , no sistema de coordenadas local dos nós (FIGURA 5.1a).  $U_1, U_2$  e  $U_3$  são translações e  $R_1, R_2$  e  $R_3$  rotações. Na modelagem feita neste trabalho, o sistema local dos nós coincide com o sistema de coordenadas global  $X, Y, Z$  da estrutura, no qual estes graus de liberdade são denominados  $U_X, U_Y, U_Z, R_X, R_Y$  e  $R_Z$ , respectivamente (FIGURA 5.1b).

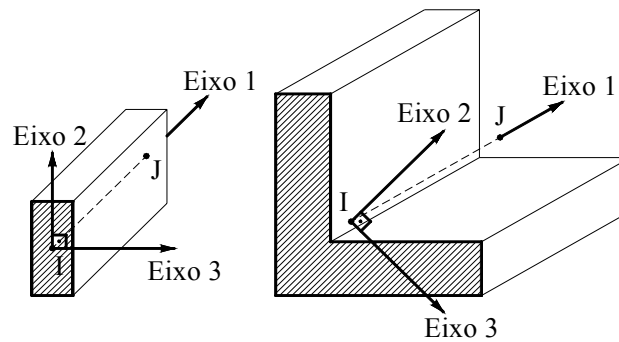


**FIGURA 5.1** - Graus de liberdade do nó de um elemento FRAME nos sistemas de coordenadas local e global

Cada elemento FRAME tem seu próprio sistema de coordenadas local. Os eixos do sistema local são denominados eixos 1, 2 e 3. O eixo 1 é o eixo longitudinal do elemento e o seu sentido positivo é do nó I para o nó J. Os outros dois eixos situam-se no plano perpendicular ao eixo do elemento e seus sentidos obedecem à regra da mão direita.

Na modelagem feita têm-se dois tipos de seções transversais: retangulares (vigas e pilares intermediários) e em L (pilares de canto). Para as seções transversais retangulares, os eixos 2 e 3 são paralelos aos eixos de simetria destas seções, sendo o eixo 2 orientado na direção da maior dimensão da seção transversal (eixo de menor momento de inércia) e o eixo 3 na direção da menor dimensão (eixo de maior momento de inércia). Para as seções transversais dos pilares de canto o eixo 2 é o eixo de simetria que passa pelo baricentro da seção e o eixo 3 é perpendicular a este.

As orientações e sentidos dos eixos do sistema de coordenadas local para ambas as seções podem ser vistos na FIGURA 5.2.

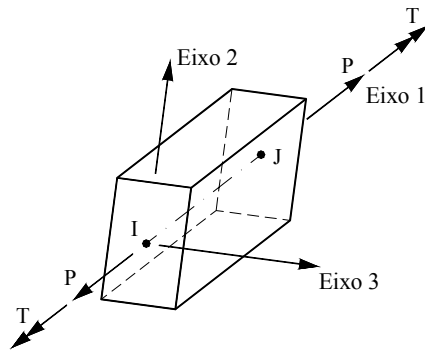


**FIGURA 5.2** - Sistema de coordenadas local de um elemento FRAME com seção transversal retangular e em L

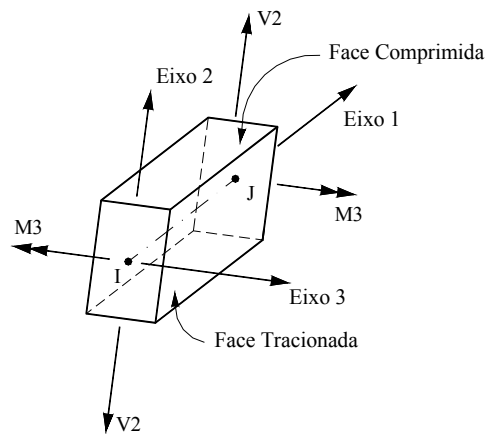
Os esforços internos do elemento FRAME são os seguintes:

- a) P, força axial;
- b) V2, força cortante no plano 1-2;
- c) V3, força cortante no plano 1-3;
- d) T, momento de torção;
- e) M2, momento fletor no plano 1-3 (em torno do eixo 2);
- f) M3, momento fletor no plano 1-2 (em torno do eixo 3).

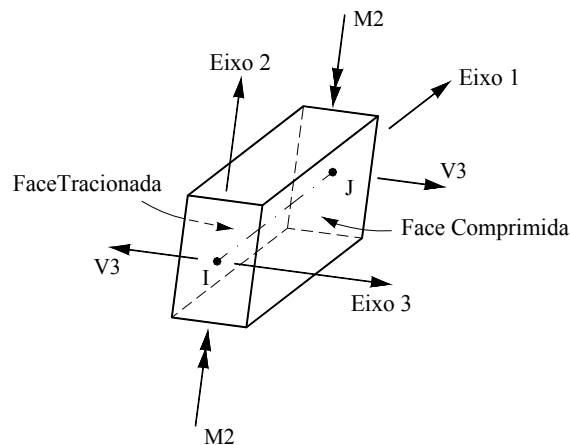
Estas forças e momentos estão presentes nas seções transversais ao longo do comprimento do elemento FRAME, conforme convenção de sinais ilustrada nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5.



**FIGURA 5.3** - Força axial P positiva e momento de torção T positivo no elemento de barra FRAME



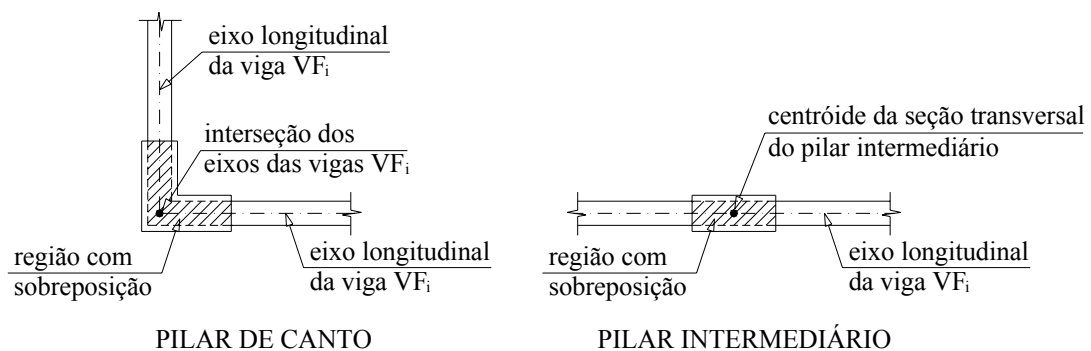
**FIGURA 5.4** - Força cortante V2 positiva e momento fletor M3 positivo no elemento de barra FRAME



**FIGURA 5.5** - Força cortante V3 positiva e momento fletor M2 positivo no elemento de barra FRAME

### 5.1.2 - Conexões OFFSET

Conforme citado anteriormente, o elemento FRAME é representado por uma linha reta conectando dois pontos. Na realidade, esse elemento é tridimensional, ou seja, possui seção transversal com dimensões finitas. Quando uma viga de fachada ( $VF_i$ ) e um pilar são conectados em um mesmo nó, há uma região com sobreposição destes elementos (FIGURA 5.6).



**FIGURA 5.6** - Regiões de sobreposição da viga de fachada ( $VF_i$ ) com os pilares de canto e intermediário

A fim de evitar esta sobreposição são considerados nas vigas  $VF_i$  apenas os trechos elásticos entre as faces dos pilares. Este fato, ao modelar a viga, exige a criação de conexões OFFSET (trechos  $Ip$  e  $qJ$  com rigidez infinita), conforme mostrado nas figuras 5.7 e 5.8. O objetivo das conexões OFFSET é compatibilizar os deslocamentos dos nós I e p bem como dos nós q e J. Os nós p e q são nós auxiliares, ou seja, não fazem parte da malha de elementos finitos utilizada na modelagem da estrutura. No programa SAP2000 o comando END OFFSET é matematicamente equivalente à criação destes trechos rígidos.



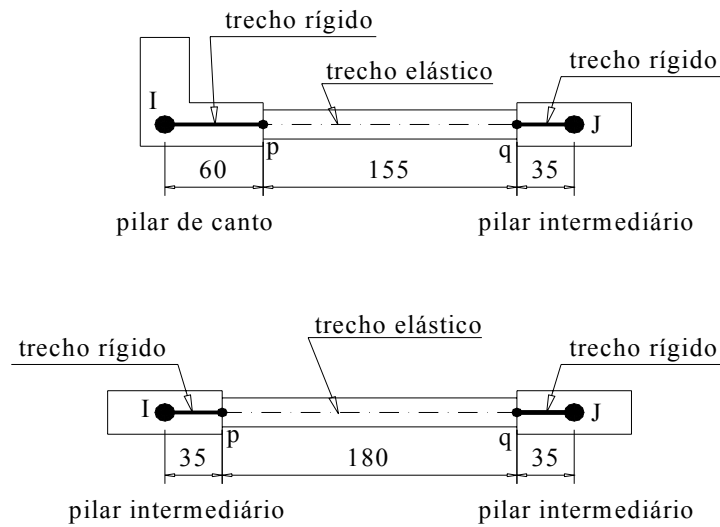


FIGURA 5.7 - Trechos rígidos e elásticos nas vigas  $VF_i$  (cotas em centímetros)

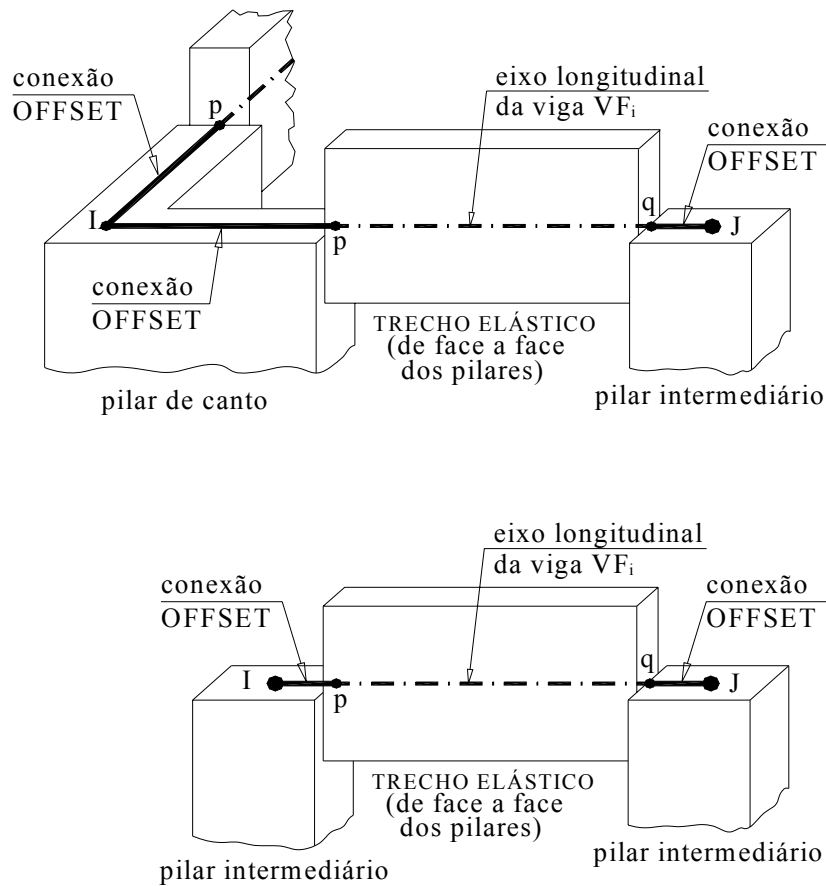
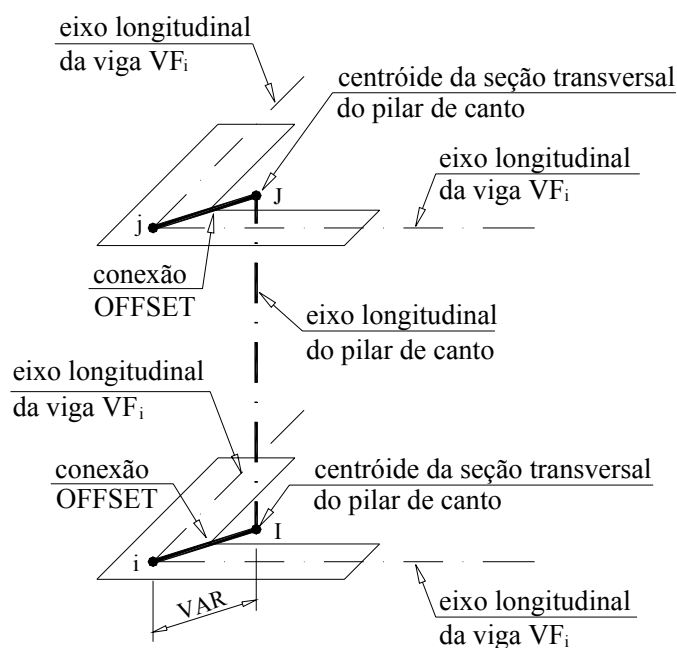


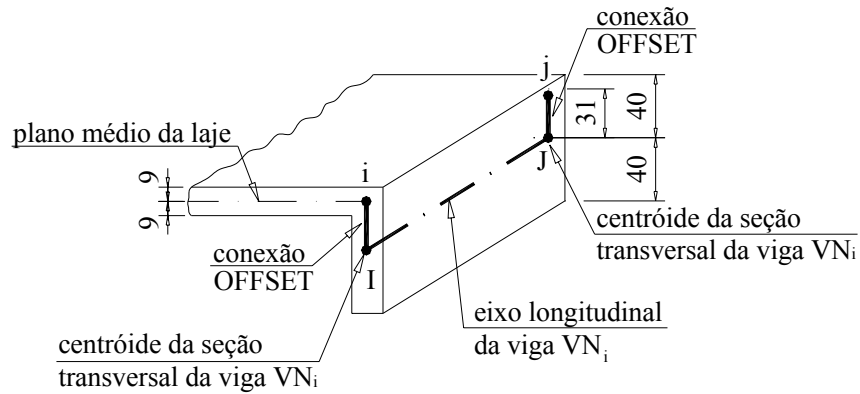
FIGURA 5.8 - Conexões OFFSET nas vigas  $VF_i$

Conforme mostrado a seguir, na FIGURA 5.9, o eixo longitudinal IJ do pilar de canto não passa pelos nós  $i$  e  $j$  da malha, que são interseções dos eixos das vigas de fachada ( $VF_i$ ). Este fato exige, na modelagem dos pilares de canto, a criação de conexões OFFSET (trechos  $iI$  e  $jJ$  com rigidez infinita). Aqui também estas conexões têm o objetivo compatibilizar os deslocamentos dos nós  $i$  e  $I$  e dos nós  $j$  e  $J$ . Para este caso, pode-se usar o comando JOINT OFFSET que equivale matematicamente à criação destes trechos rígidos.



**FIGURA 5.9** - Conexões OFFSET nos pilares de canto

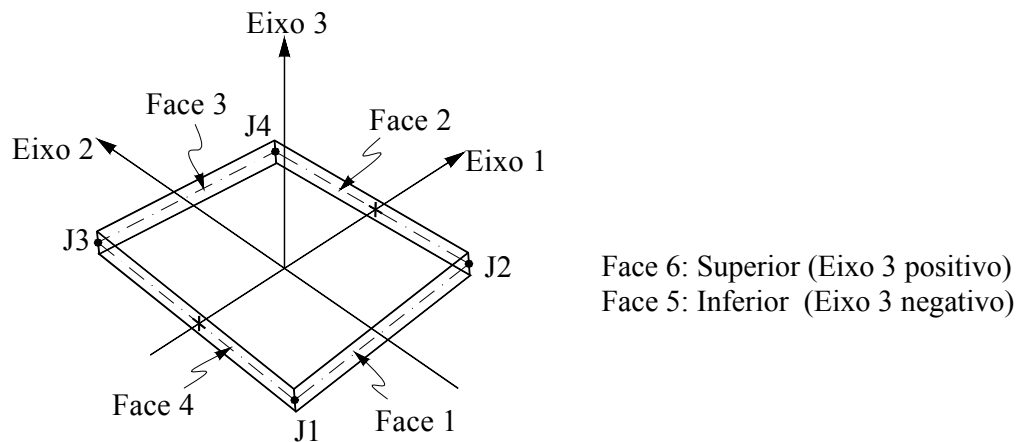
No caso da modelagem das vigas  $VN_i$  (FIGURA 5.10),  $i$  e  $j$  são nós da malha criada no plano médio da laje. O eixo longitudinal IJ da viga  $VN_i$  é paralelo ao trecho  $ij$ , mas não coincidente. Novamente necessita-se criar conexões OFFSET (trechos  $iI$  e  $jJ$  com rigidez infinita). Pode-se, neste caso, também usar o comando JOINT OFFSET.



**FIGURA 5.10** - Conexões OFFSET nas vigas  $VN_i$  (cotas em centímetros)

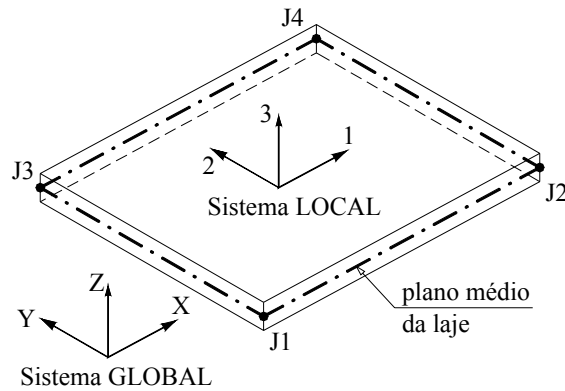
### 5.1.3- O elemento SHELL

O elemento SHELL, adotado na modelagem, tem a forma quadrilateral definida por quatro nós designados J1, J2, J3 e J4 (FIGURA 5.11). Cada elemento SHELL possui seu próprio sistema de coordenadas local. Os eixos do sistema local são denominados eixos 1, 2 e 3 (FIGURA 5.11). Os eixos 1 e 2 situam-se no plano do elemento e o eixo 3 é normal a este plano.



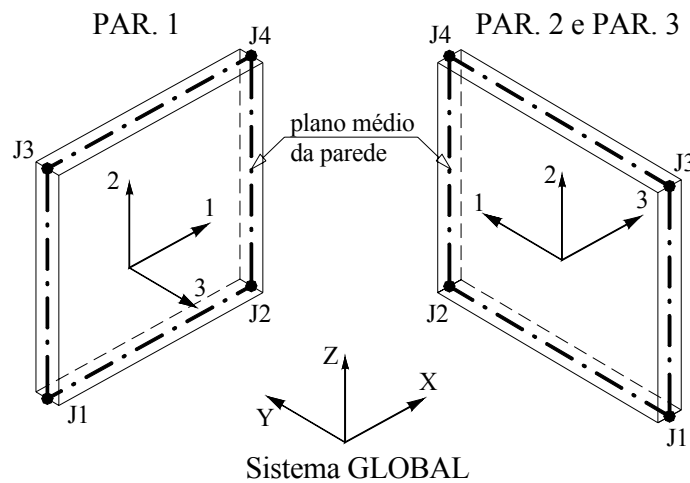
**FIGURA 5.11** - Sistema de coordenadas locais do elemento SHELL quadrilateral

Nas lajes em estudo, o sistema local dos elementos está orientado de forma que os eixos 1, 2 e 3 encontram-se paralelos, respectivamente, aos eixos X, Y e Z do sistema de coordenadas global da estrutura (FIGURA 5.12).



**FIGURA 5.12** - Orientação dos eixos locais nas lajes

Nas paredes do núcleo central os sistemas locais dos elementos SHELL estão orientados conforme mostrado na FIGURA 5.13.

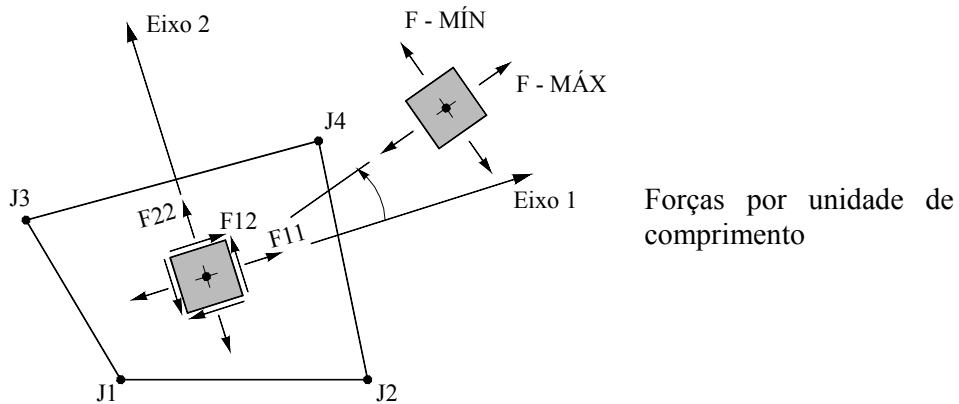


**FIGURA 5.13** - Orientação dos eixos locais nas paredes do núcleo central

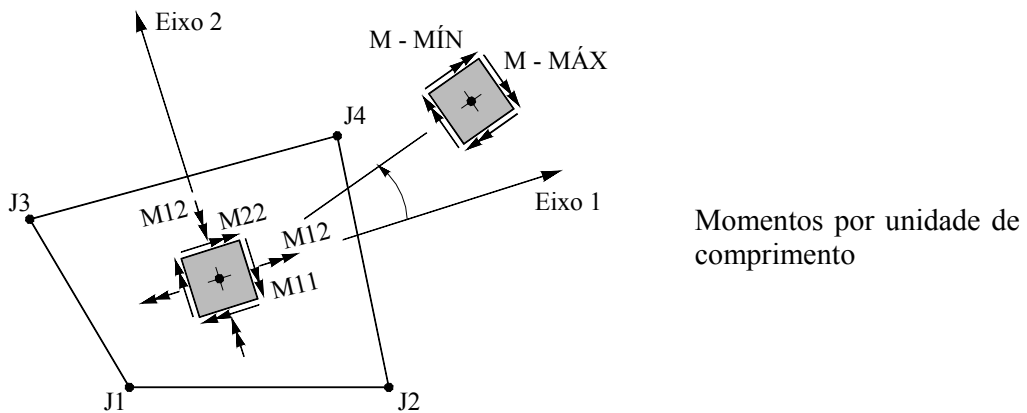
Os esforços internos, por unidade de comprimento, do elemento SHELL são os abaixo relacionados (FIGURA 5.14 e FIGURA 5.15):

- a) F11 e F22, forças normais;
- b) F12, força de cisalhamento;
- c) M11 e M22, momentos fletores;
- d) M12, momento de torção.

As tensões  $\sigma_{ij}$  têm as mesmas direções e sentidos das forças  $F_{ij}$ .

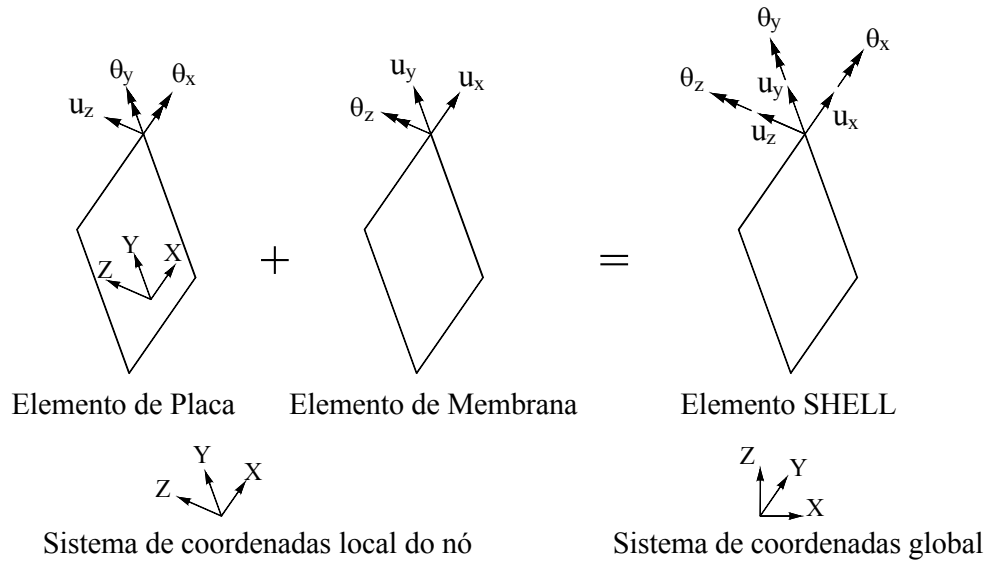


**FIGURA 5.14** - Forças normais e de cisalhamento em um elemento SHELL



**FIGURA 5.15** - Momentos fletores e de torção em um elemento SHELL

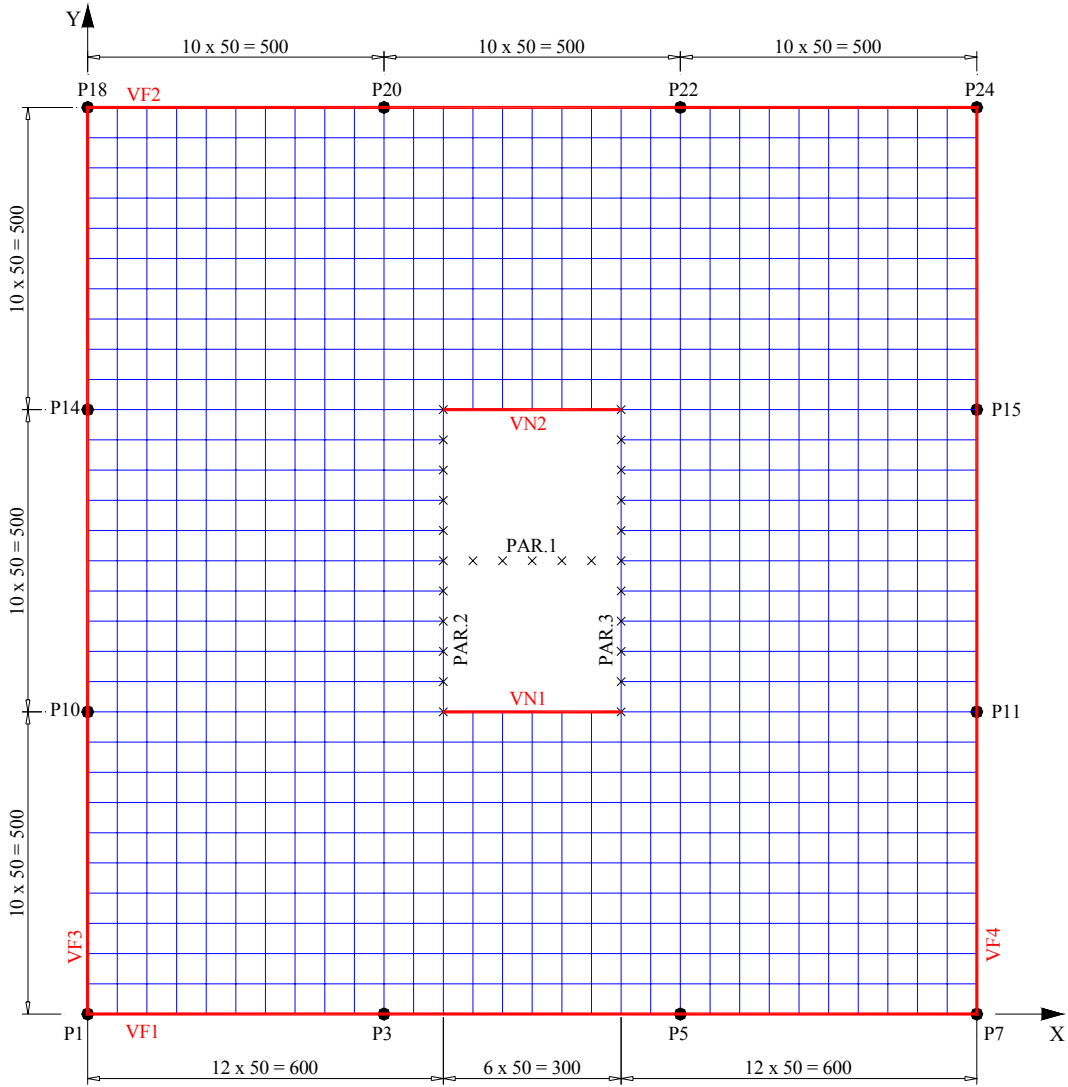
O elemento SHELL resulta da soma do elemento de membrana e do elemento de placa fina (Kirchhoff), ou seja, ele possui seis graus de liberdade em cada nó: três translações e três rotações (FIGURA 5.16).



**FIGURA 5.16** - Graus de liberdade de um nó do elemento SHELL

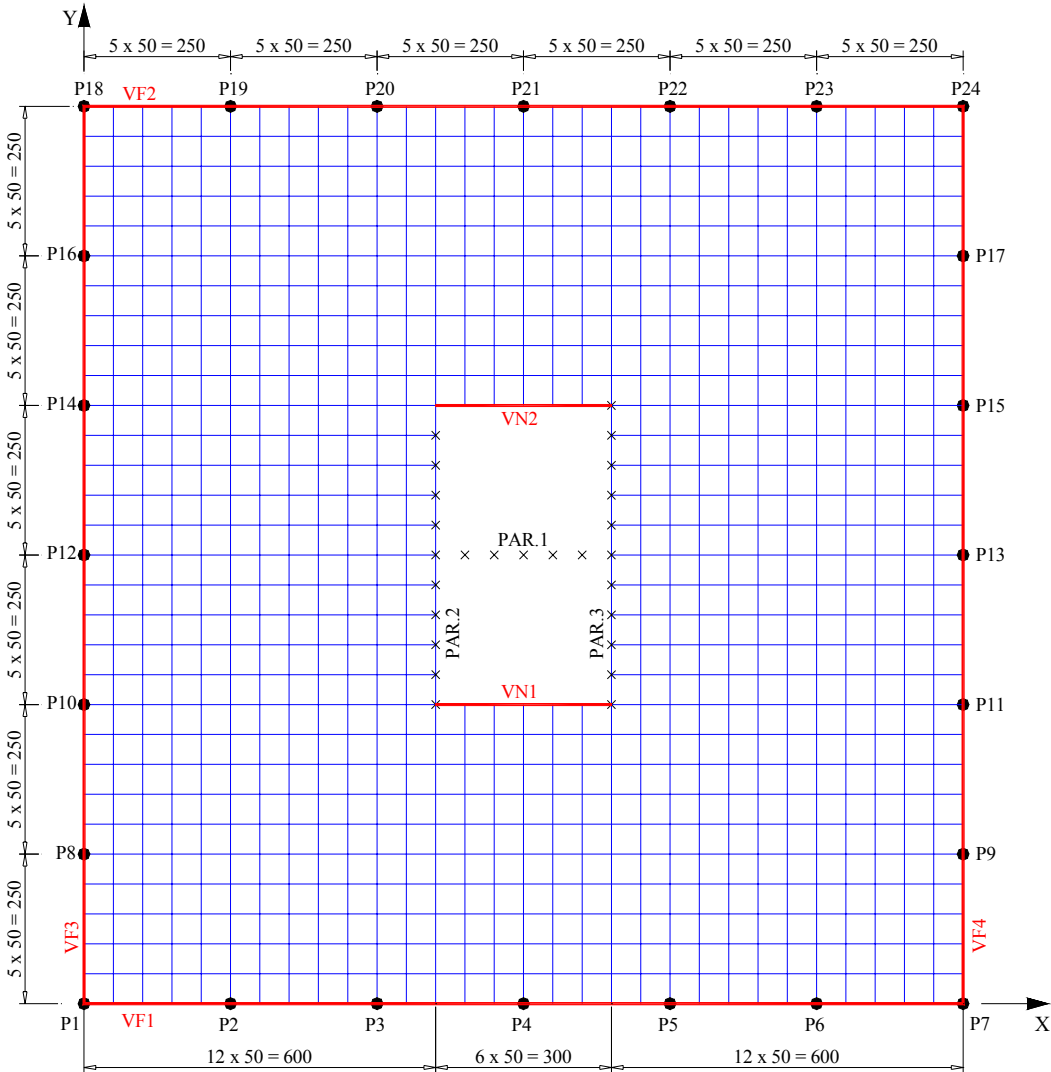
## 5.2 Discretização da Estrutura

A malha de elementos finitos utilizada na discretização das lajes está mostrada nas figuras 5.17, 5.18 e 5.19.



- LEGENDA:
- Elemento FRAME
  - Elemento SHELL
  - Pilares
  - × × × Paredes

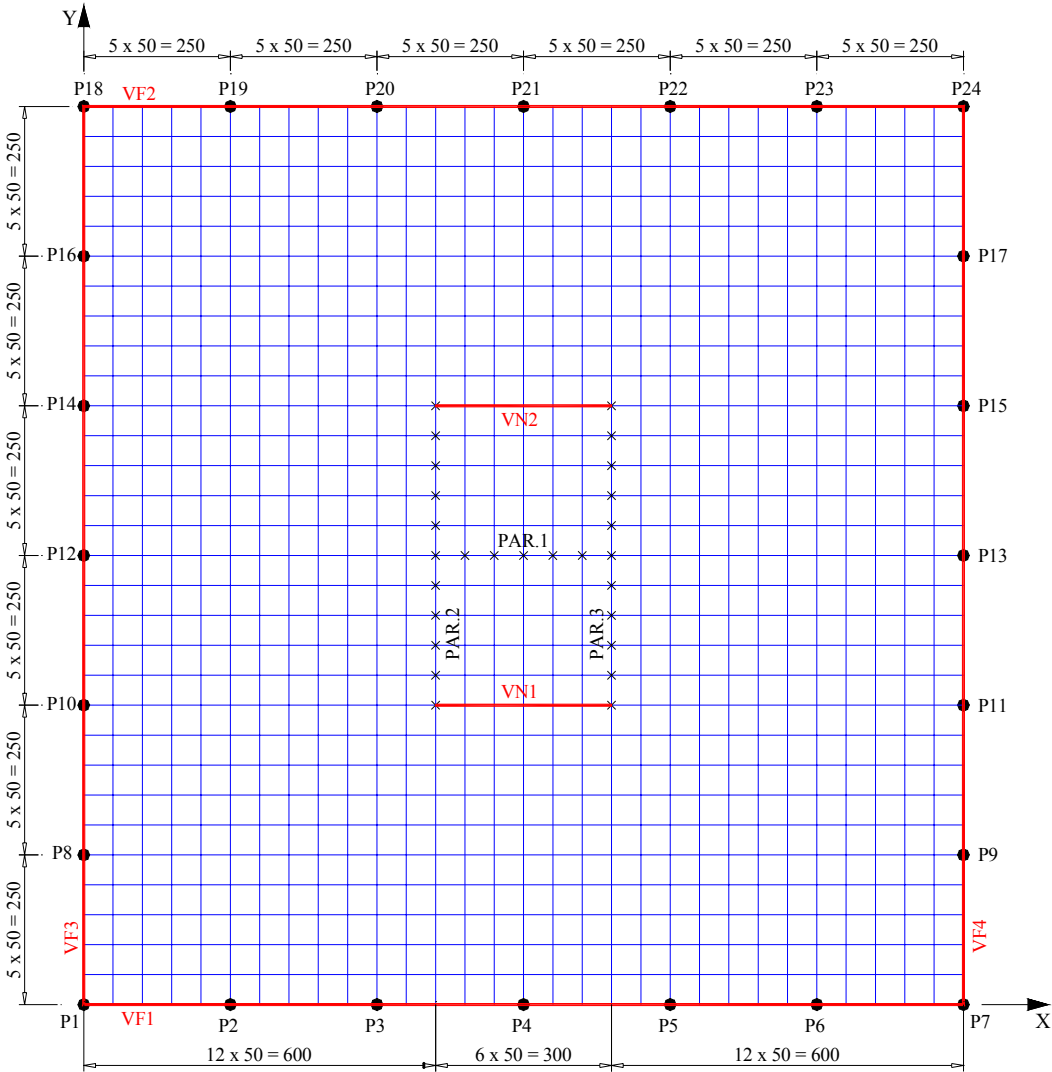
FIGURA 5.17 - Representação esquemática da malha de elementos finitos do 1º andar (cotas em centímetros)



- LEGENDA:
- Elemento FRAME
  - Elemento SHELL
  - Pilares
  - × × × Paredes

FIGURA 5.18 - Representação esquemática da malha de elementos finitos do 2º ao 29º andar (cotas em centímetros)

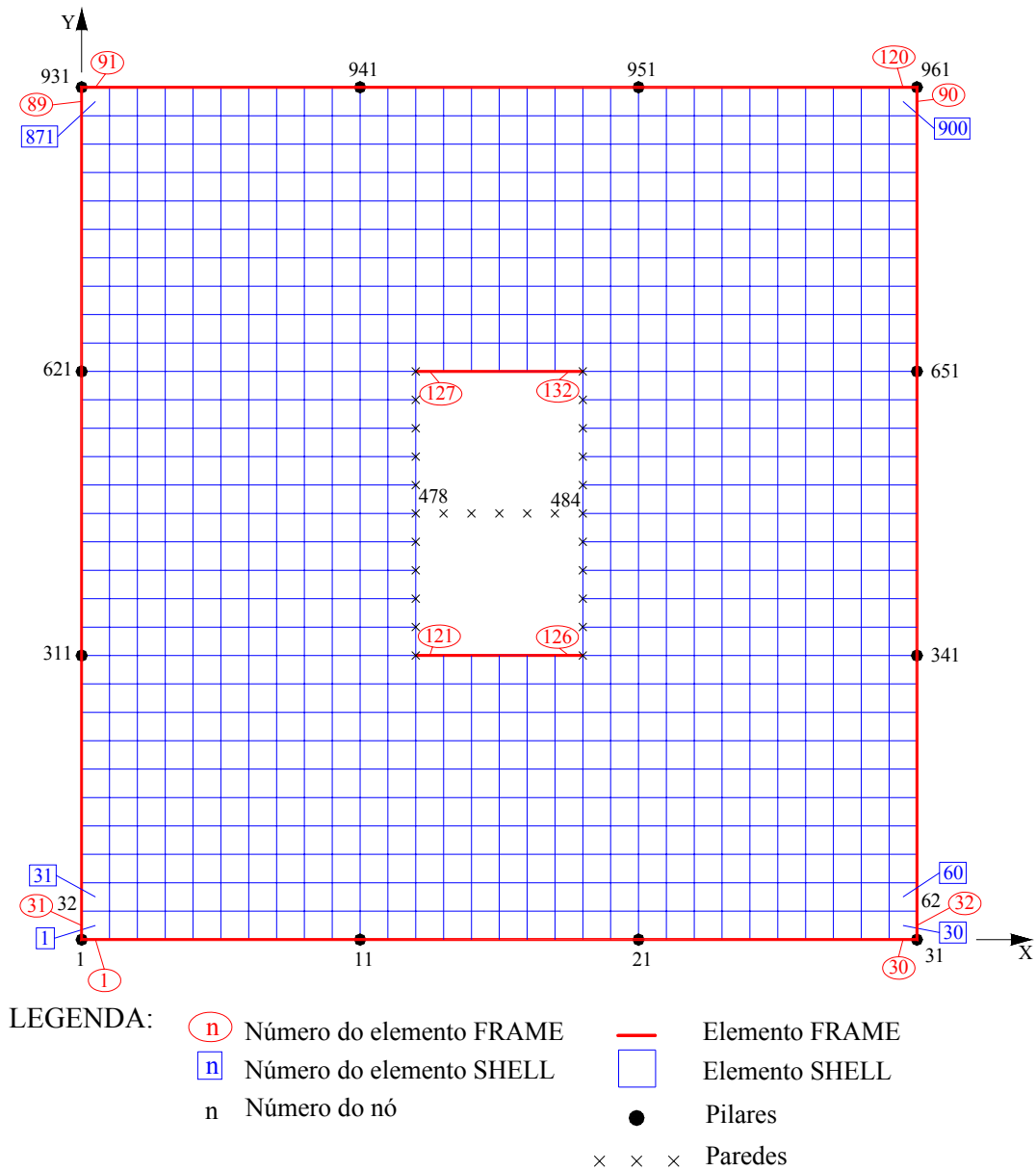




LEGENDA:

- Elemento FRAME
- Elemento SHELL
- Pilares
- × × × Paredes

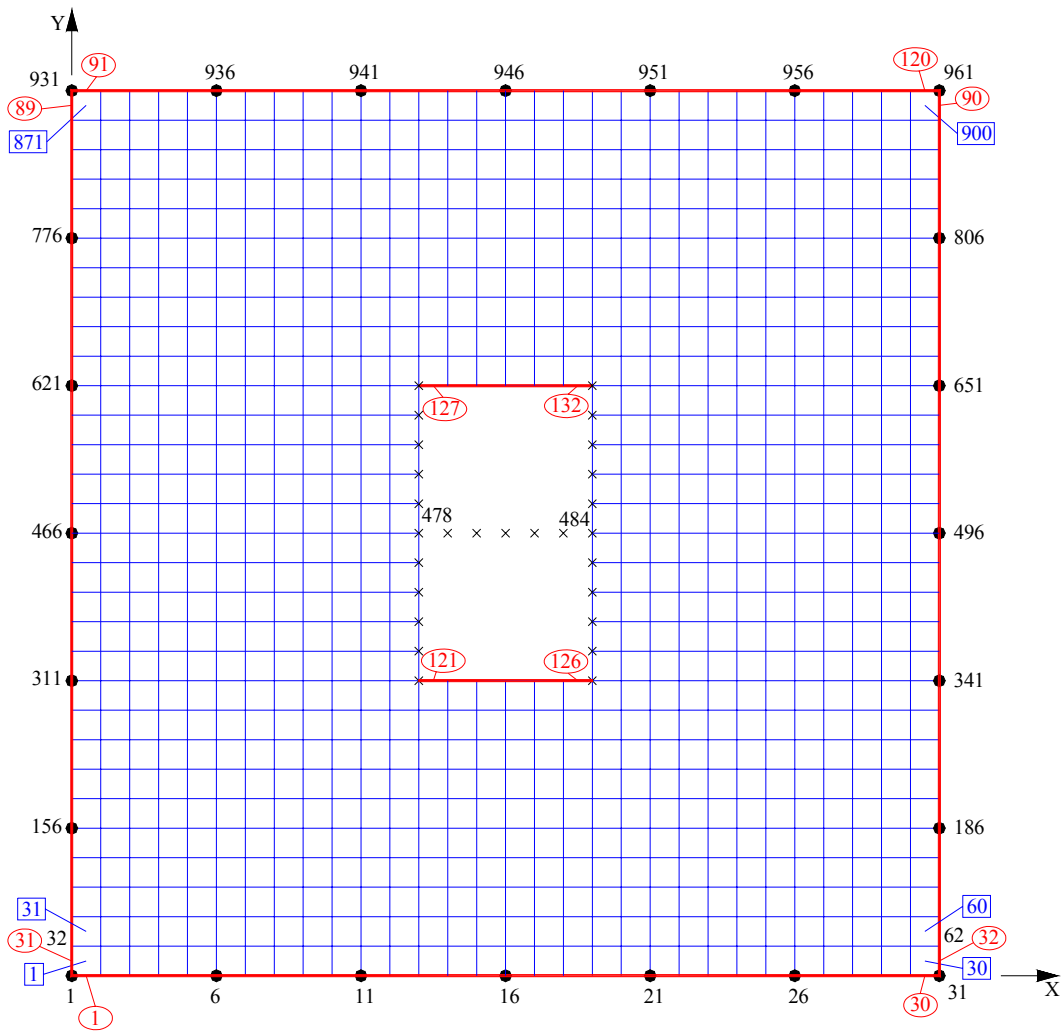
FIGURA 5.19 - Representação esquemática da malha de elementos finitos do 30º andar (cotas em centímetros)



**FIGURA 5.20** - Numeração dos nós e dos elementos da malha do 1º andar

A FIGURA 5.20 mostra a numeração dos nós e dos elementos FRAME e SHELL que compõem a malha do 1º andar. Nela pode-se observar que:

- a) há um total de 921 nós;
- b) a laje possui 840 elementos SHELL;
- c) cada viga  $VF_i$  possui 30 elementos FRAME;
- d) cada viga  $VN_i$  possui 6 elementos FRAME;
- e) existem 12 pilares.



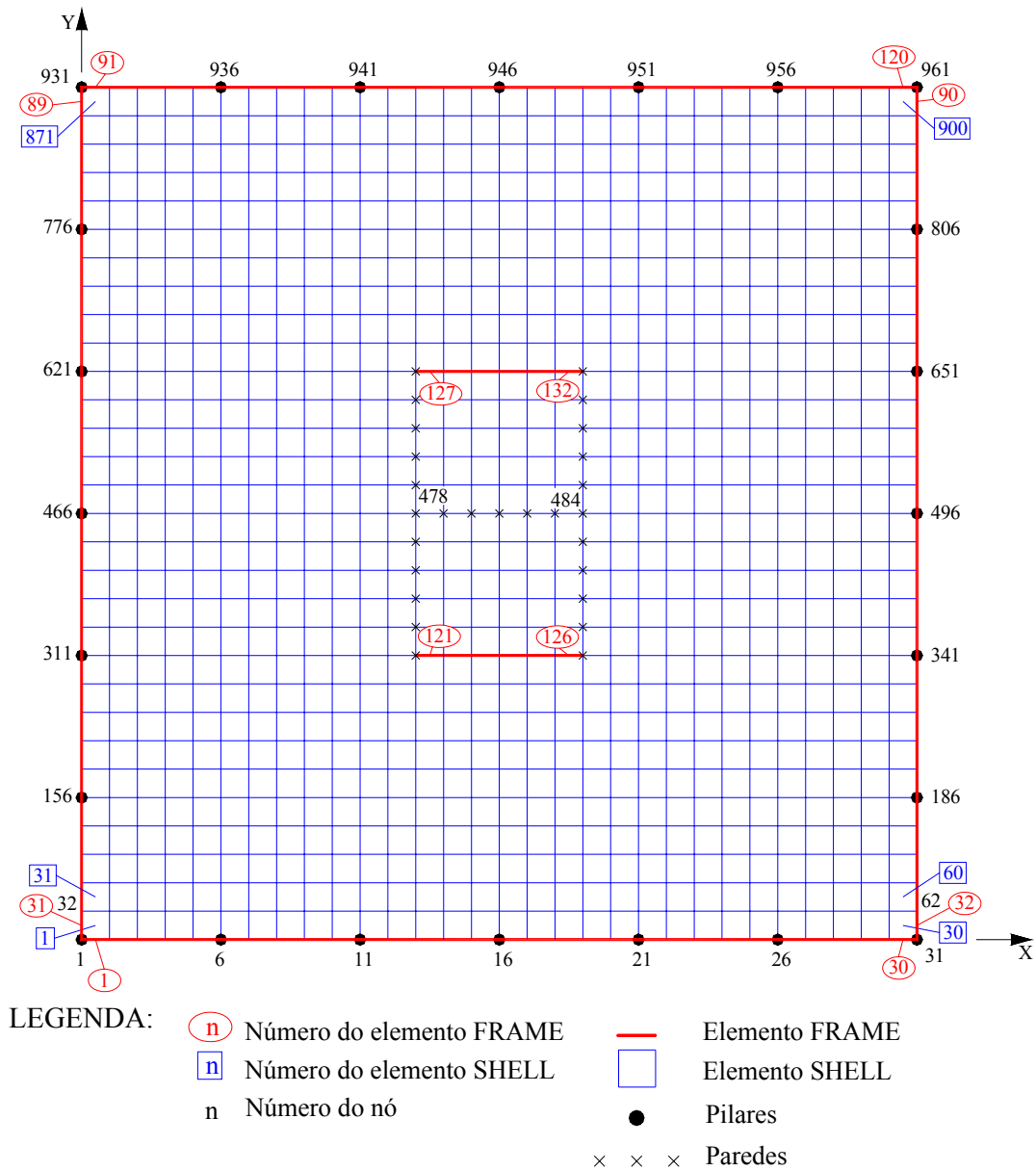
LEGENDA:

- |  |                          |   |                |
|--|--------------------------|---|----------------|
| <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px;">n</span>  | Número do elemento FRAME | <span style="color: red;">—</span>  | Elemento FRAME |
| <span style="border: 1px solid blue; border-radius: 50%; padding: 2px;">n</span> | Número do elemento SHELL | <span style="border: 1px solid blue; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> | Elemento SHELL |
| n  | Número do nó             | ●   | Pilares        |
|  |                          | × × ×   | Paredes        |

**FIGURA 5.21** - Numeração dos nós e dos elementos da malha do 2º ao 29º andar

A FIGURA 5.21 mostra a numeração dos nós e dos elementos FRAME e SHELL que compõem a malha do 2º ao 29º andar. Nela pode-se observar que, em cada andar:

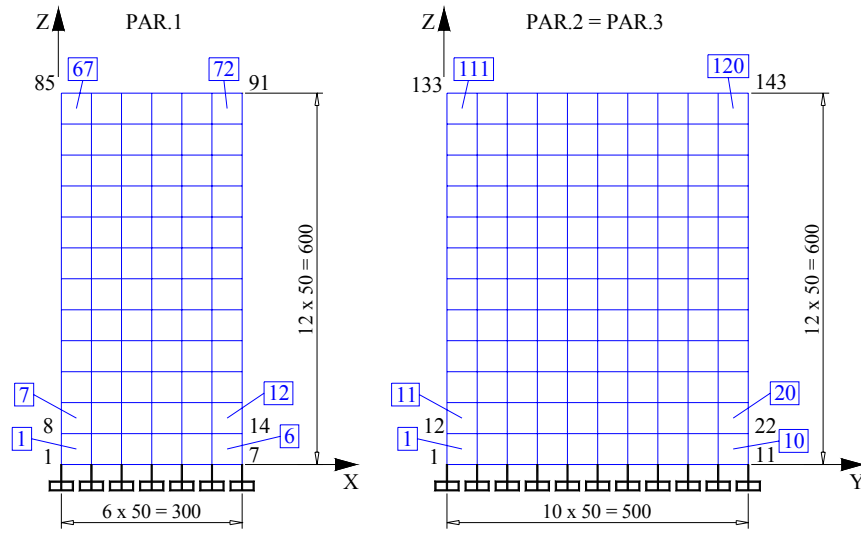
- a) há um total de 921 nós;
- b) a laje possui 840 elementos SHELL;
- c) cada viga  $VF_i$  possui 30 elementos FRAME;
- d) cada viga  $VN_i$  possui 6 elementos FRAME;
- e) existem 24 pilares.



**FIGURA 5.22** - Numeração dos nós e dos elementos da malha do 30º andar

A FIGURA 5.22 mostra a numeração dos nós e dos elementos FRAME e SHELL que compõem a malha do 30º andar. Nela pode-se observar que:

- a) há um total de 961 nós;
- b) a laje possui 900 elementos SHELL;
- c) cada viga  $VF_i$  possui 30 elementos FRAME;
- d) cada viga  $VN_i$  possui 6 elementos FRAME;
- e) existem 24 pilares.

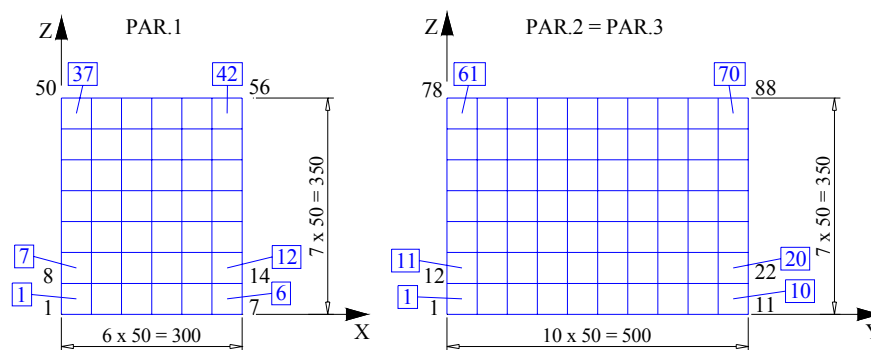


LEGENDA: n Número do elemento SHELL       Elemento SHELL  
 n Número do nó      + Engastamento

**FIGURA 5.23** - Numeração dos nós e dos elementos SHELL das malhas das paredes do 1º andar (cotas em centímetros)

A FIGURA 5.23 mostra a numeração dos nós e dos elementos SHELL que compõem as malhas das paredes do 1º andar. Nela pode-se observar que:

- a) a PAR.1 possui 91 nós e 72 elementos SHELL;
- b) cada uma das outras duas paredes (PAR.2 e PAR.3) possui 143 nós e 120 elementos SHELL.

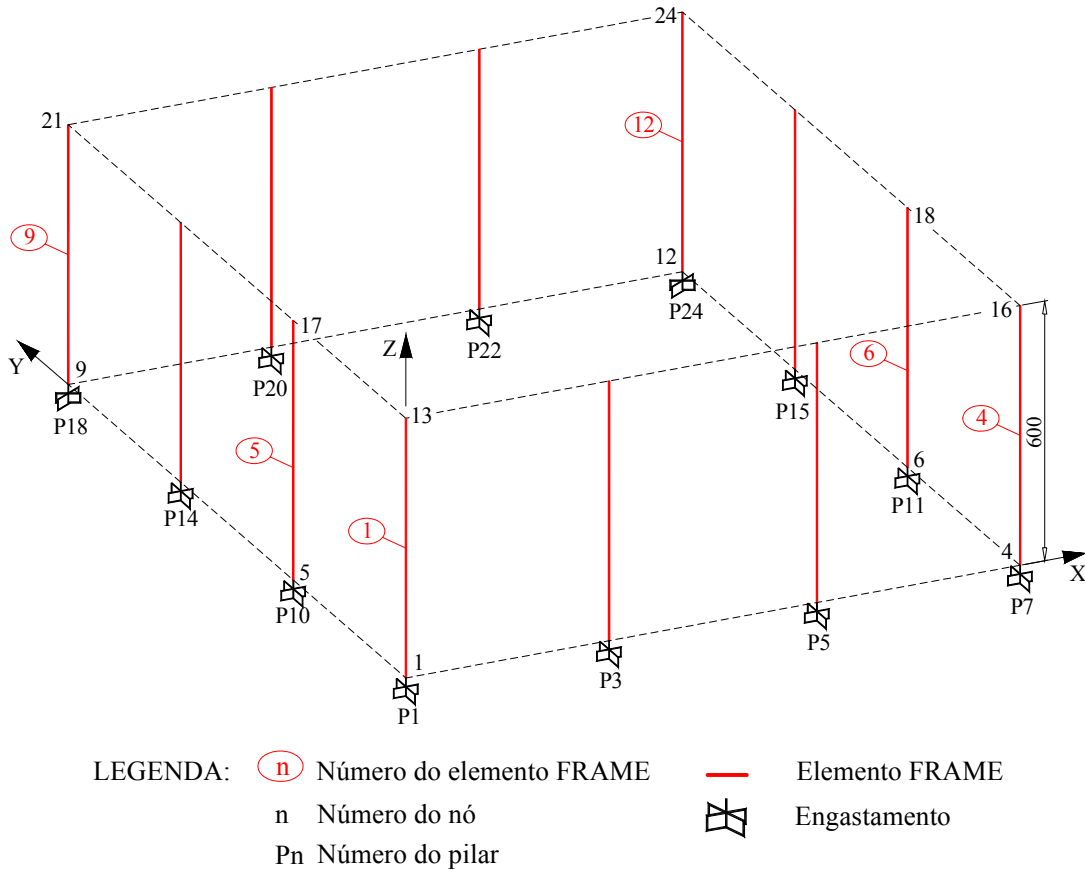


LEGENDA: n Número do elemento SHELL       Elemento SHELL  
 n Número do nó

**FIGURA 5.24** - Numeração dos nós e dos elementos SHELL das malhas das paredes do 2º ao 30º andar (cotas em centímetros)

A FIGURA 5.24 mostra a numeração dos nós e dos elementos SHELL que compõem a malha das paredes do 2º ao 30º andar. Nela pode-se observar que, em cada andar:

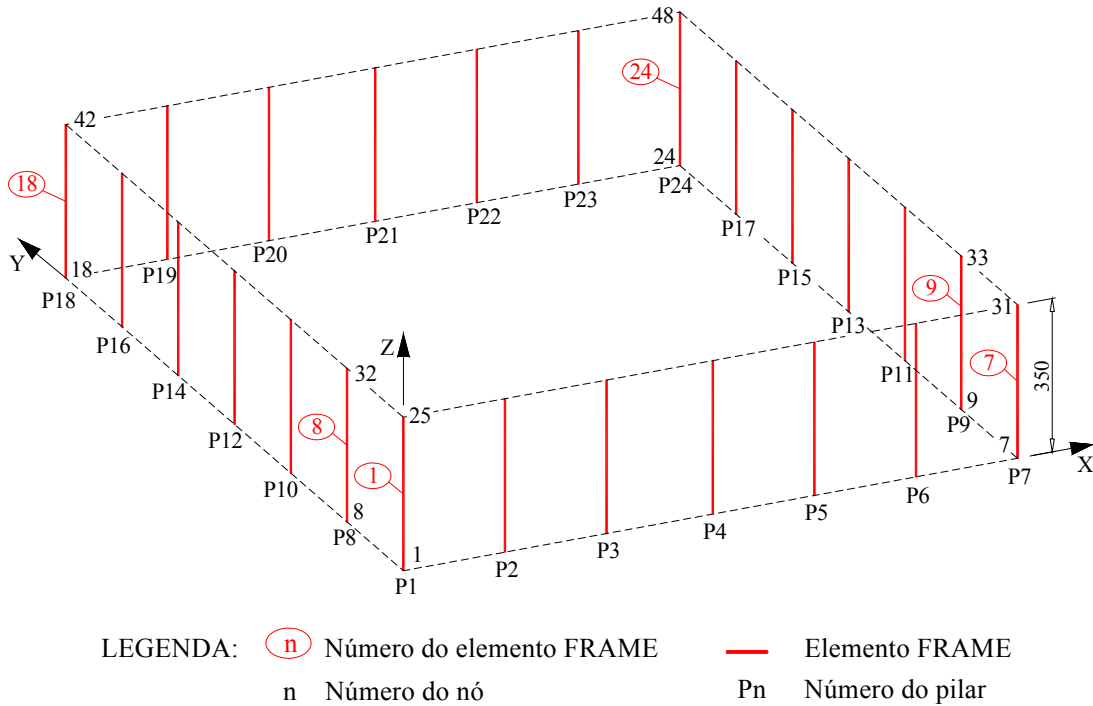
- a) a PAR.1 possui 56 nós e 42 elementos SHELL;
- b) cada uma das outras duas paredes (PAR.2 e PAR.3) possui 88 nós e 70 elementos SHELL.



**FIGURA 5.25** - Numeração dos elementos FRAME dos pilares do 1º andar (cotas em centímetros)

A FIGURA 5.25 mostra a numeração dos elementos FRAME dos pilares do 1º andar. Nela pode-se observar que:

- a) cada pilar é modelado por um único elemento FRAME de 600 cm de comprimento;
- b) há um total de 12 pilares neste andar.



**FIGURA 5.26** - Numeração dos elementos FRAME dos pilares do 2º ao 30º andar (cotas em centímetros)

A FIGURA 5.26 mostra a numeração dos elementos FRAME dos pilares do 2º ao 30º andar. Nela pode-se observar que:

- c) cada pilar é modelado por um único elemento FRAME de 350 cm de comprimento;
- d) há um total de 24 pilares por andar.

As figuras 5.27, 5.28 e 5.29 mostram em 3D a discretização utilizada para o 1º andar, para o andar tipo (2º ao 29º) e para o 30º andar, respectivamente. Nestas figuras não foram representadas as conexões OFFSET (item 5.1.2).

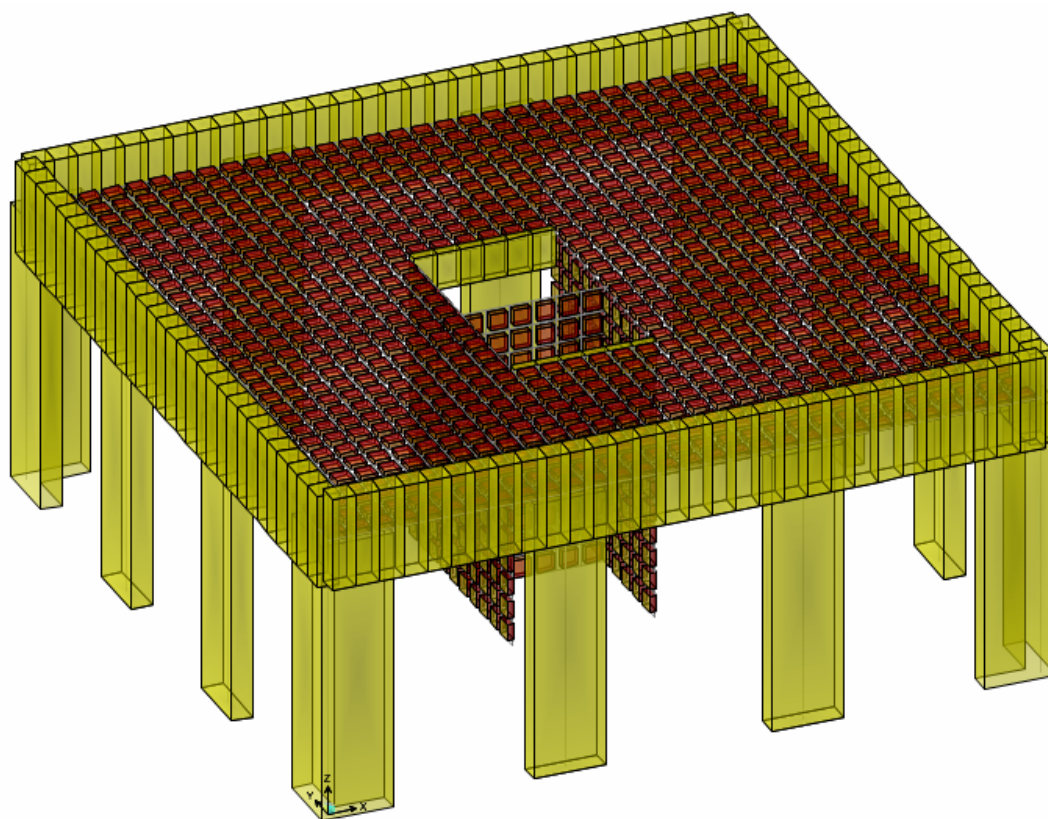


FIGURA 5.27 - Discretização do 1º andar

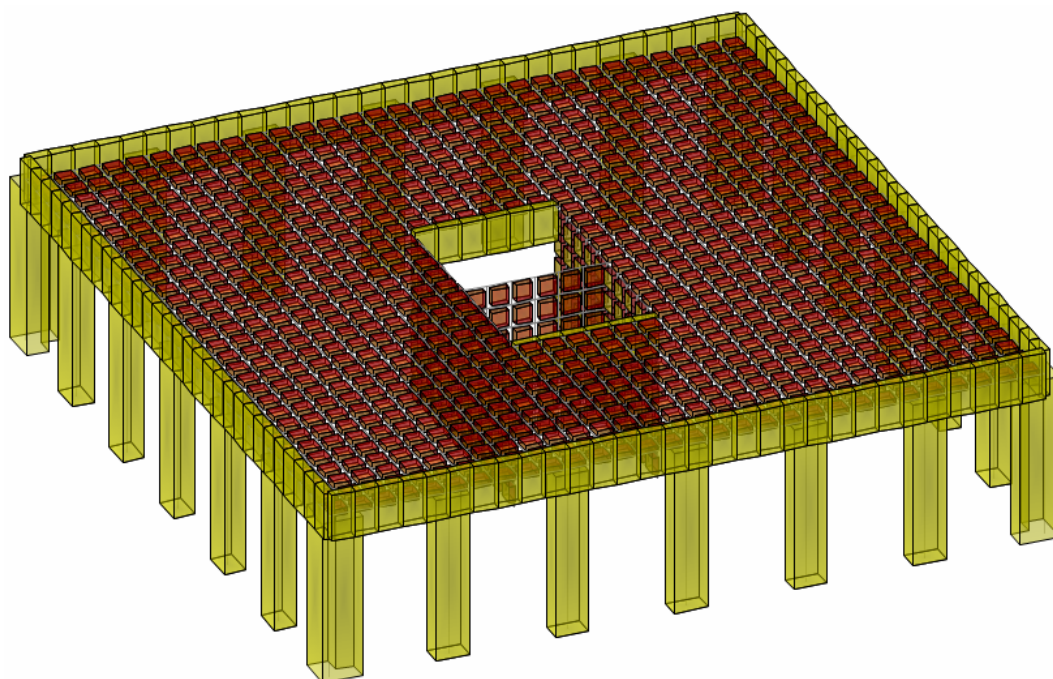
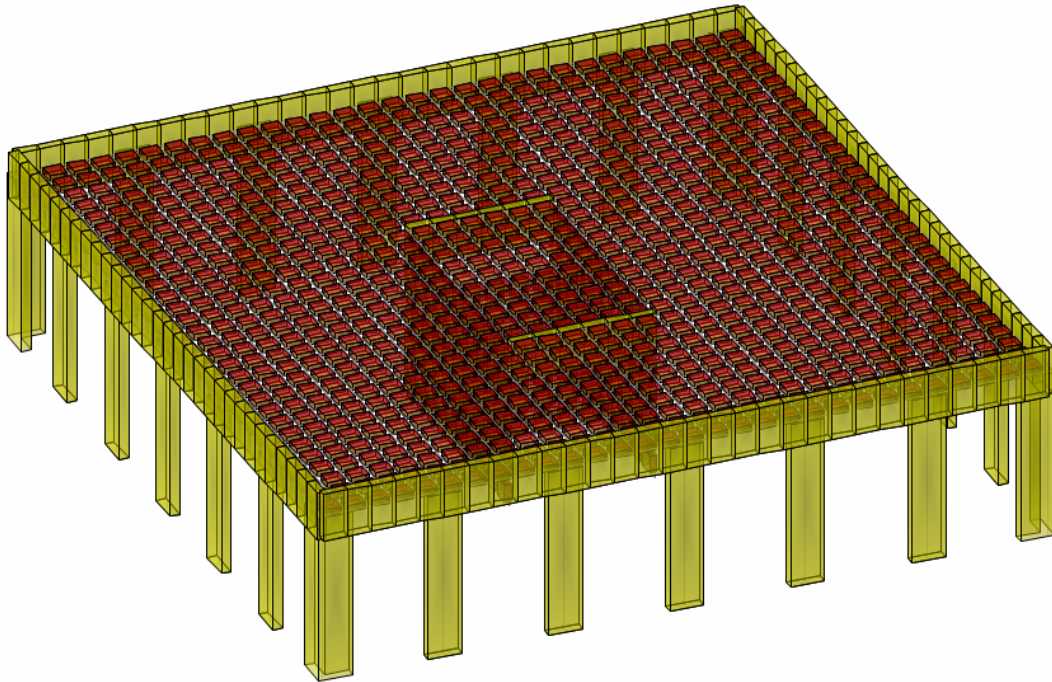


FIGURA 5.28 - Discretização do andar tipo (2º ao 29º)



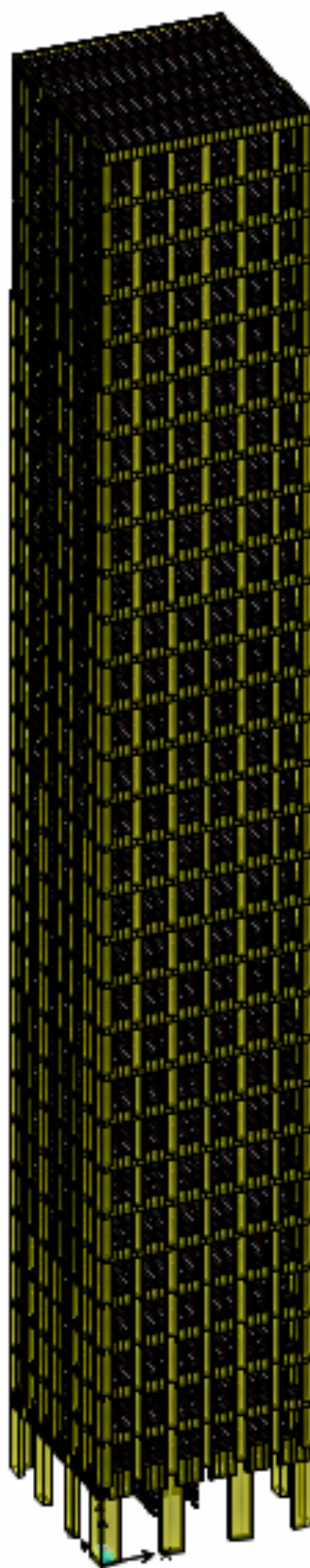


**FIGURA 5.29** - Discretização do 30º andar

A estrutura completa tem um total de:

- a) 32704 nós;
- b) 4668 elementos FRAME;
- c) 30850 elementos SHELL.

Na FIGURA 5.30 é mostrada a discretização utilizada para a estrutura completa. Nela não foram representadas as conexões OFFSET (item 5.1.2).



**FIGURA 5.30** - Discretização da estrutura completa

### 5.3 Carregamento Vertical

São consideradas as seguintes cargas verticais na análise do edifício ( $i = 1, 2, 3, \dots, 30$ ):

- a)  $PP_i$  = peso próprio das lajes, vigas, pilares, paredes do núcleo central e escada do andar  $i$ ; os valores destas cargas são obtidos pelo programa SAP2000 considerando-se  $\gamma_{conc} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;
- b)  $CM_i$  = carga de montagem, uniformemente distribuída, sobre o andar  $i$  considerada igual ao valor do peso próprio do andar imediatamente acima ( $PP_{i+1}$ ) mais  $2,00 \text{ kN/m}^2$ ; os valores destas cargas são mostrados na TABELA 5.1;

**TABELA 5.1** - Valores das cargas de montagem ( $CM_i$ ) do andar  $i$

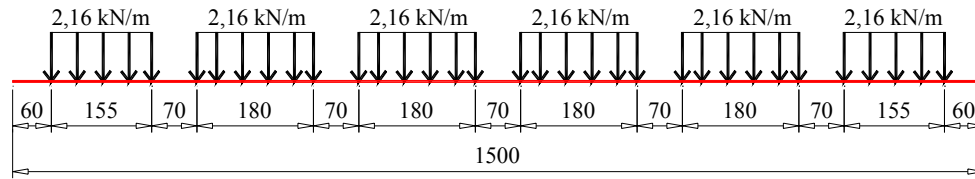
Andar (i)	$CM_i$ (kN/m <sup>2</sup> )
1 a 5	12,65
6 a 10	12,26
11 a 15	11,88
16 a 20	11,48
21 a 25	11,08
26 a 29	10,69

- c)  $ALV_i + REV_i$  = alvenarias sobre a laje e vigas de fachada (VF1, VF2, VF3 e VF4) e revestimento do andar  $i$ ; os valores destas cargas são mostrados na TABELA 5.2;

**TABELA 5.2** - Valores das alvenarias sobre a laje e vigas de fachada ( $ALV_i$ ) e revestimento ( $REV_i$ ) do andar  $i$

Andar (i)	$ALV_i$		$REV_i$ (kN/m <sup>2</sup> )
	sobre laje (kN/m <sup>2</sup> )	sobre VF (kN/m)	
1 a 29	2,56	2,16	1,00
30	-	-	0,50

a alvenaria sobre as vigas de fachada (VF1, VF2, VF3 e VF4) é aplicada apenas de face a face dos pilares, como se vê na FIGURA 5.31;



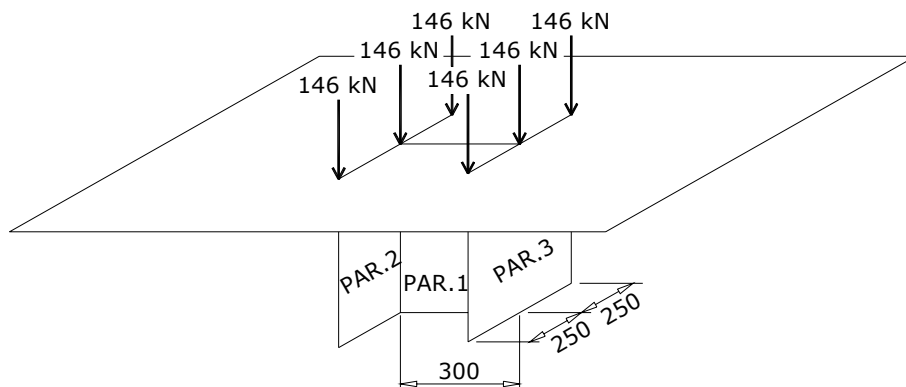
**FIGURA 5.31** - Disposição das alvenarias sobre as vigas de fachada do 1º ao 29º andar (cotas em centímetros)

d)  $SC_i$  = sobrecarga do andar  $i$ ; os valores destas cargas são mostrados na TABELA 5.3;

**TABELA 5.3**- Valores das sobrecargas ( $SC_i$ ) do andar  $i$

Andar (i)	$SC_i$ (kN/m <sup>2</sup> )
1 a 29	2,00
30	1,00

e) CXCM = peso da caixa d’água e casa de máquinas; a caixa d’água e casa de máquinas estão apoiadas sobre o núcleo central e seu peso total é de  $6 \times 158$  kN = 948 kN (FIGURA 5.32).



**FIGURA 5.32** - Disposição das cargas CXCM no 30º andar (cotas em centímetros)

## 5.4 Carregamento Horizontal

As cargas horizontais consideradas na análise do edifício foram calculadas pelo programa TQS de acordo com norma NBR-6123, considerando-se velocidade básica ( $V_0$ ) = 31,0 m/s;  $S_1 = 1$ ; rugosidade = 4; classe = C e coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) = 1,47 (nas duas direções).

A FIGURA 5.33 mostra os valores das cargas horizontais, uniformemente distribuídas, aplicadas em duas fachadas ao longo do plano médio das lajes do 1º ao 7º andar.

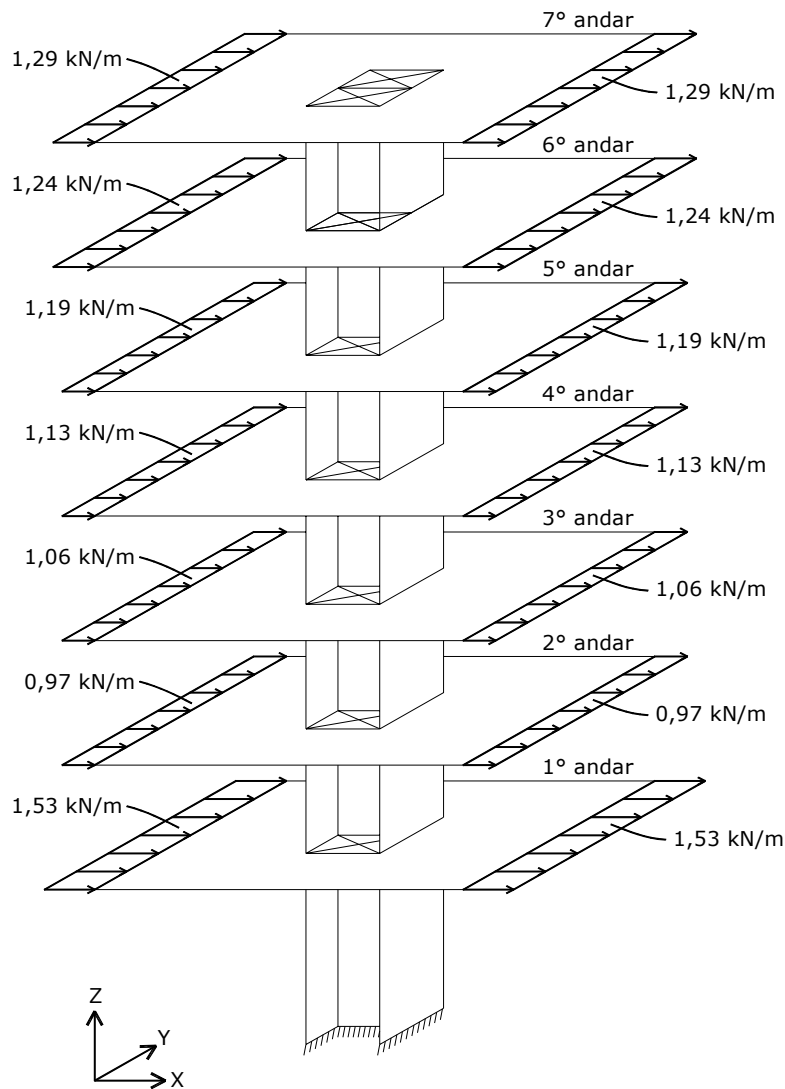


FIGURA 5.33 - Valores das cargas horizontais do 1º ao 7º andar

A FIGURA 5.34 mostra os valores das cargas horizontais, uniformemente distribuídas, aplicadas em duas fachadas ao longo do plano médio das lajes do 8º ao 19º andar.

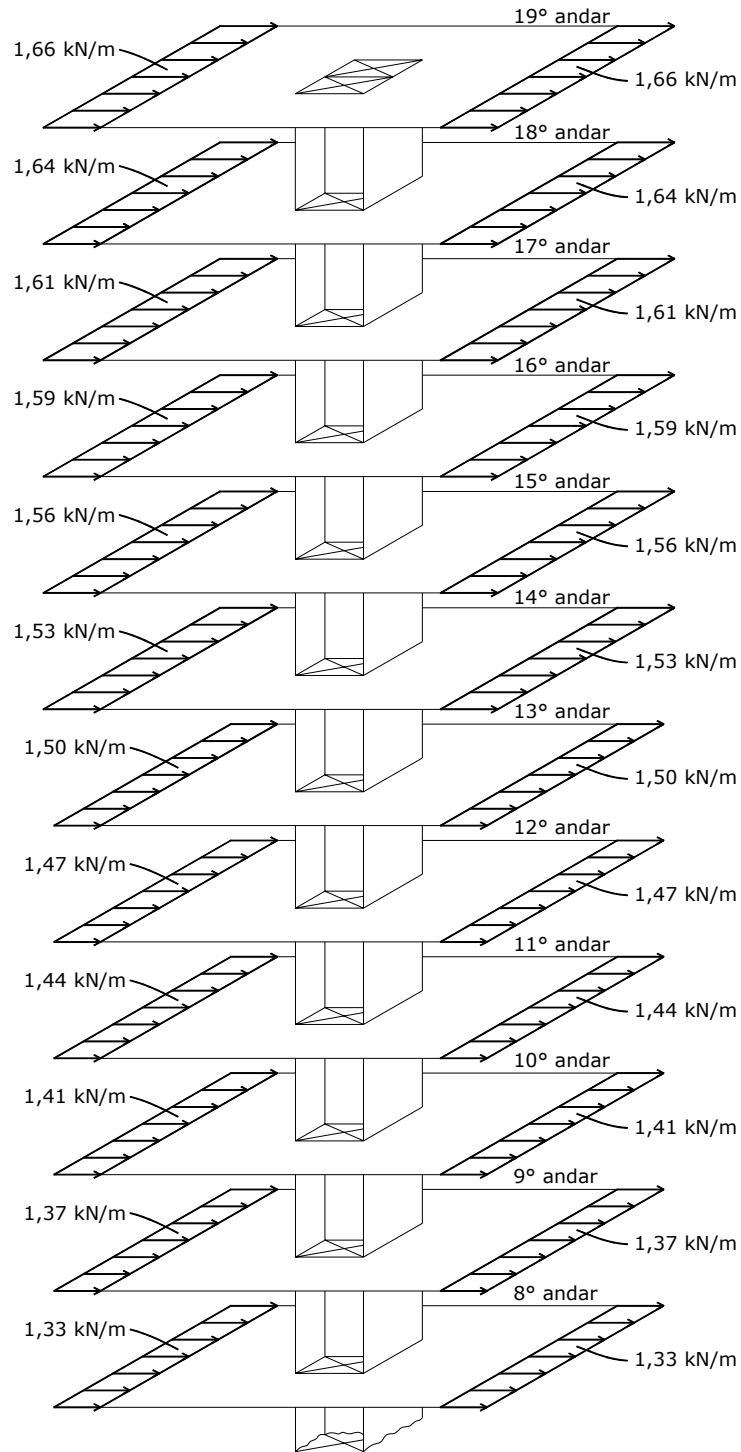


FIGURA 5.34 - Valores das cargas horizontais do 8º ao 19º andar

A FIGURA 5.35 mostra os valores das cargas horizontais, uniformemente distribuídas, aplicadas em duas fachadas ao longo do plano médio das lajes do 20º ao 30º andar.

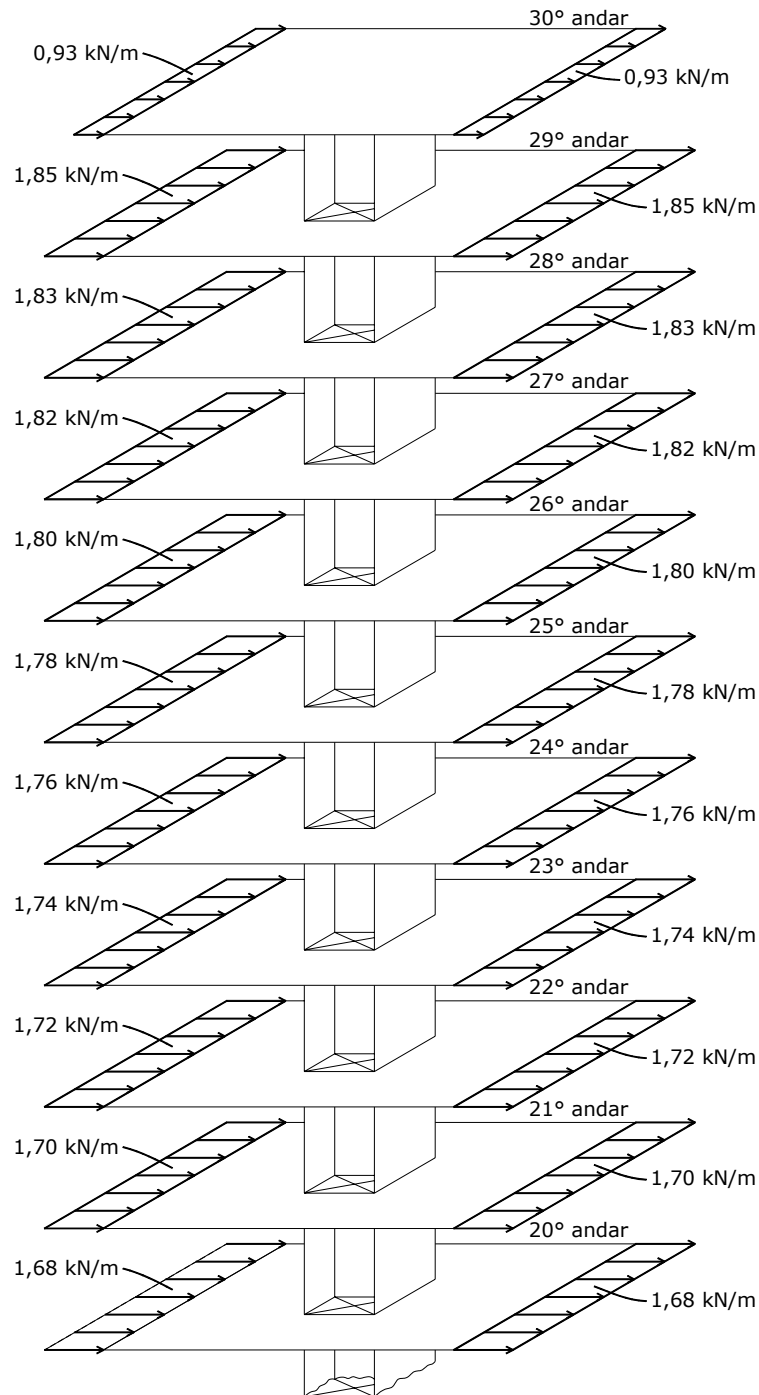
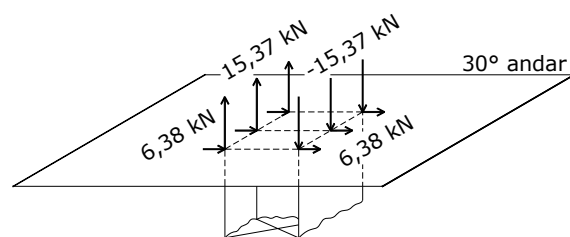


FIGURA 5.35 - Valores das cargas horizontais do 20º ao 30º andar



**FIGURA 5.36** - Esforços resultantes devido à ação da carga horizontal na caixa d'água e casa de máquinas



# 6

## MODELOS ESTRUTURAIS ANALISADOS

Neste capítulo descrevem-se os quatro modelos estruturais utilizados na análise da estrutura descrita no capítulo 4. Esses modelos são os seguintes:

- a) modelo *NÃO SEQÜENCIAL*;
- b) modelo *NÃO SEQÜENCIAL NRD* (*Nós com Restrições de Diafragma*);
- c) modelo *SEQÜENCIAL*;
- d) modelo *SEQÜENCIAL NRD* (*Nós com Restrições de Diafragma*).

### 6.1 Nós com Restrições de Diafragma (NRD)

Em todos os modelos as lajes são modeladas por elementos finitos com rigidez à flexão (o elemento SHELL é dotado de espessura). Entretanto, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL NRD* e *SEQÜENCIAL NRD*, os nós da malha das lajes estão sujeitos a restrições de diafragma rígido. Isto faz com que todos os nós destas lajes, em seus respectivos níveis, se movimentem juntos, tal como ocorre com os pontos de uma lâmina de rigidez infinita no seu plano. Além das translações  $x$  e  $y$  e rotação  $z$  da lâmina rígida ainda permanecem, em cada nó, três deslocamentos independentes que são as rotações  $x$  e  $y$  e a translação  $z$  (WEAVER & GERE, 1990). No programa SAP2000 o comando DIAPHRAGM CONSTRAINT é matematicamente equivalente à criação destas restrições.

## 6.2 Modelo NÃO SEQÜENCIAL

No modelo *NÃO SEQÜENCIAL* as vigas e pilares são modelados com o elemento de barra FRAME e as lajes e paredes do núcleo central com o elemento de casca SHELL.

Neste modelo o carregamento vertical total, conforme mostrado no item 5.3, é aplicado simultaneamente na estrutura completa. Da mesma forma, o carregamento horizontal total, conforme mostrado no item 5.4, também é aplicado simultaneamente na estrutura completa.

## 6.3 Modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD

O modelo *NÃO SEQÜENCIAL NRD* (Nós com Restrições de Diafragma) difere do modelo *NÃO SEQÜENCIAL* apenas pelas restrições adicionais impostas aos nós das lajes conforme descrito no item 6.1 .

## 6.4 Modelo SEQÜENCIAL

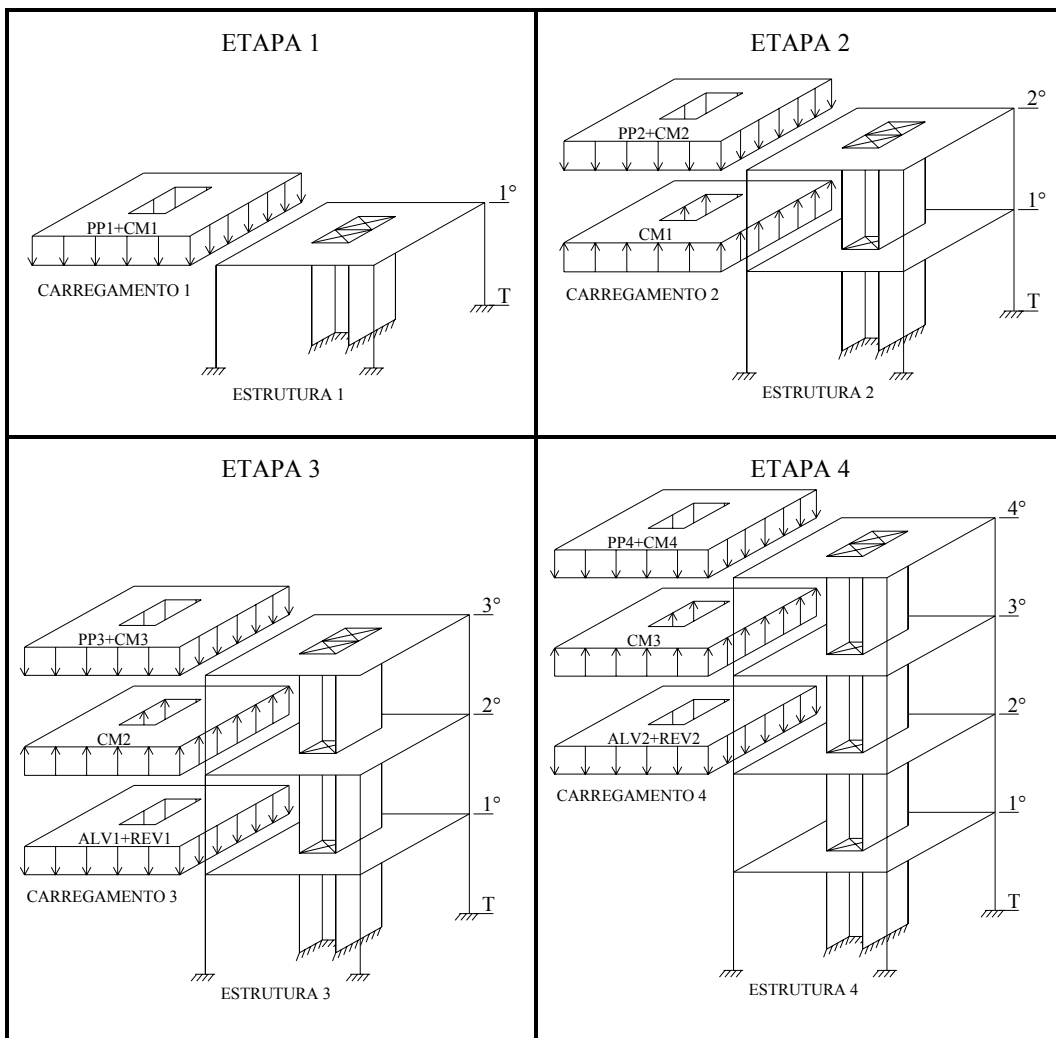
Neste modelo, da mesma forma que os anteriores, as vigas e pilares são modelados com o elemento de barra FRAME e as lajes e paredes do núcleo central com o elemento de casca SHELL.

No modelo *SEQÜENCIAL* a estrutura é carregada gradativamente à medida que é construída, ou seja, a seqüência dos carregamentos (peso próprio, alvenaria, revestimento, sobrecarga, carga de montagem, caixa d'água e casa de máquinas) é uma informação incorporada ao modelo.

Como se mostra a seguir, a análise da estrutura feita com o modelo *SEQÜENCIAL* requer o cálculo de 30 estruturas distintas sujeitas a 33 carregamentos.

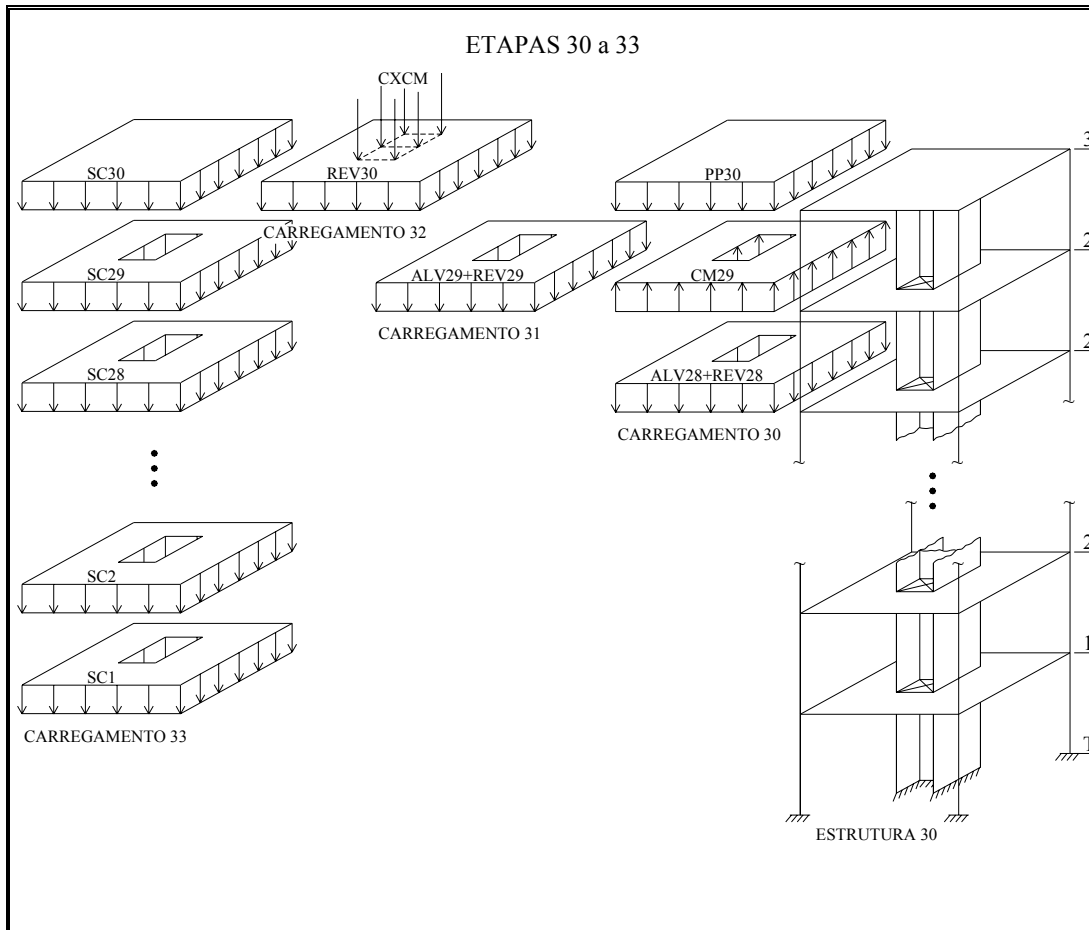
Para melhor entendimento da seqüência de análise adotada neste modelo, apresenta-se na FIGURA 6.1 um esquema das quatro primeiras estruturas e carregamentos que as solicitam. Nesta figura, o carregamento é representado simbolicamente por uma carga uniformemente distribuída.

As etapas de 5 a 29 são análogas às etapas 3 e 4. Por este motivo estas etapas não são apresentadas.



**FIGURA 6.1** - Representação esquemática das estruturas e carregamentos (de 1 a 4) do modelo SEQUENCIAL

Na FIGURA 6.2 apresenta-se o esquema da estrutura 30 e dos carregamentos 30, 31, 32 e 33 que a solicitam. Nesta figura o carregamento também é representado simbolicamente por uma carga uniformemente distribuída.



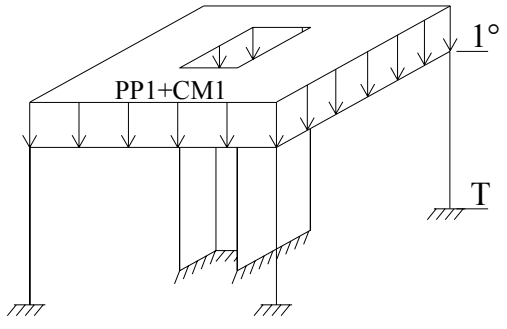
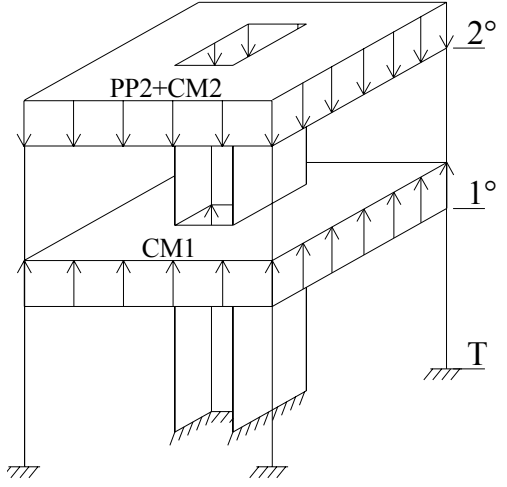
**FIGURA 6.2** - Representação esquemática da estrutura 30 e carregamentos 30, 31, 32 e 33 do modelo SEQÜENCIAL

A TABELA 6.1 mostra um resumo das estruturas calculadas e dos carregamentos que as solicitam.

**TABELA 6.1** - Resumo das estruturas e carregamentos do modelo SEQUENCIAL

Estrutura	Carregamento	Descrição do carregamento		
1	1	PP1 + CM1		
2	2	PP2 + CM2	- CM1	
3	3	PP3 + CM3	- CM2	ALV1 + REV1
4	4	PP4 + CM4	- CM3	ALV2 + REV2
5	5	PP5 + CM5	- CM4	ALV3 + REV3
6	6	PP6 + CM6	- CM5	ALV4 + REV4
7	7	PP7 + CM7	- CM6	ALV5 + REV5
8	8	PP8 + CM8	- CM7	ALV6 + REV6
9	9	PP9 + CM9	- CM8	ALV7 + REV7
10	10	PP10 + CM10	- CM9	ALV8 + REV8
11	11	PP11 + CM11	- CM10	ALV9 + REV9
12	12	PP12 + CM12	- CM11	ALV10 + REV10
13	13	PP13 + CM13	- CM12	ALV11 + REV11
14	14	PP14 + CM14	- CM13	ALV12 + REV12
15	15	PP15 + CM15	- CM14	ALV13 + REV13
16	16	PP16 + CM16	- CM15	ALV14 + REV14
17	17	PP17 + CM17	- CM16	ALV15 + REV15
18	18	PP18 + CM18	- CM17	ALV16 + REV16
19	19	PP19 + CM19	- CM18	ALV17 + REV17
20	20	PP20 + CM20	- CM19	ALV18 + REV18
21	21	PP21 + CM21	- CM20	ALV19 + REV19
22	22	PP22 + CM22	- CM21	ALV20 + REV20
23	23	PP23 + CM23	- CM22	ALV21 + REV21
24	24	PP24 + CM24	- CM23	ALV22 + REV22
25	25	PP25 + CM25	- CM24	ALV23 + REV23
26	26	PP26 + CM26	- CM25	ALV24 + REV24
27	27	PP27 + CM27	- CM26	ALV25 + REV25
28	28	PP28 + CM28	- CM27	ALV26 + REV26
29	29	PP29 + CM29	- CM28	ALV27 + REV27
30	30	PP30	- CM29	ALV28 + REV28
	31			ALV29 + REV29
	32	CXCM		REV30
	33			SC1 a SC30

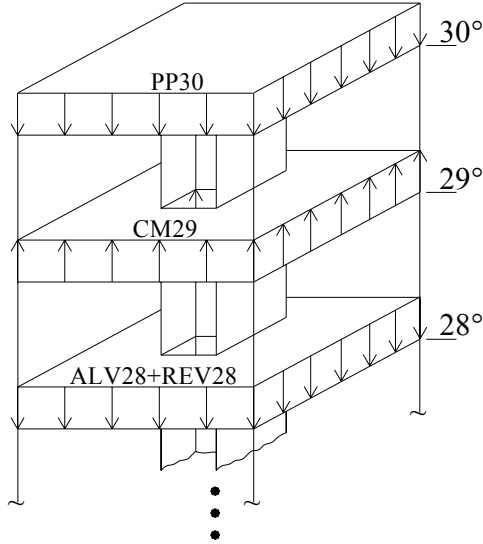
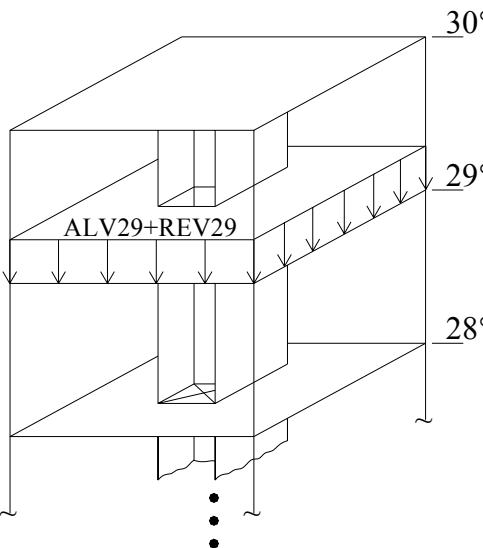
Nas figuras 6.2 a 6.6, mostradas a seguir, são feitos comentários sobre as etapas de construção e carregamento adotadas para o modelo *SEQUENCIAL*.

Estrutura 1 - Carregamento 1	ETAPA 1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 1º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP1);</li> <li>• o peso do 2º andar em construção, que é uma carga de montagem (CM1), é suportado pelo 1º andar;</li> <li>• os pesos dos andares em construção são as únicas cargas de montagem (sobrecarga temporária) consideradas neste modelo;</li> </ul>
Estrutura 2 - Carregamento 2	ETAPA 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 2º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP2);</li> <li>• o escoramento do 2º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 1º andar (-CM1);</li> <li>• o peso do 3º andar em construção, que é uma carga de montagem (CM2), é suportado pelo 2º andar;</li> </ul>

**FIGURA 6.3-** Representação esquemática das etapas 1 e 2 de construção e carregamento do modelo SEQUENCIAL

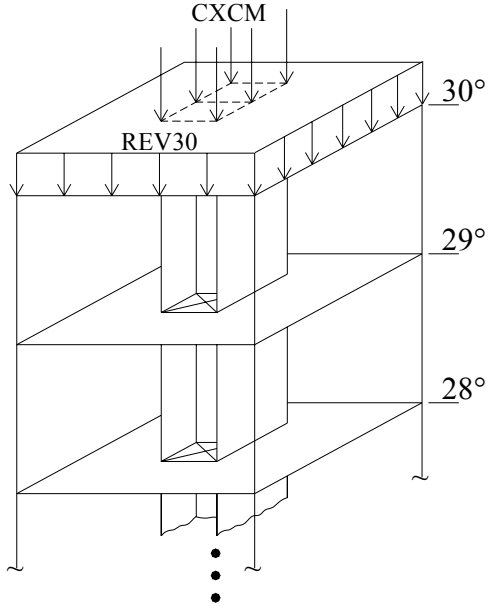
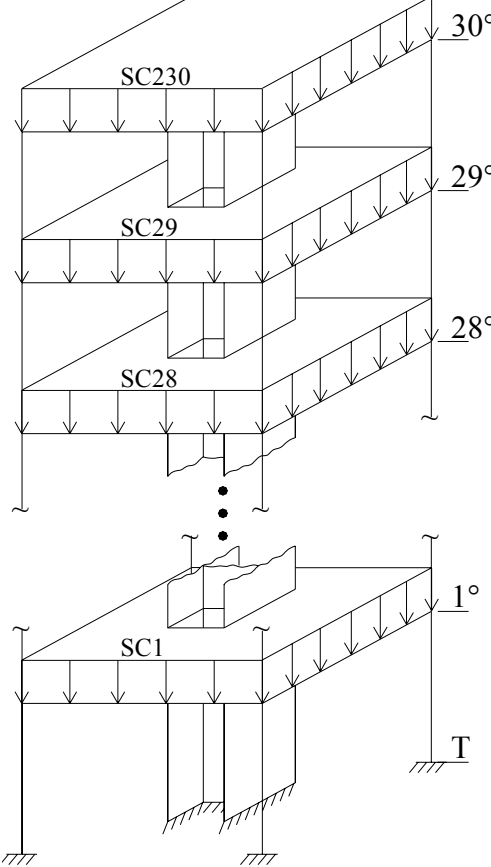
Estrutura 3 - Carregamento 3	ETAPA 3
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 3º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP3);</li> <li>• o escoramento do 3º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 2º andar (-CM2);</li> <li>• o peso do 4º andar em construção, que é uma carga de montagem (CM3), é suportado pelo 3º andar;</li> <li>• a alvenaria (ALV1) e o revestimento (REV1) do 1º andar são feitos;</li> </ul>
Estrutura 4 - Carregamento 4	ETAPA 4
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 4º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP4);</li> <li>• o escoramento do 4º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 3º andar (-CM3);</li> <li>• o peso do 5º andar em construção, que é uma carga de montagem (CM4), é suportado pelo 4º andar;</li> <li>• a alvenaria (ALV2) e o revestimento (REV2) do 2º andar são feitos;</li> </ul>

**FIGURA 6.4-** Representação esquemática das etapas 3 e 4 de construção e carregamento do modelo SEQUENCIAL

Estrutura 30 - Carregamento 30	ETAPA 30
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a estrutura do 30º andar já é capaz de resistir ao seu peso próprio (PP30);</li> <li>• o escoramento do 30º andar foi retirado, aliviando, por conseguinte, o 29º andar (-CM29);</li> <li>• a alvenaria (ALV28) e o revestimento (REV28) do 28º andar são feitos;</li> </ul>
Estrutura 30 - Carregamento 31	ETAPA 31
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a alvenaria (ALV29) e o revestimento (REV29) do 29º andar são feitos;</li> </ul>

**FIGURA 6.5** - Representação esquemática das etapas 30 e 31 de construção e carregamento do modelo SEQUENCIAL



Estrutura 30 - Carregamento 32	ETAPA 32
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a caixa d'água e casa de máquinas são construídas sobre o 30º andar; o peso da caixa d'água e casa de máquinas é representado por 6 forças concentradas (CXCM);</li> <li>• o revestimento (REV30) do 30º andar é feito;</li> </ul>
Estrutura 30 - Carregamento 33	ETAPA 33
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• as sobrecargas (SC1 a SC30) são aplicadas simultaneamente em todos os andares.</li> </ul>

**FIGURA 6.6** - Representação esquemática das etapas 32 e 33 de construção e carregamento do modelo SEQUENCIAL

## **6.5 Modelo SEQÜENCIAL NRD**

O modelo *SEQÜENCIAL NRD* (Nós com Restrições de Diafragma) difere do modelo *SEQÜENCIAL* apenas pelas restrições adicionais impostas aos nós das lajes conforme descrito no item 6.1 .

# 7

## COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS NÃO SEQUÊNCIAL E NÃO SEQUÊNCIAL NRD

Neste capítulo comparam-se os resultados obtidos através dos modelos estruturais *NÃO SEQUÊNCIAL* e *NÃO SEQUÊNCIAL NRD* (*N*ós com *R*estrições de *D*iafragma). Analisam-se as seguintes grandezas (G):

- a) forças axiais na viga VF1;
- b) momentos fletores na viga VF1;
- c) forças axiais no pilar P3;
- d) momentos fletores no pilar P3;
- e) forças de membrana F11 e F22 nas lajes;
- f) momentos fletores M11 e M22 nas lajes;
- g) forças de membrana F11 e F22 nas paredes do núcleo central;
- h) momentos fletores M11 e M22 nas paredes do núcleo central;
- i) reações de apoio na fundação FX, FY, FZ, MX, MY e MZ;
- j) deslocamentos nodais UX e UY;
- k) índices de deslocabilidade lateral IDL.

As tabelas comparativas dos resultados estão organizadas a partir dos dados gerados pelo programa SAP2000, de acordo com a convenção de sinal mostrada nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5 para as vigas e pilares e figuras 5.14 e 5.15 para as lajes e paredes do núcleo central.

Nestas tabelas também são apresentadas as diferenças percentuais das grandezas ( $\Delta G\%$ ) entre os dois modelos.

Os valores dos módulos dessas diferenças percentuais são obtidos através da equação 7.1:

$$\Delta G\% = \left| \frac{G_{NRD} - G_{NS}}{G_{NS}} \right| \times 100\% \quad (7.1)$$

onde:

$\Delta G\%$  = módulo da diferença percentual da grandeza  $G$ ;

$G_{NS}$  = valor da grandeza no modelo *NÃO SEQUENCIAL*;

$G_{NRD}$  = valor da grandeza no modelo *NÃO SEQUENCIAL NRD*.

## 7.1 - Comparações Relativas ao Carregamento Vertical

O carregamento vertical usado na análise destes modelos está mostrado no item 5.3. Neste carregamento deve-se excluir a carga de montagem CMi.

### 7.1.1 - Forças Axiais na Viga VF1

Obtém-se os valores das forças axiais  $P$  na viga VF1 do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL* ( $P_{NS}$ ). Estes valores são mostrados nas tabelas 7.1, 7.2 e 7.3. Note-se que o modelo *NÃO SEQUENCIAL NRD* é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

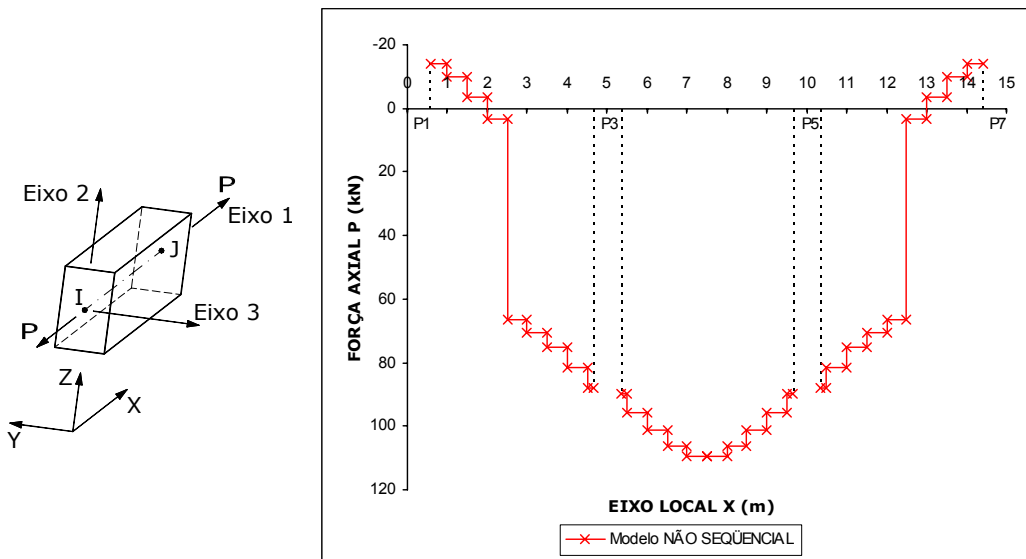
Os gráficos das figuras 7.1, 7.2 e 7.3 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.1, 7.2 e 7.3, respectivamente.

Os valores das forças axiais, apresentadas nas tabelas a seguir, referem-se aos trechos elásticos da viga VF1 que são de face a face dos pilares devido ao uso das conexões OFFSET, conforme citado no item 5.1.2.

**TABELA 7.1-** Forças axiais P na viga VF1 do 1º andar para o modelo NÃO SEQÜENCIAL

P (kN)		P (kN)	
X (m)	P <sub>NS</sub>	X (m)	P <sub>NS</sub>
0,00	*	7,50	109,67
0,60	-13,92	8,00	109,67
1,00	-13,92	8,00	106,13
1,00	-9,71	8,50	106,13
1,50	-9,71	8,50	101,33
1,50	-3,42	9,00	101,33
2,00	-3,42	9,00	95,79
2,00	3,40	9,50	95,79
2,50	3,40	9,50	89,78
2,50	66,59	9,65	89,78
3,00	66,59	10,00	*
3,00	70,42	10,35	88,13
3,50	70,42	10,50	88,13
3,50	75,27	10,50	81,53
4,00	75,27	11,00	81,53
4,00	81,53	11,00	75,27
4,50	81,53	11,50	75,27
4,50	88,13	11,50	70,42
4,65	88,13	12,00	70,42
5,00	*	12,00	66,59
5,35	89,78	12,50	66,59
5,50	89,78	12,50	3,40
5,50	95,79	13,00	3,40
6,00	95,79	13,00	-3,42
6,00	101,33	13,50	-3,42
6,50	101,33	13,50	-9,71
6,50	106,13	14,00	-9,71
7,00	106,13	14,00	-13,92
7,00	109,67	14,40	-13,92
7,50	109,67	15,00	*

\* valores não determinados



**FIGURA 7.1 -** Forças axiais P na viga VF1 do 1º andar para o modelo NÃO SEQÜENCIAL

TABELA 7.2 - Forças axiais P na viga VF1 do 15º andar para o modelo NÃO SEQUENCIAL

P (kN)		P (kN)	
X (m)	P <sub>NS</sub>	X (m)	P <sub>NS</sub>
0,00	*	7,85	15,84
0,60	-1,04	8,00	15,84
1,00	-1,04	8,00	15,65
1,00	0,06	8,50	15,65
1,50	0,06	8,50	14,82
1,50	1,15	9,00	14,82
2,00	1,15	9,00	13,17
2,00	2,49	9,50	13,17
2,15	2,49	9,50	11,06
2,50	*	9,65	11,06
2,85	1,95	10,00	*
3,00	1,95	10,35	10,20
3,00	4,11	10,50	10,20
3,50	4,11	10,50	8,32
3,50	6,26	11,00	8,32
4,00	6,26	11,00	6,26
4,00	8,32	11,50	6,26
4,50	8,32	11,50	4,11
4,50	10,20	12,00	4,11
4,65	10,20	12,00	1,95
5,00	*	12,15	1,95
5,35	11,06	12,50	*
5,50	11,06	12,85	2,49
5,50	13,17	13,00	2,49
6,00	13,17	13,00	1,15
6,00	14,82	13,50	1,15
6,50	14,82	13,50	0,06
6,50	15,65	14,00	0,06
7,00	15,65	14,00	-1,04
7,00	15,84	14,40	-1,04
7,15	15,84	15,00	*
7,50	*		

\* valores não determinados

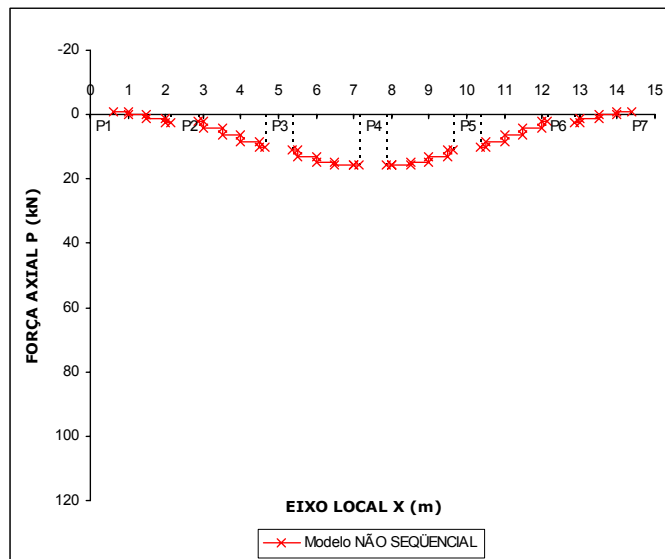


FIGURA 7.2 - Forças axiais P na viga VF1 do 15º andar para o modelo NÃO SEQUENCIAL

TABELA 7.3 - Forças axiais P na viga VF1 do 30º andar para o modelo NÃO SEQUENCIAL

P (kN)		P (kN)	
X (m)	P <sub>NS</sub>	X (m)	P <sub>NS</sub>
0,00	*	7,85	-8,31
0,60	-6,95	8,00	-8,31
1,00	-6,95	8,00	-7,67
1,00	-3,22	8,50	-7,67
1,50	-3,22	8,50	-7,76
1,50	-0,33	9,00	-7,76
2,00	-0,33	9,00	-9,52
2,00	2,52	9,50	-9,52
2,15	2,52	9,50	-12,21
2,50	*	9,65	-12,21
2,85	-13,74	10,00	*
3,00	-13,74	10,35	-3,90
3,00	-9,77	10,50	-3,90
3,50	-9,77	10,50	-5,20
3,50	-6,84	11,00	-5,20
4,00	-6,84	11,00	-6,84
4,00	-5,20	11,50	-6,84
4,50	-5,20	11,50	-9,77
4,50	-3,90	12,00	-9,77
4,65	-3,90	12,00	-13,74
5,00	*	12,15	-13,74
5,35	-12,21	12,50	*
5,50	-12,21	12,85	2,52
5,50	-9,52	13,00	2,52
6,00	-9,52	13,00	-0,33
6,00	-7,76	13,50	-0,33
6,50	-7,76	13,50	-3,22
6,50	-7,67	14,00	-3,22
7,00	-7,67	14,00	-6,95
7,00	-8,31	14,40	-6,95
7,15	-8,31	15,00	*
7,50	*		

\* valores não determinados

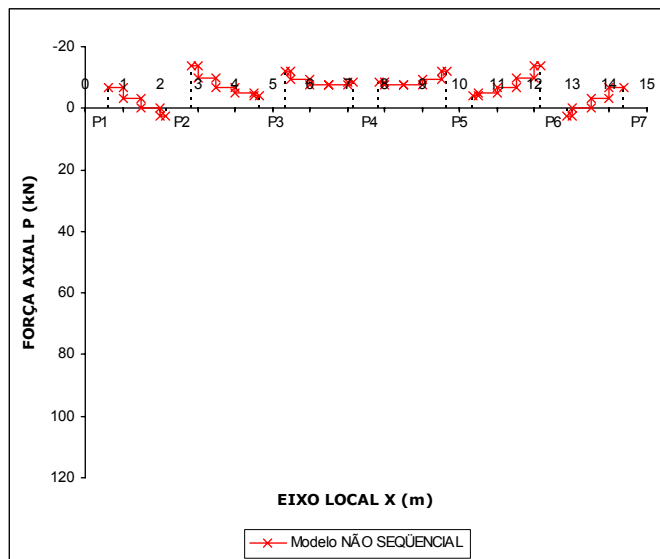


FIGURA 7.3 - Forças axiais P na viga VF1 do 30º andar para o modelo NÃO SEQUENCIAL

### 7.1.2- Momentos Fletores na Viga VF1

Obtém-se os valores dos momentos fletores  $M_3$  na viga VF1 do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $M_{3NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $M_{3NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.4, 7.5 e 7.6. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_3\%$  dos momentos fletores  $M_3$  entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os gráficos das figuras 7.4, 7.5 e 7.6 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.4, 7.5 e 7.6, respectivamente.

Os valores dos momentos fletores, apresentados nas tabelas a seguir, referem-se aos trechos elásticos da viga VF1 que são de face a face dos pilares devido ao uso das conexões OFFSET (item 5.1.2).

A partir dos valores das tabelas 7.4, 7.5 e 7.6 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.4, 7.5 e 7.6, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_3\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas;
- b) as diferenças percentuais iguais a 11,3% e 20% que aparecem no 15º e 30º andar, respectivamente, são devidos aos valores muito pequenos dos momentos  $M_3$ .



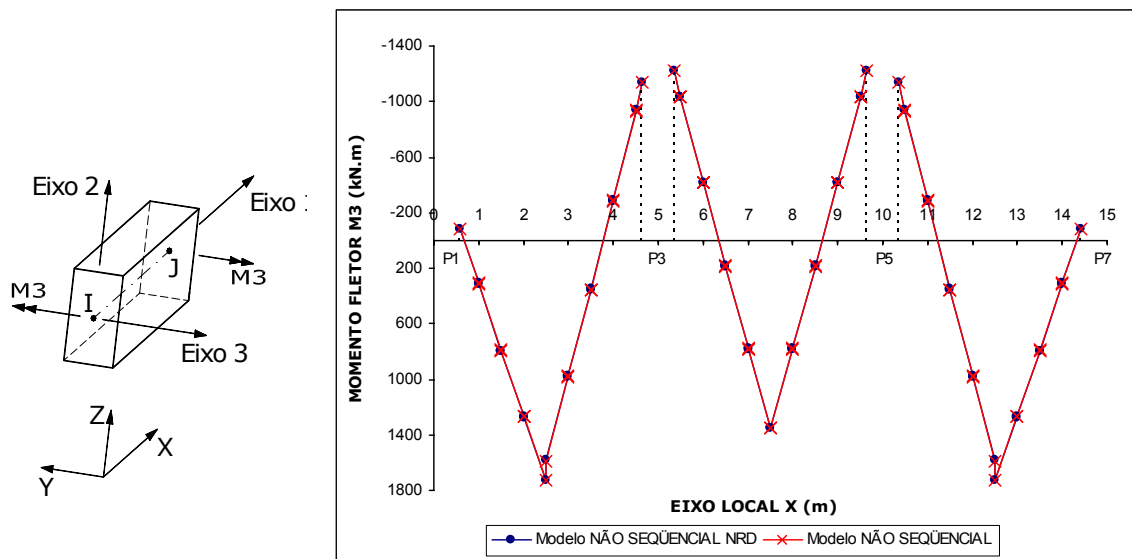
**TABELA 7.4 -** Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na viga VF1 do 1º andar para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$
0,00	*	*	*
0,60	-84,43	-81,65	3,3
1,00	306,51	309,07	0,8
1,00	311,42	313,98	0,8
1,50	790,76	793,06	0,3
1,50	796,09	798,39	0,3
2,00	1264,98	1267,03	0,2
2,00	1270,25	1272,30	0,2
2,50	1726,08	1727,88	0,1
2,50	1587,85	1583,43	0,3
3,00	984,33	980,47	0,4
3,00	977,39	973,54	0,4
3,50	359,06	355,79	0,9
3,50	352,05	348,78	0,9
4,00	-280,19	-282,89	1,0
4,00	-287,40	-290,09	0,9
4,50	-932,98	-935,10	0,2
4,50	-937,77	-939,89	0,2
4,65	-1137,56	-1139,51	0,2
5,00	*	*	*
5,35	-1226,02	-1224,03	0,2
5,50	-1037,06	-1035,23	0,2
5,50	-1032,52	-1030,70	0,2
6,00	-422,12	-420,84	0,3
6,00	-415,31	-414,04	0,3
6,50	182,56	183,29	0,4
6,50	189,20	189,93	0,4
7,00	774,18	774,36	0,0
7,00	780,75	780,93	0,0
7,50	1351,76	1351,39	0,0

X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$
7,50	1351,76	1351,39	0,0
8,00	780,75	780,93	0,0
8,00	774,18	774,36	0,0
8,50	189,20	189,93	0,4
8,50	182,56	183,29	0,4
9,00	-415,31	-414,04	0,3
9,00	-422,12	-420,84	0,3
9,50	-1032,52	-1030,70	0,2
9,50	-1037,06	-1035,23	0,2
9,65	-1226,02	-1224,03	0,2
10,00	*	*	*
10,35	-1137,56	-1139,51	0,2
10,50	-937,77	-939,89	0,2
10,50	-932,98	-935,10	0,2
11,00	-287,40	-290,09	0,9
11,00	-280,19	-282,89	1,0
11,50	352,05	348,78	0,9
11,50	359,06	355,79	0,9
12,00	977,39	973,54	0,4
12,00	984,33	980,47	0,4
12,50	1587,85	1583,43	0,3
12,50	1726,08	1727,88	0,1
13,00	1270,25	1272,30	0,2
13,00	1264,98	1267,03	0,2
13,50	796,09	798,39	0,3
13,50	790,76	793,06	0,3
14,00	311,42	313,98	0,8
14,00	306,51	309,07	0,8
14,40	-84,43	-81,65	3,3
15,00	*	*	*

\* valores não determinados



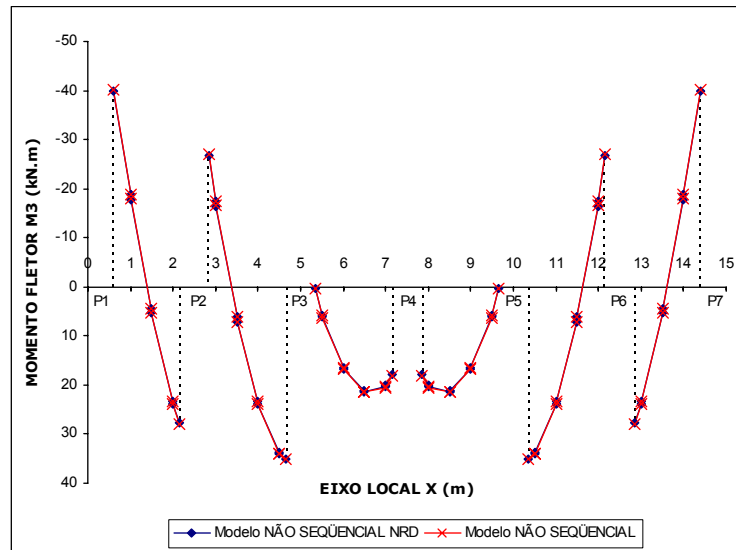
**FIGURA 7.4 -** Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 1º andar para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

**TABELA 7.5** - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na viga VF1 do 15º andar para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$
0,00	*	*	*
0,60	-40,02	-39,94	0,2
1,00	-18,91	-18,85	0,3
1,00	-17,86	-17,80	0,3
1,50	4,33	4,35	0,4
1,50	5,34	5,35	0,3
2,00	23,27	23,24	0,1
2,00	23,77	23,74	0,1
2,15	27,85	27,80	0,2
2,50	*	*	*
2,85	-26,96	-26,85	0,4
3,00	-17,41	-17,32	0,5
3,00	-16,53	-16,45	0,5
3,50	6,16	6,17	0,1
3,50	7,16	7,16	0,1
4,00	23,29	23,22	0,3
4,00	23,92	23,84	0,3
4,50	33,86	33,71	0,5
4,50	34,06	33,90	0,5
4,65	35,16	34,98	0,5
5,00	*	*	*
5,35	0,40	0,36	11,3
5,50	5,80	5,74	1,1
5,50	6,27	6,21	1,0
6,00	16,44	16,34	0,6
6,00	16,84	16,73	0,6
6,50	21,35	21,22	0,6
6,50	21,41	21,28	0,6
7,00	20,47	20,31	0,8
7,00	20,31	20,15	0,8
7,15	18,07	17,90	1,0
7,50	*	*	*

X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$
7,85	18,07	17,90	1,0
8,00	20,31	20,15	0,8
8,00	20,47	20,31	0,8
8,50	21,41	21,28	0,6
8,50	21,35	21,22	0,6
9,00	16,84	16,73	0,6
9,00	16,44	16,34	0,6
9,50	6,27	6,21	1,0
9,50	5,80	5,74	1,1
9,65	0,40	0,36	11,3
10,00	*	*	*
10,35	35,16	34,98	0,5
10,50	34,06	33,90	0,5
10,50	33,86	33,71	0,5
11,00	23,92	23,84	0,3
11,00	23,29	23,22	0,3
11,50	7,16	7,16	0,1
11,50	6,16	6,17	0,1
12,00	-16,53	-16,45	0,5
12,00	-17,41	-17,32	0,5
12,15	-26,96	-26,85	0,4
12,50	*	*	*
12,85	27,85	27,80	0,2
13,00	23,77	23,74	0,1
13,00	23,27	23,24	0,1
13,50	5,34	5,35	0,3
13,50	4,33	4,35	0,4
14,00	-17,86	-17,80	0,3
14,00	-18,91	-18,85	0,3
14,40	-40,02	-39,94	0,2
15,00	*	*	*

\* valores não determinados

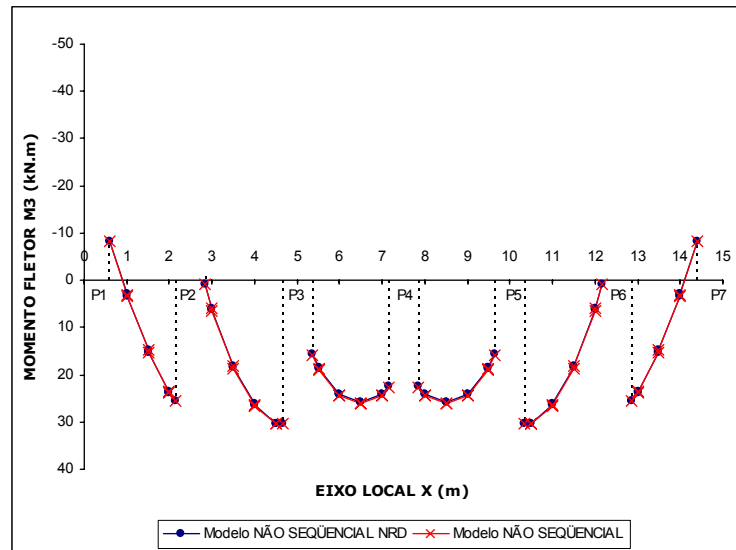


**FIGURA 7.5** - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 15º andar para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

**TABELA 7.6** - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na viga VF1 do 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

X (m)	M3 (kN.m)			X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$		M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$
0,00	*	*	*	7,85	22,61	22,33	1,2
0,60	-8,16	-8,23	0,8	8,00	24,29	24,00	1,2
1,00	2,95	2,91	1,4	8,00	24,39	24,10	1,2
1,00	3,51	3,47	1,1	8,50	26,14	25,85	1,1
1,50	14,75	14,73	0,1	8,50	26,16	25,86	1,1
1,50	15,24	15,23	0,1	9,00	24,44	24,15	1,2
2,00	23,54	23,55	0,0	9,00	24,25	23,96	1,2
2,00	23,78	23,79	0,1	9,50	18,95	18,68	1,4
2,15	25,41	25,43	0,1	9,50	18,73	18,46	1,5
2,50	*	*	*	9,65	15,81	15,55	1,7
2,85	0,87	0,70	20,0	10,00	*	*	*
3,00	5,98	5,81	2,9	10,35	30,42	30,26	0,5
3,00	6,42	6,25	2,7	10,50	30,46	30,29	0,6
3,50	18,22	18,04	1,0	10,50	30,38	30,21	0,6
3,50	18,72	18,54	1,0	11,00	26,67	26,49	0,7
4,00	26,39	26,22	0,7	11,00	26,39	26,22	0,7
4,00	26,67	26,49	0,7	11,50	18,72	18,54	1,0
4,50	30,38	30,21	0,6	11,50	18,22	18,04	1,0
4,50	30,46	30,29	0,6	12,00	6,42	6,25	2,7
4,65	30,42	30,26	0,5	12,00	5,98	5,81	2,9
5,00	*	*	*	12,15	0,87	0,70	20,0
5,35	15,81	15,55	1,7	12,50	*	*	*
5,50	18,73	18,46	1,5	12,85	25,41	25,43	0,1
5,50	18,95	18,68	1,4	13,00	23,78	23,79	0,1
6,00	24,25	23,96	1,2	13,00	23,54	23,55	0,0
6,00	24,44	24,15	1,2	13,50	15,24	15,23	0,1
6,50	26,16	25,86	1,1	13,50	14,75	14,73	0,1
6,50	26,14	25,85	1,1	14,00	3,51	3,47	1,1
7,00	24,39	24,10	1,2	14,00	2,95	2,91	1,4
7,00	24,29	24,00	1,2	14,40	-8,16	-8,23	0,8
7,15	22,61	22,33	1,2	15,00	*	*	*
7,50	*	*	*				

\* valores não determinados



**FIGURA 7.6** - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

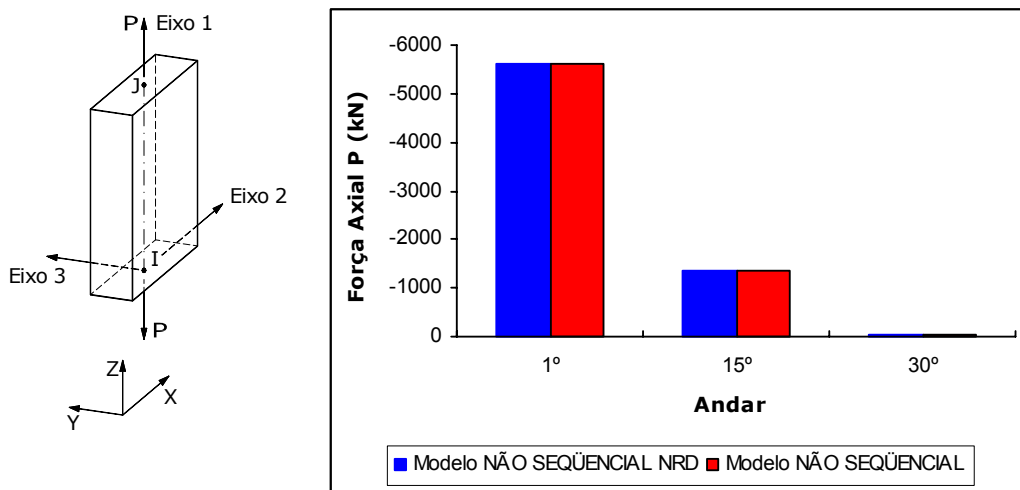
### 7.1.3 - Forças Axiais no Pilar P3

Obtém-se os valores das forças axiais P no pilar P3 do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $P_{NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $P_{NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados na TABELA 7.7. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta P\%$  das forças axiais P entre os dois modelos (ver equação 7.1).

**TABELA 7.7** - Forças axiais P e diferenças percentuais  $\Delta P\%$  no pilar P3 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

Z (m)	ANDAR	P (kN)		
		$P_{NS}$	$P_{NRD}$	$\Delta P\%$
0	1º	-5625,23	-5620,44	0,1
51,5	15º	-1351,21	-1349,48	0,1
104	30º	-54,02	-53,74	0,5

Com os valores da TABELA 7.7 obtém-se o gráfico mostrado na FIGURA 7.7.



**FIGURA 7.7-** Forças axiais P no pilar P3 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores da TABELA 7.7 e do gráfico mostrado na FIGURA 7.7, verifica-se que as diferenças percentuais  $\Delta P\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas.

#### 7.1.4 - Momentos Fletores no Pilar P3

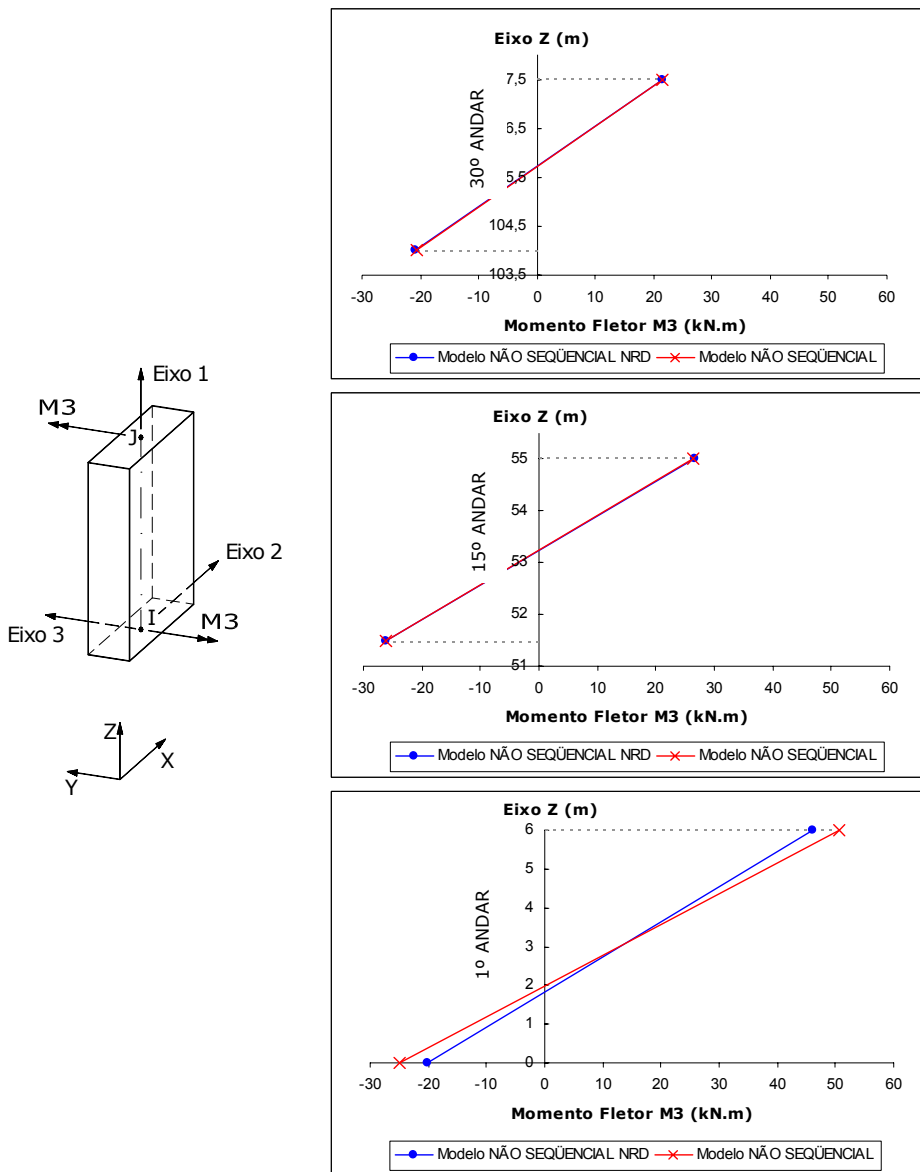
Obtém-se os valores dos momentos fletores  $M_3$  no pilar P3 do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $M_{3NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $M_{3NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados na TABELA 7.8. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_3\%$  dos momentos fletores  $M_3$  entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Com os valores da TABELA 7.8 obtém-se o gráfico mostrado na FIGURA 7.8, onde verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_3\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas no 15º e 30º andar;
- b) todavia, o mesmo não ocorre no 1º andar onde a diferença percentual  $\Delta M_3\%$  é igual a 19,3% na cota  $Z = 0$ .

**TABELA 7.8** - Momentos fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  no pilar P3 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

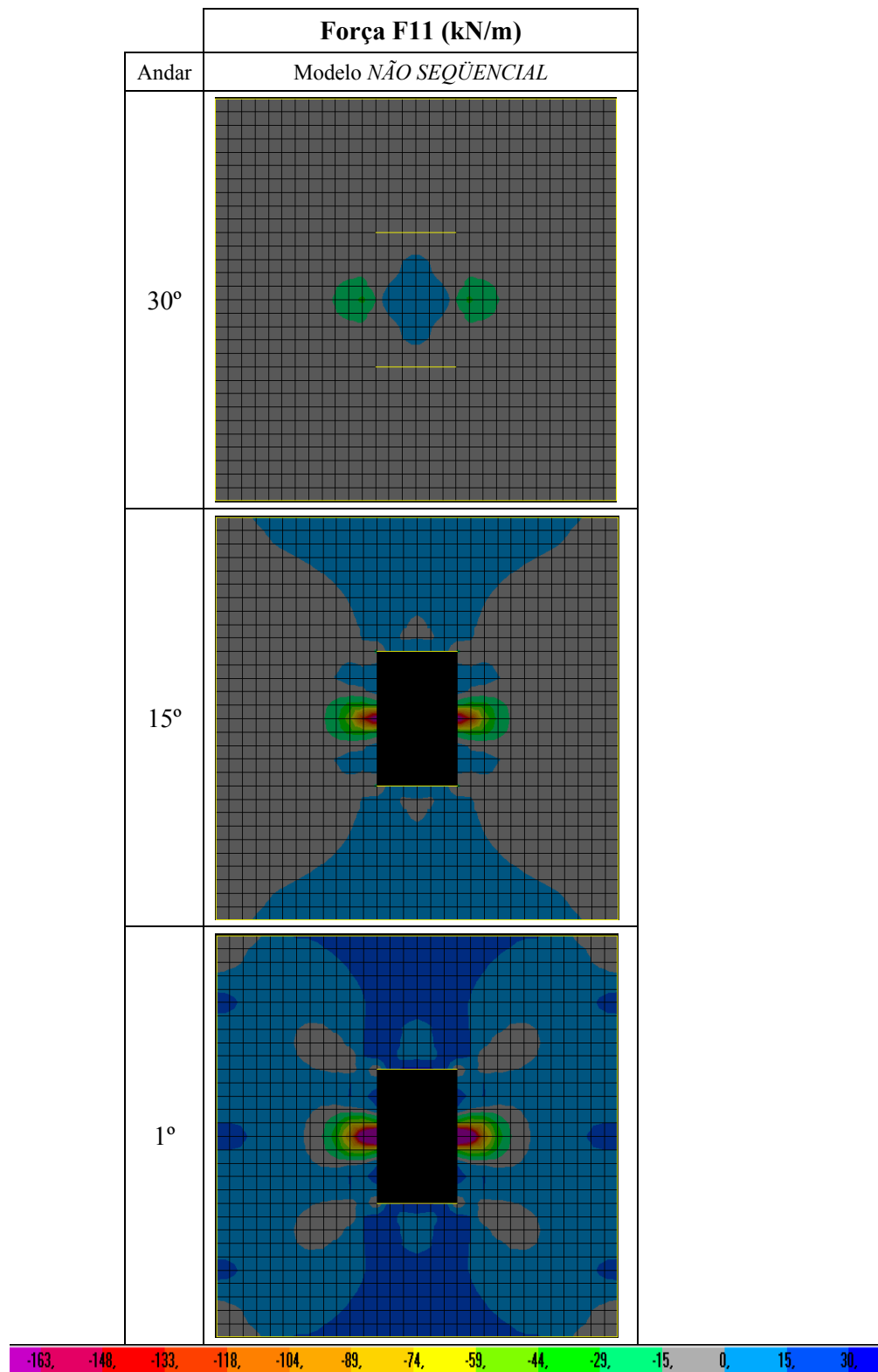
Z (m)	ANDAR	M3 (kN)		
		M3 <sub>NS</sub>	M3 <sub>NRD</sub>	$\Delta M3\%$
0	1°	-24,88	-20,08	19,3
6		50,68	46,12	9,0
51,5	15°	-26,14	-26,20	0,2
55		26,49	26,54	0,2
104	30°	-20,73	-20,82	0,5
107,5		21,41	21,49	0,4



**FIGURA 7.8** - Momentos Fletores M3 no pilar P3 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

### **7.1.5 - Forças F11 e F22 nas Lajes**

Apresentam-se gráficos gerados pelo programa SAP2000, da força F11 (FIGURA 7.11) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL* (FIGURA 7.9). Estes gráficos permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que o modelo *NÃO SEQUENCIAL NRD* é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

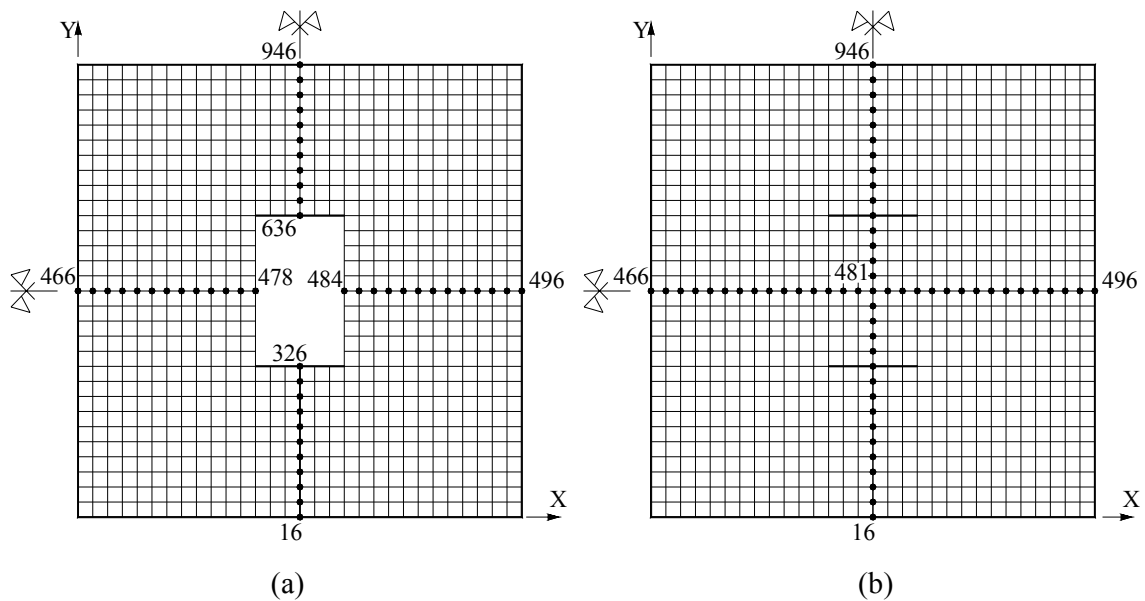


**FIGURA 7.9** - Gráficos da força F11 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL*



Obtém-se os valores das forças F11 ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo NÃO SEQUENCIAL (F11<sub>NS</sub>). Esses valores são mostrados nas tabelas 7.9 a 7.11.

Os valores das forças apresentadas nas tabelas 7.9, 7.10 e 7.11 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção X conforme pode ser visto na FIGURA 7.10.

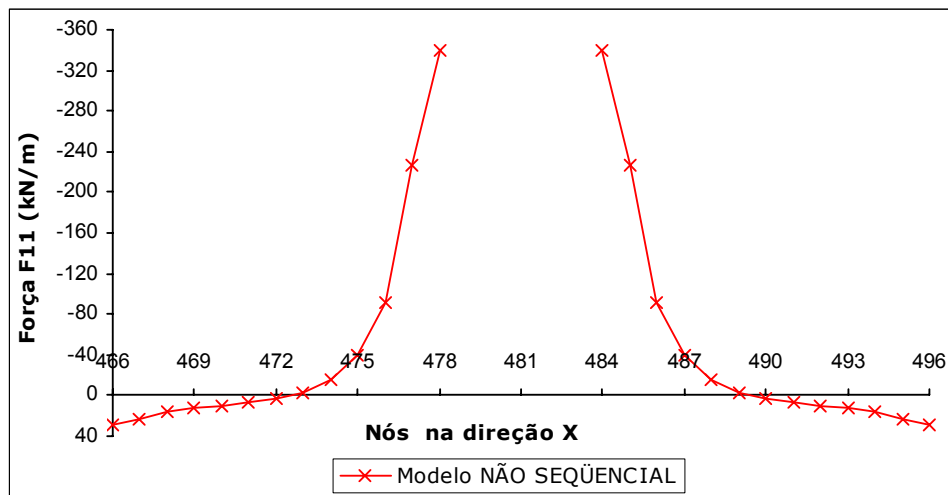
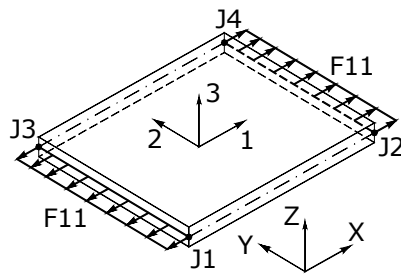


**FIGURA 7.10** - Nós nos eixos de simetria da laje do 1º e 15º andar (a) e 30º andar (b)

Os gráficos das figuras 7.11 a 7.13 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.9 a 7.11, respectivamente.

**TABELA 7.9** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para o modelo NÃO SEQUENCIAL

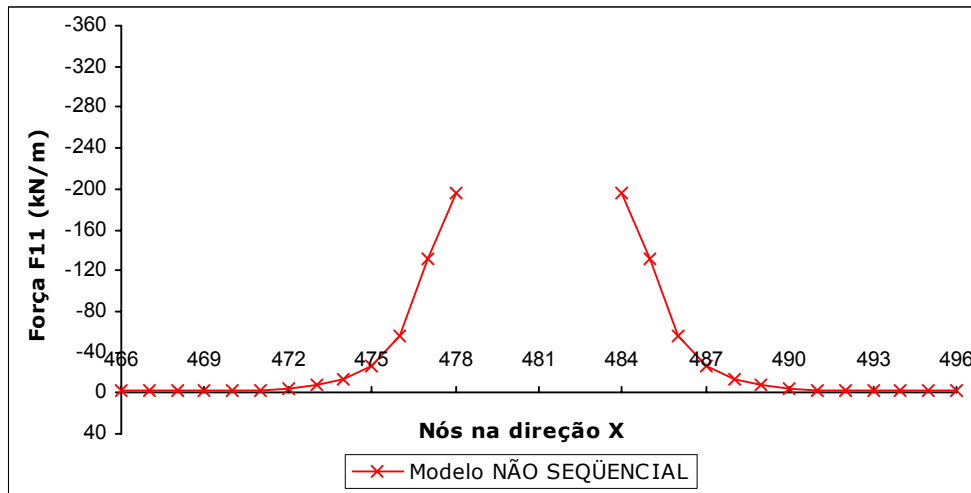
F11 (kN/m)		F11 (kN/m)	
Nó	F11 <sub>NS</sub>	Nó	F11 <sub>NS</sub>
466	29,02	484	-339,65
467	23,40	485	-226,58
468	16,42	486	-91,72
469	12,79	487	-40,16
470	10,35	488	-15,75
471	7,54	489	-3,19
472	3,76	490	3,76
473	-3,19	491	7,54
474	-15,75	492	10,35
475	-40,16	493	12,79
476	-91,72	494	16,42
477	-226,58	495	23,40
478	-339,65	496	29,02



**FIGURA 7.11** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para o modelo NÃO SEQUENCIAL

**TABELA 7.10** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para o modelo *NÃO SEQUENCIAL*

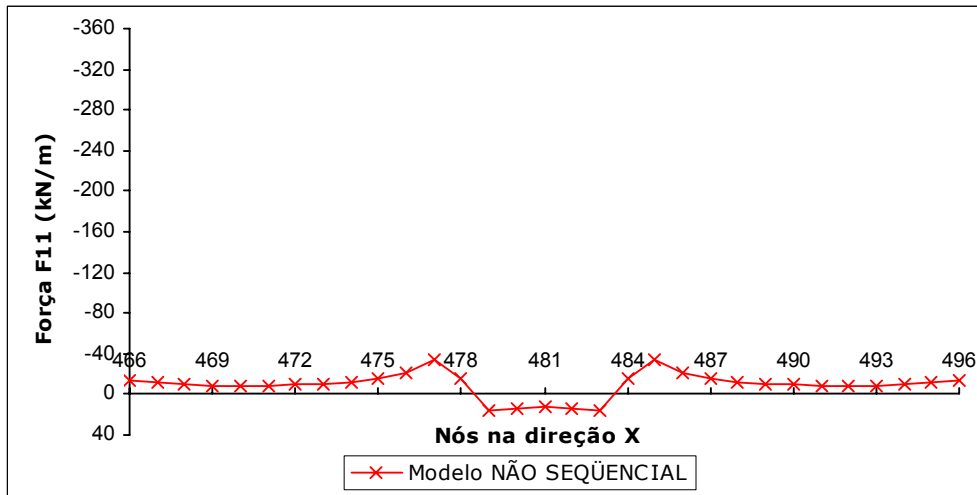
F11 (kN/m)		F11 (kN/m)	
Nó	F11 <sub>NS</sub>	Nó	F11 <sub>NS</sub>
466	-3,19	484	-196,16
467	-2,62	485	-131,53
468	-2,16	486	-55,03
469	-1,91	487	-26,58
470	-2,00	488	-13,57
471	-2,70	489	-7,27
472	-4,08	490	-4,08
473	-7,27	491	-2,70
474	-13,57	492	-2,00
475	-26,58	493	-1,91
476	-55,03	494	-2,16
477	-131,53	495	-2,62
478	-196,16	496	-3,19



**FIGURA 7.12** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para o modelo *NÃO SEQUENCIAL*

**TABELA 7.11-** Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para o modelo NÃO SEQUENCIAL

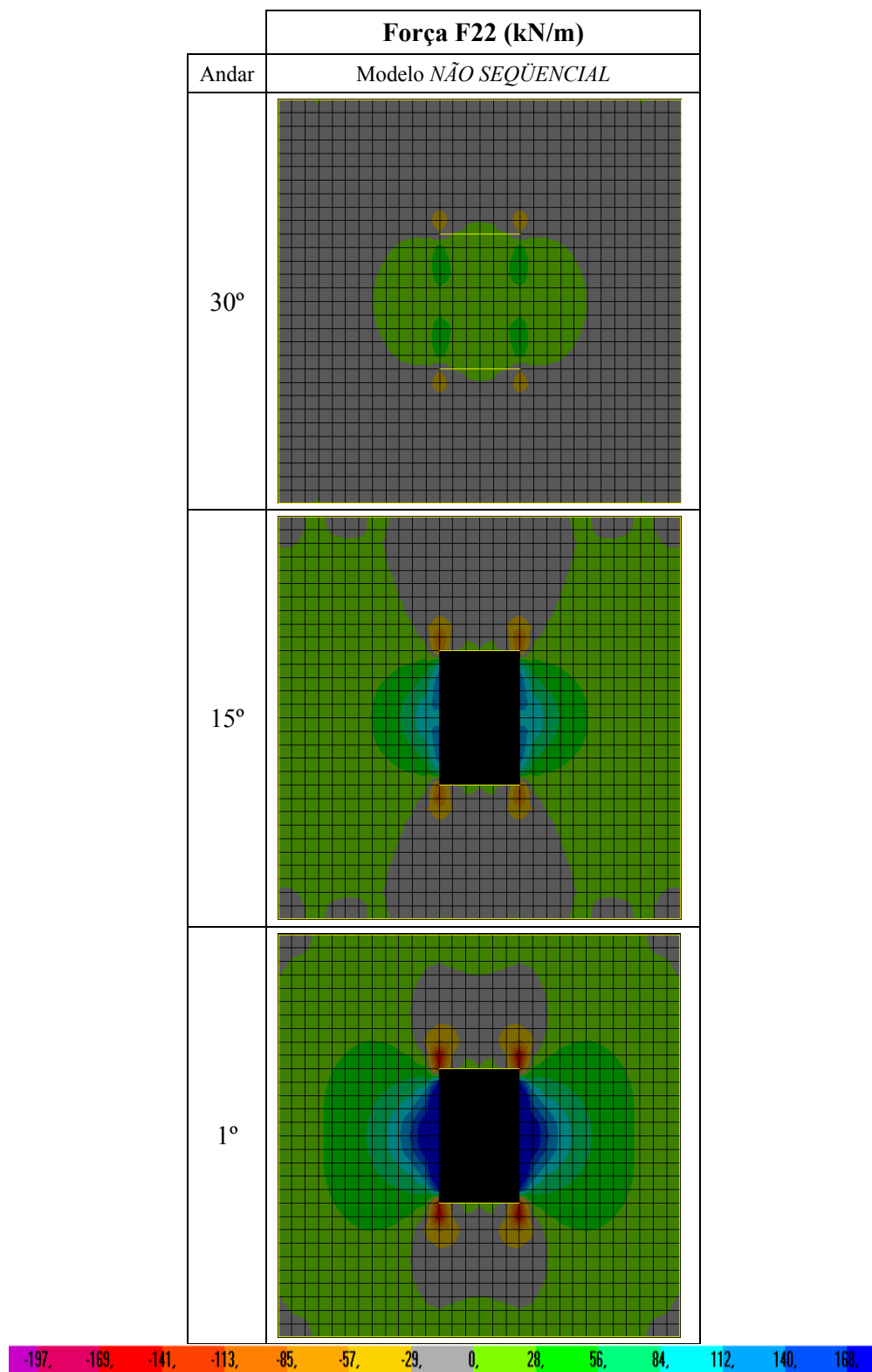
F11 (kN/m)		F11 (kN/m)	
Nó	F11 <sub>NS</sub>	Nó	F11 <sub>NS</sub>
466	-13,73	482	14,92
467	-11,70	483	16,11
468	-9,75	484	-14,88
469	-8,82	485	-33,61
470	-8,72	486	-21,15
471	-9,01	487	-15,24
472	-9,47	488	-12,10
473	-10,41	489	-10,41
474	-12,10	490	-9,47
475	-15,24	491	-9,01
476	-21,15	492	-8,72
477	-33,61	493	-8,82
478	-14,88	494	-9,75
479	16,11	495	-11,70
480	14,92	496	-13,73
481	12,52		



**FIGURA 7.13 -** Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para o modelo NÃO SEQUENCIAL

Conforme comentado anteriormente, não há como comparar as forças F11 entre os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD, pois o ultimo é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

Apresentam-se, agora, os gráficos gerados pelo programa SAP2000, da força F22 (FIGURA 7.15) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL* (FIGURA 7.14). Estes gráficos também permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que o modelo *NÃO SEQUENCIAL NRD* também é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).



**FIGURA 7.14** - Gráficos da força F22 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL*

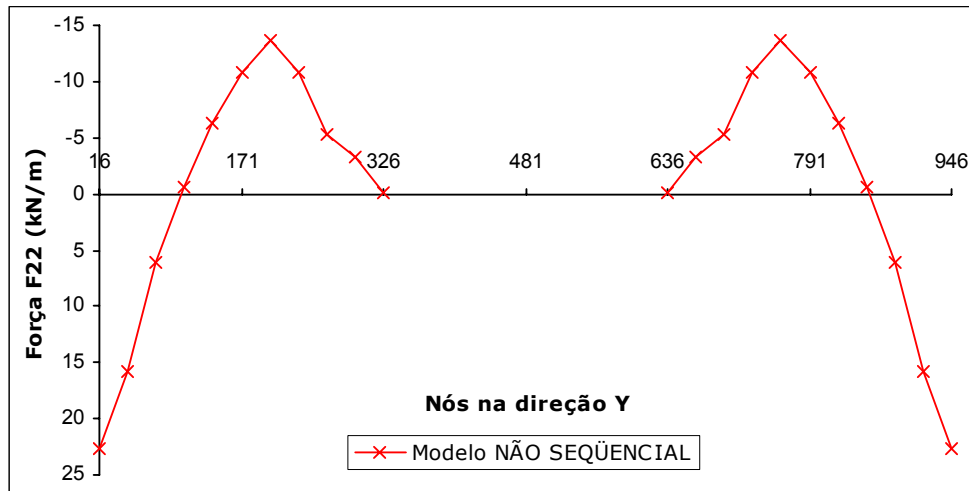
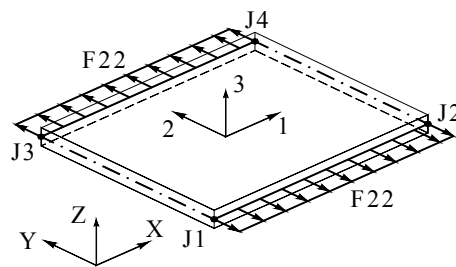
Obtém-se, agora, os valores das forças F22 ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL* (F22<sub>NS</sub>). Esses valores são mostrados nas tabelas 7.12 a 7.14.

Os valores das forças apresentadas nas tabelas 7.12, 7.13 e 7.14 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção Y, conforme pode ser visto na FIGURA 7.10.

Os gráficos das figuras 7.15, 7.16 e 7.17 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.12, 7.13 e 7.14, respectivamente.

**TABELA 7.12** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para o modelo NÃO SEQUENCIAL

F22 (kN/m)		F22 (kN/m)	
Nó	F22 <sub>NS</sub>	Nó	F22 <sub>NS</sub>
16	22,62	636	-0,07
47	15,73	667	-3,32
78	6,09	698	-5,28
109	-0,58	729	-10,84
140	-6,27	760	-13,73
171	-10,76	791	-10,76
202	-13,73	822	-6,27
233	-10,84	853	-0,58
264	-5,28	884	6,09
295	-3,32	915	15,73
326	-0,07	946	22,62

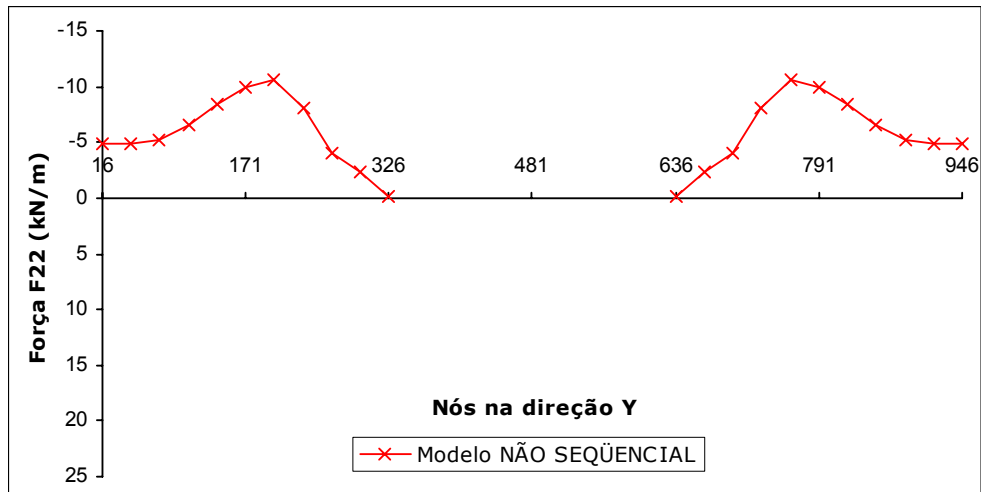


**FIGURA 7.15** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para o modelo NÃO SEQUENCIAL



**TABELA 7.13** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para o modelo NÃO SEQÜENCIAL

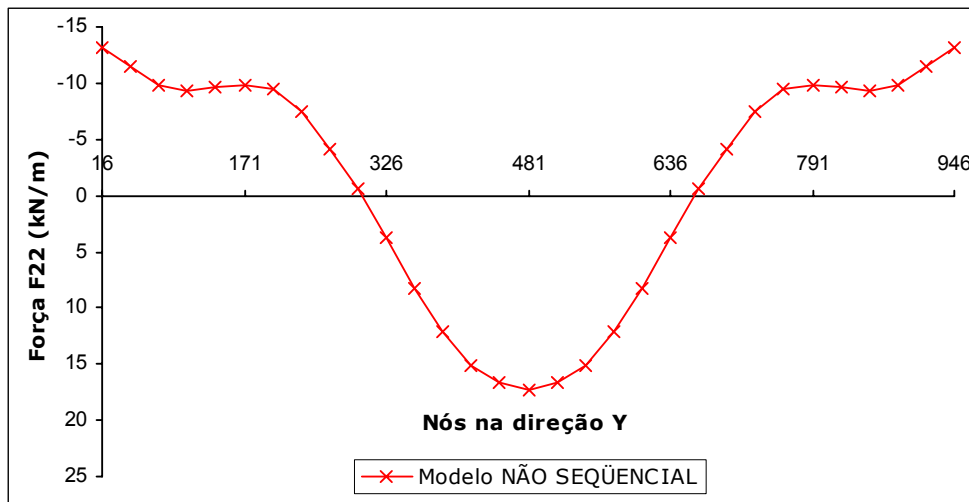
F22 (kN/m)		F22 (kN/m)	
Nó	F22 <sub>NS</sub>	Nó	F22 <sub>NS</sub>
16	-4,90	636	-0,17
47	-4,80	667	-2,37
78	-5,25	698	-4,11
109	-6,58	729	-8,11
140	-8,39	760	-10,63
171	-9,89	791	-9,89
202	-10,63	822	-8,39
233	-8,11	853	-6,58
264	-4,11	884	-5,25
295	-2,37	915	-4,80
326	-0,17	946	-4,90



**FIGURA 7.16** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para o modelo NÃO SEQÜENCIAL

**TABELA 7.14** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para o modelo *NÃO SEQUENCIAL*

F22 (kN/m)		F22 (kN/m)	
Nó	F22 <sub>NS</sub>	Nó	F22 <sub>NS</sub>
16	-13,24	512	16,72
47	-11,47	543	15,08
78	-9,84	574	12,13
109	-9,34	605	8,27
140	-9,63	636	3,71
171	-9,85	667	-0,69
202	-9,56	698	-4,06
233	-7,42	729	-7,42
264	-4,06	760	-9,56
295	-0,69	791	-9,85
326	3,71	822	-9,63
357	8,27	853	-9,34
388	12,13	884	-9,84
419	15,08	915	-11,47
481	17,24	946	-13,24

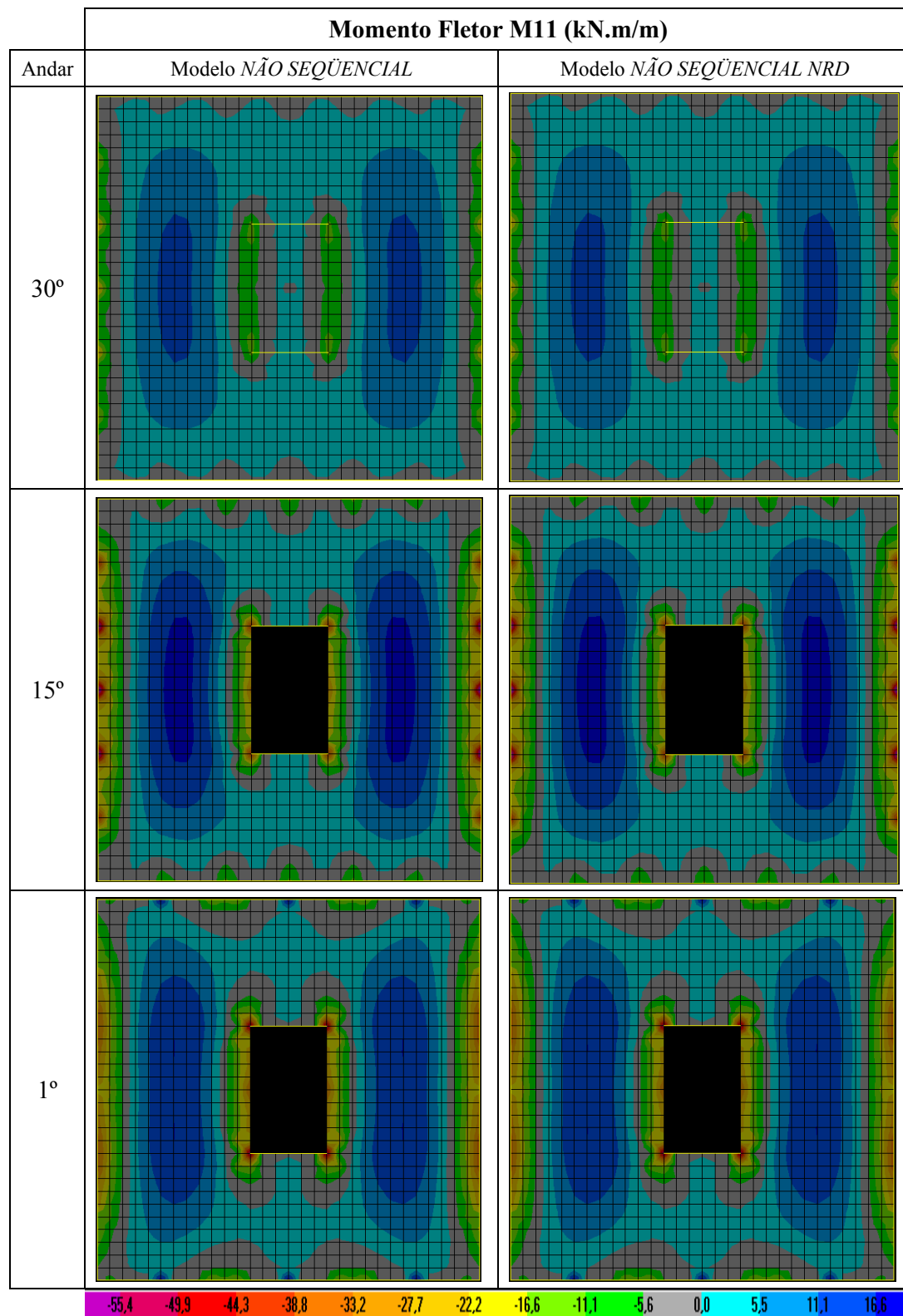


**FIGURA 7.17** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para o modelo *NÃO SEQUENCIAL*

Conforme comentado anteriormente, não há também como comparar as forças F22 entre os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD, pois o ultimo é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

### **7.1.6 - Momentos Fletores M11 e M22 nas Lajes**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores M11 (FIGURA 7.19) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* (FIGURA 7.18). Estes gráficos permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que, em cada andar, eles são praticamente coincidentes.



**FIGURA 7.18** - Gráficos do momento fletor M11 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

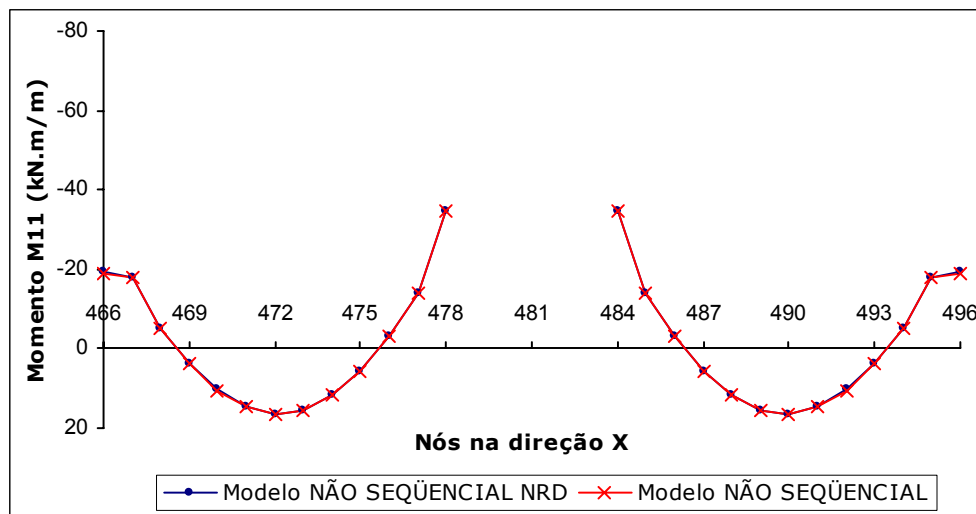
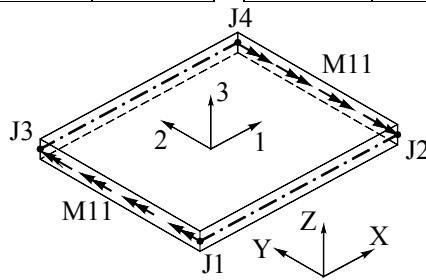
Obtém-se os valores dos momentos fletores  $M_{11}$  ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* ( $M_{11NS}$ ) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* ( $M_{11NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.15 a 7.17. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_{11}\%$  dos momentos fletores  $M_{11}$  entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 7.15 a 7.17 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção X (FIGURA 7.10).

Os gráficos das figuras 7.19, 7.20 e 7.21 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.15, 7.16 e 7.17, respectivamente.

**TABELA 7.15** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

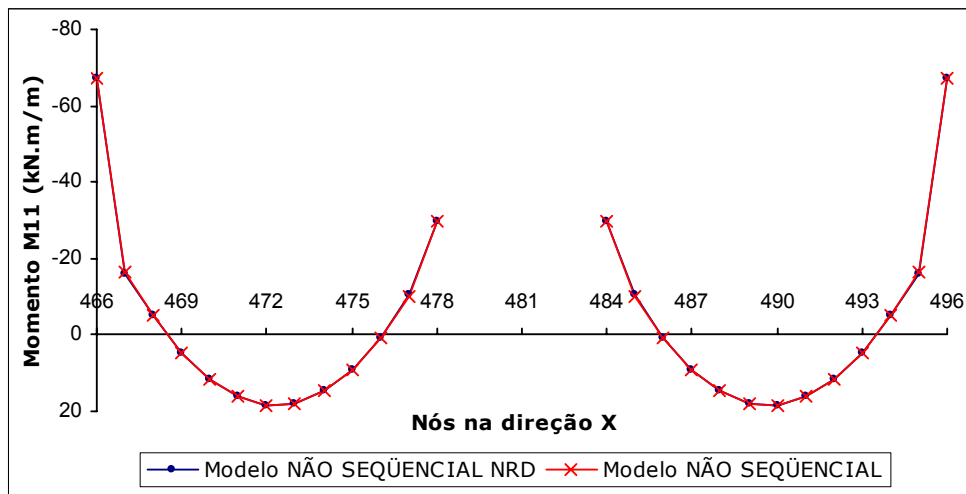
Nó	M11 (kN.m/m)			Nó	M11 (kN.m/m)		
	M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	$\Delta M11\%$		M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	$\Delta M11\%$
466	-19,13	-19,26	0,7	484	-34,62	-34,52	0,3
467	-18,08	-18,14	0,3	485	-14,12	-14,09	0,2
468	-5,04	-5,09	1,0	486	-3,04	-3,02	0,6
469	3,64	3,60	1,0	487	5,64	5,64	0,1
470	10,42	10,39	0,3	488	11,84	11,83	0,0
471	14,67	14,65	0,2	489	15,43	15,41	0,1
472	16,37	16,35	0,1	490	16,37	16,35	0,1
473	15,43	15,41	0,1	491	14,67	14,65	0,2
474	11,84	11,83	0,0	492	10,42	10,39	0,3
475	5,64	5,64	0,1	493	3,64	3,60	1,0
476	-3,04	-3,02	0,6	494	-5,04	-5,09	1,0
477	-14,12	-14,09	0,2	495	-18,08	-18,14	0,3
478	-34,62	-34,52	0,3	496	-19,13	-19,26	0,7



**FIGURA 7.19** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 7.16** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

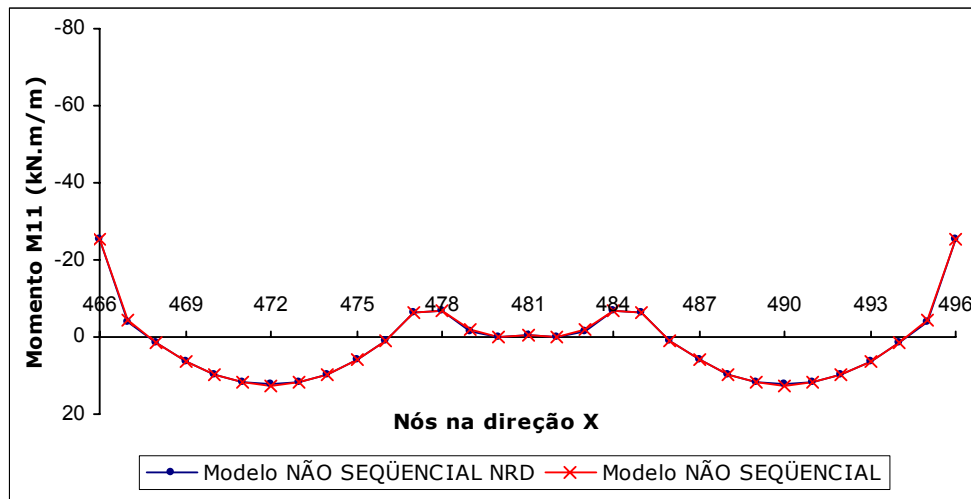
Nó	M11 (kN.m/m)			Nó	M11 (kN.m/m)		
	M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	ΔM11%		M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	ΔM11%
466	-67,39	-67,04	0,5	484	-29,66	-29,87	0,7
467	-16,27	-16,14	0,8	485	-10,22	-10,37	1,5
468	-4,99	-4,89	2,1	486	0,70	0,57	18,6
469	4,65	4,73	1,6	487	9,08	8,98	1,2
470	11,69	11,73	0,4	488	14,81	14,74	0,5
471	16,27	16,29	0,1	489	17,90	17,86	0,2
472	18,37	18,35	0,1	490	18,37	18,35	0,1
473	17,90	17,86	0,2	491	16,27	16,29	0,1
474	14,81	14,74	0,5	492	11,69	11,73	0,4
475	9,08	8,98	1,2	493	4,65	4,73	1,6
476	0,70	0,57	18,6	494	-4,99	-4,89	2,1
477	-10,22	-10,37	1,5	495	-16,27	-16,14	0,8
478	-29,66	-29,87	0,7	496	-67,39	-67,04	0,5



**FIGURA 7.20** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 7.17** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

Nó	M11 (kN.m/m)			Nó	M11 (kN.m/m)		
	M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	ΔM11%		M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	ΔM11%
466	-25,41	-25,19	0,8	482	0,18	0,18	4,8
467	-4,19	-4,11	1,9	483	-1,73	-1,68	3,0
468	1,49	1,55	3,8	484	-6,75	-6,96	3,1
469	6,25	6,28	0,5	485	-6,26	-6,39	2,0
470	9,65	9,66	0,1	486	0,89	0,76	14,8
471	11,74	11,72	0,2	487	6,00	5,88	2,0
472	12,48	12,43	0,4	488	9,65	9,56	1,0
473	11,80	11,73	0,6	489	11,80	11,73	0,6
474	9,65	9,56	1,0	490	12,48	12,43	0,4
475	6,00	5,88	2,0	491	11,74	11,72	0,2
476	0,89	0,76	14,8	492	9,65	9,66	0,1
477	-6,26	-6,39	2,0	493	6,25	6,28	0,5
478	-6,75	-6,96	3,1	494	1,49	1,55	3,8
479	-1,73	-1,68	3,0	495	-4,19	-4,11	1,9
480	0,18	0,18	4,8	496	-25,41	-25,19	0,8
481	-0,29	-0,28	2,3				



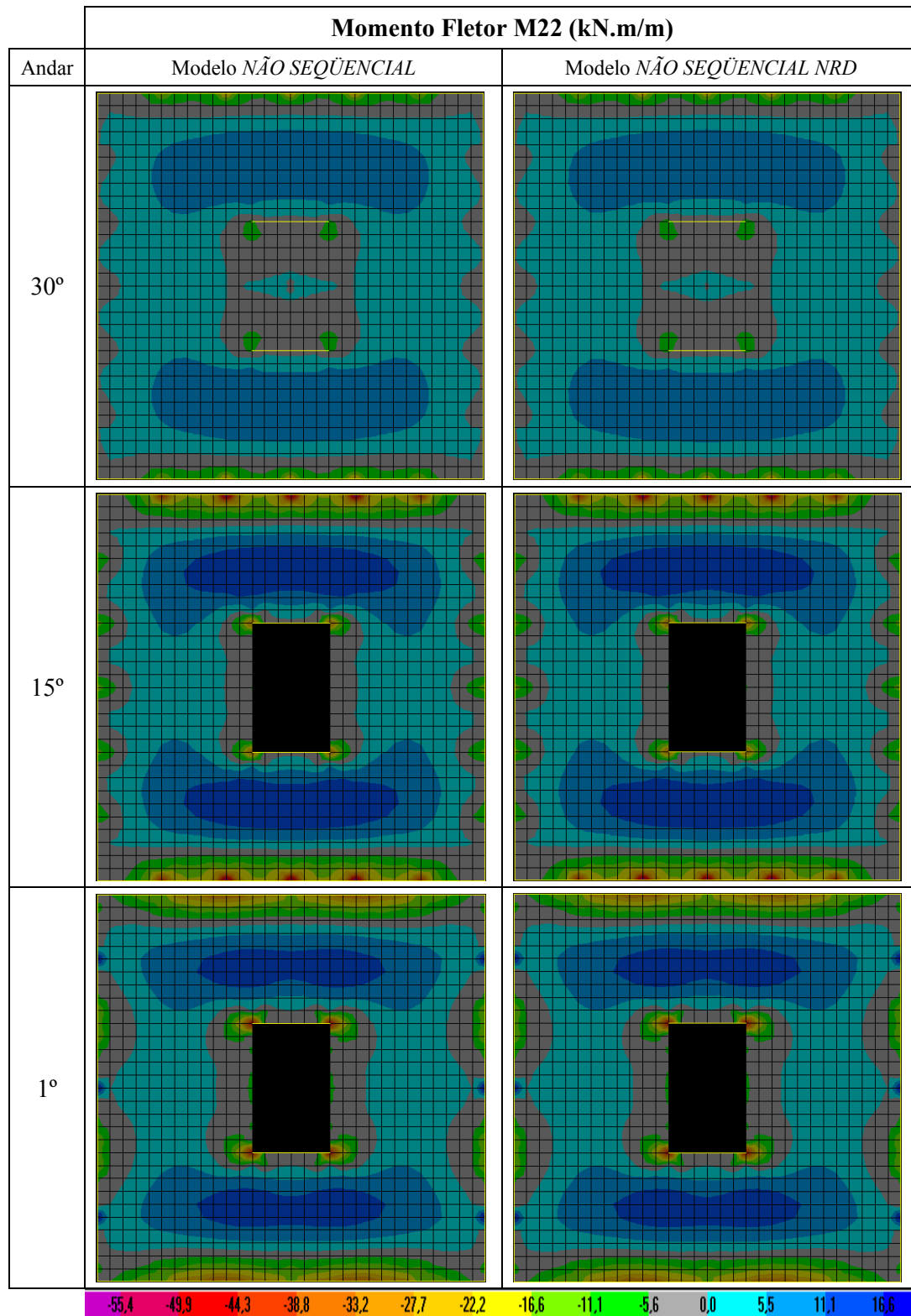
**FIGURA 7.21** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*



A partir dos valores das tabelas 7.15, 7.16 e 7.17 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.19, 7.20 e 7.21, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_{11}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* são muito pequenas;
- b) as diferenças percentuais iguais a 18,6% e 14,8% que aparecem no 15° e 30° andar, respectivamente, são devidos aos valores muito pequenos dos momentos  $M_{11}$ .

Apresentam-se, agora, os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores  $M_{22}$  (FIGURA 7.23) nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para o modelo *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* (FIGURA 7.22). Estes gráficos permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que, em cada andar, eles são praticamente coincidentes.



**FIGURA 7.22** - Gráficos do momento fletor M22 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

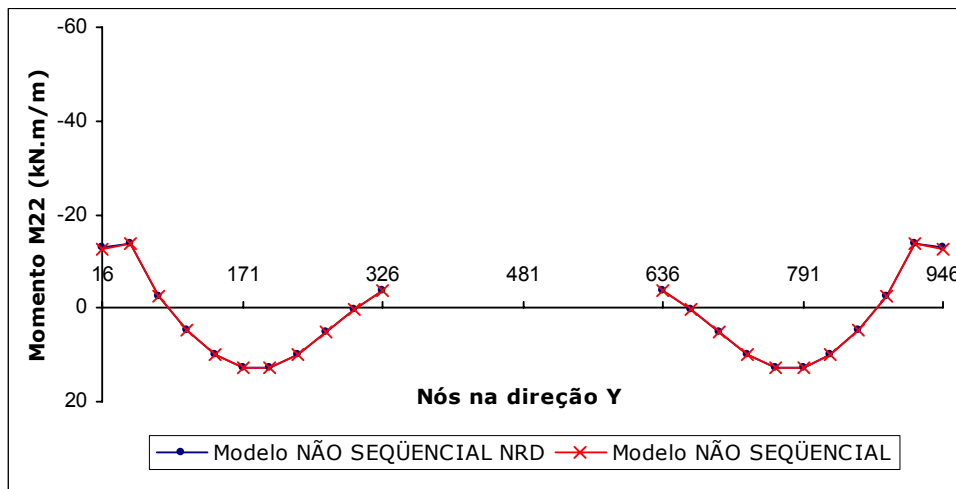
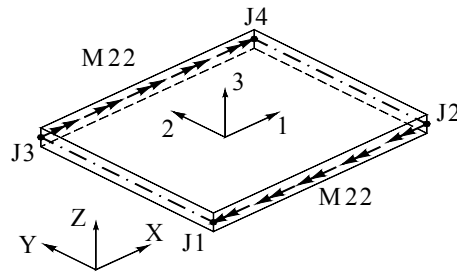
Obtém-se, agora, os valores dos momentos fletores M22 ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* ( $M22_{NS}$ ) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* ( $M22_{NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.18 a 7.20. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  dos momentos fletores M22 entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 7.18 a 7.20 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção Y (FIGURA 7.10).

Os gráficos das figuras 7.23, 7.24 e 7.25 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.18, 7.19 e 7.20, respectivamente.

**TABELA 7.18** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

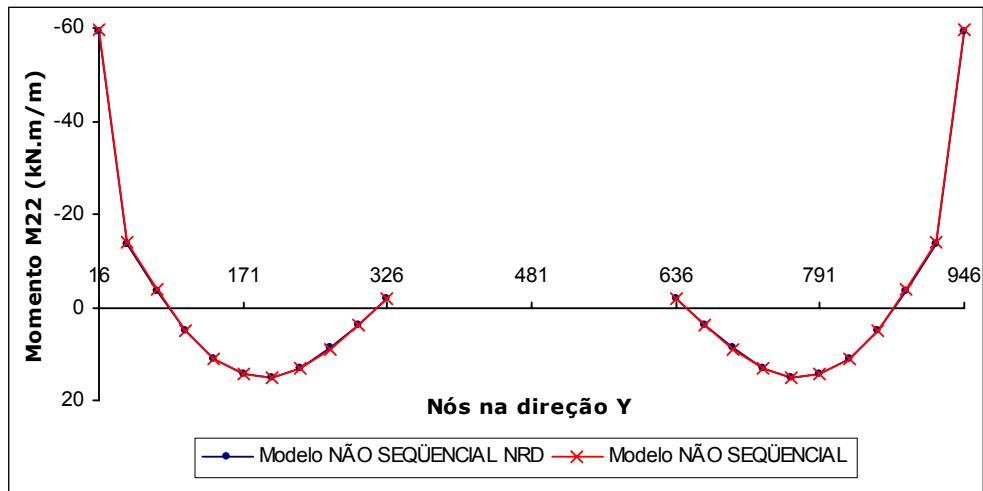
Nó	M22 (kN.m/m)			Nó	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	ΔM22%		M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	ΔM22%
16	-12,70	-12,79	0,7	636	-3,71	-3,72	0,2
47	-13,77	-13,79	0,1	667	0,25	0,24	4,7
78	-2,45	-2,46	0,5	698	5,04	5,02	0,3
109	4,70	4,69	0,2	729	9,89	9,87	0,1
140	10,00	9,99	0,1	760	12,70	12,69	0,1
171	12,71	12,70	0,1	791	12,71	12,70	0,1
202	12,70	12,69	0,1	822	10,00	9,99	0,1
233	9,89	9,87	0,1	853	4,70	4,69	0,2
264	5,04	5,02	0,3	884	-2,45	-2,46	0,5
295	0,25	0,24	4,7	915	-13,77	-13,79	0,1
326	-3,71	-3,72	0,2	946	-12,70	-12,79	0,7



**FIGURA 7.23** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

**TABELA 7.19** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

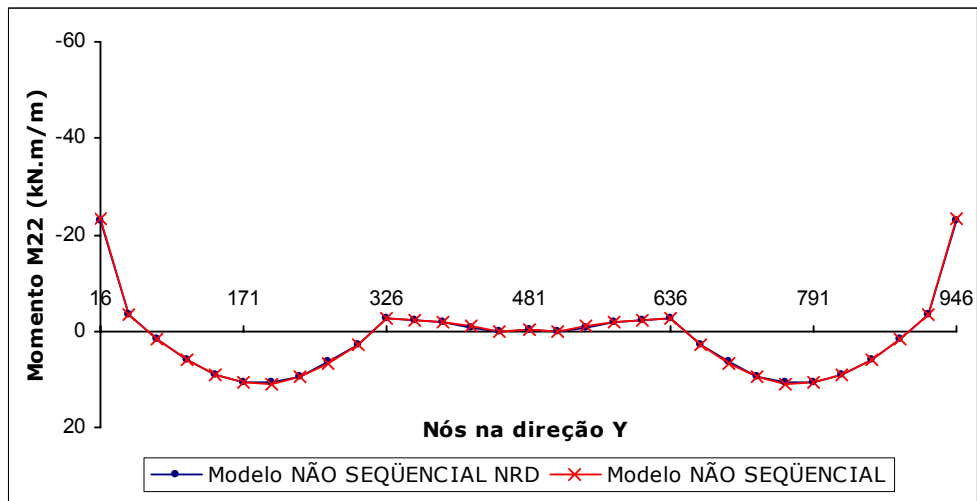
Nó	M22 (kN.m/m)			Nó	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	ΔM22%		M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	ΔM22%
16	-59,72	-59,32	0,7	636	-1,64	-1,71	4,0
47	-13,86	-13,72	1,1	667	3,78	3,68	2,8
78	-3,64	-3,53	3,1	698	8,92	8,81	1,2
109	4,93	5,01	1,5	729	13,17	13,10	0,6
140	10,91	10,95	0,3	760	15,15	15,11	0,2
171	14,36	14,37	0,0	791	14,36	14,37	0,0
202	15,15	15,11	0,2	822	10,91	10,95	0,3
233	13,17	13,10	0,6	853	4,93	5,01	1,5
264	8,92	8,81	1,2	884	-3,64	-3,53	3,1
295	3,78	3,68	2,8	915	-13,86	-13,72	1,1
326	-1,64	-1,71	4,0	946	-59,72	-59,32	0,7



**FIGURA 7.24** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 7.20** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQUÊNCIAL* e *NÃO SEQUÊNCIAL NRD*

Nó	M22 (kN.m/m)			Nó	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	ΔM22%		M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	ΔM22%
16	-23,25	-22,91	1,5	512	0,10	0,17	69,9
47	-3,59	-3,46	3,4	543	-0,89	-0,85	5,2
78	1,73	1,81	4,4	574	-1,67	-1,67	0,4
109	6,09	6,12	0,4	605	-2,12	-2,20	3,6
140	9,08	9,06	0,3	636	-2,45	-2,66	8,5
171	10,71	10,63	0,7	667	2,96	2,68	9,7
202	10,89	10,75	1,2	698	6,77	6,50	3,9
233	9,54	9,33	2,1	729	9,54	9,33	2,1
264	6,77	6,50	3,9	760	10,89	10,75	1,2
295	2,96	2,68	9,7	791	10,71	10,63	0,7
326	-2,45	-2,66	8,5	822	9,08	9,06	0,3
357	-2,12	-2,20	3,6	853	6,09	6,12	0,4
388	-1,67	-1,67	0,4	884	1,73	1,81	4,4
419	-0,89	-0,85	5,2	915	-3,59	-3,46	3,4
450	0,10	0,17	69,9	946	-23,25	-22,91	1,5
481	-0,20	-0,11	46,8				



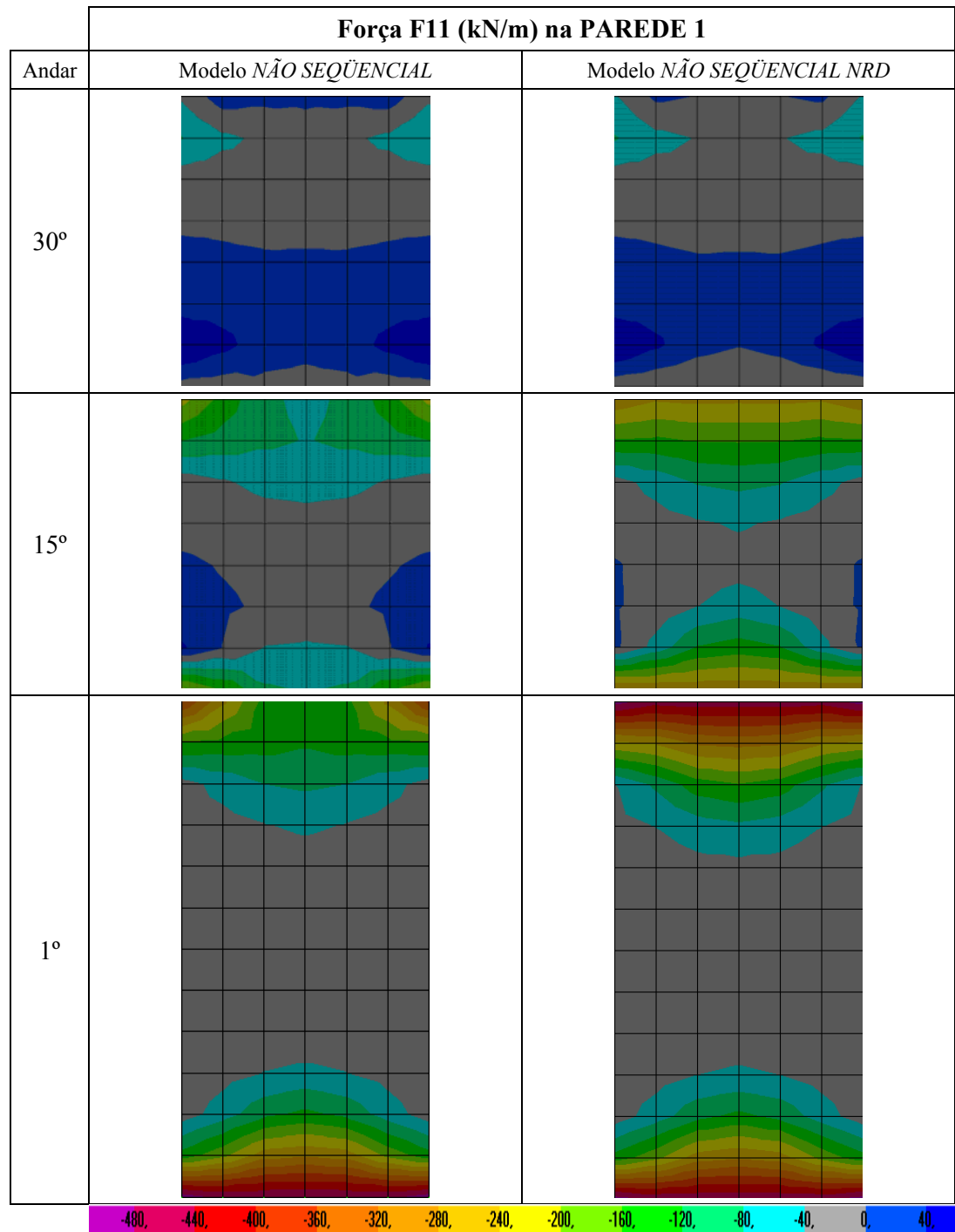
**FIGURA 7.25** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQUÊNCIAL* e *NÃO SEQUÊNCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 7.18, 7.19 e 7.20 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.23, 7.24 e 7.25, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_{22}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* são muito pequenas;
- b) as diferenças percentuais iguais a 69,9% e 46,8% que aparecem no 30º andar, são devidas aos valores muito pequenos dos momentos  $M_{22}$ .

#### **7.1.7 - Forças F11 e F22 nas Paredes do Núcleo Central**

Apresentam-se na FIGURA 7.26 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças F11 (FIGURA 7.28) na PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 1 como um todo.

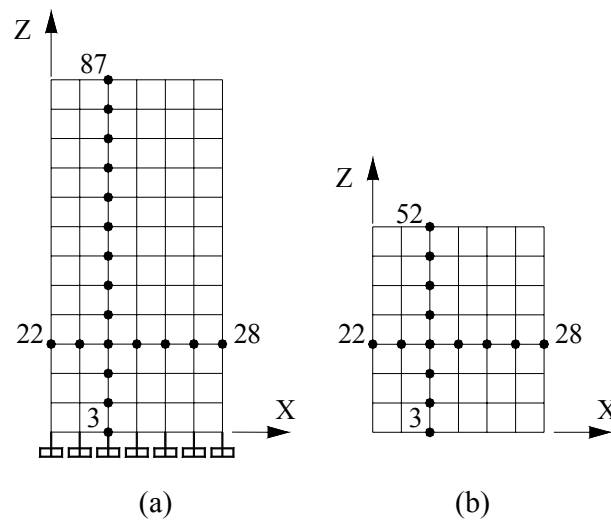


**FIGURA 7.26** - Gráficos da força F11 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*



Obtém-se os valores das forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos NÃO SEQUENCIAL (F11<sub>NS</sub>) e NÃO SEQUENCIAL NRD (F11<sub>NRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.21 a 7.23. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F11\%$  das forças F11 entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 7.21 a 7.23 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central na direção X (FIGURA 7.27).

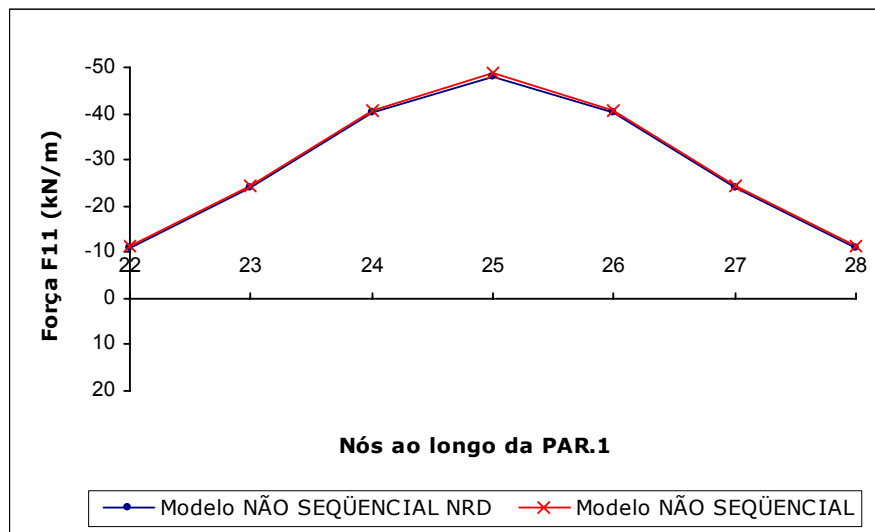
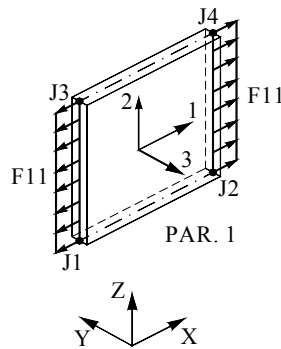


**FIGURA 7.27** - Nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar (a) e no 15º e 30º andar (b)

Os gráficos das figuras 7.28 a 7.30 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.21 a 7.23, respectivamente.

**TABELA 7.21** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção X, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

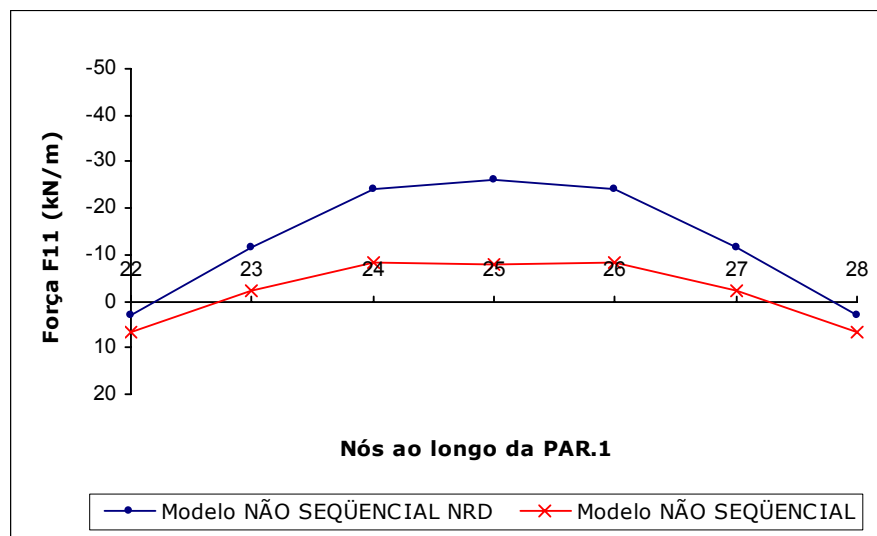
Nó	F11 (kN/m)		
	F11 <sub>NS</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
22	-11,17	-10,79	3,4
23	-24,41	-24,03	1,6
24	-40,72	-40,09	1,5
25	-48,6	-47,89	1,5
26	-40,72	-40,09	1,5
27	-24,41	-24,03	1,6
28	-11,17	-10,79	3,4



**FIGURA 7.28** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção X, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 7.22** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção X, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

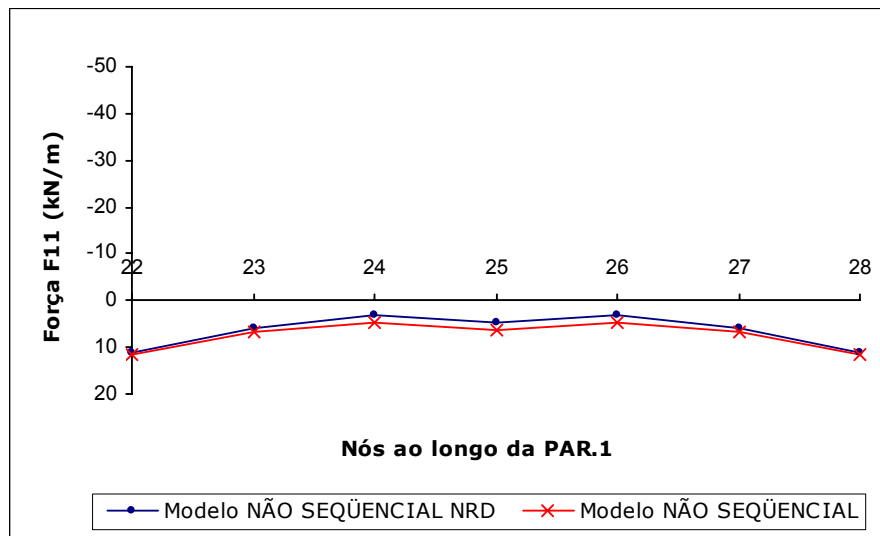
Nó	F11 (kN/m)		
	F11 <sub>NS</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
22	6,73	3,03	55,0
23	-2,34	-11,65	397,9
24	-8,49	-24,27	185,9
25	-7,99	-26,12	226,9
26	-8,49	-24,27	185,9
27	-2,34	-11,65	397,9
28	6,73	3,03	55,0



**FIGURA 7.29** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção X, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 7.23** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção X, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

Nó	F11 (kN/m)		
	F11 <sub>NS</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
22	11,69	11,23	3,9
23	6,74	5,84	13,4
24	4,56	3,04	33,3
25	6,5	4,8	26,2
26	4,56	3,04	33,3
27	6,74	5,84	13,4
28	11,69	11,23	3,9



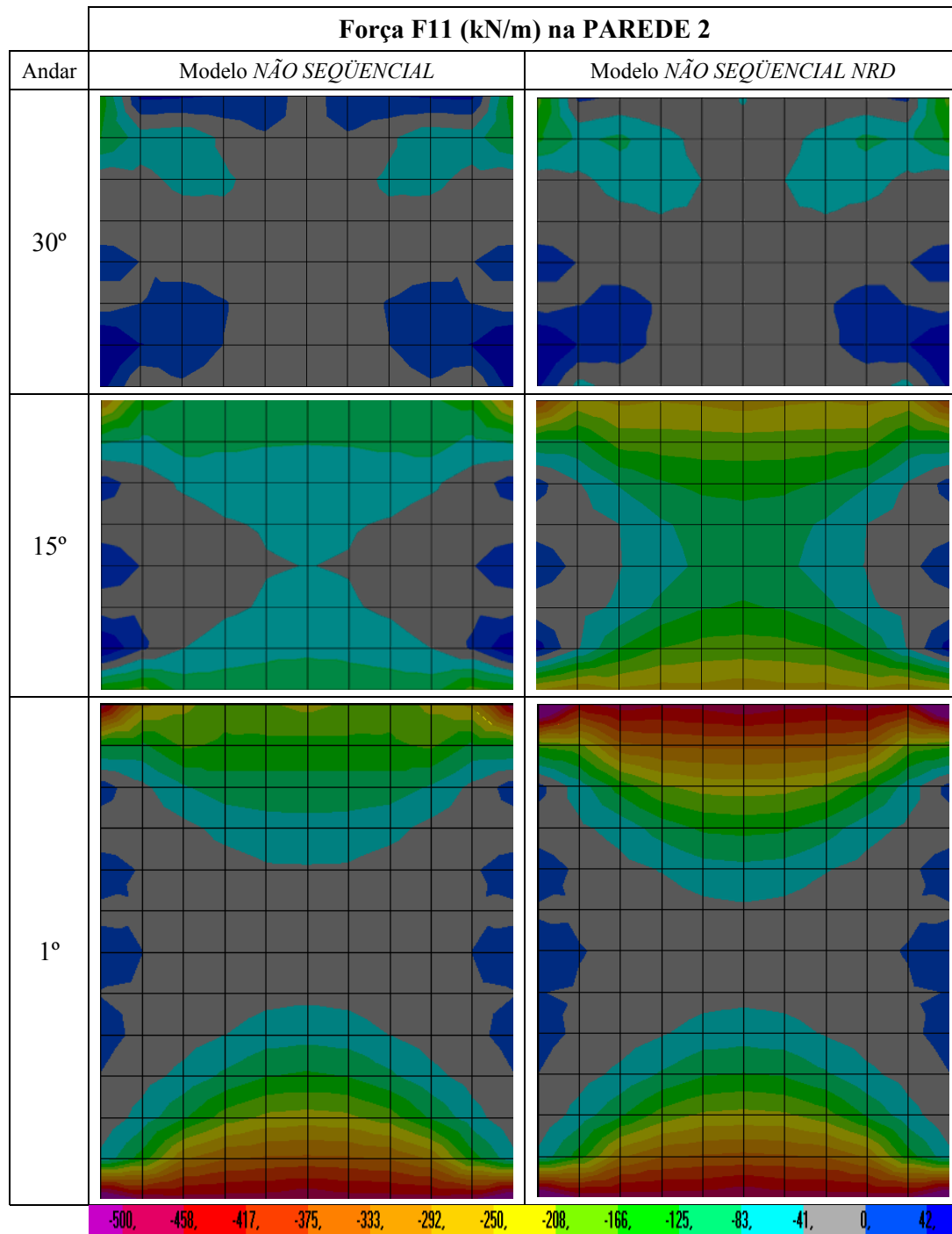
**FIGURA 7.30** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção X, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

A partir dos valores das tabelas 7.21, 7.22 e 7.23 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.28, 7.29 e 7.30, verifica-se que:

- a) no 1º andar as diferenças percentuais  $\Delta F_{11}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* são muito pequenas;
- b) no 15º andar as diferenças percentuais são significativas alcançando valores de 397,9% nos nós 23 e 27;
- c) no 30º andar as diferenças percentuais reduzem, entretanto, ainda são significativas com valores de até 33,3%.

Devido à simetria existente entre as paredes 2 e 3 serão apresentados apenas os gráficos relativos à PAR.2.

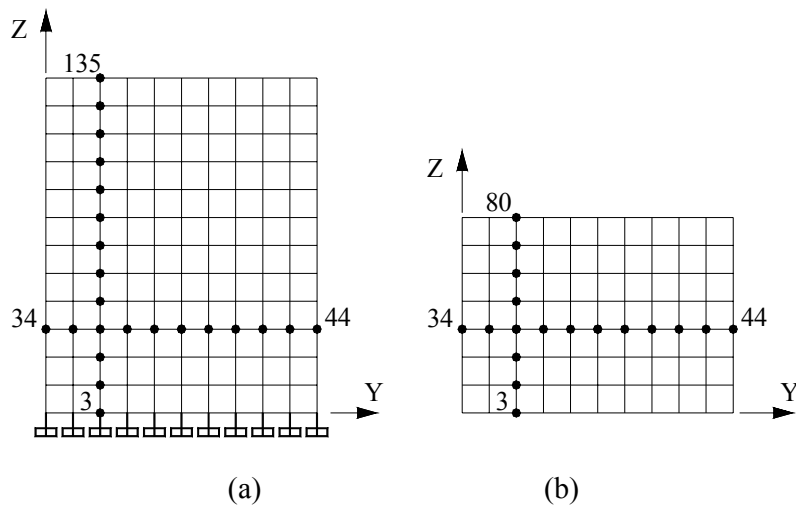
Apresentam-se na FIGURA 7.31 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças F11 (FIGURA 7.33) na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.



**FIGURA 7.31** - Gráficos da força F11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

Obtém-se os valores das forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* (F11<sub>NS</sub>) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* (F11<sub>NRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.24 a 7.26. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F11\%$  das forças F11 entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 7.24 a 7.26 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Y (FIGURA 7.32).

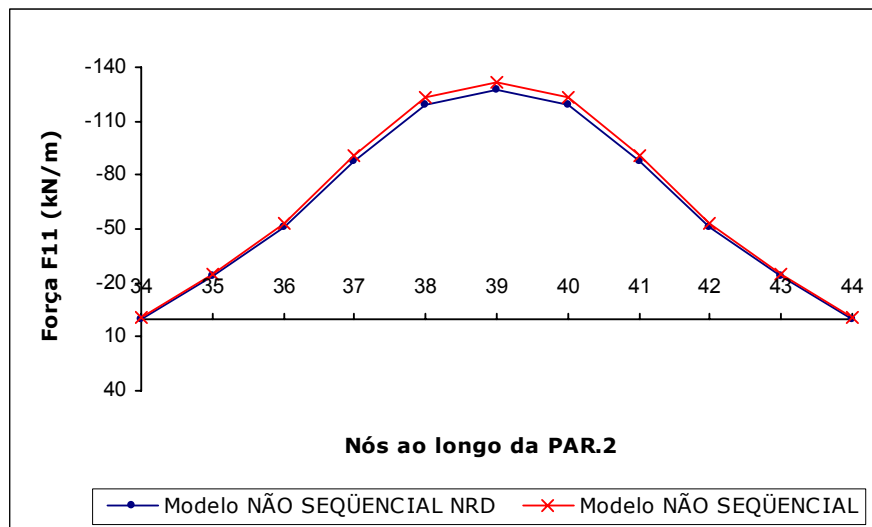
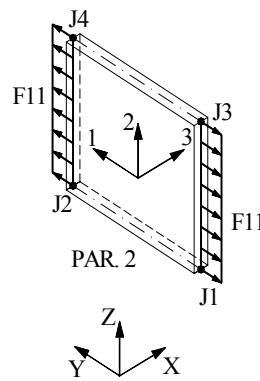


**FIGURA 7.32** - Nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar (a) e no 15º e 30º andar (b)

Os gráficos das figuras 7.33 a 7.35 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.24 a 7.26, respectivamente.

**TABELA 7.24** - Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

Nós	F11 <sub>NS</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
34	-0,75	-0,05	93,3
35	-25,12	-24,23	3,6
36	-53,18	-51,20	3,7
37	-90,94	-87,75	3,5
38	-123,18	-119,01	3,4
39	-132,15	-127,65	3,4
40	-123,18	-119,01	3,4
41	-90,94	-87,75	3,5
42	-53,18	-51,20	3,7
43	-25,12	-24,23	3,6
44	-0,75	-0,05	93,3

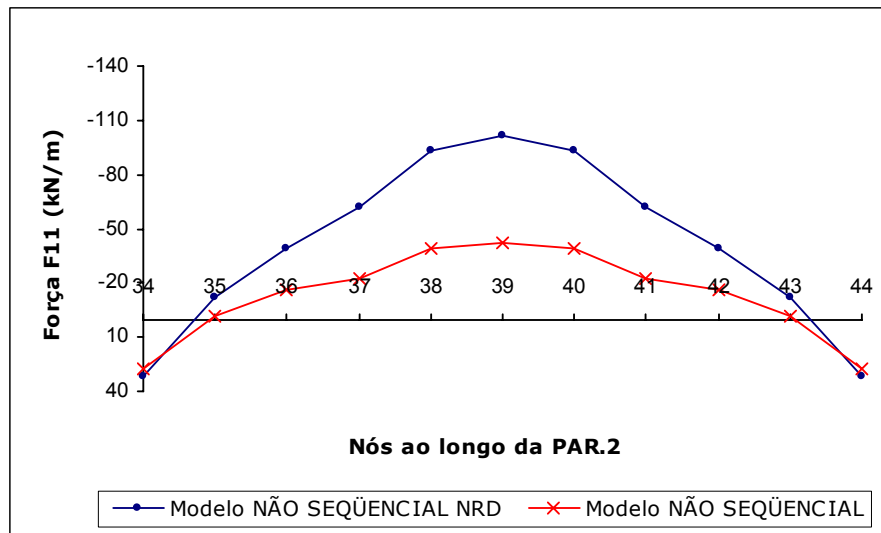


**FIGURA 7.33** - Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD



**TABELA 7.25** - Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

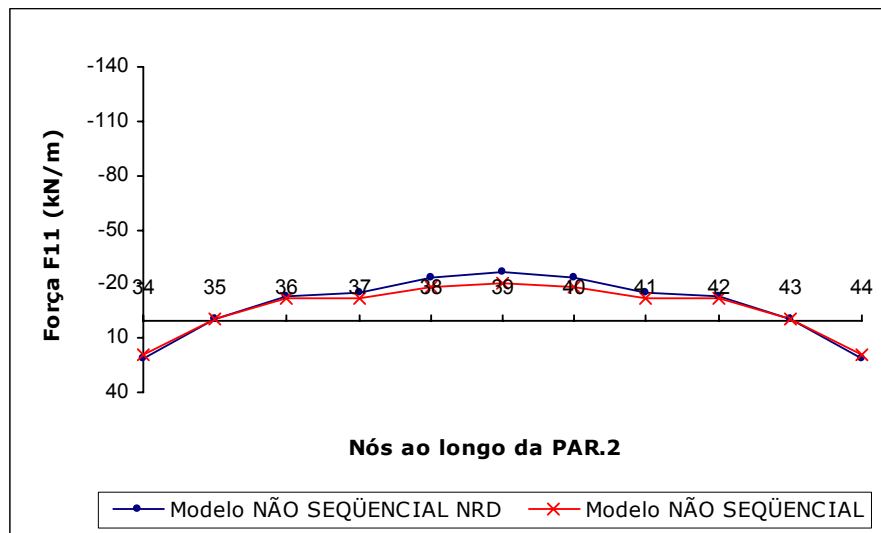
Nós	F11 <sub>NS</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
34	27,745	31,18	12,4
35	-1,70	-11,70	587,9
36	-16,05	-39,05	143,3
37	-22,59	-62,27	175,7
38	-38,77	-93,69	141,7
39	-42,05	-101,33	141,0
40	-38,77	-93,69	141,7
41	-22,59	-62,27	175,7
42	-16,05	-39,05	143,3
43	-1,70	-11,70	587,9
44	27,75	31,18	12,4



**FIGURA 7.34** - Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

**TABELA 7.26** - Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

Nós	F11 <sub>NS</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
34	19,695	21,47	9,0
35	-0,43	-0,77	80,2
36	-11,57	-13,12	13,4
37	-11,71	-14,85	26,7
38	-18,72	-23,86	27,4
39	-20,67	-26,42	27,8
40	-18,72	-23,86	27,4
41	-11,71	-14,85	26,7
42	-11,57	-13,12	13,4
43	-0,43	-0,77	80,2
44	19,70	21,47	9,0

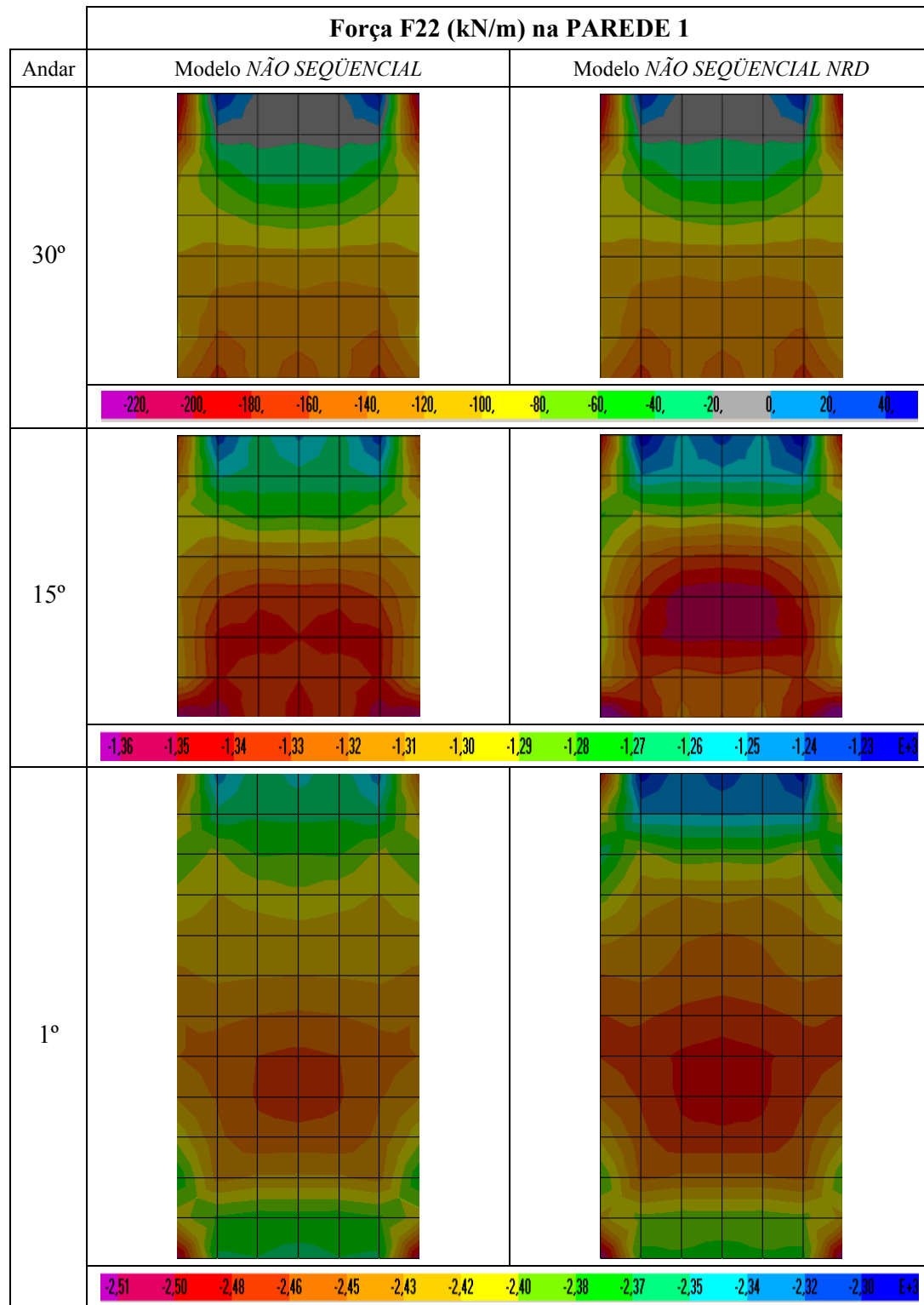


**FIGURA 7.35** - Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 7.24, 7.25 e 7.26 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.33, 7.34 e 7.35, verifica-se que:

- a) no 1° andar as diferenças percentuais  $\Delta F_{11}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são pequenas; a diferença percentual igual a 93,3% que aparece nos nós 34 e 44 é devida aos valores muito pequenos das forças  $F_{11}$ ;
- b) no 15° andar as diferenças percentuais são significativas alcançando valores de 587,9% nos nós 35 e 43;
- c) no 30° andar as diferenças percentuais reduzem, entretanto, ainda são significativas com valores de até 80,2%.

Apresentam-se na FIGURA 7.36 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças  $F_{22}$  (FIGURA 7.37) na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 1 como um todo.



**FIGURA 7.36** - Gráficos da força F22 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

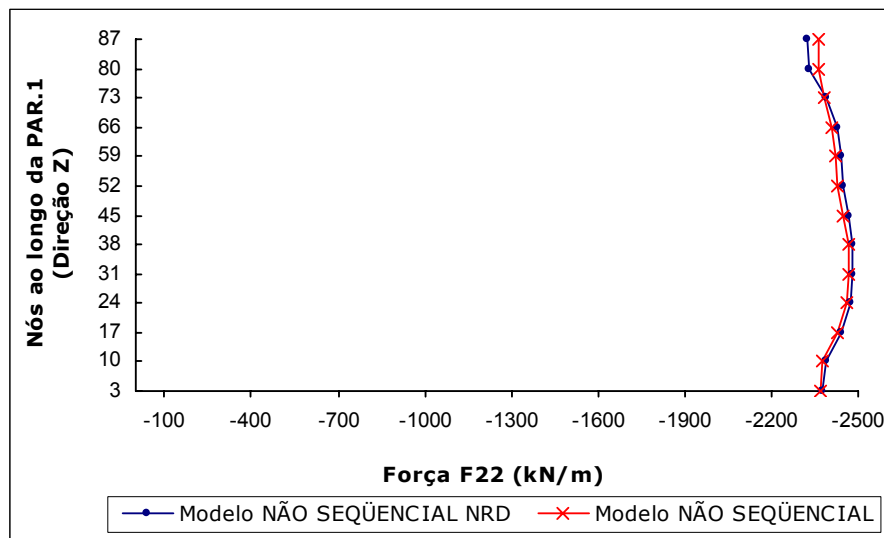
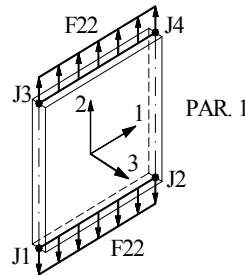
Obtém-se os valores das forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* ( $F22_{NS}$ ) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* ( $F22_{NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.27 a 7.29. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F22\%$  das forças F22 entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 7.27 a 7.29 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central na direção Z (FIGURA 7.27).

Os gráficos das figuras 7.37 a 7.39 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.27 a 7.29, respectivamente.

**TABELA 7.27** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

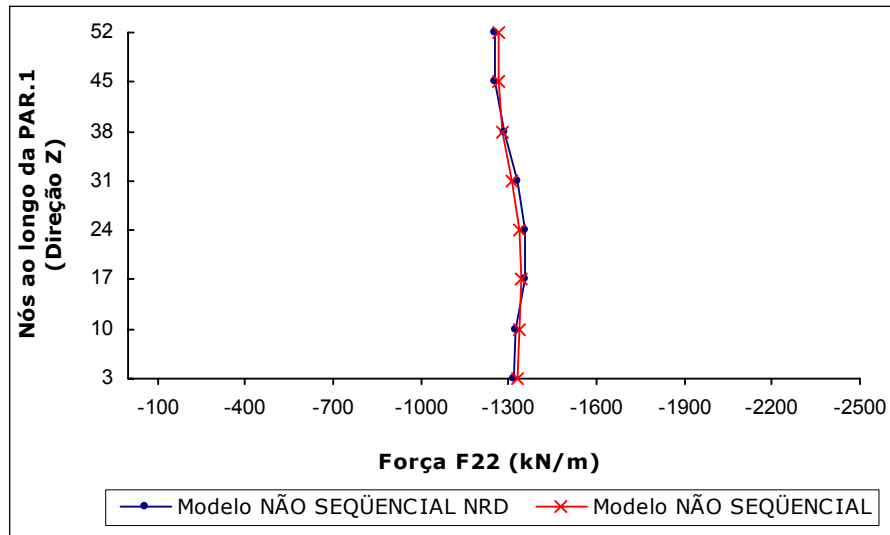
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>NS</sub>	F22 <sub>NRD</sub>	ΔF22%
3	-2367,57	-2379,06	0,5
10	-2374,75	-2386,47	0,5
17	-2429,92	-2442,58	0,5
24	-2460,50	-2474,17	0,6
31	-2465,80	-2480,60	0,6
38	-2464,38	-2480,50	0,7
45	-2448,45	-2466,11	0,7
52	-2430,86	-2450,15	0,8
59	-2423,28	-2443,63	0,8
66	-2410,68	-2428,63	0,7
73	-2382,38	-2386,29	0,2
80	-2364,97	-2331,59	1,4
87	-2363,87	-2327,26	1,5



**FIGURA 7.37** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 7.28** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

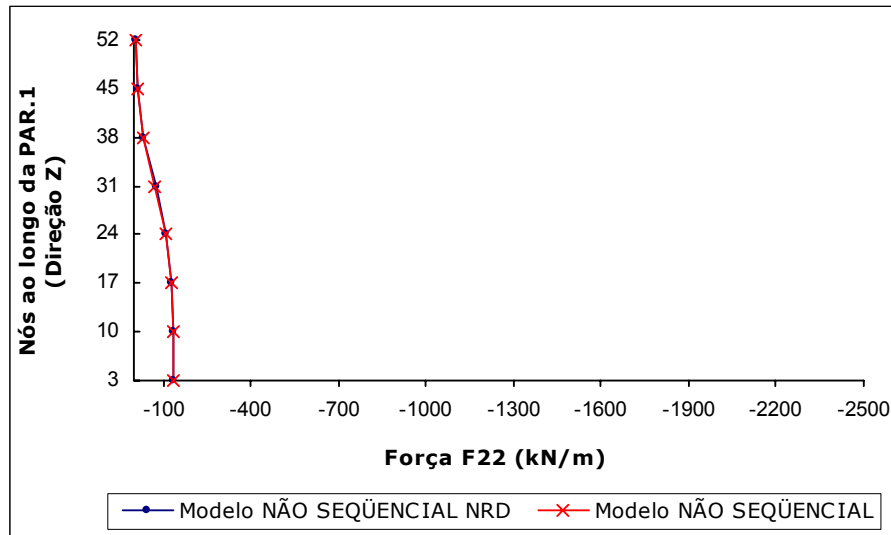
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>NS</sub>	F22 <sub>NRD</sub>	ΔF22%
3	-1330,40	-1317,00	1,0
10	-1335,08	-1323,82	0,8
17	-1343,24	-1353,54	0,8
24	-1338,60	-1356,95	1,4
31	-1312,12	-1330,41	1,4
38	-1277,02	-1287,61	0,8
45	-1264,58	-1254,87	0,8
52	-1264,30	-1252,54	0,9



**FIGURA 7.38** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15° andar, na direção Z, para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 7.29** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>NS</sub>	F22 <sub>NRD</sub>	ΔF22%
3	-132,16	-132,6	0,3
10	-133,13	-133,83	0,5
17	-127,81	-130,55	2,1
24	-107,52	-111,04	3,3
31	-71,87	-75,46	5,0
38	-31,08	-34,21	10,1
45	-13,66	-15,5	13,5
52	-4,85	-6,83	40,8



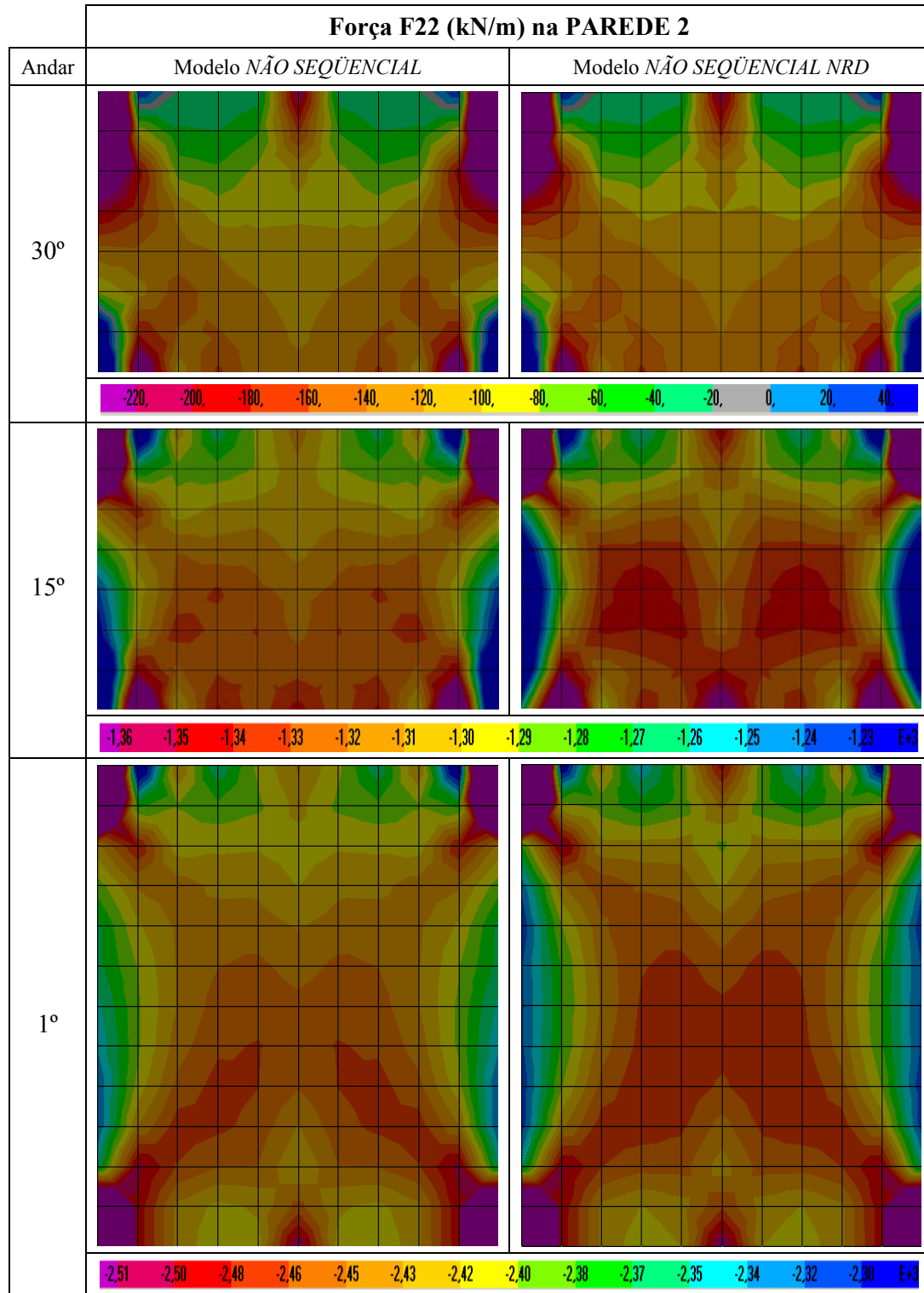
**FIGURA 7.39** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*



A partir dos valores das tabelas 7.27, 7.28 e 7.29 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.37, 7.38 e 7.39, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta F_{22}$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas no 1° e 15° andar;
- b) todavia, no 30° andar aparecem valores iguais a 10,1%, 13,5% e 40,8% nos nós 38, 45 e 52, respectivamente.

Apresentam-se na FIGURA 7.40 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças  $F_{22}$  (FIGURA 7.41) na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.



**FIGURA 7.40** - Gráficos da força F22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

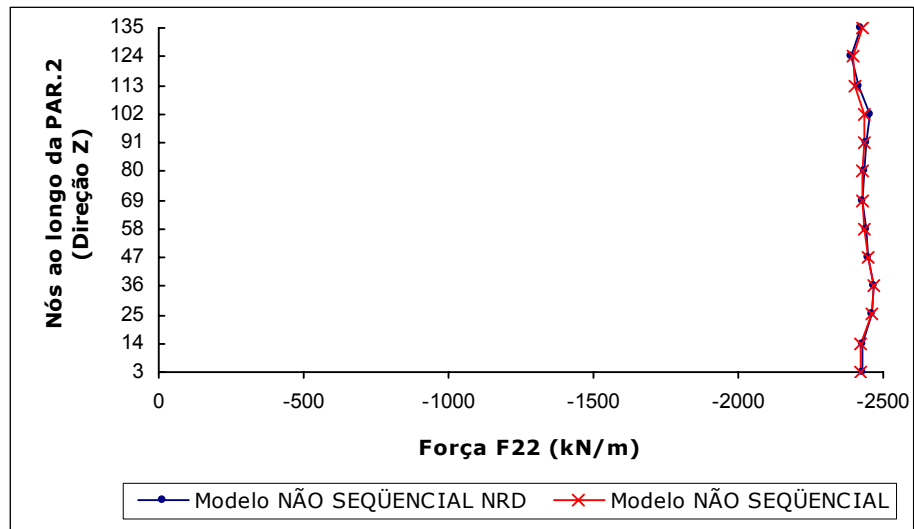
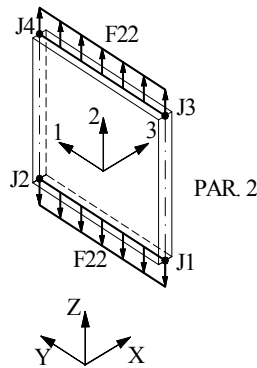
Obtém-se os valores das forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* (F22<sub>NS</sub>) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* (F22<sub>NRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.30 a 7.32. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F22\%$  das forças F22 entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 7.30 a 7.32 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Z (FIGURA 7.32).

Os gráficos das figuras 7.41 a 7.43 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.31 a 7.33, respectivamente.

**TABELA 7.30** - Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

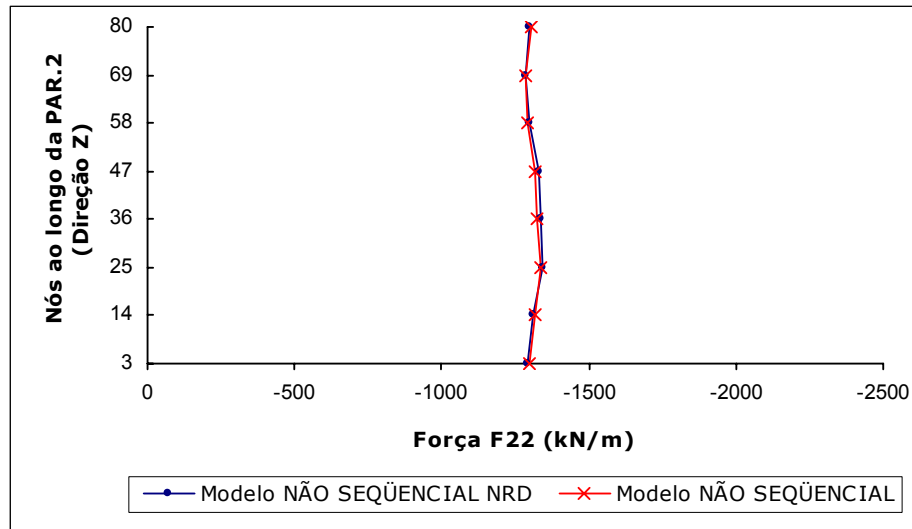
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>NS</sub>	F22 <sub>NRD</sub>	ΔF22%
3	-2424,17	-2425,37	0,0
14	-2424,76	-2425,91	0,0
25	-2460,79	-2461,72	0,0
36	-2469,91	-2470,52	0,0
47	-2450,41	-2450,65	0,0
58	-2438,02	-2438,32	0,0
69	-2430,36	-2431,71	0,1
80	-2430,61	-2435,04	0,2
91	-2431,99	-2442,22	0,4
102	-2438,11	-2455,74	0,7
113	-2404,22	-2417,59	0,6
124	-2396,20	-2388,16	0,3
135	-2431,56	-2422,23	0,4



**FIGURA 7.41** - Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

**TABELA 7.31** - Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

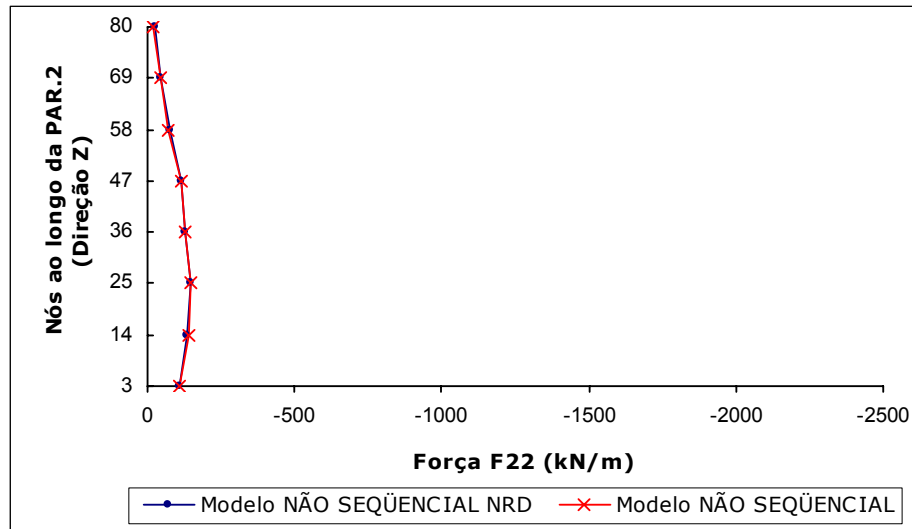
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>NS</sub>	F22 <sub>NRD</sub>	ΔF22%
3	-1298,215	-1290,74	0,6
14	-1318,61	-1312,90	0,4
25	-1334,95	-1343,26	0,6
36	-1322,36	-1335,94	1,0
47	-1319,61	-1332,96	1,0
58	-1293,31	-1300,99	0,6
69	-1287,42	-1282,25	0,4
80	-1306,53	-1300,63	0,5



**FIGURA 7.42** - Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

**TABELA 7.32** - Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>NS</sub>	F22 <sub>NRD</sub>	ΔF22%
3	-108,73	-106,19	2,3
14	-138,86	-137,02	1,3
25	-149,53	-149,66	0,1
36	-127,38	-128,38	0,8
47	-115,56	-118,19	2,3
58	-71,49	-75,43	5,5
69	-42,77	-45,91	7,3
80	-20,41	-27,63	35,4



**FIGURA 7.43** - Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

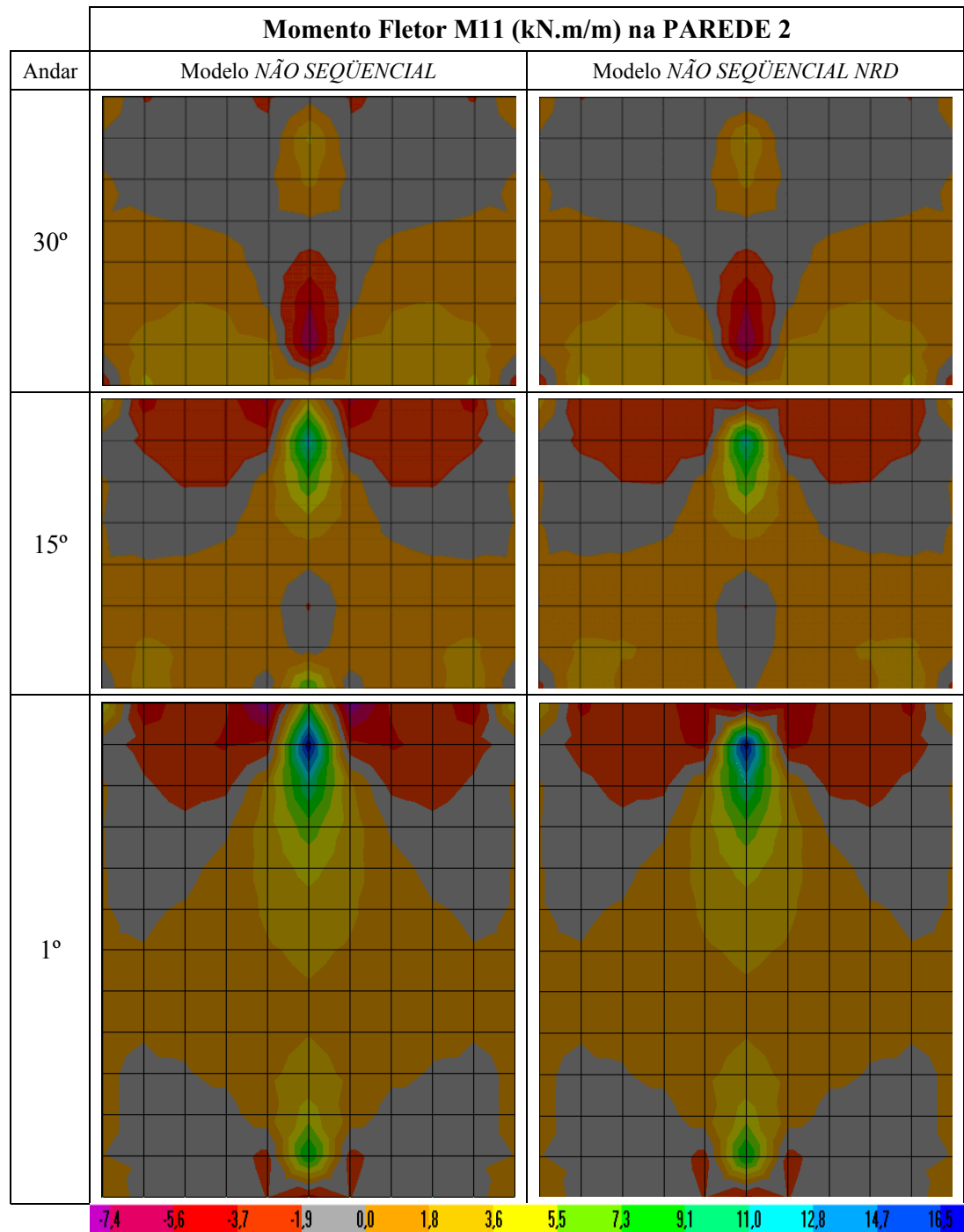
A partir dos valores das tabelas 7.30, 7.31 e 7.32 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.41, 7.42 e 7.43, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta F_{22}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas no 1° e 15° andar;
- b) todavia, no 30° andar aparecem valores iguais a 7,3 e 35,4% nos nós 69 e 80, respectivamente..

#### **7.1.8 - Momentos Fletores M11 e M22 nas Paredes do Núcleo Central**

Devido à simetria, os momentos fletores M11 e M22 na PAR.1 são nulos em todos os andares. Além disto, serão apresentados apenas os gráficos relativos à PAR.2 devido à simetria existente entre esta e a PAR.3.

Apresentam-se na FIGURA 7.44 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores M11 (FIGURA 7.45) na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.



**FIGURA 7.44** - Gráficos do momento fletor M11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

*NRD*



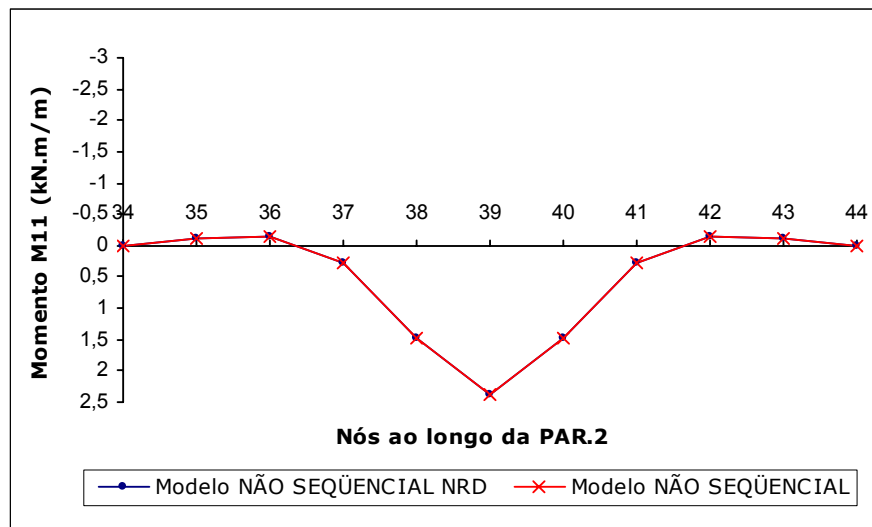
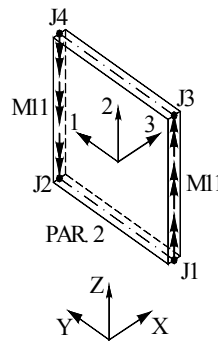
Obtém-se os valores dos momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* (M11<sub>NS</sub>) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* (M11<sub>NRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.33 a 7.35. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  dos momentos fletores M11 entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 7.33 a 7.35 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Y (FIGURA 7.32).

Os gráficos das figuras 7.45 a 7.47 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.33 a 7.35, respectivamente.

**TABELA 7.33** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

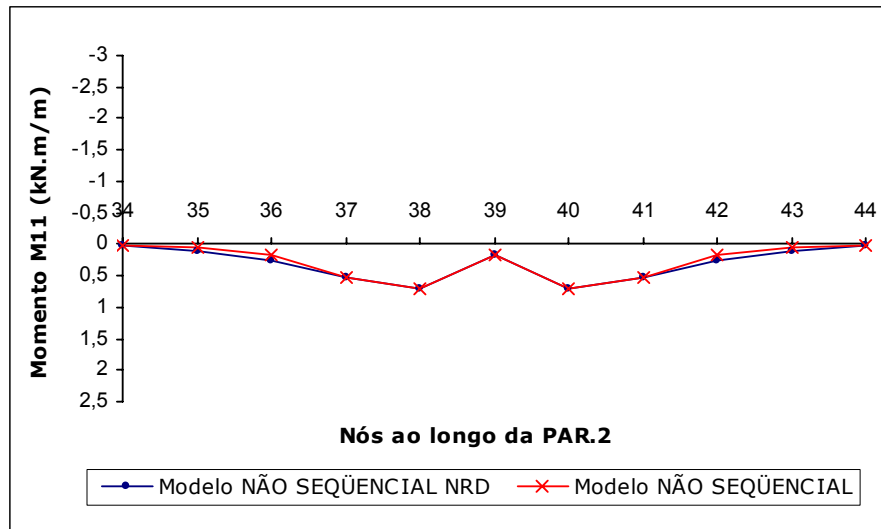
PAR. 2	M11 (kN.m/m)		
Nós	M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	$\Delta M11\%$
34	0,00	0,00	0,0!
35	-0,12	-0,12	0,0
36	-0,14	-0,14	0,0
37	0,29	0,29	0,0
38	1,49	1,49	0,1
39	2,38	2,38	0,0
40	1,49	1,49	0,0
41	0,29	0,29	0,0
42	-0,14	-0,14	0,0
43	-0,12	-0,12	0,0
44	0,00	0,00	0,0



**FIGURA 7.45** - Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

**TABELA 7.34** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

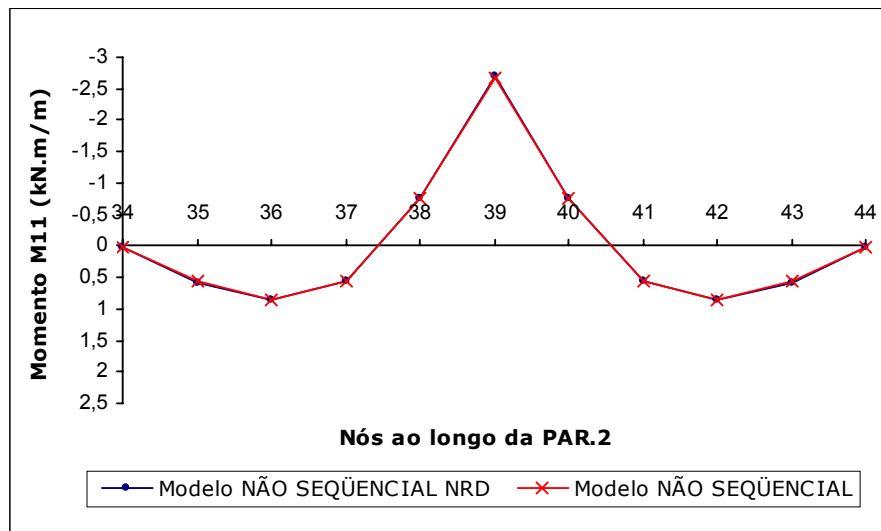
PAR. 2	M11 (kN.m/m)			
	Nós	M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	$\Delta M11\%$
	34	0,01	0,02	100,0
	35	0,04	0,10	150,0
	36	0,18	0,26	44,4
	37	0,52	0,54	3,8
	38	0,71	0,70	0,9
	39	0,15	0,18	17,0
	40	0,71	0,70	1,4
	41	0,52	0,54	3,8
	42	0,18	0,26	44,4
	43	0,04	0,10	150,0
	44	0,01	0,02	100,0



**FIGURA 7.46** - Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 7.35** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

PAR. 2	M11 (kN.m/m)			
	Nós	M11 <sub>NS</sub>	M11 <sub>NRD</sub>	$\Delta M11\%$
	34	0,02	0,02	0,0
	35	0,57	0,58	1,8
	36	0,85	0,87	2,4
	37	0,56	0,56	0,0
	38	-0,75	-0,76	1,6
	39	-2,67	-2,69	0,6
	40	-0,75	-0,76	1,3
	41	0,56	0,56	0,0
	42	0,85	0,87	2,4
	43	0,57	0,58	1,8
	44	0,02	0,02	0,0

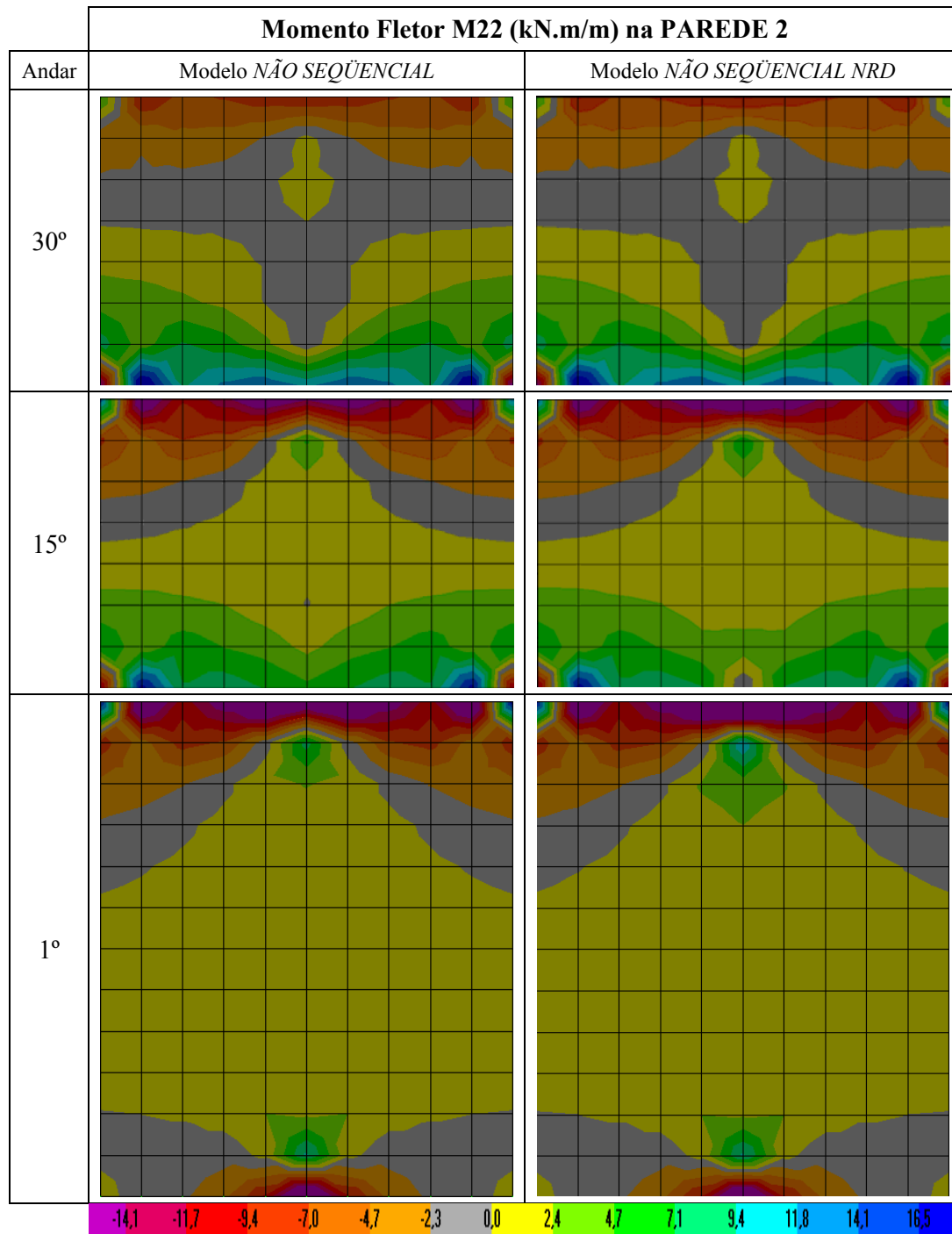


**FIGURA 7.47** - Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 7.33, 7.34 e 7.35 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.45, 7.46 e 7.47, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_{11}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas;
- b) as diferenças percentuais iguais a 100,0%, 150,0%, 44,4% e 17,0% que aparecem no 15º andar são devidas aos valores muito pequenos dos momentos  $M_{11}$ .

Apresentam-se na FIGURA 7.48 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores  $M_{22}$  (FIGURA 7.49) na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.



**FIGURA 7.48** - Gráfico do momento fletor M22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

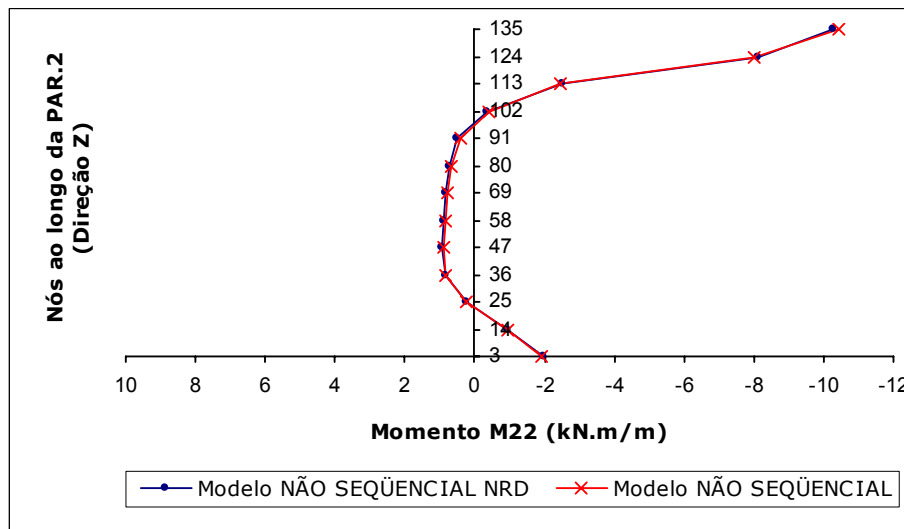
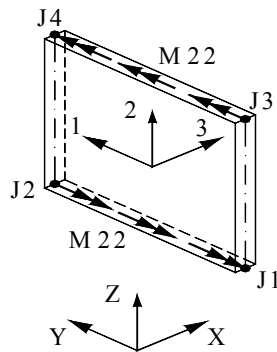
Obtém-se os valores dos momentos fletores  $M_{22}$  ao longo das paredes do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* ( $M_{22_{NS}}$ ) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* ( $M_{22_{NRD}}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.36 a 7.38. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_{22}\%$  dos momentos fletores  $M_{22}$  entre os dois modelos (ver equação 7.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 7.36 a 7.38 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Z (FIGURA 7.32).

Os gráficos das figuras 7.49 a 7.51 foram traçados a partir dos valores das tabelas 7.36 a 7.38, respectivamente.

**TABELA 7.36** - Momentos fletores M22 e diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD

PAR. 2	M22 (kN.m/m)		
Nós	M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	$\Delta M22\%$
3	-1,93	-1,96	1,6
14	-0,94	-0,96	2,0
25	0,23	0,22	2,7
36	0,83	0,84	0,3
47	0,91	0,92	1,1
58	0,85	0,87	2,4
69	0,79	0,83	4,9
80	0,68	0,74	9,5
91	0,41	0,49	21,1
102	-0,39	-0,33	15,5
113	-2,47	-2,53	2,5

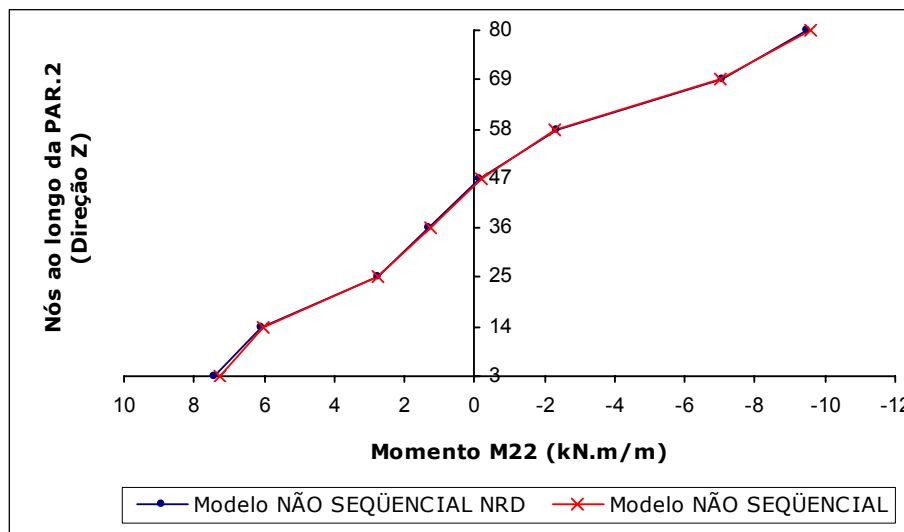


**FIGURA 7.49** - Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos NÃO SEQUENCIAL e NÃO SEQUENCIAL NRD



**TABELA 7.37** - Momentos fletores M22 e diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

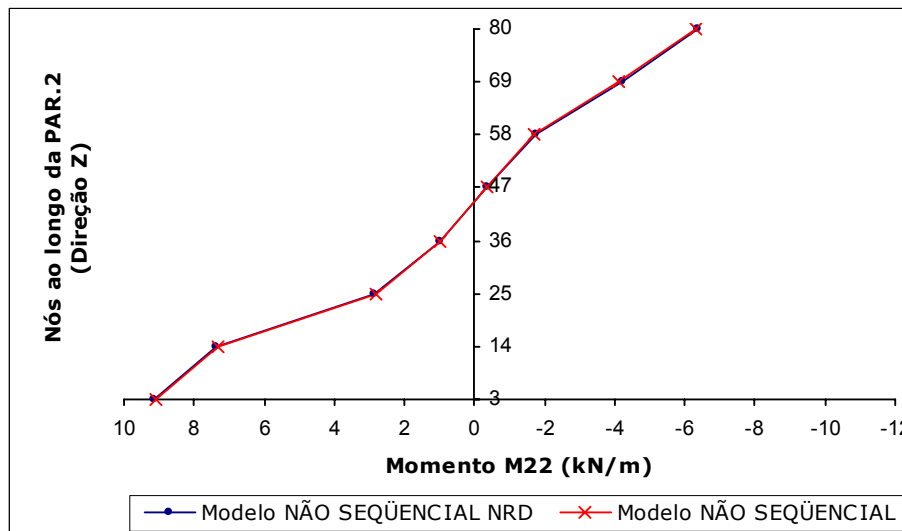
PAR. 2	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>	$\Delta M22\%$
3	7,26	7,44	2,5
14	6,04	6,09	0,8
25	2,73	2,74	0,3
36	1,24	1,31	5,1
47	-0,20	-0,15	25,2
58	-2,30	-2,33	1,3
69	-7,03	-7,06	0,4
80	-9,59	-9,47	1,3



**FIGURA 7.50** - Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 7.38** - Momentos fletores M22 e diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

PAR. 2	M22 (kN.m/m)		
	Nós	M22 <sub>NS</sub>	M22 <sub>NRD</sub>
3	9,07	9,14	0,8
14	7,31	7,37	0,8
25	2,83	2,85	0,8
36	0,96	0,97	0,7
47	-0,34	-0,35	3,1
58	-1,71	-1,74	2,0
69	-4,12	-4,20	1,8
80	-6,33	-6,38	0,8



**FIGURA 7.51** - Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 7.37, 7.38 e 7.39 e dos gráficos mostrados nas figuras 7.48, 7.49 e 7.50, verifica-se que:

- c) as diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* são muito pequenas;
- d) as diferenças percentuais iguais a 9,5%, 21,1% e 15,5% que aparecem no 1º andar e 25,2% que aparece no 15º andar são devidas aos valores muito pequenos dos momentos M22.

### 7.1.9 - Reações de Apoio na Fundação

As reações de apoio na fundação estão orientadas nas direções X, Y e Z do sistema de coordenadas globais e divididas em dois grupos: forças (FX, FY e FZ) e momentos (MX, MY e MZ). Devido à simetria são apresentadas as reações de apoio em apenas um quarto da estrutura, conforme pode ser visto na FIGURA 7.52.

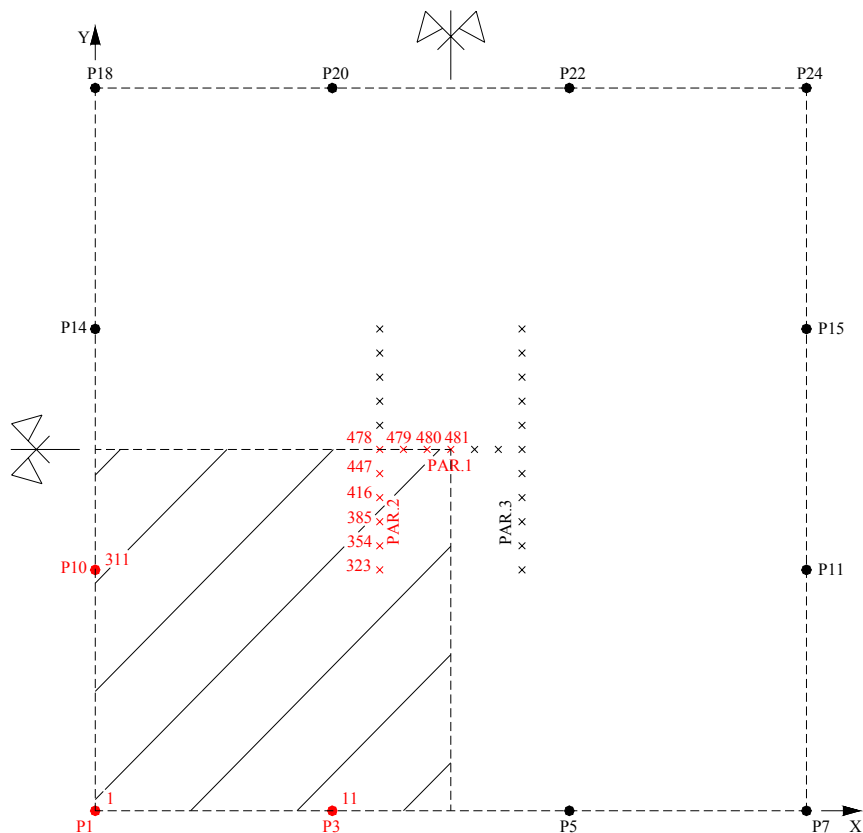


FIGURA 7.52 - Quadrante selecionado para análise das reações de apoio

Obtém-se os valores das reações de apoio na fundação dos pilares (P1, P3 e P10) para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $FX_{NS}$ ,  $FY_{NS}$ ,  $FZ_{NS}$ ,  $MX_{NS}$ ,  $MY_{NS}$  e  $MZ_{NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $FX_{NRD}$ ,  $FY_{NRD}$ ,  $FZ_{NRD}$ ,  $MX_{NRD}$ ,  $MY_{NRD}$  e  $MZ_{NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.39 e 7.40. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais das reações de apoio entre os dois modelos (ver equação 7.1).

**TABELA 7.39** - Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  nos pilares P1, P3 e P10 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

Pilar	Nós	FX (kN)			FY (kN)			FZ (kN)		
		$FX_{NS}$	$FX_{NRD}$	$\Delta FX\%$	$FY_{NS}$	$FY_{NRD}$	$\Delta FY\%$	$FZ_{NS}$	$FZ_{NRD}$	$\Delta FZ\%$
P1	01	118,02	115,20	2,4	119,19	117,71	1,2	7063,46	7059,55	0,1
P3	11	12,59	11,03	12,4	8,39	7,41	11,7	5625,26	5620,30	0,1
P10	311	8,51	8,18	4,0	14,05	13,09	6,8	5683,99	5677,31	0,1

A partir dos valores da tabela 7.39, verifica-se que:

- no pilar P1 as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, atingindo no máximo 2,4%;
- no pilar P3 as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$  e  $\Delta FY\%$  são significativas com valores iguais a 12,4% e 11,7%, respectivamente. Todavia, a diferença percentual  $\Delta FZ\%$  é muito pequena;
- no pilar P10 as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são pequenas, atingindo no máximo a 6,8%.

**TABELA 7.40** - Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais  $\Delta MX\%$ ,  $\Delta MY\%$  e  $\Delta MZ\%$  nos pilares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

Pilar	Nós	MX (kN.m)			MY (kN.m)			MZ (kN.m)		
		$MX_{NS}$	$MX_{NRD}$	$\Delta MX\%$	$MY_{NS}$	$MY_{NRD}$	$\Delta MY\%$	$MZ_{NS}$	$MZ_{NRD}$	$\Delta MZ\%$
P1	01	-224,64	-220,90	1,7	216,84	216,85	0,0	0,71	0,00	100,0
P3	11	-17,61	-14,69	16,6	20,08	20,08	0,0	0,54	0,00	100,0
P10	311	-26,75	-23,83	10,9	16,22	16,22	0,0	0,18	0,00	100,0

A partir dos valores da tabela 7.40, verifica-se que:

- a) no pilar P1 a diferença percentual  $\Delta MX\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* é muito pequena. Todavia, nos pilares P3 e P10 os valores desta diferença são significativos, iguais a 16,6% e 10,9%, respectivamente;
- b) as diferenças percentuais  $\Delta MY\%$  em todos os pilares são muito pequenas;
- c) para os três pilares os valores das diferenças percentuais  $\Delta MZ\%$  são iguais a 100,0%; isto ocorre devido aos valores de  $MZ_{NRD}$  serem iguais a zero.

Obtém-se os valores das reações de apoio na fundação das paredes do núcleo central (PAR.1 e PAR.2) para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $FX_{NS}$ ,  $FY_{NS}$ ,  $FZ_{NS}$ ,  $MX_{NS}$ ,  $MY_{NS}$  e  $MZ_{NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $FX_{NRD}$ ,  $FY_{NRD}$ ,  $FZ_{NRD}$ ,  $MX_{NRD}$ ,  $MY_{NRD}$  e  $MZ_{NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 7.41 e 7.42. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais das reações de apoio entre os dois modelos (ver equação 7.1).

**TABELA 7.41** - Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  nas paredes 1 e 2 do núcleo central para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

		FX (kN)			FY (kN)			FZ (kN)		
Nós		$FX_{NS}$	$FX_{NRD}$	$\Delta FX\%$	$FY_{NS}$	$FY_{NRD}$	$\Delta FY\%$	$FZ_{NS}$	$FZ_{NRD}$	$\Delta FZ\%$
PAR.1	478	179,88	180,86	0,5	0,00	0,00	0,0	1864,81	1870,27	0,3
	479	100,11	100,96	0,8	0,00	0,00	0,0	1161,10	1165,64	0,4
	480	47,21	47,65	0,9	0,00	0,00	0,0	1152,24	1157,25	0,4
	481	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	1154,34	1159,52	0,4
PAR.2	323	-1,20	-1,20	0,0	170,40	170,95	0,3	759,23	760,10	0,1
	354	0,08	0,09	12,5	138,11	139,20	0,8	1255,09	1255,69	0,0
	385	0,62	0,63	1,6	100,67	102,04	1,4	1189,05	1189,78	0,1
	416	1,84	1,85	0,5	63,89	65,12	1,9	1182,41	1183,94	0,1
	447	13,93	14,00	0,5	39,94	40,80	2,1	1196,50	1198,98	0,2
	478	179,88	180,86	0,5	0,00	0,00	0,0	1864,81	1870,27	0,3

A partir dos valores da tabela 7.41, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto a  $\Delta FX\%$  relativa ao nó 354;

b) a diferença percentual  $\Delta FX\%$  igual a 12,5% que aparecem no nó 354 da PAR.2 é devida aos valores muito pequenos das forças FX.

**TABELA 7.42** - Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais  $\Delta MX\%$ ,  $\Delta MY\%$  e  $\Delta MZ\%$  nas paredes do núcleo central para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD*

		MX (kN.m)			MY (kN.m)			MZ (kN.m)		
Nós		$MX_{NS}$	$MX_{NRD}$	$\Delta MX\%$	$MY_{NS}$	$MY_{NRD}$	$\Delta MY\%$	$MZ_{NS}$	$MZ_{NRD}$	$\Delta MZ\%$
PAR.1	478	0,00	0,00	0,0	11,16	11,23	0,6	0,00	0,00	0,0
	479	0,00	0,00	0,0	4,00	4,03	0,8	0,00	0,00	0,0
	480	0,00	0,00	0,0	1,55	1,57	0,6	0,00	0,00	0,0
	481	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
PAR.2	323	-3,70	-3,72	0,5	-0,07	-0,06	14,3	0,02	0,02	0,0
	354	-5,32	-5,36	0,8	0,34	0,35	2,9	0,00	0,00	0,0
	385	-3,73	-3,79	1,3	1,04	1,05	1,0	0,01	0,01	0,0
	416	-2,20	-2,24	1,8	2,33	2,34	0,9	0,03	0,03	0,0
	447	-1,45	-1,49	2,1	5,46	5,49	0,5	-0,09	-0,09	0,0
	478	0,00	0,00	0,0	11,16	11,23	0,6	0,00	0,00	0,0

A partir dos valores da tabela 7.42, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta MX\%$ ,  $\Delta MY\%$  e  $\Delta MZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQUENCIAL* e *NÃO SEQUENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto a  $\Delta MY\%$  relativa ao nó 323;
- b) a diferença percentual  $\Delta MY\%$  igual a 14,2% que aparece no nó 323 da PAR.2 é devida aos valores muito pequenos dos momentos MY.

## 7.2 Comparações Relativas ao Carregamento Horizontal

O carregamento horizontal usado na análise destes modelos está mostrado no item 5.4.

### 7.2.1 - Deslocamentos Nodais

Obtém-se os valores (módulos) dos deslocamentos nodais máximos  $UX_{max}$  e  $UY_{max}$  no 30º andar para os modelos *NÃO SEQUENCIAL* ( $UX_{maxNS}$  e  $UY_{maxNS}$ ) e *NÃO SEQUENCIAL NRD* ( $UX_{maxNRD}$  e  $UY_{maxNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados na TABELA 7.43. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças

percentuais dos deslocamentos nodais máximos entre os dois modelos (ver equação 7.1).

**TABELA 7.43** - Deslocamentos nodais máximos  $UX_{max}$  e  $UY_{max}$  e diferenças percentuais  $\Delta UX_{max}\%$  e  $\Delta UY_{max}\%$  no 30º andar para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

UXmax (cm)			
Nó	$UX_{maxNS}$	$UX_{maxNRD}$	$\Delta UX_{max}\%$
481	7,4493	7,4410	0,1

UYmax (cm)			
Nós	$UY_{maxNS}$	$UY_{maxNRD}$	$\Delta UY_{max}\%$
1; 31; 931; 961	0,0016	0,00	100

Obtém-se, agora, os valores dos deslocamentos nodais  $UX$  ao longo da prumada do nó 481 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $UX_{NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $UX_{NRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados na TABELA 7.44. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais dos deslocamentos nodais  $\Delta UX\%$  entre os dois modelos (ver equação 7.1).

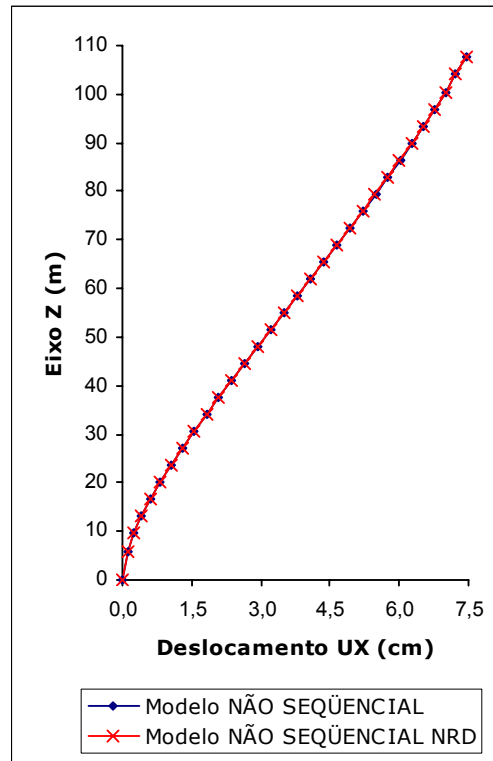
**TABELA 7.44** - Deslocamentos nodais  $UX$  e diferenças percentuais  $\Delta UX\%$  ao longo da prumada do nó 481 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

UX (cm)				
Andar	Z (m)	$UX_{NS}$	$UX_{NRD}$	$\Delta UX\%$
T	0	0,0000	0,0000	0
1º	6,0	0,1162	0,1198	3,1
2º	9,5	0,2417	0,2385	1,3
3º	13,0	0,4119	0,4122	0,1
4º	16,5	0,6101	0,6103	0,0
5º	20,0	0,8276	0,8260	0,2
6º	23,5	1,0625	1,0611	0,1
7º	27,0	1,3094	1,3076	0,1
8º	30,5	1,5650	1,5627	0,1
9º	34,0	1,8275	1,8248	0,1
10º	37,5	2,0964	2,0923	0,2
11º	41,0	2,3734	2,3700	0,1
12º	44,5	2,6545	2,6510	0,1
13º	48,0	2,9378	2,9342	0,1
14º	51,5	3,2223	3,2184	0,1
15º	55,0	3,5080	3,5029	0,1

UX (cm)				
Andar	Z (m)	$UX_{NS}$	$UX_{NRD}$	$\Delta UX\%$
16º	58,5	3,7969	3,7926	0,1
17º	62,0	4,0852	4,0809	0,1
18º	65,5	4,3713	4,3668	0,1
19º	69,0	4,6543	4,6495	0,1
20º	72,5	4,9341	4,9285	0,1
21º	76,0	5,2128	5,2078	0,1
22º	79,5	5,4867	5,4817	0,1
23º	83,0	5,7545	5,7494	0,1
24º	86,5	6,0155	6,0102	0,1
25º	90,0	6,2699	6,2640	0,1
26º	93,5	6,5194	6,5139	0,1
27º	97,0	6,7617	6,7561	0,1
28º	100,5	6,9965	6,9907	0,1
29º	104	7,2249	7,2185	0,1
30º	107,5	7,4493	7,4410	0,1

A partir dos valores da TABELA 7.44 foi traçado o gráfico da FIGURA 7.53.



**FIGURA 7.53** - Deslocamentos nodais UX ao longo da prumada do nó 481 para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores da TABELA 7.44 e do gráfico mostrado na FIGURA 7.53, verifica-se que as diferenças percentuais  $\Delta UX\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto no 1º andar onde seu valor é de 3,1%.

### 7.2.2 - Índices de Deslocabilidade Lateral (IDL)

Obtém-se os valores dos índices de deslocabilidade lateral IDL em todos os andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* ( $IDL_{NS}$ ) e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* ( $IDL_{NRD}$ ).



Os valores dos índices de deslocabilidade lateral IDL são obtidos através da equação 7.2:

$$IDL = \frac{1}{Z_i / UX_i} \quad (7.2)$$

onde:

IDL = índice de deslocabilidade lateral;

$Z_i$  = altura de cada andar em relação à fundação;

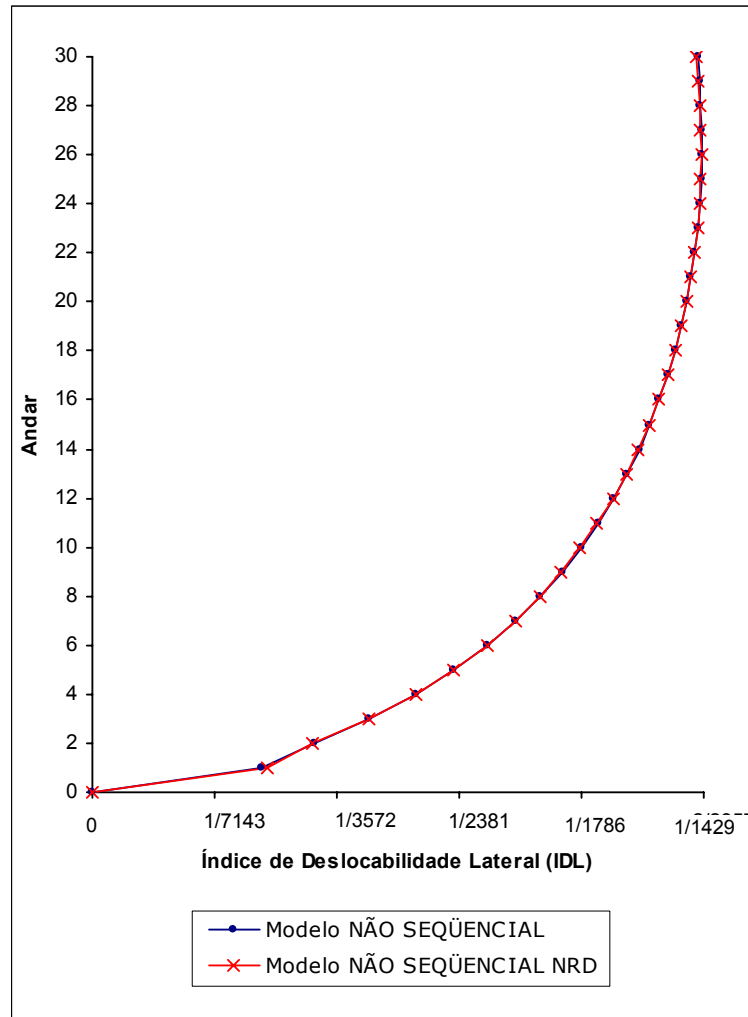
$UX_i$  = deslocamento lateral na direção X em cada andar.

Os valores obtidos são mostrados na TABELA 7.45. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais dos índices de deslocabilidade lateral  $\Delta IDL\%$  entre os dois modelos (ver equação 7.1).

**TABELA 7.45** - Índices de deslocabilidade lateral IDL e diferenças percentuais  $\Delta$ IDL% em todos os andares para os modelos NÃO SEQÜENCIAL e NÃO SEQÜENCIAL NRD

Andar	Z (cm)	UX (cm)		IDL		$\Delta$ IDL%
		UX <sub>NS</sub>	UX <sub>NRD</sub>	IDL <sub>NS</sub>	IDL <sub>NRD</sub>	
T	0	0,0000	0,0000	0	0	0,0
1°	600	0,1162	0,1198	$\frac{1}{5164}$	$\frac{1}{5008}$	3,1
2°	950	0,2417	0,2385	$\frac{1}{3930}$	$\frac{1}{3983}$	1,3
3°	1300	0,4119	0,4122	$\frac{1}{3156}$	$\frac{1}{3154}$	0,1
4°	1650	0,6101	0,6103	$\frac{1}{2704}$	$\frac{1}{2704}$	0,0
5°	2000	0,8276	0,8260	$\frac{1}{2417}$	$\frac{1}{2421}$	0,2
6°	2350	1,0625	1,0611	$\frac{1}{2212}$	$\frac{1}{2215}$	0,1
7°	2700	1,3094	1,3076	$\frac{1}{2062}$	$\frac{1}{2065}$	0,1
8°	3050	1,5650	1,5627	$\frac{1}{1949}$	$\frac{1}{1952}$	0,1
9°	3400	1,8275	1,8248	$\frac{1}{1860}$	$\frac{1}{1863}$	0,1
10°	3750	2,0964	2,0923	$\frac{1}{1789}$	$\frac{1}{1792}$	0,2
11°	4100	2,3734	2,3700	$\frac{1}{1727}$	$\frac{1}{1730}$	0,1
12°	4450	2,6545	2,6510	$\frac{1}{1676}$	$\frac{1}{1679}$	0,1
13°	4800	2,9378	2,9342	$\frac{1}{1634}$	$\frac{1}{1636}$	0,1
14°	5150	3,2223	3,2184	$\frac{1}{1598}$	$\frac{1}{1600}$	0,1
15°	5500	3,5080	3,5029	$\frac{1}{1568}$	$\frac{1}{1570}$	0,1
16°	5850	3,7969	3,7926	$\frac{1}{1541}$	$\frac{1}{1542}$	0,1
17°	6200	4,0852	4,0809	$\frac{1}{1518}$	$\frac{1}{1519}$	0,1
18°	6550	4,3713	4,3668	$\frac{1}{1498}$	$\frac{1}{1500}$	0,1
19°	6900	4,6543	4,6495	$\frac{1}{1483}$	$\frac{1}{1484}$	0,1
20°	7250	4,9341	4,9285	$\frac{1}{1469}$	$\frac{1}{1471}$	0,1
21°	7600	5,2128	5,2078	$\frac{1}{1458}$	$\frac{1}{1459}$	0,1
22°	7950	5,4867	5,4817	$\frac{1}{1449}$	$\frac{1}{1450}$	0,1
23°	8300	5,7545	5,7494	$\frac{1}{1442}$	$\frac{1}{1444}$	0,1
24°	8650	6,0155	6,0102	$\frac{1}{1438}$	$\frac{1}{1439}$	0,1
25°	9000	6,2699	6,2640	$\frac{1}{1435}$	$\frac{1}{1437}$	0,1
26°	9350	6,5194	6,5139	$\frac{1}{1434}$	$\frac{1}{1435}$	0,1
27°	9700	6,7617	6,7561	$\frac{1}{1435}$	$\frac{1}{1436}$	0,1
28°	10050	6,9965	6,9907	$\frac{1}{1436}$	$\frac{1}{1438}$	0,1
29°	10400	7,2249	7,2185	$\frac{1}{1439}$	$\frac{1}{1441}$	0,1
30°	10750	7,4493	7,4410	$\frac{1}{1443}$	$\frac{1}{1445}$	0,1

A partir dos valores da TABELA 7.45 foi traçado o gráfico da FIGURA 7.54.



**FIGURA 7.54** - Índices de deslocabilidade lateral IDL em todos os andares para os modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores da TABELA 7.45 e do gráfico mostrado na FIGURA 7.54, verifica-se que as diferenças percentuais  $\Delta IDL\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *NÃO SEQÜENCIAL* e *NÃO SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto no 1º andar onde seu valor é de 3,1%.

# 8

## COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS SEQÜENCIAL E SEQÜENCIAL NRD

Neste capítulo comparam-se os resultados finais, relativos a etapa 33, obtidos através dos modelos estruturais *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* (*Nós com Restrições de Diafragma*). Analisam-se as mesmas grandezas (G) do capítulo anterior, que são:

- a) forças axiais na viga VF1;
- b) momentos fletores na viga VF1;
- c) forças axiais no pilar P3;
- d) momentos fletores no pilar P3;
- e) forças de membrana F11 e F22 nas lajes;
- f) momentos fletores M11 e M22 nas lajes;
- g) forças de membrana F11 e F22 nas paredes do núcleo central;
- h) momentos fletores M11 e M22 nas paredes do núcleo central;
- i) reações de apoio FX, FY, FZ, MX, MY e MZ na fundação;

Aqui também as tabelas comparativas dos resultados estão organizadas a partir dos dados gerados pelo programa SAP2000, de acordo com a convenção de sinal mostrada nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5 para as vigas e pilares e figuras 5.14 e 5.15 para as lajes e paredes do núcleo central.

Nestas tabelas também são apresentadas as diferenças percentuais das grandezas ( $\Delta G\%$ ) entre os dois modelos.

Os valores dos módulos dessas diferenças percentuais são obtidos através da equação 8.1:

$$\Delta G\% = \left| \frac{G_{SNRD} - G_S}{G_S} \right| \times 100\% \quad (8.1)$$

onde:

$\Delta G\%$  = módulo da diferença percentual da grandeza G;

$G_S$  = valor da grandeza no modelo *SEQÜENCIAL*;

$G_{SNRD}$  = valor da grandeza no modelo *SEQÜENCIAL NRD*.

## 8.1 - Comparações Relativas ao Carregamento Vertical

O carregamento vertical usado na análise destes modelos está mostrado no item 5.3. Note-se que a carga CMi é incluída aos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* de acordo com as etapas de construção e carregamento mostrada nos itens 6.4 e 6.5

### 8.1.1 - Forças Axiais na Viga VF1

Obtém-se os valores finais das forças axiais P na viga VF1 do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *SEQÜENCIAL* ( $P_S$ ). Estes valores são mostrados nas tabelas 8.1, 8.2 e 8.3. Note-se que o modelo *SEQÜENCIAL NRD* é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

Os gráficos das figuras 8.1, 8.2 e 8.3 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.1, 8.2 e 8.3, respectivamente.

Os valores das forças axiais, apresentadas nas tabelas a seguir, referem-se aos trechos elásticos da viga VF1 que são de face a face dos pilares devido ao uso das conexões OFFSET, conforme citado no item 5.1.2.

TABELA 8.1 - Forças axiais P na viga VF1 do 1º andar para o modelo SEQÜENCIAL

P (kN)		P (kN)	
X (m)	P <sub>s</sub>	X (m)	P <sub>s</sub>
0,00	*	7,50	124,91
0,60	-19,51	8,00	124,91
1,00	-19,51	8,00	121,78
1,00	-14,34	8,50	121,78
1,50	-14,34	8,50	116,59
1,50	-7,06	9,00	116,59
2,00	-7,06	9,00	109,54
2,00	0,84	9,50	109,54
2,50	0,84	9,50	101,46
2,50	68,33	9,65	101,46
3,00	68,33	10,00	*
3,00	74,75	10,35	99,04
3,50	74,75	10,50	99,04
3,50	82,03	10,50	90,46
4,00	82,03	11,00	90,46
4,00	90,46	11,00	82,03
4,50	90,46	11,50	82,03
4,50	99,04	11,50	74,75
4,65	99,04	12,00	74,75
5,00	*	12,00	68,33
5,35	101,46	12,50	68,33
5,50	101,46	12,50	0,84
5,50	109,54	13,00	0,84
6,00	109,54	13,00	-7,06
6,00	116,59	13,50	-7,06
6,50	116,59	13,50	-14,34
6,50	121,78	14,00	-14,34
7,00	121,78	14,00	-19,51
7,00	124,91	14,40	-19,51
7,50	124,91	15,00	*

\* valores não determinados

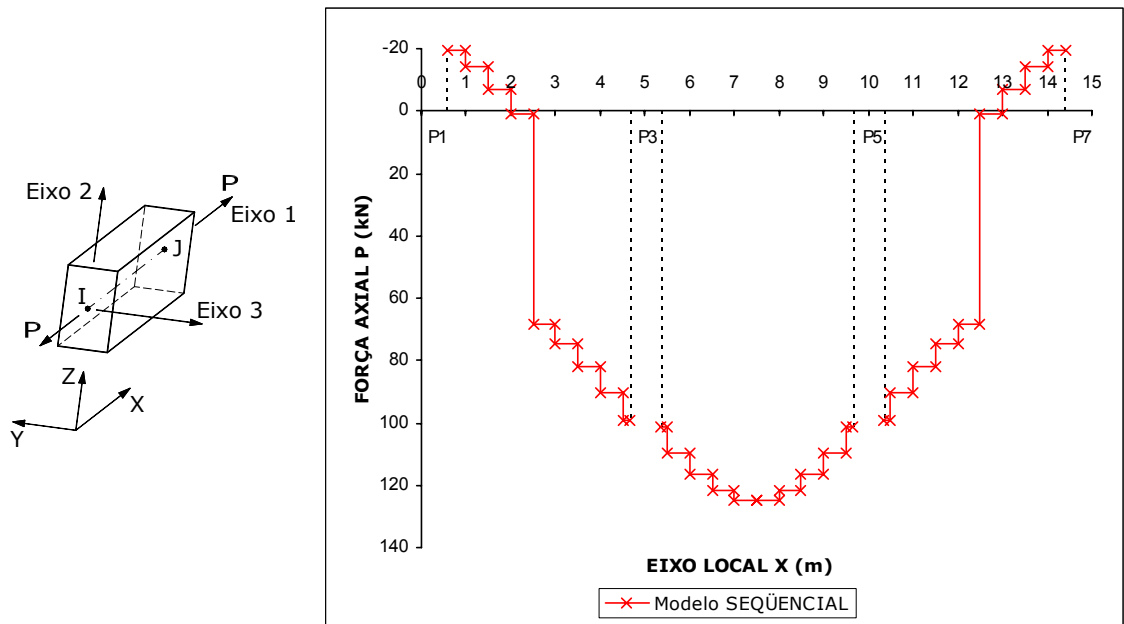
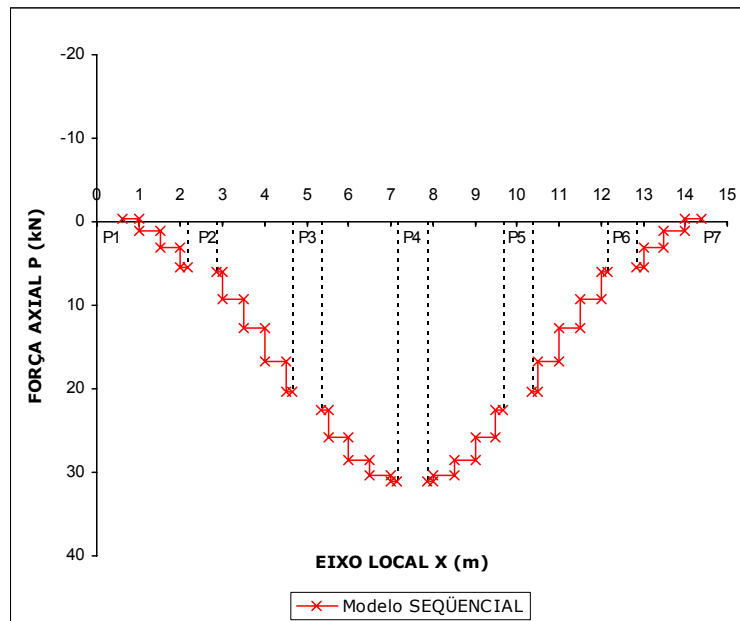


FIGURA 8.1 - Forças axiais P na viga VF1 do 1º andar para o modelo SEQÜENCIAL

**TABELA 8.2** - Forças axiais P na viga VF1 do 15º andar para o modelo SEQÜENCIAL

P (kN)		P (kN)	
X (m)	P <sub>s</sub>	X (m)	P <sub>s</sub>
0,00	*	7,85	31,11
0,60	-0,44	8,00	31,11
1,00	-0,44	8,00	30,33
1,00	1,13	8,50	30,33
1,50	1,13	8,50	28,56
1,50	3,06	9,00	28,56
2,00	3,06	9,00	25,87
2,00	5,54	9,50	25,87
2,15	5,54	9,50	22,58
2,50	*	9,65	22,58
2,85	5,99	10,00	*
3,00	5,99	10,35	20,35
3,00	9,30	10,50	20,35
3,50	9,30	10,50	16,67
3,50	12,82	11,00	16,67
4,00	12,82	11,00	12,82
4,00	16,67	11,50	12,82
4,50	16,67	11,50	9,30
4,50	20,35	12,00	9,30
4,65	20,35	12,00	5,99
5,00	*	12,15	5,99
5,35	22,58	12,50	*
5,50	22,58	12,85	5,54
5,50	25,87	13,00	5,54
6,00	25,87	13,00	3,06
6,00	28,56	13,50	3,06
6,50	28,56	13,50	1,13
6,50	30,33	14,00	1,13
7,00	30,33	14,00	-0,44
7,00	31,11	14,40	-0,44
7,15	31,11	15,00	*
7,50	*		

\* valores não determinados

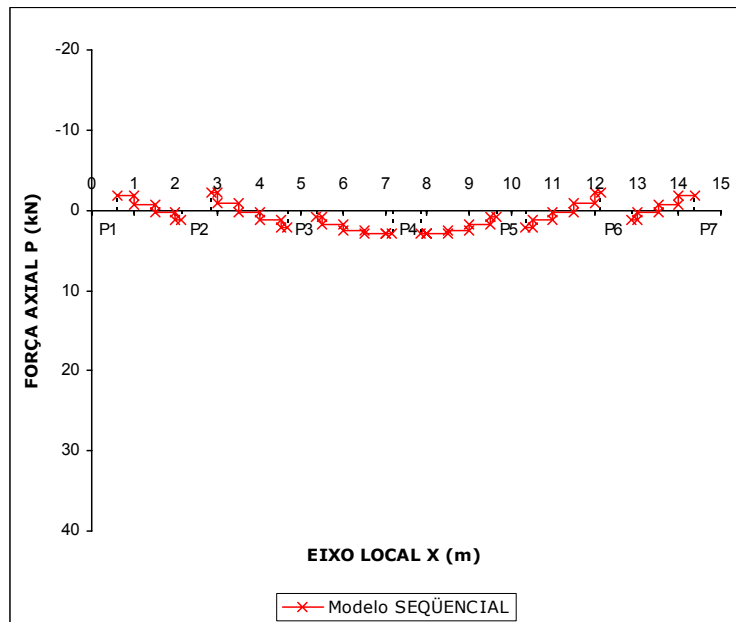


**FIGURA 8.2** - Forças axiais P na viga VF1 do 15º andar para o modelo SEQÜENCIAL

**TABELA 8.3** - Forças axiais P na viga VF1 do 30º andar para o modelo SEQÜENCIAL

P (kN)		P (kN)	
X (m)	P <sub>s</sub>	X (m)	P <sub>s</sub>
0,00	*	7,85	2,82
0,60	-1,77	8,00	2,82
1,00	-1,77	8,00	2,83
1,00	-0,70	8,50	2,83
1,50	-0,70	8,50	2,56
1,50	0,25	9,00	2,56
2,00	0,25	9,00	1,81
2,00	1,29	9,50	1,81
2,15	1,29	9,50	0,77
2,50	*	9,65	0,77
2,85	-2,23	10,00	*
3,00	-2,23	10,35	2,13
3,00	-0,87	10,50	2,13
3,50	-0,87	10,50	1,27
3,50	0,30	11,00	1,27
4,00	0,30	11,00	0,30
4,00	1,27	11,50	0,30
4,50	1,27	11,50	-0,87
4,50	2,13	12,00	-0,87
4,65	2,13	12,00	-2,23
5,00	*	12,15	-2,23
5,35	0,77	12,50	*
5,50	0,77	12,85	1,29
5,50	1,81	13,00	1,29
6,00	1,81	13,00	0,25
6,00	2,56	13,50	0,25
6,50	2,56	13,50	-0,70
6,50	2,83	14,00	-0,70
7,00	2,83	14,00	-1,77
7,00	2,82	14,40	-1,77
7,15	2,82	15,00	*
7,50	*		

\* valores não determinados



**FIGURA 8.3** - Forças axiais P na viga VF1 do 30º andar para o modelo SEQÜENCIAL



### 8.1.2 - Momentos Fletores na Viga VF1

Obtém-se os valores finais dos momentos fletores M3 na viga VF1 do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* (M3<sub>s</sub>) e *SEQÜENCIAL NRD* (M3<sub>SNRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.4, 8.5 e 8.6. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  dos momentos fletores M3 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os gráficos das figuras 8.4, 8.5 e 8.6 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.4, 8.5 e 8.6, respectivamente.

Os valores dos momentos fletores, apresentados nas tabelas a seguir, referem-se aos trechos elásticos da viga VF1 que são de face a face dos pilares devido ao uso das conexões OFFSET (item 5.1.2).

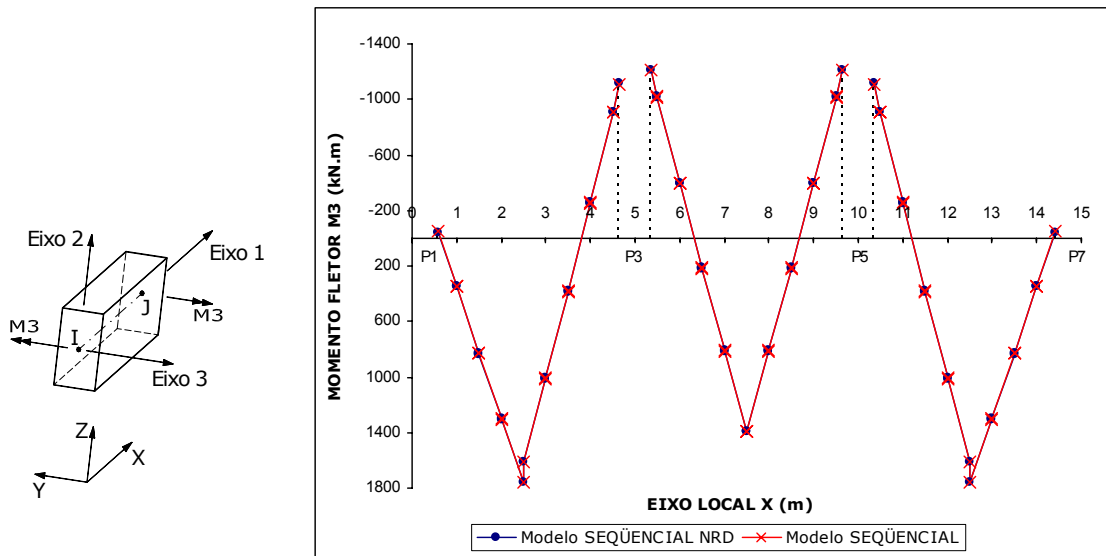
A partir dos valores das tabelas 8.4, 8.5 e 8.6 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.4, 8.5 e 8.6, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto o valor igual a 9,2% que aparece em  $X = 0,60\text{m}$  e  $X = 14,40\text{m}$  no 1º andar;
- b) as diferenças percentuais iguais a 22,8% e 6,8% que aparecem no 15º e 30º andar, respectivamente, são devidos aos valores muito pequenos dos momentos M3.

**TABELA 8.4** - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na viga VF1 do 1º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

M3 (kN.m)				M3 (kN.m)			
X (m)	M3 <sub>s</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$	X (m)	M3 <sub>s</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$
0,00	*	*	*	7,50	1392,82	1392,33	0,0
0,60	-48,26	-43,81	9,2	8,00	815,09	815,32	0,0
1,00	342,23	345,74	1,0	8,00	808,43	808,67	0,0
1,00	347,13	350,63	1,0	8,50	216,87	217,87	0,5
1,50	825,63	827,96	0,3	8,50	210,16	211,16	0,5
1,50	830,95	833,27	0,3	9,00	-394,31	-392,52	0,5
2,00	1298,72	1299,89	0,1	9,00	-401,20	-399,40	0,4
2,00	1303,98	1305,13	0,1	9,50	-1018,19	-1015,58	0,3
2,50	1758,57	1758,57	0,0	9,50	-1022,77	-1020,16	0,3
2,50	1616,62	1614,33	0,1	9,65	-1213,76	-1210,89	0,2
3,00	1012,74	1010,51	0,2	10,00	*	*	*
3,00	1005,80	1003,56	0,2	10,35	-1110,77	-1112,76	0,2
3,50	387,09	384,91	0,6	10,50	-910,79	-912,81	0,2
3,50	380,06	377,88	0,6	10,50	-905,99	-908,02	0,2
4,00	-252,66	-254,77	0,8	11,00	-259,87	-261,98	0,8
4,00	-259,87	-261,98	0,8	11,00	-252,66	-254,77	0,8
4,50	-905,99	-908,02	0,2	11,50	380,06	377,88	0,6
4,50	-910,79	-912,81	0,2	11,50	387,09	384,91	0,6
4,65	-1110,77	-1112,76	0,2	12,00	1005,80	1003,56	0,2
5,00	*	*	*	12,00	1012,74	1010,51	0,2
5,35	-1213,76	-1210,89	0,2	12,50	1616,62	1614,33	0,1
5,50	-1022,77	-1020,16	0,3	12,50	1758,57	1758,57	0,0
5,50	-1018,19	-1015,58	0,3	13,00	1303,98	1305,13	0,1
6,00	-401,20	-399,40	0,4	13,00	1298,72	1299,89	0,1
6,00	-394,31	-392,52	0,5	13,50	830,95	833,27	0,3
6,50	210,16	211,16	0,5	13,50	825,63	827,96	0,3
6,50	216,87	217,87	0,5	14,00	347,13	350,63	1,0
7,00	808,43	808,67	0,0	14,00	342,23	345,74	1,0
7,00	815,09	815,32	0,0	14,40	-48,26	-43,81	9,2
7,50	1392,82	1392,33	0,0	15,00	*	*	*

\* valores não determinados

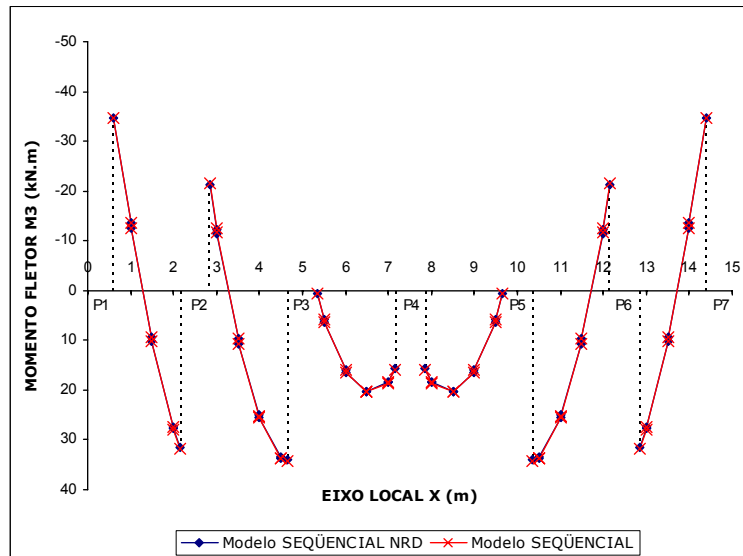


**FIGURA 8.4** - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 1º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 8.5** - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na viga VF1 do 15º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

X (m)	M3 (kN.m)			X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>s</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$		M3 <sub>s</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$
0,00	*	*	*	7,85	15,88	15,78	0,6
0,60	-34,67	-34,55	0,3	8,00	18,39	18,30	0,5
1,00	-13,63	-13,57	0,4	8,00	18,57	18,48	0,5
1,00	-12,58	-12,52	0,4	8,50	20,31	20,27	0,2
1,50	9,26	9,24	0,2	8,50	20,28	20,25	0,2
1,50	10,24	10,21	0,2	9,00	16,38	16,39	0,1
2,00	27,42	27,31	0,4	9,00	16,01	16,03	0,1
2,00	27,90	27,79	0,4	9,50	6,24	6,33	1,4
2,15	31,67	31,53	0,4	9,50	5,80	5,88	1,5
2,50	*	*	*	9,65	0,51	0,63	22,8
2,85	-21,61	-21,39	1,0	10,00	*	*	*
3,00	-12,44	-12,27	1,4	10,35	34,22	33,99	0,7
3,00	-11,63	-11,46	1,5	10,50	33,78	33,57	0,6
3,50	9,70	9,75	0,5	10,50	33,63	33,43	0,6
3,50	10,62	10,66	0,4	11,00	25,63	25,55	0,3
4,00	25,09	25,02	0,3	11,00	25,09	25,02	0,3
4,00	25,63	25,55	0,3	11,50	10,62	10,66	0,4
4,50	33,63	33,43	0,6	11,50	9,70	9,75	0,5
4,50	33,78	33,57	0,6	12,00	-11,63	-11,46	1,5
4,65	34,22	33,99	0,7	12,00	-12,44	-12,27	1,4
5,00	*	*	*	12,15	-21,61	-21,39	1,0
5,35	0,51	0,63	22,8	12,50	*	*	*
5,50	5,80	5,88	1,5	12,85	31,67	31,53	0,4
5,50	6,24	6,33	1,4	13,00	27,90	27,79	0,4
6,00	16,01	16,03	0,1	13,00	27,42	27,31	0,4
6,00	16,38	16,39	0,1	13,50	10,24	10,21	0,2
6,50	20,28	20,25	0,2	13,50	9,26	9,24	0,2
6,50	20,31	20,27	0,2	14,00	-12,58	-12,52	0,4
7,00	18,57	18,48	0,5	14,00	-13,63	-13,57	0,4
7,00	18,39	18,30	0,5	14,40	-34,67	-34,55	0,3
7,15	15,88	15,78	0,6	15,00	*	*	*
7,50	*	*	*				

\* valores não determinados

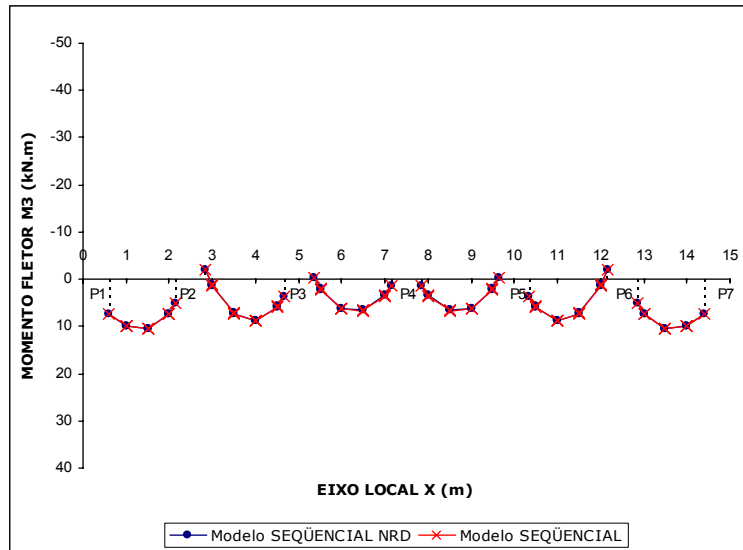


**FIGURA 8.5** - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 15º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 8.6** - Momentos Fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  na viga VF1 do 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

X (m)	M3 (kN.m)			X (m)	M3 (kN.m)		
	M3 <sub>S</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$		M3 <sub>S</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$
0,00	*	*	*	7,85	1,40	1,34	4,4
0,60	7,29	7,33	0,6	8,00	3,41	3,34	1,9
1,00	9,84	9,87	0,3	8,00	3,55	3,48	1,8
1,00	9,93	9,96	0,3	8,50	6,59	6,53	1,0
1,50	10,41	10,43	0,2	8,50	6,67	6,60	1,0
1,50	10,35	10,37	0,2	9,00	6,26	6,21	0,9
2,00	7,38	7,39	0,0	9,00	6,15	6,09	0,9
2,00	7,25	7,25	0,0	9,50	2,18	2,14	1,7
2,15	5,12	5,12	0,1	9,50	2,00	1,97	1,8
2,50	*	*	*	9,65	-0,41	-0,44	6,8
2,85	-2,09	-2,07	0,6	10,00	*	*	*
3,00	1,11	1,11	0,4	10,35	3,63	3,57	1,6
3,00	1,34	1,35	0,3	10,50	5,76	5,70	0,9
3,50	7,12	7,10	0,2	10,50	5,90	5,84	0,9
3,50	7,31	7,29	0,2	11,00	8,68	8,65	0,4
4,00	8,73	8,69	0,4	11,00	8,73	8,69	0,4
4,00	8,68	8,65	0,4	11,50	7,31	7,29	0,2
4,50	5,90	5,84	0,9	11,50	7,12	7,10	0,2
4,50	5,76	5,70	0,9	12,00	1,34	1,35	0,3
4,65	3,63	3,57	1,6	12,00	1,11	1,11	0,4
5,00	*	*	*	12,15	-2,09	-2,07	0,6
5,35	-0,41	-0,44	6,8	12,50	*	*	*
5,50	2,00	1,97	1,8	12,85	5,12	5,12	0,1
5,50	2,18	2,14	1,7	13,00	7,25	7,25	0,0
6,00	6,15	6,09	0,9	13,00	7,38	7,39	0,0
6,00	6,26	6,21	0,9	13,50	10,35	10,37	0,2
6,50	6,67	6,60	1,0	13,50	10,41	10,43	0,2
6,50	6,59	6,53	1,0	14,00	9,93	9,96	0,3
7,00	3,55	3,48	1,8	14,00	9,84	9,87	0,3
7,00	3,41	3,34	1,9	14,40	7,29	7,33	0,6
7,15	1,40	1,34	4,4	15,00	*	*	*
7,50	*	*	*				

\* valores não determinados



**FIGURA 8.6** - Momentos Fletores M3 na viga VF1 do 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

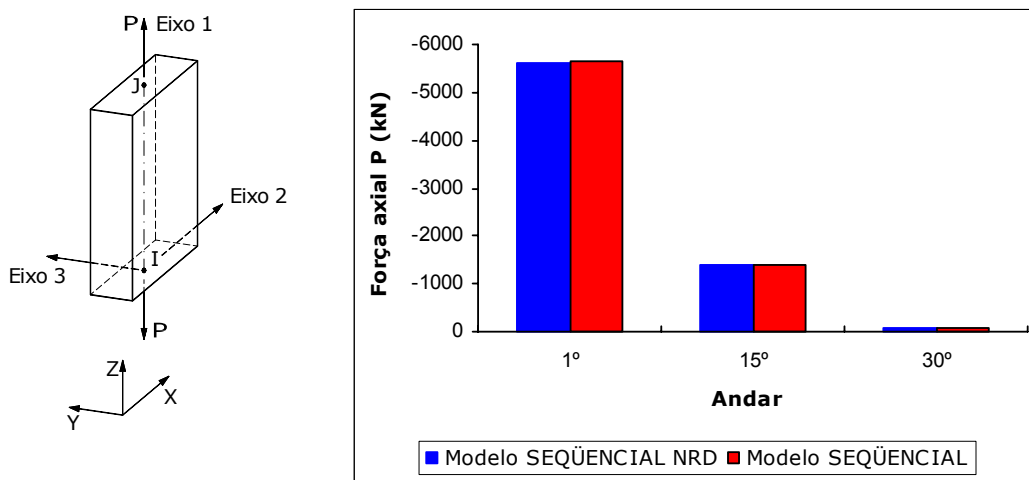
### 8.1.3 - Forças Axiais no Pilar P3

Obtém-se os valores finais das forças axiais P no pilar P3 do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $P_S$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $P_{SNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados na TABELA 8.7. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta P\%$  das forças axiais P entre os dois modelos (ver equação 8.1).

**TABELA 8.7** - Forças axiais P e diferenças percentuais  $\Delta P\%$  no pilar P3 para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Z (m)	ANDAR	P (kN)		
		$P_S$	$P_{SNRD}$	$\Delta P\%$
0	1º	-5635,24	-5629,98	0,1
51,5	15º	-1377,42	-1375,52	0,1
104	30º	-58,45	-58,35	0,2

Com os valores da TABELA 8.7 obtém-se o gráfico mostrado na FIGURA 8.7.



**FIGURA 8.7** - Forças axiais P no pilar P3 para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores da TABELA 8.7 e do gráfico mostrado na FIGURA 8.7, verifica-se que as diferenças percentuais  $\Delta P\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas.

### 8.1.4 - Momentos Fletores no Pilar P3

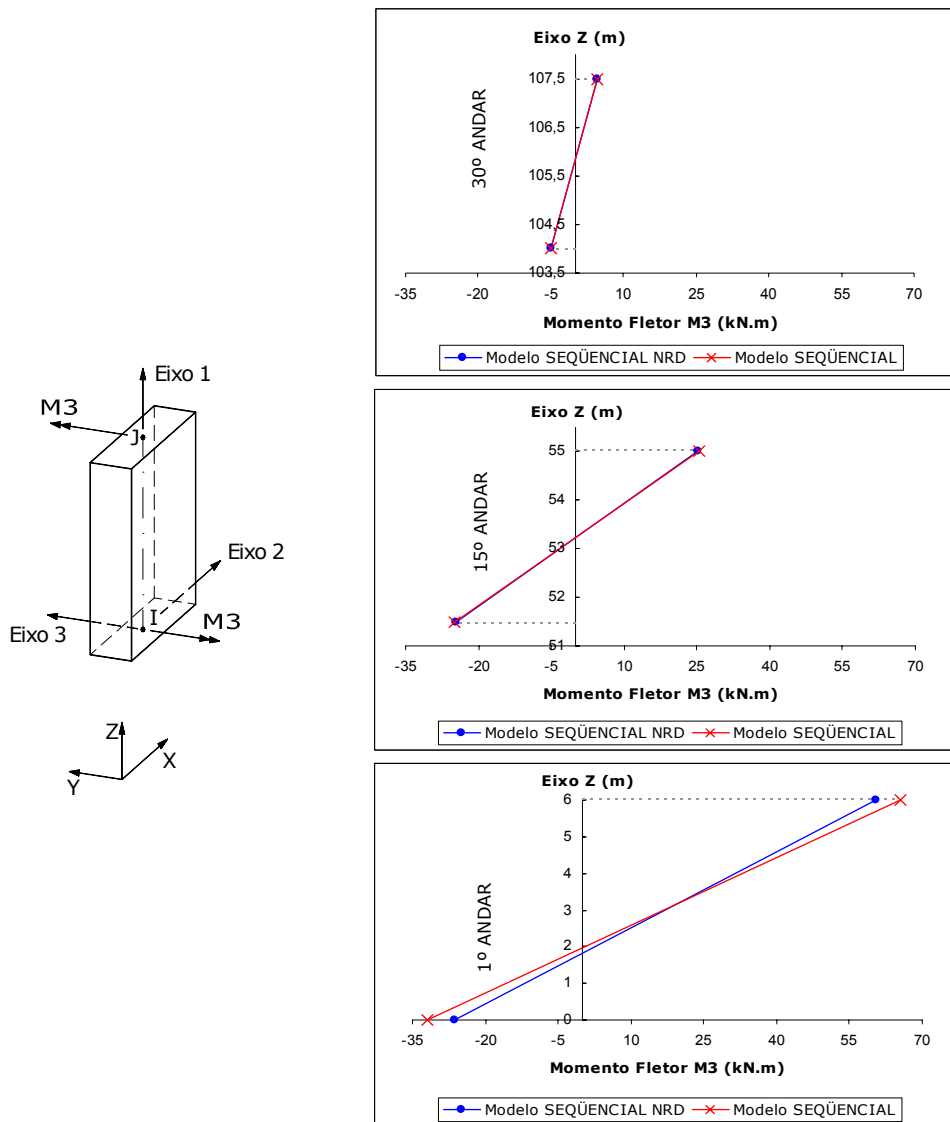
Obtém-se os valores finais dos momentos fletores  $M_3$  no pilar P3 do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $M_{3S}$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $M_{3SNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados na TABELA 8.8. Nesta tabela são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_3\%$  dos momentos fletores  $M_3$  entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Com os valores da TABELA 8.8 obtém-se o gráfico mostrado na FIGURA 8.8, onde verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_3\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas no 15º e 30º andar;
- b) todavia, o mesmo não ocorre no 1º andar onde a diferença percentual  $\Delta M_3\%$  é igual a 17,1% na cota  $Z = 0$ .

**TABELA 8.8** - Momentos fletores M3 e diferenças percentuais  $\Delta M3\%$  no pilar P3 para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Z (m)	ANDAR	M3 (kN)		
		M3 <sub>S</sub>	M3 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M3\%$
0	1°	-31,81	-26,37	17,1
6		65,66	60,57	7,8
51,5	15°	-24,91	-24,73	0,7
55		25,38	25,19	0,7
104	30°	-4,96	-4,91	1,1
107,5		4,70	4,64	1,2

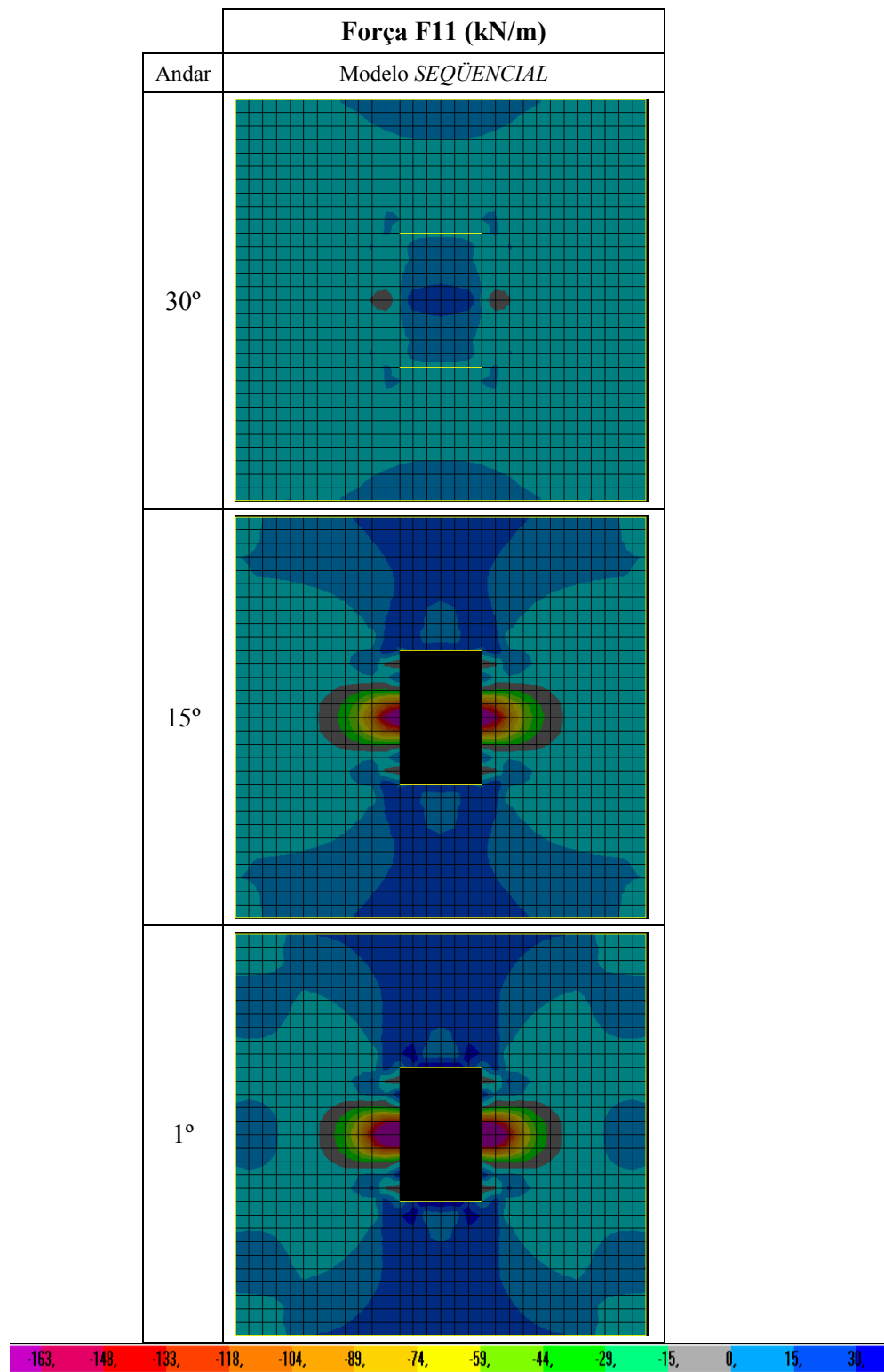


**FIGURA 8.8** - Momentos Fletores M3 no pilar P3 para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

### **8.1.5 - Forças F11 e F22 nas Lajes**

Apresentam-se gráficos gerados pelo programa SAP2000, da força F11 (FIGURA 8.11) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *SEQÜENCIAL* (FIGURA 8.9). Estes gráficos permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que o modelo *SEQÜENCIAL NRD* é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

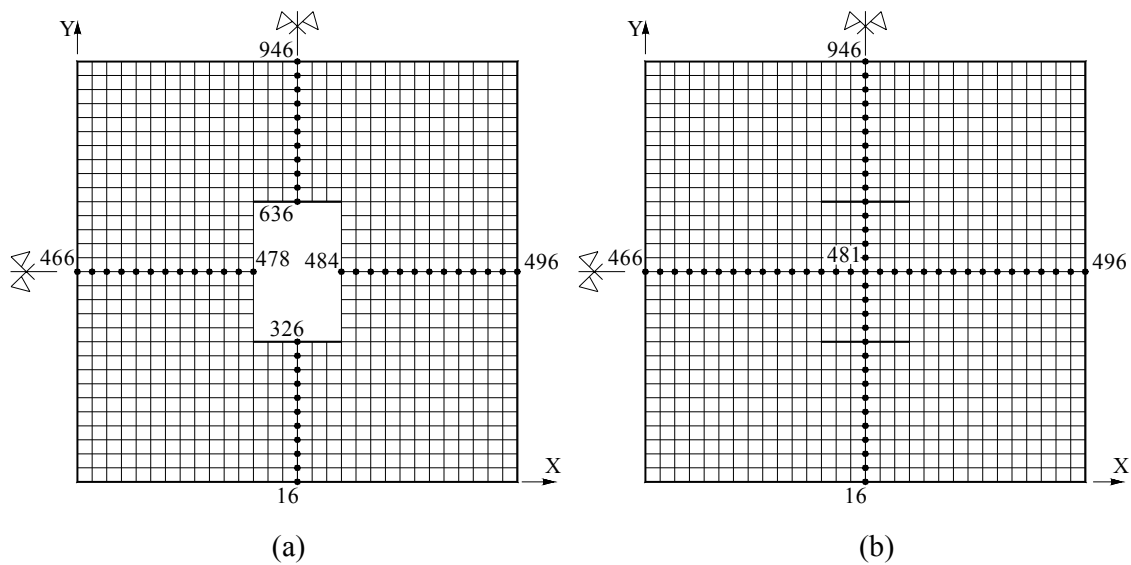




**FIGURA 8.9** - Gráficos da força F11 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para o modelo SEQÜENCIAL

Obtém-se os valores finais das forças F11 ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo SEQUENCIAL (F11<sub>s</sub>). Esses valores são mostrados nas tabelas 8.9 a 8.11.

Os valores das forças apresentadas nas tabelas 8.9, 8.10 e 8.11 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção X conforme pode ser visto na FIGURA 8.10.

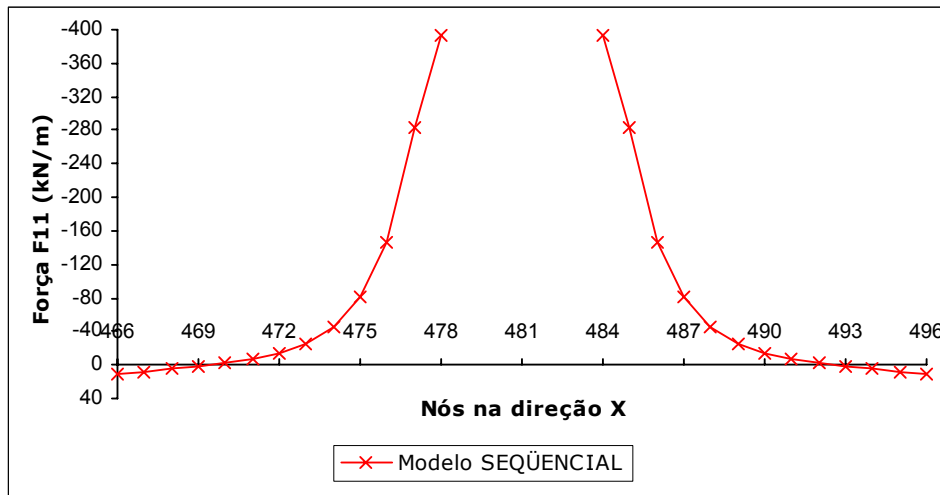
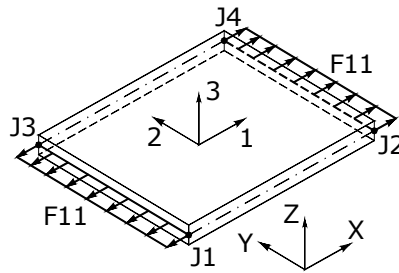


**FIGURA 8.10** - Nós nos eixos de simetria da laje do 1º e 15º andar (a) e 30º andar (b)

Os gráficos das figuras 8.11 a 8.13 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.9 a 8.11, respectivamente.

**TABELA 8.9** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para o modelo SEQÜENCIAL

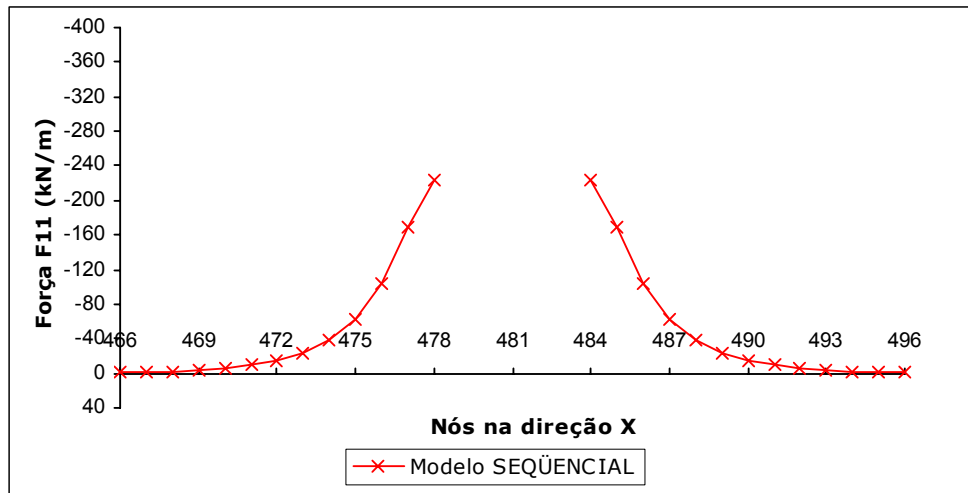
F11 (kN/m)		F11 (kN/m)	
Nó	F11 <sub>s</sub>	Nó	F11 <sub>s</sub>
466	10,71	484	-394,30
467	8,12	485	-282,24
468	4,04	486	-145,94
469	0,78	487	-80,33
470	-2,44	488	-45,25
471	-7,08	489	-25,46
472	-13,76	490	-13,76
473	-25,46	491	-7,08
474	-45,25	492	-2,44
475	-80,33	493	0,78
476	-145,94	494	4,04
477	-282,24	495	8,12
478	-394,30	496	10,71



**FIGURA 8.11** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para o modelo SEQÜENCIAL

**TABELA 8.10** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para o modelo SEQÜENCIAL

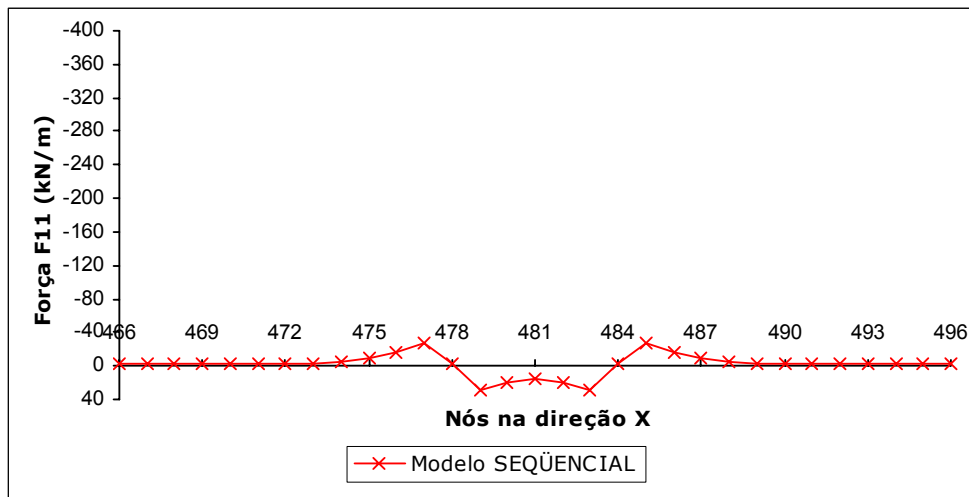
F11 (kN/m)		F11 (kN/m)	
Nó	F11 <sub>s</sub>	Nó	F11 <sub>s</sub>
466	-0,41	484	-223,78
467	-0,73	485	-169,75
468	-1,86	486	-103,18
469	-3,45	487	-61,96
470	-5,62	488	-37,81
471	-9,13	489	-23,29
472	-14,38	490	-14,38
473	-23,29	491	-9,13
474	-37,81	492	-5,62
475	-61,96	493	-3,45
476	-103,18	494	-1,86
477	-169,75	495	-0,73
478	-223,78	496	-0,41



**FIGURA 8.12** - Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para o modelo SEQÜENCIAL

**TABELA 8.11-** Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para o modelo *SEQÜENCIAL*

F11 (kN/m)		F11 (kN/m)	
Nó	F11 <sub>s</sub>	Nó	F11 <sub>s</sub>
466	-2,46	482	20,21
467	-2,08	483	28,48
468	-1,75	484	-2,87
469	-1,60	485	-26,41
470	-1,63	486	-15,49
471	-1,90	487	-9,13
472	-2,39	488	-5,54
473	-3,49	489	-3,49
474	-5,54	490	-2,39
475	-9,13	491	-1,90
476	-15,49	492	-1,63
477	-26,41	493	-1,60
478	-2,87	494	-1,75
479	28,48	495	-2,08
480	20,21	496	-2,46
481	15,79		



**FIGURA 8.13 -** Forças F11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para o modelo *SEQÜENCIAL*

Conforme comentado anteriormente, não há como comparar as forças F11 entre os modelos *SEQUENCIAL* e *SEQUENCIAL NRD*, pois o ultimo é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando *DIAPHRAGM CONSTRAINT* (item 6.1).

---

Apresentam-se, agora, os gráficos gerados pelo programa SAP2000, da força F22 (FIGURA 8.15) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *SEQÜENCIAL* (FIGURA 8.14). Estes gráficos também permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que o modelo *SEQÜENCIAL NRD* também é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

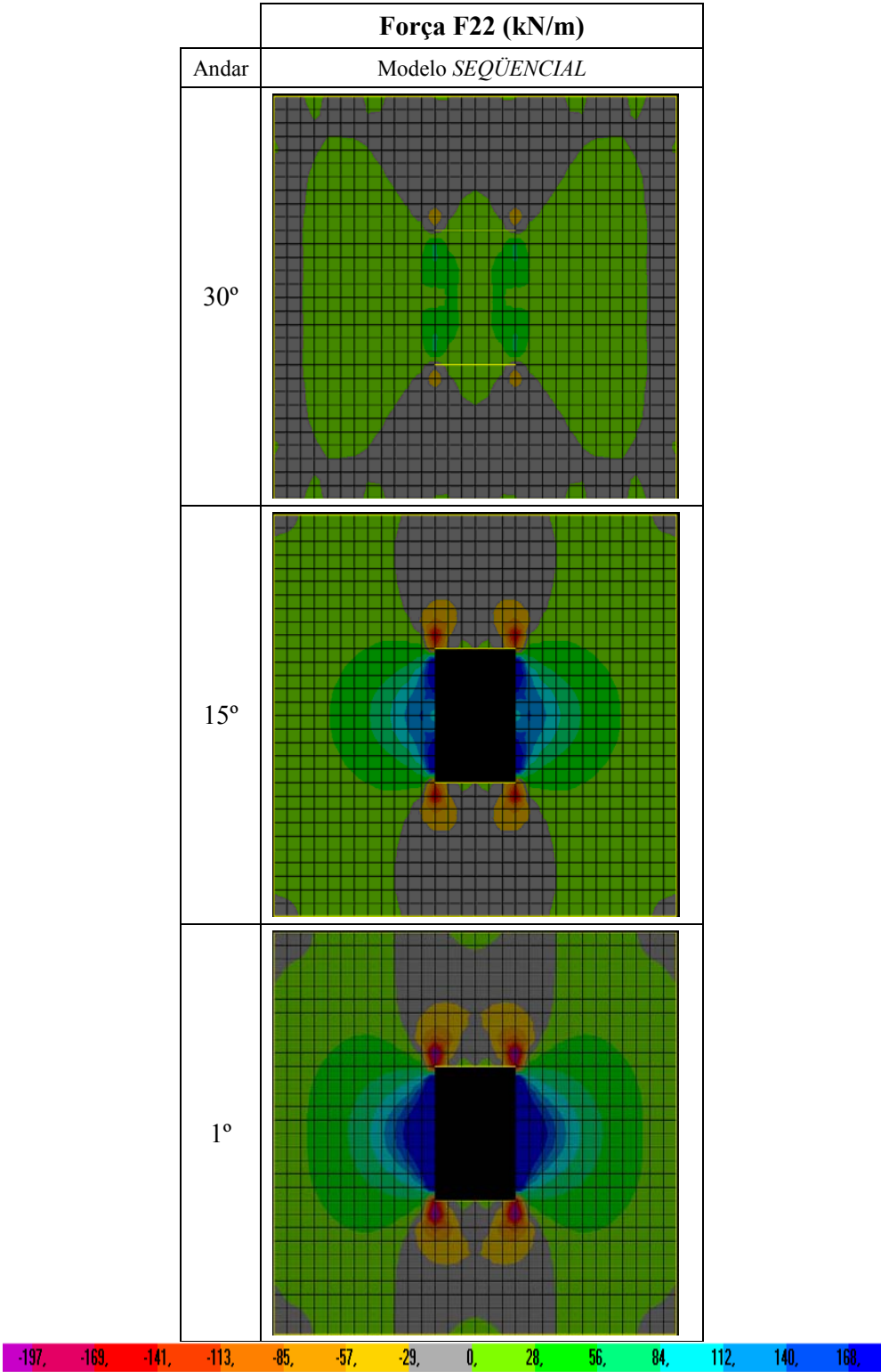


FIGURA 8.14 - Gráficos da força F22 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para o modelo SEQÜENCIAL

Obtém-se, agora, os valores finais das forças F22 ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *SEQÜENCIAL* (F22<sub>s</sub>). Esses valores são mostrados nas tabelas 8.12 a 8.14.

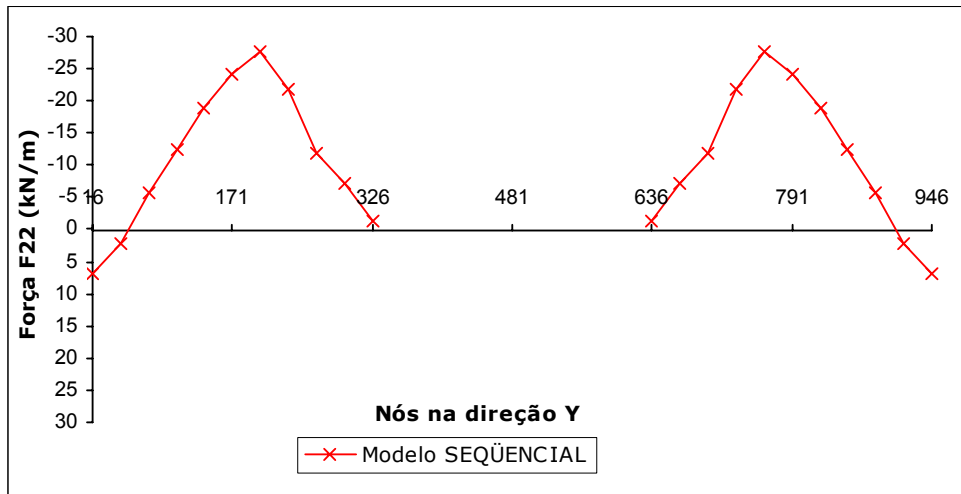
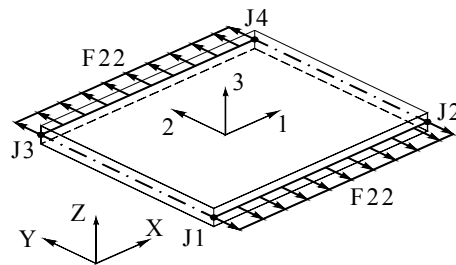
Os valores das forças apresentadas nas tabelas 8.12, 8.13 e 8.14 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção Y, conforme pode ser visto na FIGURA 8.10.

Os gráficos das figuras 8.15, 8.16 e 8.17 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.12, 8.13 e 8.14, respectivamente.



**TABELA 8.12** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para o modelo SEQÜENCIAL

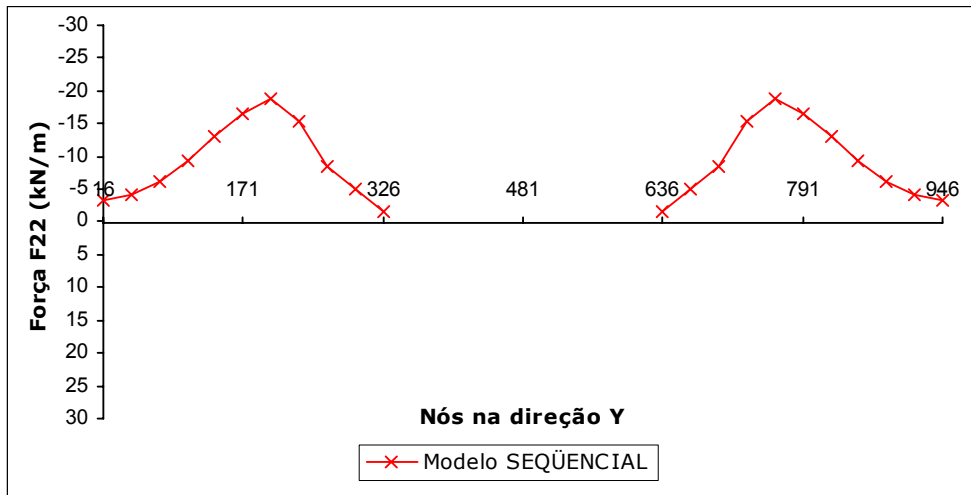
F22 (kN/m)		F22 (kN/m)	
Nó	F22 <sub>s</sub>	Nó	F22 <sub>s</sub>
16	6,85	636	-1,42
47	2,17	667	-7,06
78	-5,60	698	-11,80
109	-12,32	729	-21,94
140	-18,89	760	-27,52
171	-24,19	791	-24,19
202	-27,52	822	-18,89
233	-21,94	853	-12,32
264	-11,80	884	-5,60
295	-7,06	915	2,17
326	-1,42	946	6,85



**FIGURA 8.15** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para o modelo SEQÜENCIAL

**TABELA 8.13** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para o modelo *SEQÜENCIAL*

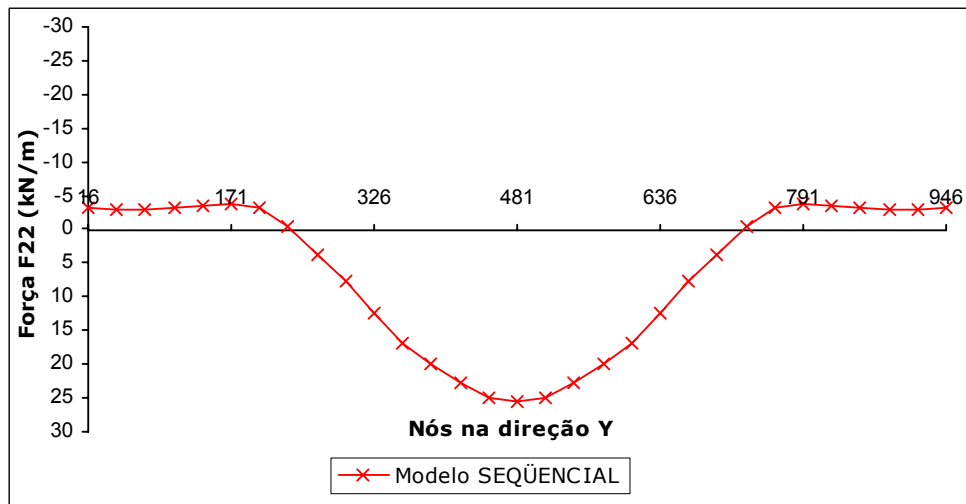
F22 (kN/m)		F22 (kN/m)	
Nó	F22 <sub>s</sub>	Nó	F22 <sub>s</sub>
16	-3,40	636	-1,45
47	-4,12	667	-5,10
78	-6,10	698	-8,42
109	-9,29	729	-15,28
140	-13,11	760	-18,85
171	-16,49	791	-16,49
202	-18,85	822	-13,11
233	-15,28	853	-9,29
264	-8,42	884	-6,10
295	-5,10	915	-4,12
326	-1,45	946	-3,40



**FIGURA 8.16** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para o modelo *SEQÜENCIAL*

**TABELA 8.14** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para o modelo SEQÜENCIAL

F22 (kN/m)		F22 (kN/m)	
Nó	F22 <sub>s</sub>	Nó	F22 <sub>s</sub>
16	-3,20	512	24,99
47	-2,93	543	22,70
78	-2,83	574	19,94
109	-3,09	605	16,78
140	-3,53	636	12,35
171	-3,65	667	7,69
202	-3,17	698	3,68
233	-0,49	729	-0,49
264	3,68	760	-3,17
295	7,69	791	-3,65
326	12,35	822	-3,53
357	16,78	853	-3,09
388	19,94	884	-2,83
419	22,70	915	-2,93
481	24,99	946	-3,20

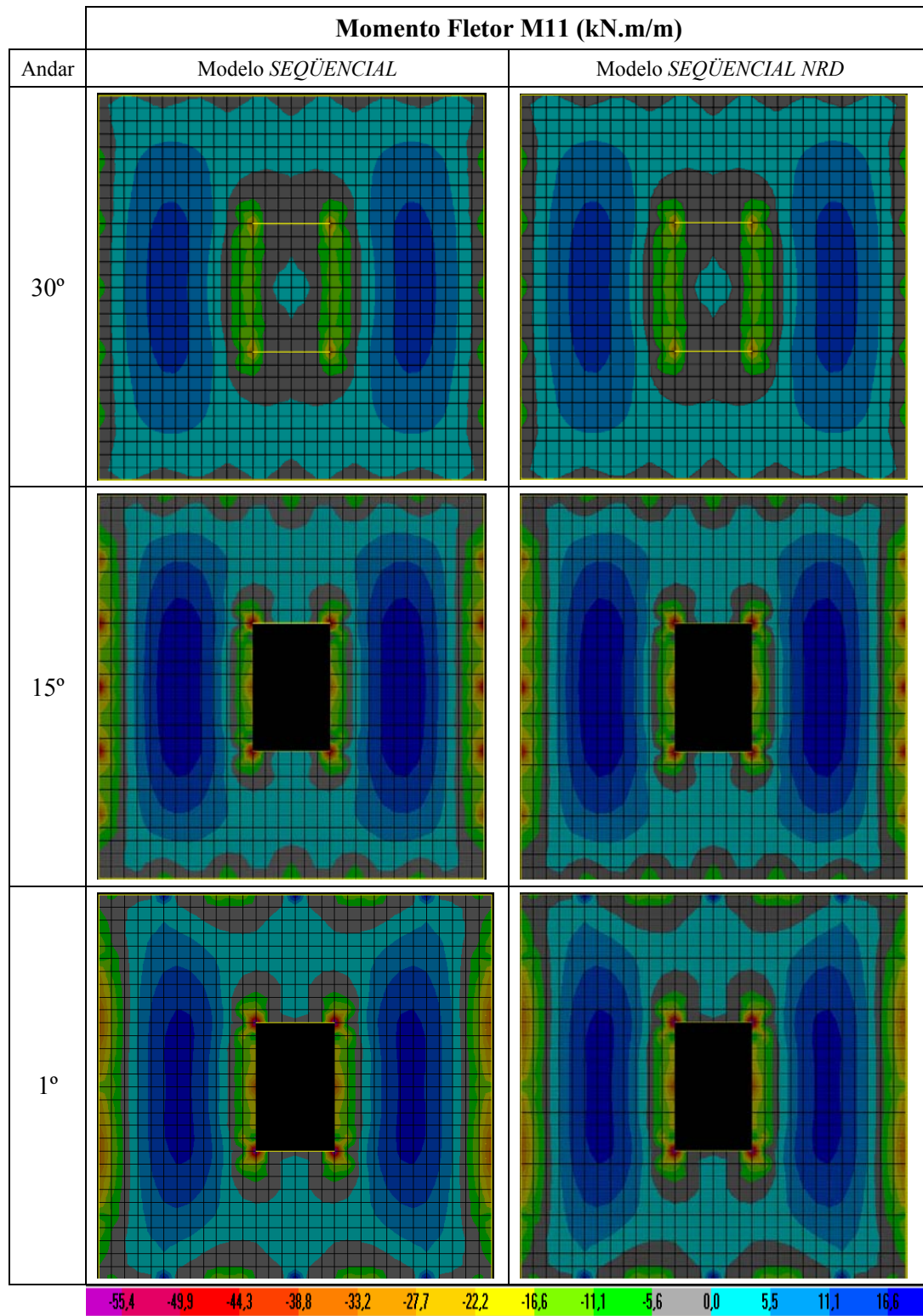


**FIGURA 8.17** - Forças F22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para o modelo SEQÜENCIAL

Conforme comentado anteriormente, não há também como comparar as forças F22 entre os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD, pois o ultimo é incapaz de avaliar estas forças devido ao uso do comando DIAPHRAGM CONSTRAINT (item 6.1).

### **8.1.6 - Momentos Fletores M11 e M22 nas Lajes**

Apresentam-se, a seguir, os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores M11 (FIGURA 8.19) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* (FIGURA 8.18). Estes gráficos permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que, em cada andar, eles são praticamente coincidentes.



**FIGURA 8.18** - Gráficos do momento fletor M11 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

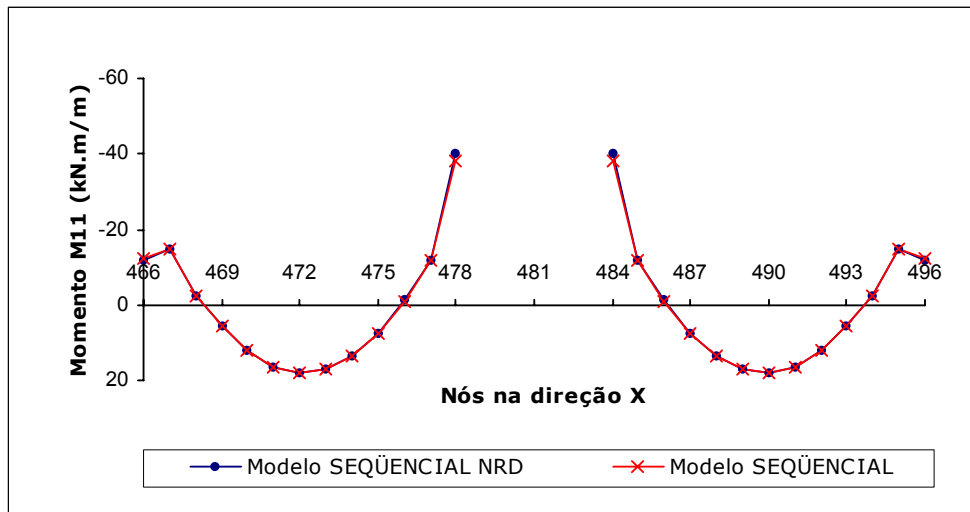
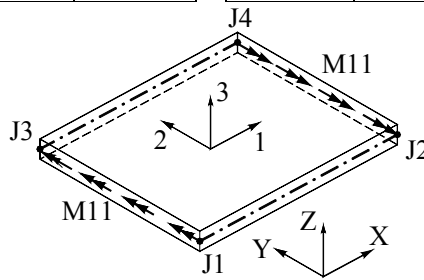
Obtém-se os valores finais dos momentos fletores  $M_{11}$  ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $M_{11s}$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $M_{11SNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.15 a 8.17. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_{11}\%$  dos momentos fletores  $M_{11}$  entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 8.15 a 8.17 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção X (FIGURA 8.10).

Os gráficos das figuras 8.19, 8.20 e 8.21 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.15, 8.16 e 8.17, respectivamente.

**TABELA 8.15** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

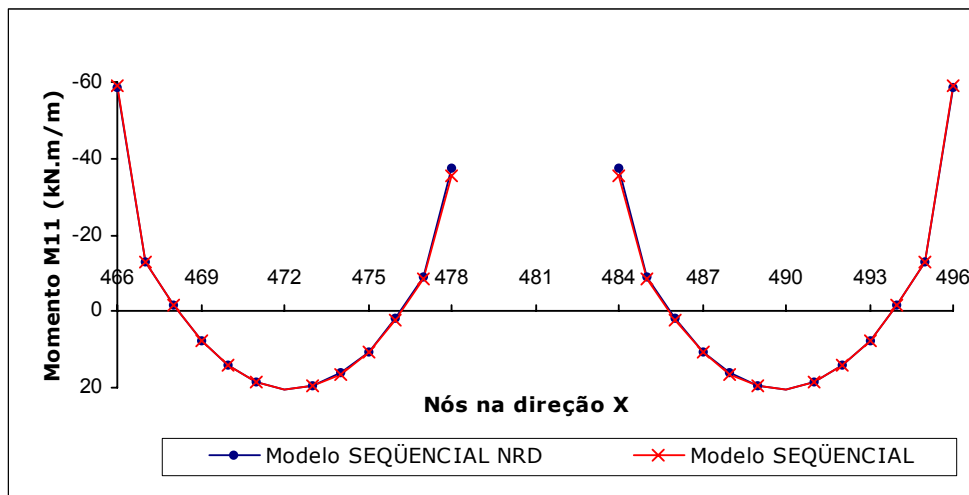
Nó	M11 (kN.m/m)			Nó	M11 (kN.m/m)		
	M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M11\%$		M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M11\%$
466	-12,06	-12,01	0,4	484	-38,37	-39,97	4,2
467	-14,98	-14,92	0,4	485	-11,59	-12,03	3,8
468	-2,57	-2,54	1,2	486	-0,94	-1,18	25,6
469	5,69	5,70	0,2	487	7,52	7,37	2,1
470	12,24	12,23	0,1	488	13,54	13,42	0,9
471	16,36	16,33	0,2	489	17,06	16,97	0,5
472	18,00	17,94	0,3	490	18,00	17,94	0,3
473	17,06	16,97	0,5	491	16,36	16,33	0,2
474	13,54	13,42	0,9	492	12,24	12,23	0,1
475	7,52	7,37	2,1	493	5,69	5,70	0,2
476	-0,94	-1,18	25,6	494	-2,57	-2,54	1,2
477	-11,59	-12,03	3,8	495	-14,98	-14,92	0,4
478	-38,37	-39,97	4,2	496	-12,06	-12,01	0,4



**FIGURA 8.19** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção X, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 8.16** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Nó	M11 (kN.m/m)			Nó	M11 (kN.m/m)		
	M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	ΔM11%		M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	ΔM11%
466	-58,86	-58,54	0,6	484	-35,46	-37,34	5,3
467	-12,78	-12,66	0,9	485	-8,54	-9,13	6,9
468	-1,75	-1,67	4,5	486	2,29	1,95	15,0
469	7,55	7,59	0,5	487	10,66	10,43	2,2
470	14,27	14,28	0,0	488	16,45	16,28	1,0
471	18,57	18,53	0,2	489	19,70	19,58	0,6
472	20,39	20,32	0,4	490	20,39	20,32	0,4
473	19,70	19,58	0,6	491	18,57	18,53	0,2
474	16,45	16,28	1,0	492	14,27	14,28	0,0
475	10,66	10,43	2,2	493	7,55	7,59	0,5
476	2,29	1,95	15,0	494	-1,75	-1,67	4,5
477	-8,54	-9,13	6,9	495	-12,78	-12,66	0,9
478	-35,46	-37,34	5,3	496	-58,86	-58,54	0,6

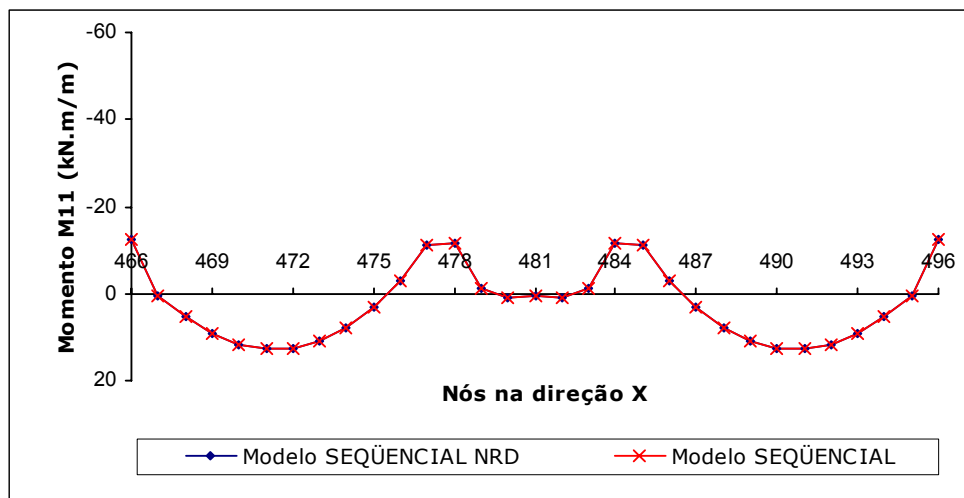


**FIGURA 8.20** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção X, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*



**TABELA 8.17** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Nó	M11 (kN.m/m)			Nó	M11 (kN.m/m)		
	M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	ΔM11%		M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	ΔM11%
466	-12,55	-12,52	0,3	482	0,80	0,79	1,3
467	0,49	0,51	2,4	483	-1,06	-1,00	6,4
468	5,43	5,44	0,1	484	-11,63	-11,73	0,8
469	9,23	9,23	0,0	485	-10,96	-10,97	0,1
470	11,70	11,70	0,0	486	-2,90	-2,93	0,8
471	12,84	12,83	0,1	487	3,09	3,07	0,8
472	12,60	12,58	0,1	488	7,74	7,71	0,3
473	10,91	10,89	0,2	489	10,91	10,89	0,2
474	7,74	7,71	0,3	490	12,60	12,58	0,1
475	3,09	3,07	0,8	491	12,84	12,83	0,1
476	-2,90	-2,93	0,8	492	11,70	11,70	0,0
477	-10,96	-10,97	0,1	493	9,23	9,23	0,0
478	-11,63	-11,73	0,8	494	5,43	5,44	0,1
479	-1,06	-1,00	6,4	495	0,49	0,51	2,4
480	0,80	0,79	1,3	496	-12,55	-12,52	0,3
481	0,40	0,39	3,4				

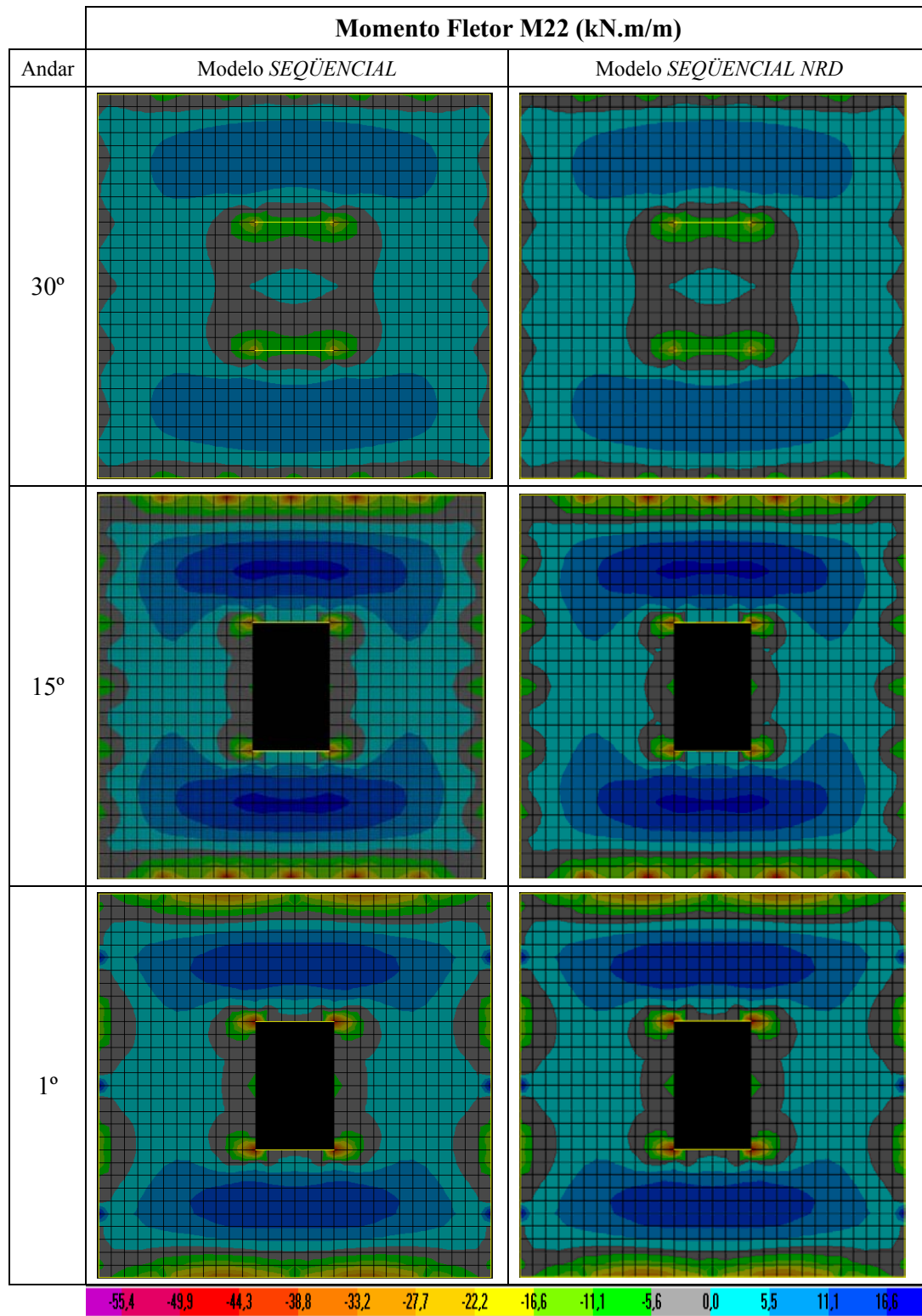


**FIGURA 8.21** - Momentos fletores M11 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção X, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 8.15, 8.16 e 8.17 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.19, 8.20 e 8.21, verifica-se que:

- a) no 1º andar as diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto nos nós 476 e 486 onde a diferença percentual é igual a 25,6% devido aos valores pequenos dos momentos  $M11s$ ;
- b) no 15º andar as diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  também são pequenas, exceto nos nós 476 e 486 que são de 15,0%, o que não é preocupante face aos valores pequenos dos momentos  $M11s$ ;
- c) no 30º andar as diferenças percentuais são pequenas atingindo no máximo 6,4%.

Apresentam-se, agora, os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores  $M22$  (FIGURA 8.23) nas lajes do 1º, 15º e 30º andar para o modelo *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* (FIGURA 8.22). Estes gráficos permitem uma visualização do comportamento da laje como um todo. Note-se que, em cada andar, eles são praticamente coincidentes.



**FIGURA 8.22** - Gráficos do momento fletor M22 nas lajes do 1°, 15° e 30° andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

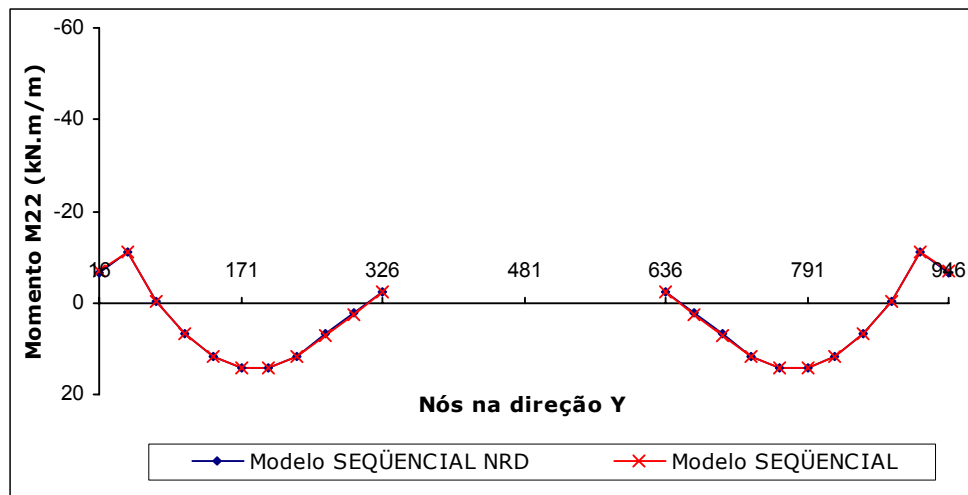
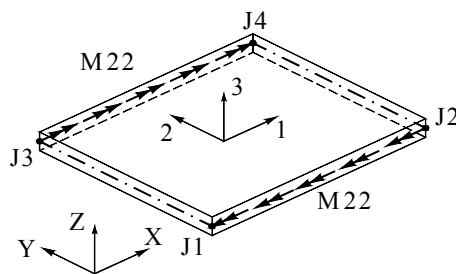
Obtém-se, agora, os valores finais dos momentos fletores  $M_{22}$  ao longo dos eixos de simetria das lajes do 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $M_{22s}$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $M_{22_{SNRD}}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.18 a 8.20. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M_{22}\%$  dos momentos fletores  $M_{22}$  entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 8.18 a 8.20 referem-se aos nós do eixo de simetria da laje na direção Y (FIGURA 8.10).

Os gráficos das figuras 8.23, 8.24 e 8.25 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.18, 8.19 e 8.20, respectivamente.

**TABELA 8.18** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

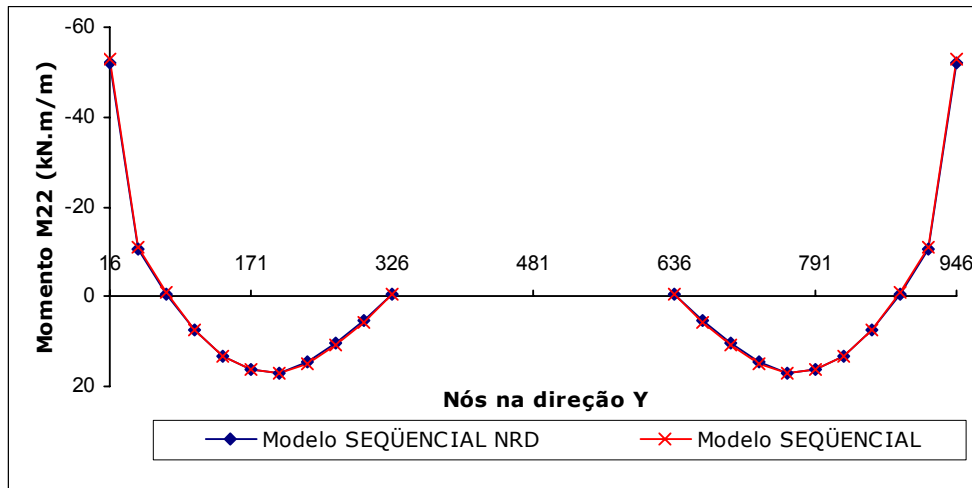
Nó	M22 (kN.m/m)			Nó	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>s</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	ΔM22%		M22 <sub>s</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	ΔM22%
16	-6,80	-6,62	2,7	636	-2,32	-2,49	7,2
47	-11,08	-10,92	1,4	667	2,38	2,15	9,9
78	-0,29	-0,18	37,5	698	7,11	6,89	3,1
109	6,54	6,60	0,9	729	11,70	11,54	1,4
140	11,69	11,70	0,1	760	14,38	14,28	0,7
171	14,36	14,31	0,3	791	14,36	14,31	0,3
202	14,38	14,28	0,7	822	11,69	11,70	0,1
233	11,70	11,54	1,4	853	6,54	6,60	0,9
264	7,11	6,89	3,1	884	-0,29	-0,18	37,5
295	2,38	2,15	9,9	915	-11,08	-10,92	1,4
326	-2,32	-2,49	7,2	946	-6,80	-6,62	2,7



**FIGURA 8.23** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 1º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.19** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

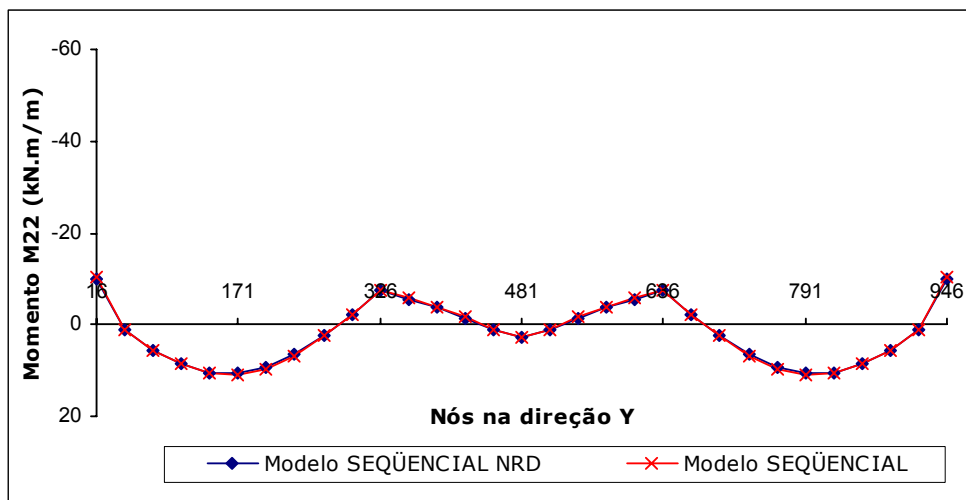
Nó	M22 (kN.m/m)			Nó	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>s</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	ΔM22%		M22 <sub>s</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	ΔM22%
16	-52,80	-52,24	1,1	636	-0,44	-0,64	46,3
47	-10,85	-10,65	1,8	667	5,61	5,32	5,3
78	-0,81	-0,67	16,4	698	10,73	10,44	2,7
109	7,50	7,56	0,9	729	14,92	14,70	1,4
140	13,22	13,23	0,0	760	17,01	16,88	0,8
171	16,44	16,37	0,4	791	16,44	16,37	0,4
202	17,01	16,88	0,8	822	13,22	13,23	0,0
233	14,92	14,70	1,4	853	7,50	7,56	0,9
264	10,73	10,44	2,7	884	-0,81	-0,67	16,4
295	5,61	5,32	5,3	915	-10,85	-10,65	1,8
326	-0,44	-0,64	46,3	946	-52,80	-52,24	1,1



**FIGURA 8.24** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 15º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 8.20** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Nó	M22 (kN.m/m)			Nó	M22 (kN.m/m)		
	M22 <sub>s</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	ΔM22%		M22 <sub>s</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	ΔM22%
16	-10,27	-10,13	1,4	512	1,05	1,11	5,7
47	1,20	1,25	4,0	543	-1,62	-1,53	5,6
78	5,48	5,51	0,5	574	-3,83	-3,74	2,4
109	8,63	8,63	0,0	605	-5,65	-5,62	0,6
140	10,42	10,39	0,2	636	-7,39	-7,47	1,1
171	10,77	10,72	0,5	667	-2,11	-2,28	8,0
202	9,56	9,48	0,9	698	2,50	2,35	6,3
233	6,71	6,58	1,8	729	6,71	6,58	1,8
264	2,50	2,35	6,3	760	9,56	9,48	0,9
295	-2,11	-2,28	8,0	791	10,77	10,72	0,5
326	-7,39	-7,47	1,1	822	10,42	10,39	0,2
357	-5,65	-5,62	0,6	853	8,63	8,63	0,0
388	-3,83	-3,74	2,4	884	5,48	5,51	0,5
419	-1,62	-1,53	5,6	915	1,20	1,25	4,0
450	1,05	1,11	5,7	946	-10,27	-10,13	1,4
481	2,85	2,85	0,2				



**FIGURA 8.25** - Momentos fletores M22 ao longo do eixo de simetria da laje do 30º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

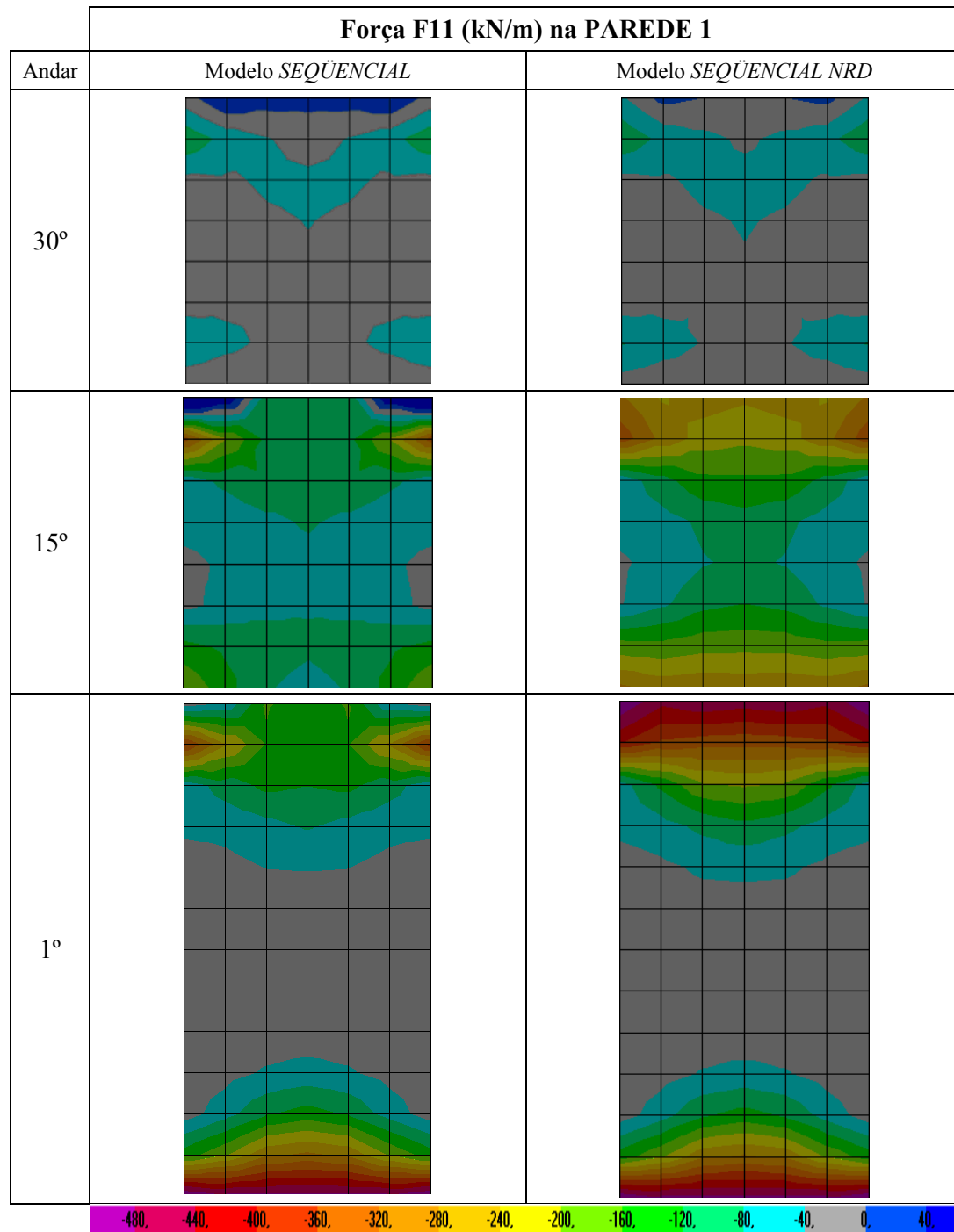
A partir dos valores das tabelas 8.18, 8.19 e 8.20 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.23, 8.24 e 8.25, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_{22\%}$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são pequenas;
- b) a diferença percentual igual a 37,5% que aparece no 1º andar e as diferenças percentuais iguais a 46,3% e 16,4% que aparecem no 15º andar, são devidas aos valores pequenos dos momentos  $M_{22s}$ .

### **8.1.7 - Forças F11 e F22 nas Paredes do Núcleo Central**

Apresentam-se na FIGURA 8.26 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças F11 (FIGURA 8.28) na PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 1 como um todo.

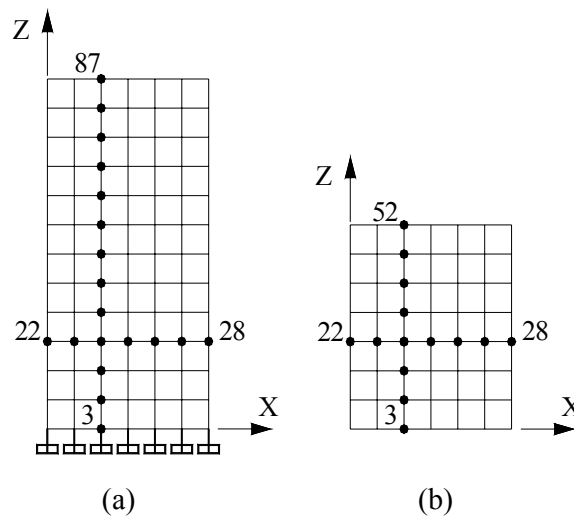




**FIGURA 8.26** - Gráficos da força F11 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

Obtém-se os valores finais das forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $F11_s$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $F11_{SNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.21 a 8.23. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F11\%$  das forças F11 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 8.21 a 8.23 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central na direção X (FIGURA 8.27).

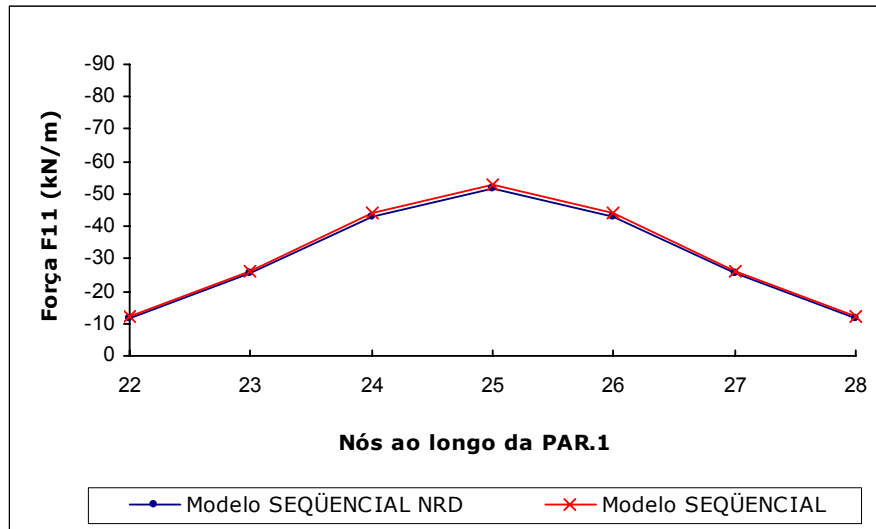
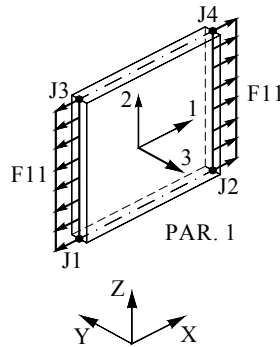


**FIGURA 8.27** - Nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar (a) e no 15º e 30º andar (b)

Os gráficos das figuras 8.28 a 8.30 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.21 a 8.23, respectivamente.

**TABELA 8.21** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção X, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

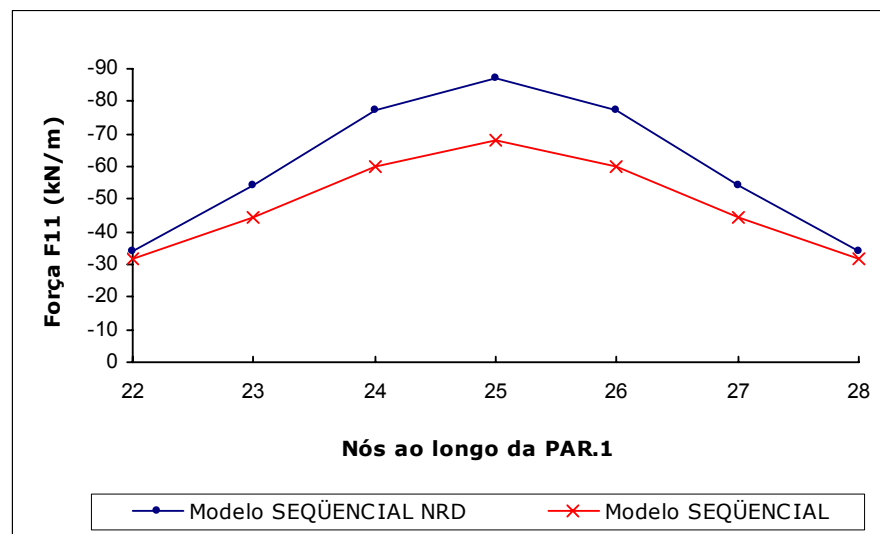
Nó	F11 (kN/m)		
	F11 <sub>s</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
22	-12,30	-11,67	5,1
23	-26,33	-25,67	2,5
24	-44,37	-43,25	2,5
25	-52,92	-51,68	2,3
26	-44,37	-43,25	2,5
27	-26,33	-25,67	2,5
28	-12,30	-11,67	5,1



**FIGURA 8.28** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção X, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.22** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção X, para os modelos *SEQUENCIAL* e *SEQUENCIAL NRD*

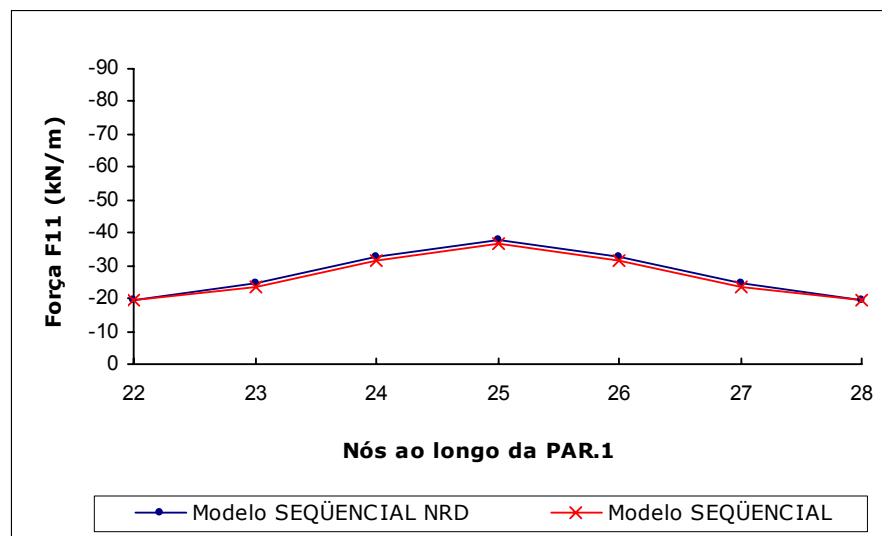
Nó	F11 (kN/m)		
	F11 <sub>s</sub>	F11 <sub>SNRD</sub>	ΔF11%
22	-31,82	-34,27	7,7
23	-44,33	-54,01	21,8
24	-60,28	-77,28	28,2
25	-67,89	-87,01	28,2
26	-60,28	-77,28	28,2
27	-44,33	-54,01	21,8
28	-31,82	-34,27	7,7



**FIGURA 8.29** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção X, para os modelos *SEQUENCIAL* e *SEQUENCIAL NRD*

**TABELA 8.23** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção X, para os modelos *SEQUENCIAL* e *SEQUENCIAL NRD*

Nó	F11 (kN/m)		
	F11 <sub>s</sub>	F11 <sub>NRD</sub>	ΔF11%
22	-19,29	-19,61	1,7
23	-23,68	-24,41	3,1
24	-31,28	-32,52	4,0
25	-36,76	-38,12	3,7
26	-31,28	-32,52	4,0
27	-23,68	-24,41	3,1
28	-19,29	-19,61	1,7



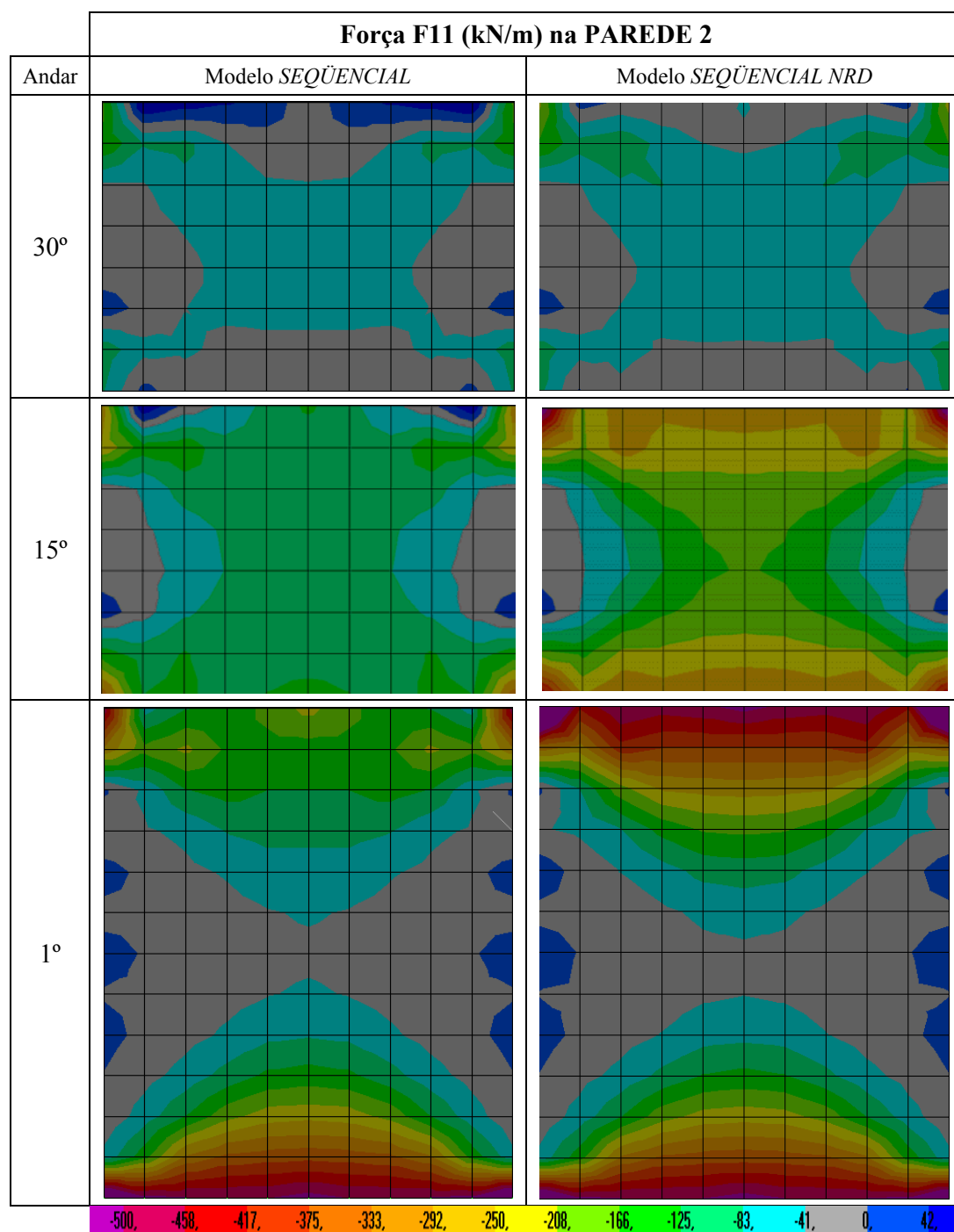
**FIGURA 8.30** - Forças F11 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção X, para os modelos *SEQUENCIAL* e *SEQUENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 8.21, 8.22 e 8.23 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.28, 8.29 e 8.30, verifica-se que:

- a) no 1° e 30° andar as diferenças percentuais  $\Delta F_{11}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são pequenas;
- b) no 15° andar as diferenças percentuais são significativas alcançando valores de 28,2% nos nós 24, 25 e 26.

Devido à simetria existente entre as paredes 2 e 3 serão apresentados apenas os gráficos relativos à PAR.2.

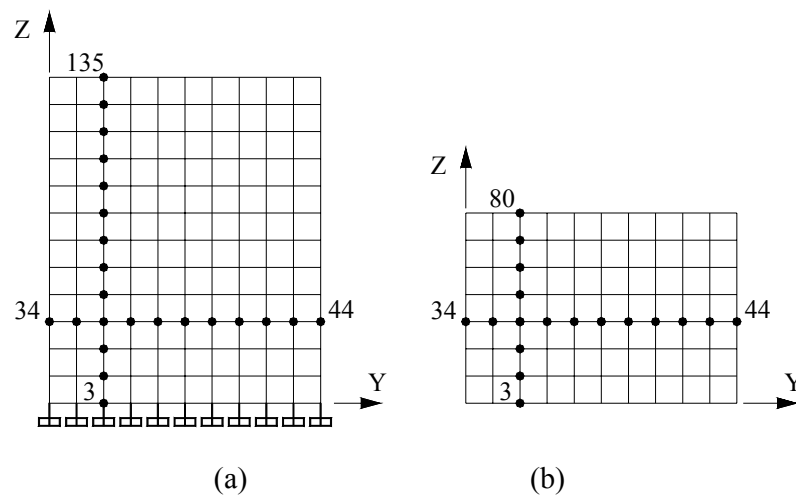
Apresentam-se na FIGURA 8.31 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças  $F_{11}$  (FIGURA 8.33) na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.



**FIGURA 8.31** - Gráficos da força F11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

Obtém-se os valores finais das forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* (F11<sub>s</sub>) e *SEQÜENCIAL NRD* (F11<sub>SNRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.24 a 8.26. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F11\%$  das forças F11 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 8.24 a 8.26 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Y (FIGURA 8.32).



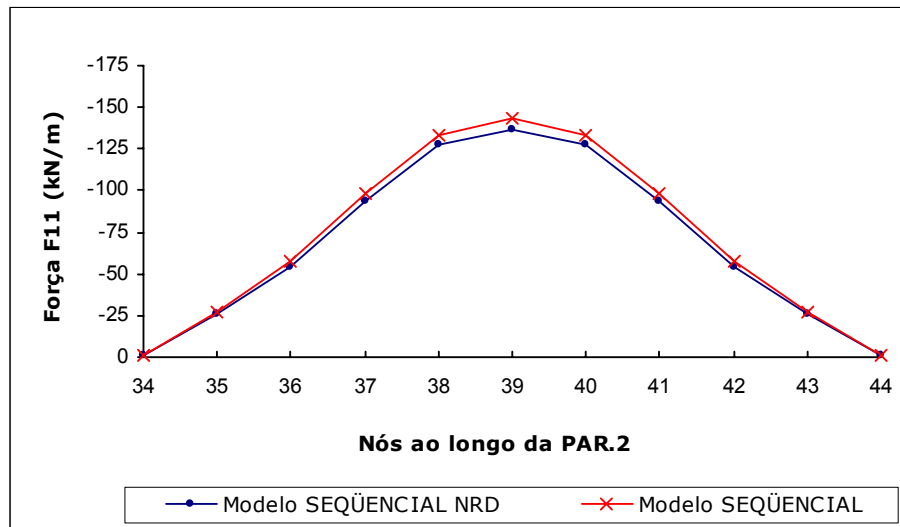
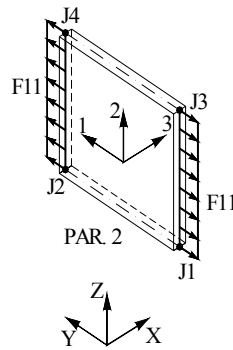
**FIGURA 8.32** - Nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar (a) e no 15º e 30º andar (b)

Os gráficos das figuras 8.33 a 8.35 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.24 a 8.26, respectivamente.



**TABELA 8.24** - Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

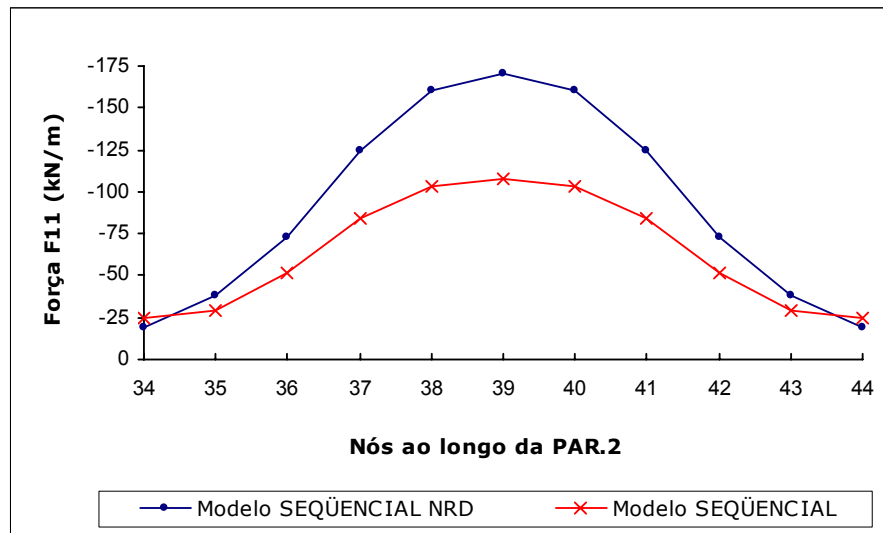
Nós	F11 <sub>s</sub>	F11 <sub>SNRD</sub>	ΔF11%
34	-1,39	-0,69	50,1
35	-26,87	-25,69	4,4
36	-57,10	-54,41	4,7
37	-97,99	-93,63	4,4
38	-133,03	-127,19	4,4
39	-142,97	-136,69	4,4
40	-133,03	-127,19	4,4
41	-97,99	-93,63	4,4
42	-57,10	-54,41	4,7
43	-26,87	-25,69	4,4
44	-1,39	-0,69	50,1



**FIGURA 8.33** - Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.25** - Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

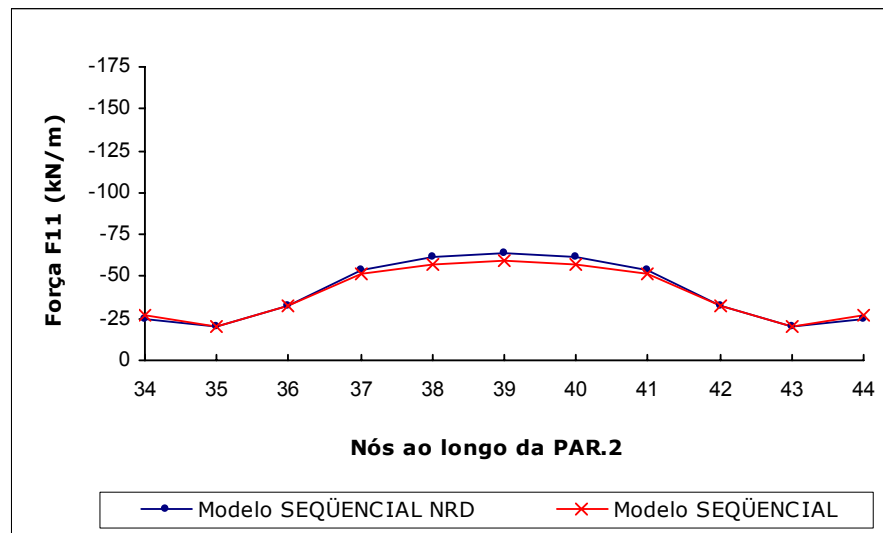
Nós	F11 <sub>s</sub>	F11 <sub>SNRD</sub>	ΔF11%
34	-24,87	-18,54	25,5
35	-29,52	-38,34	29,9
36	-51,10	-73,30	43,5
37	-84,26	-124,10	47,3
38	-102,94	-160,11	55,5
39	-107,74	-170,21	58,0
40	-102,94	-160,11	55,5
41	-84,26	-124,10	47,3
42	-51,10	-73,30	43,5
43	-29,52	-38,34	29,9
44	-24,87	-18,54	25,5



**FIGURA 8.34** - Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.26** - Forças F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Nós	F11 <sub>s</sub>	F11 <sub>SNRD</sub>	ΔF11%
34	-26,79	-25,16	6,1
35	-20,41	-20,30	0,5
36	-32,00	-32,62	1,9
37	-51,77	-53,73	3,8
38	-57,60	-61,39	6,6
39	-59,97	-64,42	7,4
40	-57,60	-61,39	6,6
41	-51,77	-53,73	3,8
42	-32,00	-32,62	1,9
43	-20,41	-20,30	0,5
44	-26,79	-25,16	6,1



**FIGURA 8.35** - Força F11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 8.24, 8.25 e 8.26 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.33, 8.34 e 8.35, verifica-se que:

- a) no 1º andar as diferenças percentuais  $\Delta F_{11}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são pequenas; a diferença percentual igual a 50,1% que aparece nos nós 34 e 44 é devida aos valores muito pequenos das forças  $F_{11}$ ;
- b) no 15º andar as diferenças percentuais são significativas alcançando o valor de 58,0% no nó 39;
- c) no 30º andar as diferenças percentuais reduzem significativamente, alcançando o valor máximo de 7,4% no nó 39.

Apresentam-se na FIGURA 8.36 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças  $F_{22}$  (FIGURA 8.37) na PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 1 como um todo.

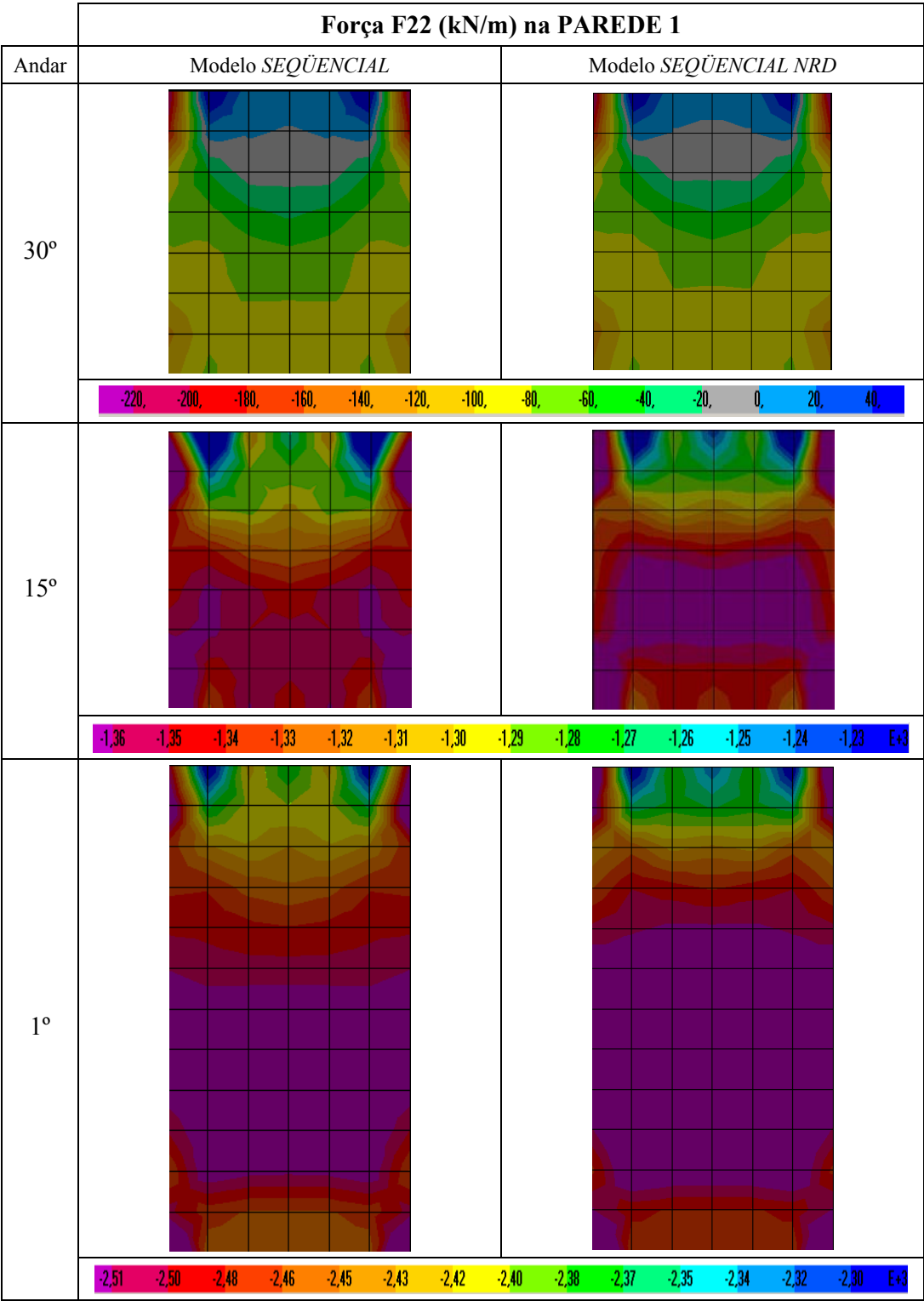


FIGURA 8.36 - Gráficos da força F22 na PAREDE 1 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

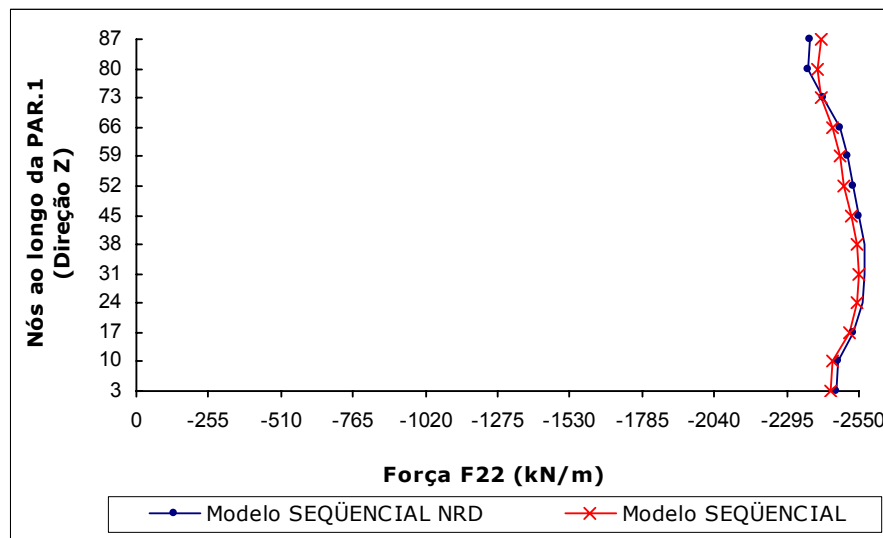
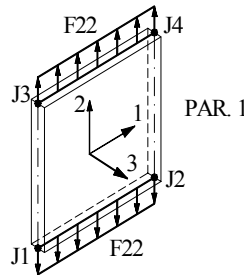
Obtém-se os valores das forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* (F22<sub>s</sub>) e *SEQÜENCIAL NRD* (F22<sub>SNRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.27 a 8.29. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F22\%$  das forças F22 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 8.27 a 8.29 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 1 do núcleo central na direção Z (FIGURA 8.27).

Os gráficos das figuras 8.37 a 8.39 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.27 a 8.29, respectivamente.

**TABELA 8.27** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos SEQUENCIAL e SEQUENCIAL NRD

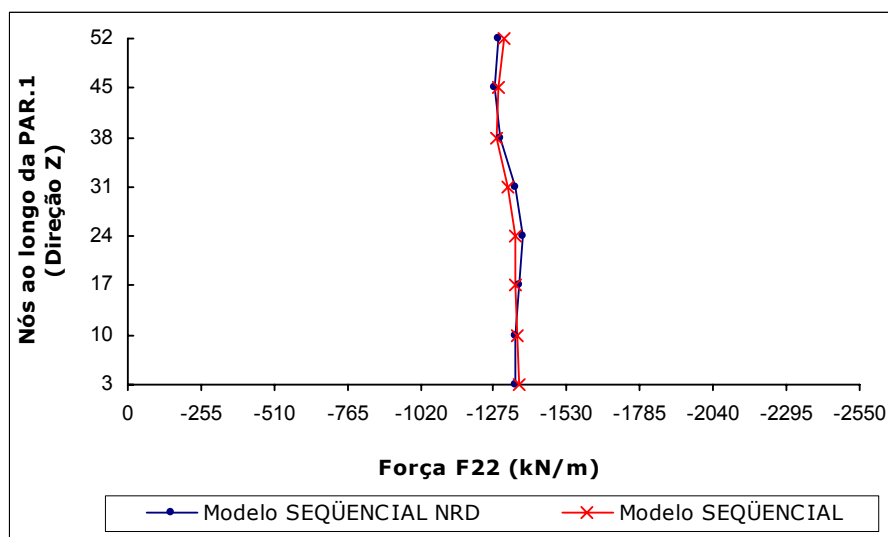
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>s</sub>	F22 <sub>SNRD</sub>	ΔF22%
3	-2452,89	-2468,42	0,6
10	-2460,03	-2475,89	0,6
17	-2516,1	-2533,34	0,7
24	-2546,1	-2564,87	0,7
31	-2549,14	-2569,66	0,8
38	-2544,3	-2566,91	0,9
45	-2523,74	-2548,84	1,0
52	-2499,57	-2527,53	1,1
59	-2483	-2513,18	1,2
66	-2455,27	-2485,63	1,2
73	-2414,19	-2424,31	0,4
80	-2403,3	-2373,25	1,3
87	-2419,79	-2379,38	1,7



**FIGURA 8.37** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos SEQUENCIAL e SEQUENCIAL NRD

**TABELA 8.28** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>s</sub>	F22 <sub>SNRD</sub>	ΔF22%
3	-1361,14	-1350,71	0,8
10	-1354,72	-1347,16	0,6
17	-1349,95	-1366,26	1,2
24	-1352,83	-1379,05	1,9
31	-1324,35	-1352,94	2,2
38	-1286,2	-1299,18	1,0
45	-1288,97	-1278,28	0,8
52	-1311,27	-1289,85	1,6

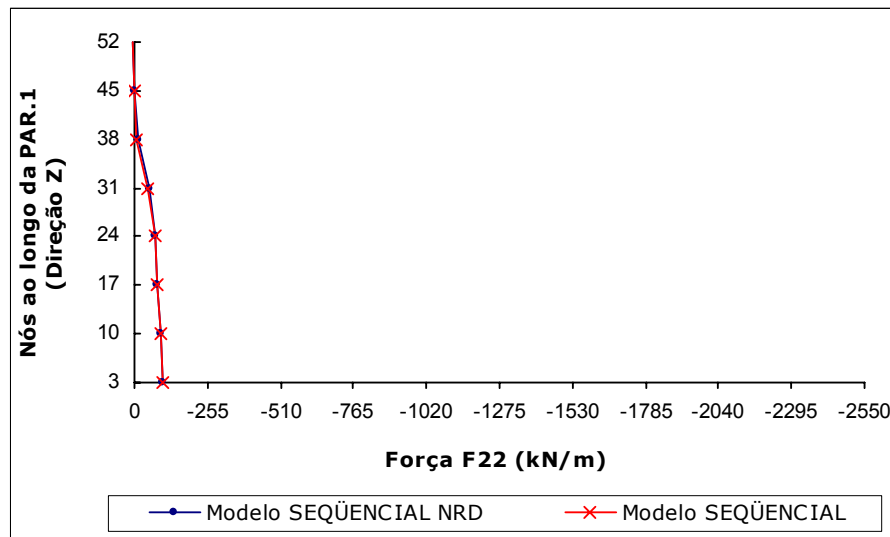


**FIGURA 8.38** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD



**TABELA 8.29** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>s</sub>	F22 <sub>snRD</sub>	ΔF22%
3	-97,89	-98,91	1,0
10	-90,05	-91,4	1,5
17	-77,43	-80,54	4,0
24	-71,04	-75,13	5,8
31	-45,04	-49,56	10,0
38	-8,73	-12,74	45,9
45	1,89	-0,65	134,4
52	7,64	4,98	34,8



**FIGURA 8.39** - Forças F22 ao longo da PAREDE 1 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

A partir dos valores das tabelas 8.27, 8.28 e 8.29 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.37, 8.38 e 8.39, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta F_{22}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas no 1º e 15º andar;
- b) todavia, no 30º andar aparecem valores iguais a 10,0%, 45,9%, 134,4% e 34,8% nos nós 31, 38, 45 e 52, respectivamente.

Apresentam-se na FIGURA 8.40 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, das forças F22 (FIGURA 8.41) na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.

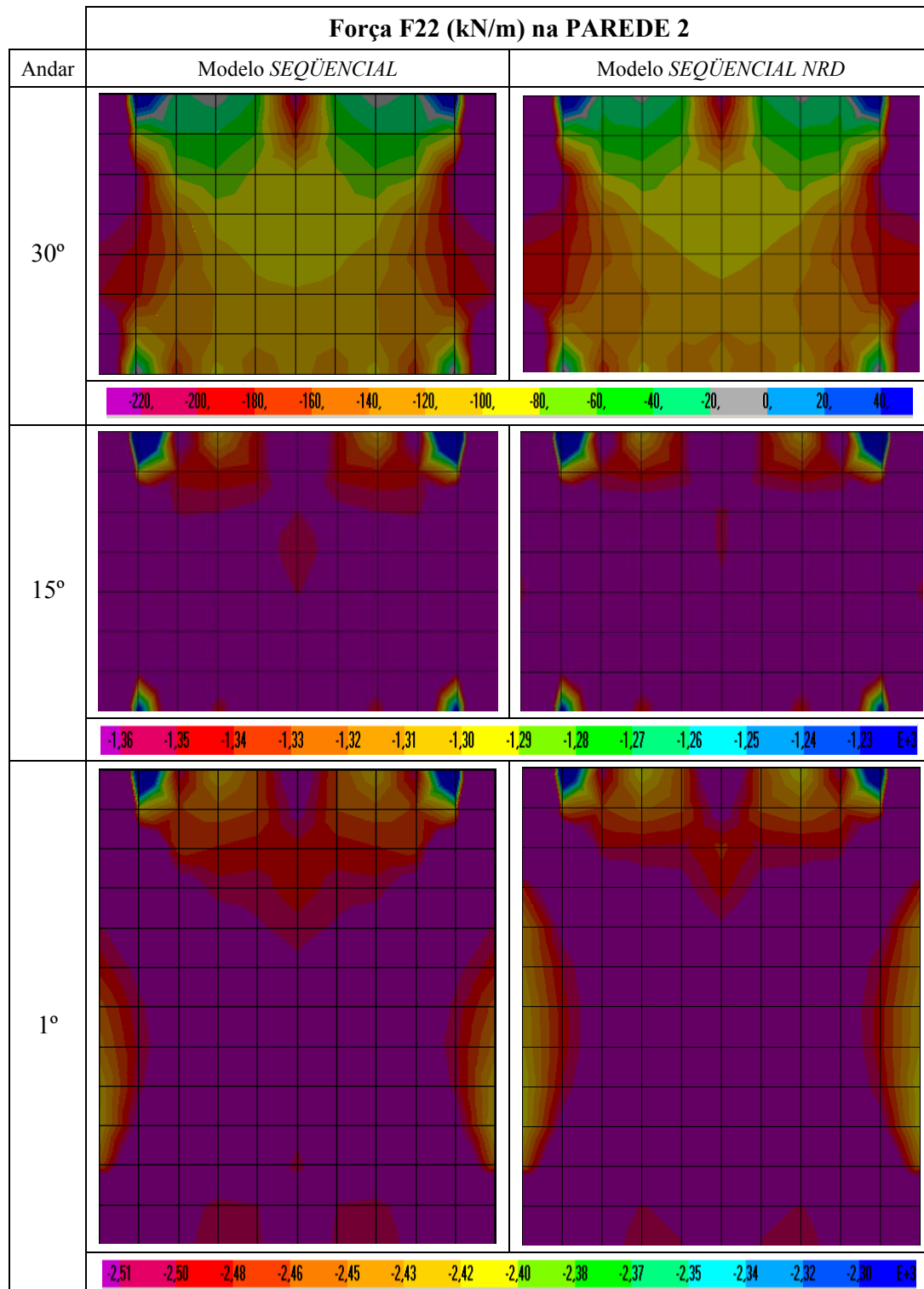


FIGURA 8.40 - Gráficos da força F22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

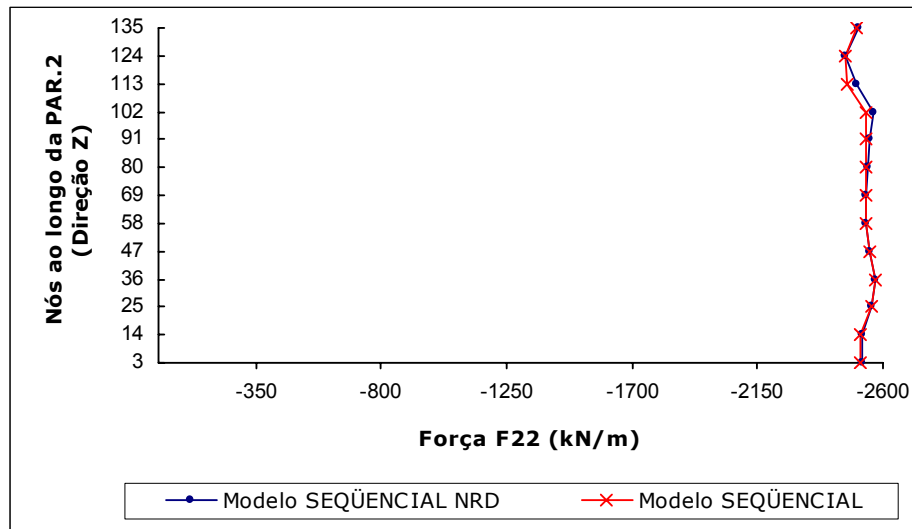
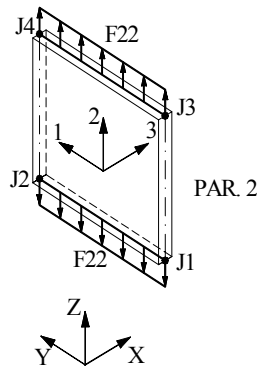
Obtém-se os valores finais das forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* (F22<sub>s</sub>) e *SEQÜENCIAL NRD* (F22<sub>SNRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.30 a 8.32. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta F22\%$  das forças F22 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores das forças apresentados nas tabelas 8.30 a 8.32 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Z (FIGURA 8.32).

Os gráficos das figuras 8.41 a 8.43 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.31 a 8.33, respectivamente.

**TABELA 8.30** - Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

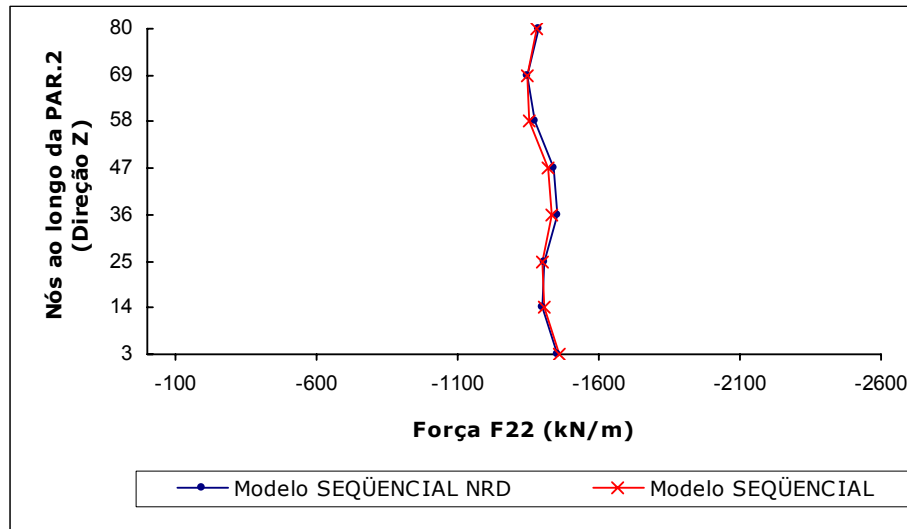
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>s</sub>	F22 <sub>SNRD</sub>	ΔF22%
3	-2520,81	-2522,58	0,1
14	-2521,67	-2523,36	0,1
25	-2559,75	-2561,08	0,1
36	-2570,36	-2571,18	0,0
47	-2551,70	-2551,78	0,0
58	-2541,21	-2541,03	0,0
69	-2536,05	-2536,66	0,0
80	-2539,45	-2543,55	0,2
91	-2541,68	-2553,21	0,5
102	-2539,01	-2563,68	1,0
113	-2468,60	-2505,68	1,5
124	-2463,13	-2462,95	0,0
135	-2505,92	-2512,52	0,3



**FIGURA 8.41** - Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.31** - Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

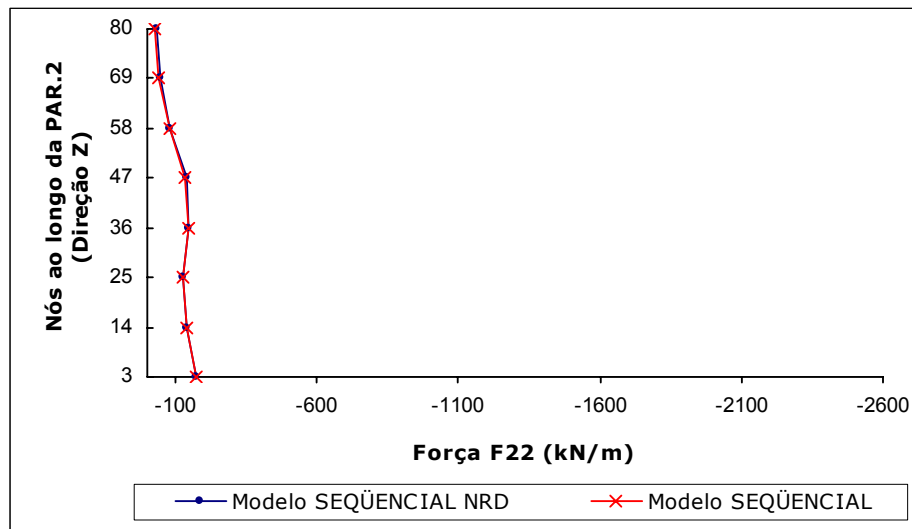
Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>s</sub>	F22 <sub>SNRD</sub>	ΔF22%
3	-1459,525	-1450,21	0,6
14	-1406,62	-1398,74	0,6
25	-1402,65	-1409,91	0,5
36	-1435,79	-1450,38	1,0
47	-1421,64	-1442,18	1,4
58	-1354,78	-1373,74	1,4
69	-1347,00	-1349,47	0,2
80	-1379,06	-1389,31	0,7



**FIGURA 8.42** - Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

**TABELA 8.32** - Forças F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Nó	F22 (kN/m)		
	F22 <sub>s</sub>	F22 <sub>SNRD</sub>	ΔF22%
3	-175,555	-173,52	1,2
14	-138,59	-136,69	1,4
25	-128,87	-128,44	0,3
36	-148,16	-149,03	0,6
47	-133,00	-136,51	2,6
58	-76,75	-82,78	7,9
69	-41,36	-46,21	11,7
80	-25,12	-35,28	40,5



**FIGURA 8.43** - Força F22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30° andar, na direção Z, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 8.30, 8.31 e 8.32 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.41, 8.42 e 8.43, verifica-se que:

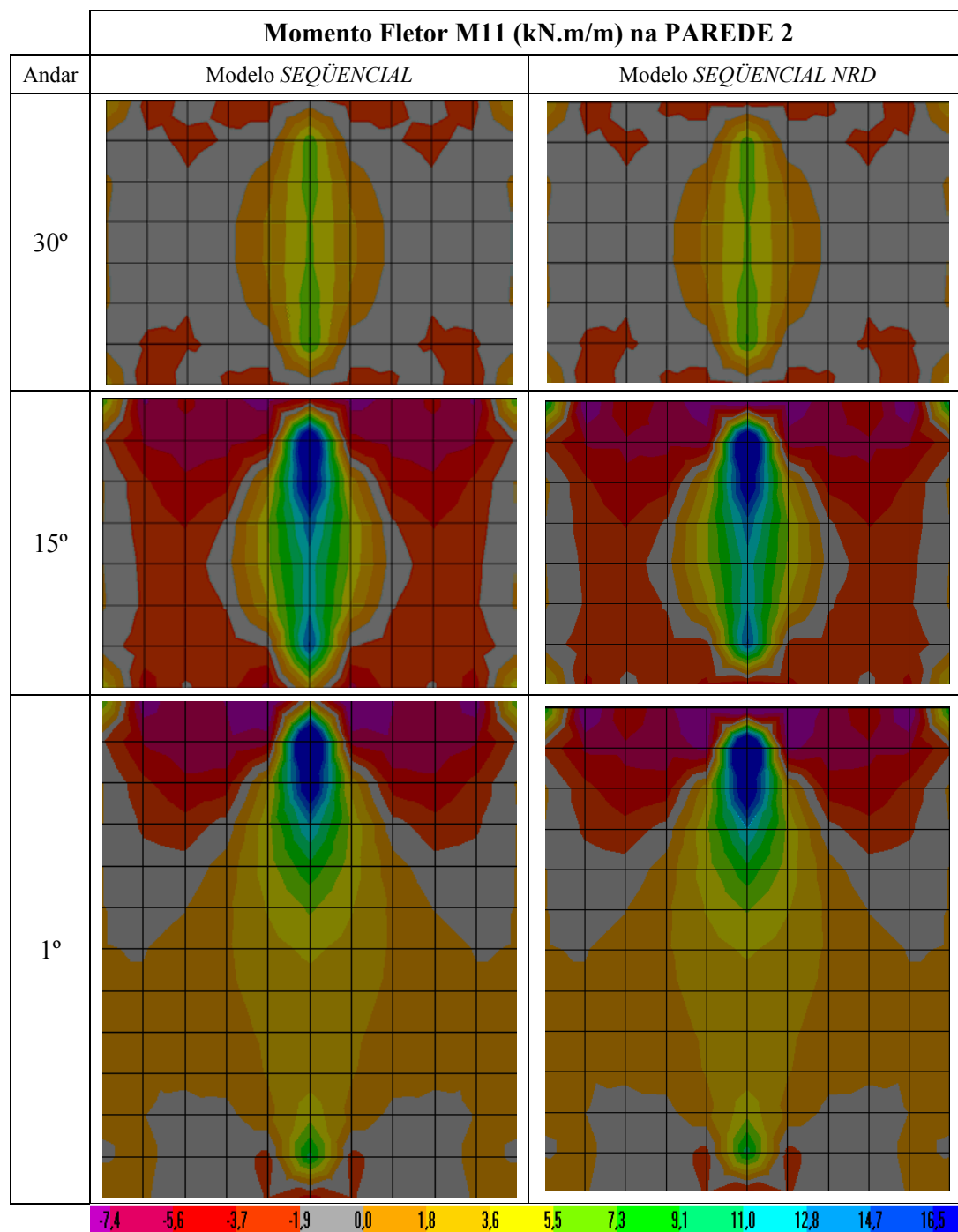
- a) as diferenças percentuais  $\Delta F_{22}\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas no 1º e 15º andar;
- b) todavia, no 30º andar aparecem valores iguais a 7,9%; 11,7% e 40,5% nos nós 58, 69 e 80, respectivamente.

### **8.1.8 - Momentos Fletores M11 e M22 nas Paredes do Núcleo Central**

Devido à simetria, os momentos fletores M11 e M22 na PAR.1 são nulos em todos os andares. Além disto, serão apresentados apenas os gráficos relativos à PAR.2 devido à simetria existente entre esta e a PAR.3.

Apresentam-se na FIGURA 8.44 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores M11 (FIGURA 8.45) na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.





**FIGURA 8.44** - Gráficos do momento fletor M11 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

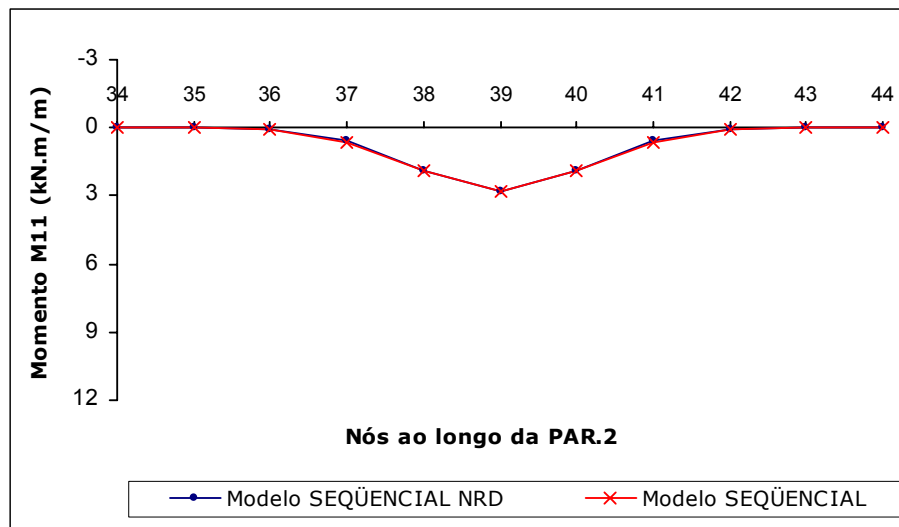
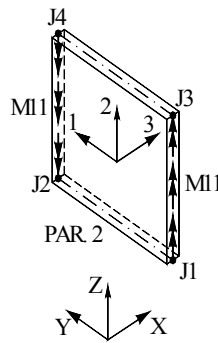
Obtém-se os valores finais dos momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* (M11<sub>S</sub>) e *SEQÜENCIAL NRD* (M11<sub>SNRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.33 a 8.35. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  dos momentos fletores M11 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 8.33 a 8.35 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Y (FIGURA 8.32).

Os gráficos das figuras 8.45 a 8.47 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.33 a 8.35, respectivamente.

**TABELA 8.33** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

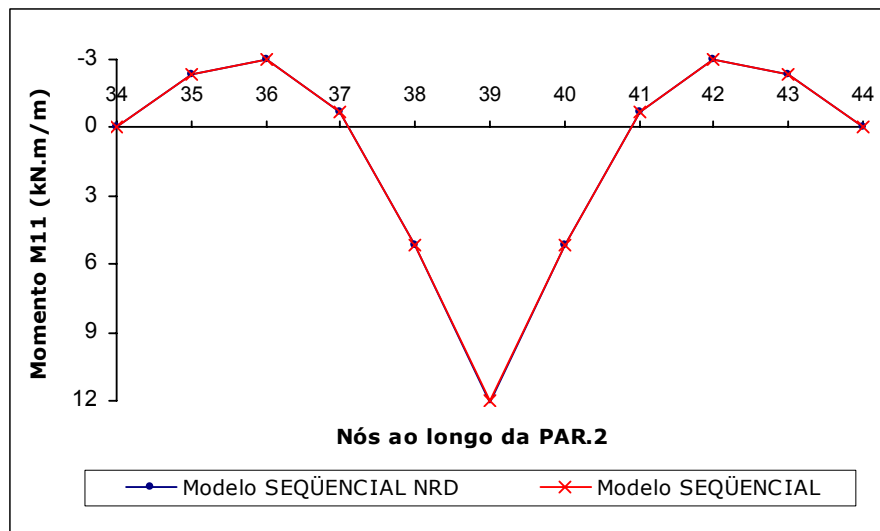
PAR. 2	M11 (kN.m/m)		
Nós	M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M11\%$
34	0,00	0,00	0,0
35	-0,02	-0,02	50,0
36	0,07	0,06	14,3
37	0,62	0,60	3,2
38	1,93	1,91	1,0
39	2,80	2,77	0,7
40	1,93	1,91	1,0
41	0,62	0,60	3,2
42	0,07	0,06	14,3
43	-0,02	-0,02	50,0
44	0,00	0,00	0,0



**FIGURA 8.45** - Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.34** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

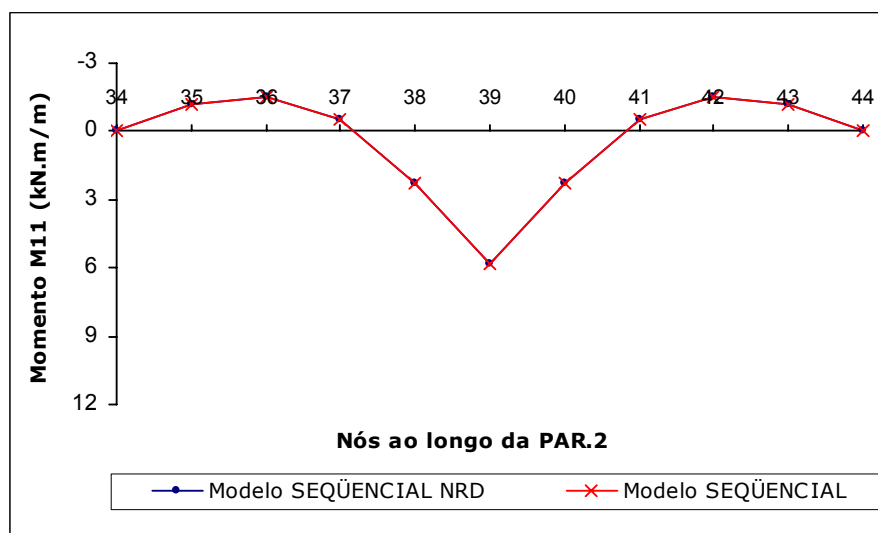
PAR. 2	M11 (kN.m/m)			
	Nós	M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M11\%$
	34	-0,02	0,00	100,0
	35	-2,35	-2,34	0,4
	36	-3,02	-2,99	1,0
	37	-0,73	-0,71	2,7
	38	5,13	5,16	0,6
	39	12,03	12,05	0,1
	40	5,13	5,16	0,6
	41	-0,73	-0,71	2,7
	42	-3,02	-2,99	1,0
	43	-2,35	-2,34	0,4
	44	-0,02	0,00	100,0



**FIGURA 8.46** - Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Y, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.35** - Momentos fletores M11 e diferenças percentuais  $\Delta M11\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

PAR. 2	M11 (kN.m/m)			
	Nós	M11 <sub>s</sub>	M11 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M11\%$
	34	-0,0020	-0,0042	110,000
	35	-1,1513	-1,1507	0,087
	36	-1,4967	-1,4971	0,000
	37	-0,5022	-0,5035	0,199
	38	2,2387	2,2402	0,045
	39	5,8517	5,8518	0,000
	40	2,2387	2,2402	0,045
	41	-0,5022	-0,5035	0,199
	42	-1,4967	-1,4971	0,000
	43	-1,1513	-1,1507	0,087
	44	-0,0020	-0,0042	110,000



**FIGURA 8.47** - Momentos fletores M11 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Y, para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

A partir dos valores das tabelas 8.33, 8.34 e 8.35 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.45, 8.46 e 8.47, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta M_{11}$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas;
- b) as diferenças percentuais iguais a 50,0% e 14,3% que aparecem no 1º andar e 110,0% que aparece no 15º andar são devidas aos valores muito pequenos dos momentos  $M_{11}$ .

Apresentam-se na FIGURA 8.48 os gráficos gerados pelo programa SAP2000, dos momentos fletores  $M_{22}$  (FIGURA 8.49) na PAREDE 2 do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*. Nestes andares, os gráficos permitem uma visualização do comportamento da PAREDE 2 como um todo.

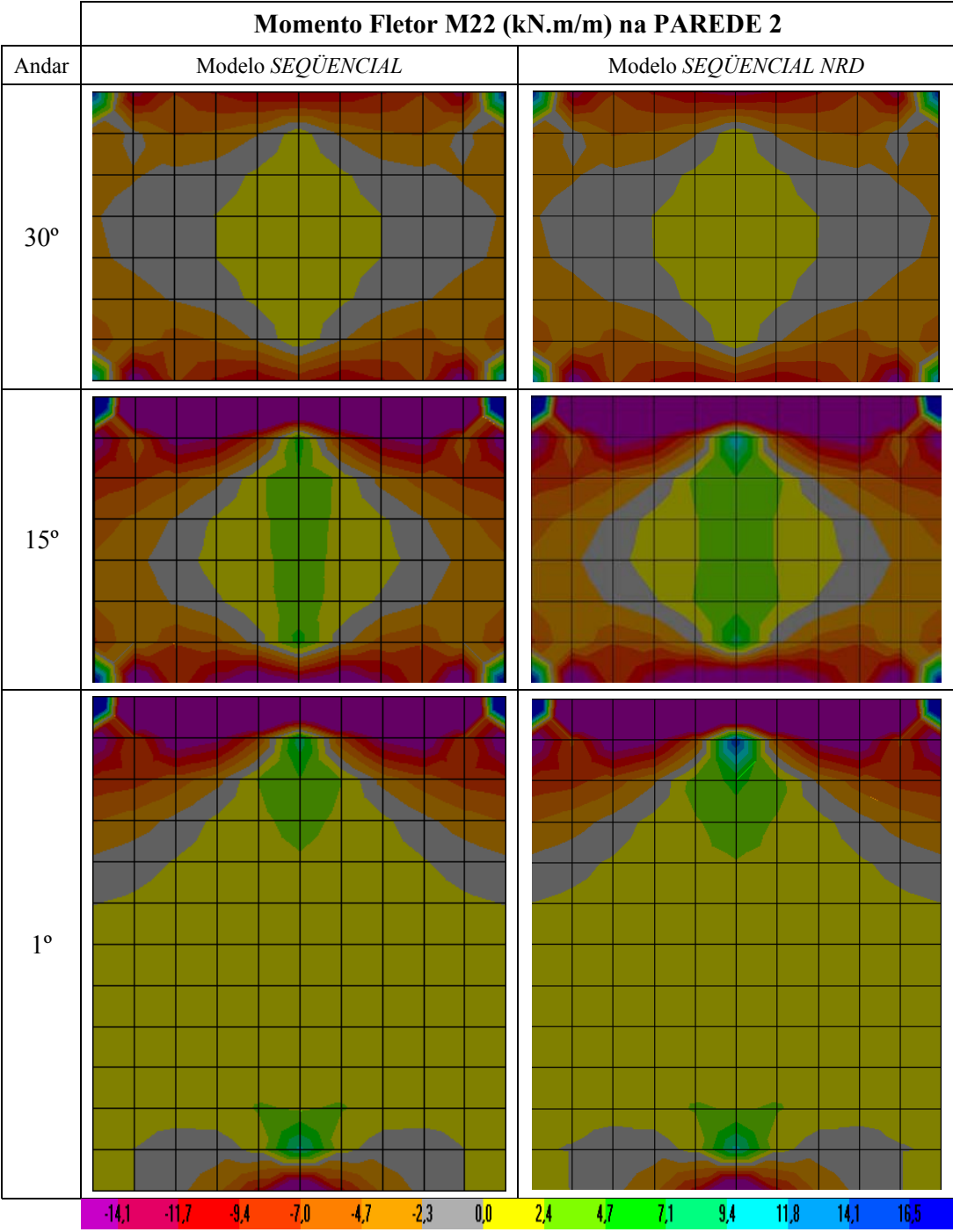


FIGURA 8.48 - Gráfico do momento fletor M22 na PAREDE 2 do núcleo central no 1°, 15° e 30° andar para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

Obtém-se os valores finais dos momentos fletores M22 ao longo das paredes do núcleo central no 1º, 15º e 30º andar para os modelos *SEQÜENCIAL* (M22<sub>S</sub>) e *SEQÜENCIAL NRD* (M22<sub>SNRD</sub>). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.36 a 8.38. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  dos momentos fletores M22 entre os dois modelos (ver equação 8.1).

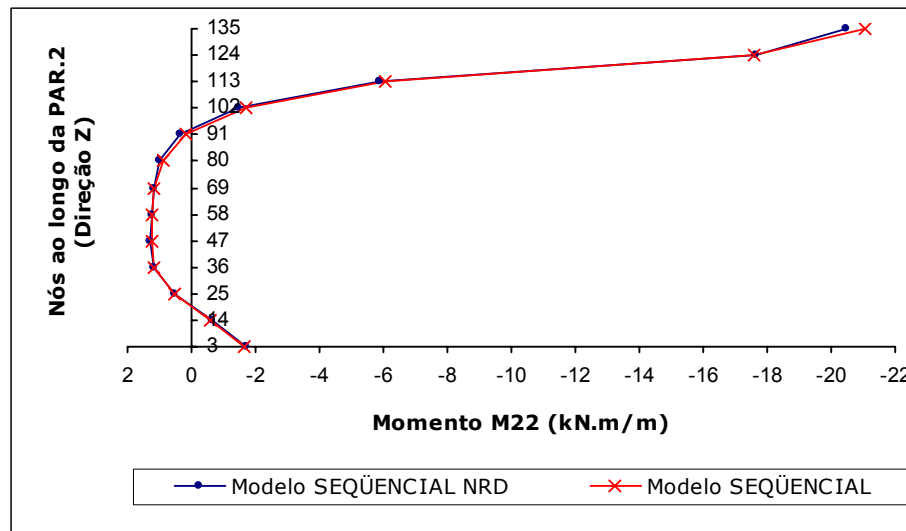
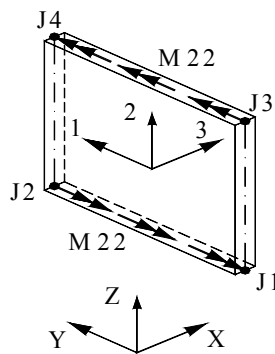
Os valores dos momentos fletores apresentados nas tabelas 8.36 a 8.38 referem-se aos nós ao longo da PAREDE 2 do núcleo central na direção Z (FIGURA 8.32).

Os gráficos das figuras 8.49 a 8.51 foram traçados a partir dos valores das tabelas 8.36 a 8.38, respectivamente.



**TABELA 8.36** - Momentos fletores M22 e diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

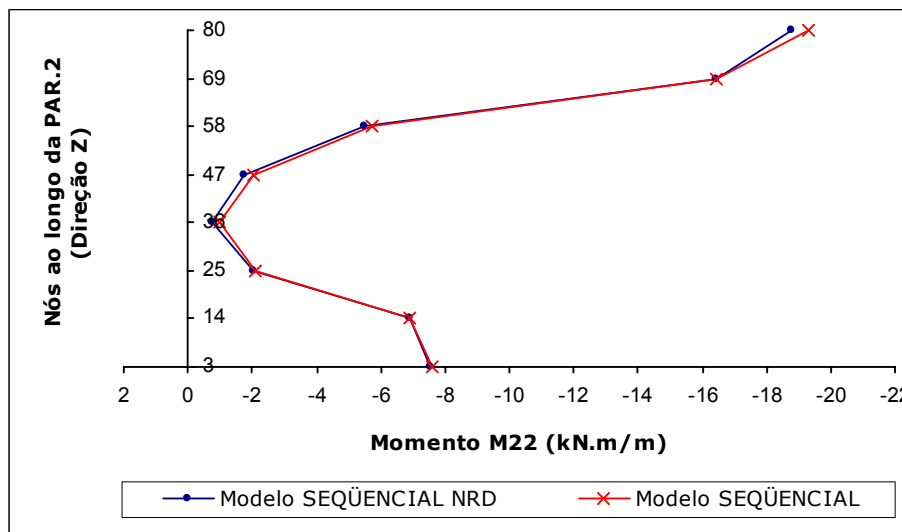
PAR. 2	M22 (kN.m/m)		
Nós	M22 <sub>S</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M22\%$
3	-1,64	-1,70	3,7
14	-0,61	-0,66	8,2
25	0,55	0,53	3,6
36	1,17	1,16	0,9
47	1,26	1,27	0,8
58	1,23	1,25	1,6
69	1,15	1,20	4,3
80	0,90	1,00	11,1
91	0,20	0,37	85,0
102	-1,70	-1,47	13,5
113	-6,04	-5,89	2,5



**FIGURA 8.49** - Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 1º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.37** - Momentos fletores M22 e diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

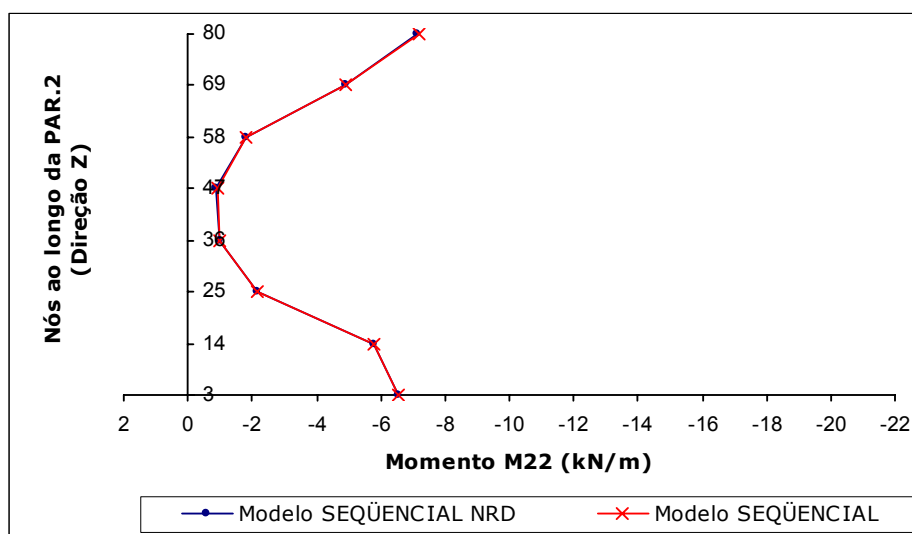
PAR. 2	M22 (kN.m/m)			
	Nós	M22 <sub>S</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>	$\Delta M22\%$
3		-7,58	-7,56	0,3
14		-6,87	-6,90	0,4
25		-2,08	-2,03	2,4
36		-0,98	-0,78	20,4
47		-2,03	-1,74	14,3
58		-5,71	-5,48	4,0
69		-16,43	-16,45	0,1
80		-19,29	-18,77	2,7



**FIGURA 8.50** - Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 15º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

**TABELA 8.38** - Momentos fletores M22 e diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

PAR. 2	M22 (kN.m/m)		
	Nós	M22 <sub>S</sub>	M22 <sub>SNRD</sub>
3	-6,53	-6,53	0,0
14	-5,77	-5,77	0,0
25	-2,16	-2,15	0,5
36	-1,00	-0,99	1,0
47	-0,90	-0,89	1,1
58	-1,82	-1,81	0,5
69	-4,88	-4,91	0,6
80	-7,21	-7,16	0,7



**FIGURA 8.51** - Momentos fletores M22 ao longo da PAREDE 2 do núcleo central no 30º andar, na direção Z, para os modelos SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL NRD

A partir dos valores das tabelas 8.37, 8.38 e 8.39 e dos gráficos mostrados nas figuras 8.48, 8.49 e 8.50, verifica-se que:

- c) as diferenças percentuais  $\Delta M22\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas;
- d) as diferenças percentuais iguais a 11,1%, 13,5% e 85,0% que aparecem no 1º andar e 14,3% e 20,4% que aparecem no 15º andar são devidas aos valores muito pequenos dos momentos M22.

### 8.1.9 - Reações de Apoio na Fundação

As reações de apoio na fundação estão orientadas nas direções X, Y e Z do sistema de coordenadas globais e divididas em dois grupos: forças (FX, FY e FZ) e momentos (MX, MY e MZ). Devido à simetria são apresentadas as reações de apoio em apenas um quarto da estrutura, conforme pode ser visto na FIGURA 8.52.

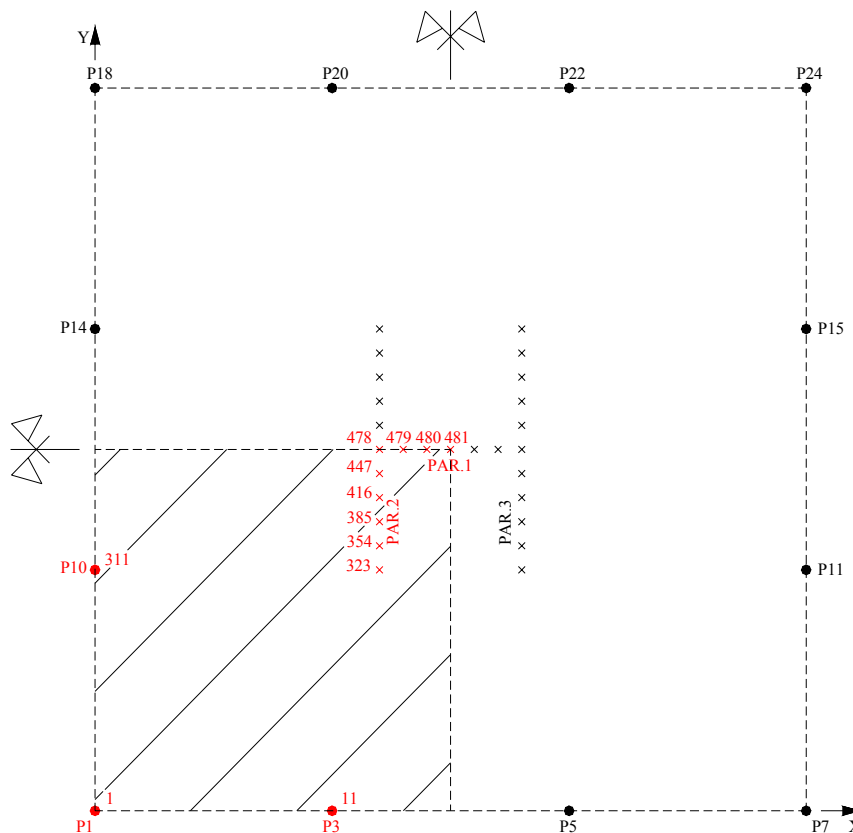


FIGURA 8.52 - Quadrante selecionado para análise das reações de apoio

Obtêm-se os valores finais das reações de apoio na fundação dos pilares (P1, P3 e P10) para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $FX_s$ ,  $FY_s$ ,  $FZ_s$ ,  $MX_s$ ,  $MY_s$  e  $MZ_s$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $FX_{SNRD}$ ,  $FY_{SNRD}$ ,  $FZ_{SNRD}$ ,  $MX_{SNRD}$ ,  $MY_{SNRD}$  e  $MZ_{SNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.39 e 8.40. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais das reações de apoio entre os dois modelos (ver equação 8.1).

**TABELA 8.39** - Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  nos pilares P1, P3 e P10 para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Pilar	Nós	FX (kN)			FY (kN)			FZ (kN)		
		$FX_s$	$FX_{SNRD}$	$\Delta FX\%$	$FY_s$	$FY_{SNRD}$	$\Delta FY\%$	$FZ_s$	$FZ_{SNRD}$	$\Delta FZ\%$
P1	01	127,31	124,38	2,3	129,04	127,56	1,1	6614,83	6607,77	0,1
P3	11	16,24	14,49	10,8	23,03	22,08	4,1	5584,61	5579,35	0,1
P10	311	25,14	24,94	0,8	19,03	17,97	5,6	5678,07	5669,20	0,2

A partir dos valores da TABELA 8.39, verifica-se que:

- no pilar P1 as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, atingindo no máximo 2,3%;
- no pilar P3 a diferença percentual  $\Delta FX\%$  é significativa com valor igual a 10,8%; todavia, as diferenças percentuais  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  são pequenas;
- no pilar P10 as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  são pequenas, atingindo no máximo 5,6%.

**TABELA 8.40** - Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais  $\Delta MX\%$ ,  $\Delta MY\%$  e  $\Delta MZ\%$  nos pilares para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

Pilar	Nós	MX (kN.m)			MY (kN.m)			MZ (kN.m)		
		$MX_s$	$MX_{SNRD}$	$\Delta MX\%$	$MY_s$	$MY_{SNRD}$	$\Delta MY\%$	$MZ_s$	$MZ_{SNRD}$	$\Delta MZ\%$
P1	01	-243,01	-239,33	1,5	243,56	234,17	3,9	0,89	0,00	100,0
P3	11	-46,84	-43,79	6,5	31,81	26,37	17,1	0,67	0,00	100,0
P10	311	-35,94	-32,70	9,0	49,92	49,47	0,9	0,20	0,00	100,0

A partir dos valores da TABELA 8.40, verifica-se que:

- em todos os pilares as diferenças percentuais  $\Delta MX\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são pequenas; atingindo no máximo 9,0%;
- nos pilares P1 e P10 as diferenças percentuais  $\Delta MY\%$  são pequenas; todavia, no pilar P3 o valor desta diferença é significativo, igual a 17,1%;
- para os três pilares os valores das diferenças percentuais  $\Delta MZ\%$  são iguais a 100,0%; isto ocorre devido aos valores de  $MZ_{SNRD}$  serem iguais a zero.

Obtém-se os valores das reações de apoio na fundação das paredes do núcleo central (PAR.1 e PAR.2) para os modelos *SEQÜENCIAL* ( $FX_S$ ,  $FY_S$ ,  $FZ_S$ ,  $MX_S$ ,  $MY_S$  e  $MZ_S$ ) e *SEQÜENCIAL NRD* ( $FX_{SNRD}$ ,  $FY_{SNRD}$ ,  $FZ_{SNRD}$ ,  $MX_{SNRD}$ ,  $MY_{SNRD}$  e  $MZ_{SNRD}$ ). Os valores obtidos são mostrados nas tabelas 8.41 e 8.42. Nestas tabelas são também apresentadas as diferenças percentuais das reações de apoio entre os dois modelos (ver equação 8.1).

**TABELA 8.41** - Reações de apoio FX, FY, FZ e diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  nas paredes 1 e 2 do núcleo central para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

		FX (kN)			FY (kN)			FZ (kN)		
Nós		$FX_S$	$FX_{SNRD}$	$\Delta FX\%$	$FY_S$	$FY_{SNRD}$	$\Delta FY\%$	$FZ_S$	$FZ_{SNRD}$	$\Delta FZ\%$
PAR.1	478	186,16	187,64	0,8	0,00	0,00	0,0	1934,85	1942,59	0,4
	479	103,13	104,47	1,3	0,00	0,00	0,0	1203,31	1209,79	0,5
	480	48,55	49,25	1,5	0,00	0,00	0,0	1193,41	1200,64	0,6
	481	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	1195,35	1202,85	0,6
PAR.2	323	-1,74	-1,71	2,3	176,92	177,67	0,4	788,45	789,68	0,2
	354	-0,21	-0,17	19,0	142,99	144,40	1,0	1304,00	1304,87	0,1
	385	0,71	0,72	1,4	103,99	105,84	1,8	1235,66	1236,67	0,1
	416	2,09	2,09	0,5	65,60	67,25	2,5	1228,53	1230,60	0,2
	447	14,56	14,67	0,8	40,90	42,11	2,9	1242,51	1245,92	0,3
	478	186,16	187,64	0,8	0,00	0,00	0,0	1934,85	1942,59	0,4

A partir dos valores da TABELA 8.41, verifica-se que:

- as diferenças percentuais  $\Delta FX\%$ ,  $\Delta FY\%$  e  $\Delta FZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto a  $\Delta FX\%$  relativa ao nó 354;

- b) a diferença percentual  $\Delta FX\%$  igual a 19,0% que aparecem no nó 354 da PAR.2 é devida aos valores muito pequenos das forças  $FX_S$ .

**TABELA 8.42** - Reações de apoio MX, MY, MZ e diferenças percentuais  $\Delta MX\%$ ,  $\Delta MY\%$  e  $\Delta MZ\%$  nas paredes do núcleo central para os modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD*

	Nós	MX (kN.m)			MY (kN.m)			MZ (kN.m)		
		$MX_S$	$MX_{SNRD}$	$\Delta MX\%$	$MY_S$	$MY_{SNRD}$	$\Delta MY\%$	$MZ_S$	$MZ_{SNRD}$	$\Delta MZ\%$
PAR.1	478	0,00	0,00	0,0	11,55	11,65	0,9	0,00	0,00	0,0
	479	0,00	0,00	0,0	4,12	4,18	1,2	0,00	0,00	0,0
	480	0,00	0,00	0,0	1,60	1,62	1,3	0,00	0,00	0,0
	481	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
PAR.2	323	-3,84	-3,87	0,8	-0,34	-0,31	8,8	0,06	0,05	0,0
	354	-5,50	-5,55	0,9	-0,03	0,01	133,3	0,00	0,00	0,0
	385	-3,87	-3,94	1,8	0,89	0,92	3,4	0,01	0,01	0,0
	416	-2,25	-2,31	2,2	2,35	2,38	1,3	0,03	0,03	0,0
	447	-1,49	-1,54	2,7	5,64	5,69	0,9	-0,10	-0,10	0,0
	478	0,00	0,00	0,0	11,55	11,65	0,9	0,00	0,00	0,0

A partir dos valores da TABELA 8.42, verifica-se que:

- a) as diferenças percentuais  $\Delta MX\%$ ,  $\Delta MY\%$  e  $\Delta MZ\%$  entre os resultados obtidos nos modelos *SEQÜENCIAL* e *SEQÜENCIAL NRD* são muito pequenas, exceto a  $\Delta MY\%$  relativa ao nó 354;
- b) a diferença percentual  $\Delta MY\%$  igual a 133,3% que aparece no nó 354 da PAR.2 é devida aos valores muito pequenos dos momentos  $MY_S$ .

# 9

## CONCLUSÕES

A maior parte das conclusões já foi apresentada nos capítulos anteriores. Pretende-se, agora, fazer uma síntese do trabalho desenvolvido bem como algumas considerações adicionais.

No capítulo 3 foi analisado um modelo relativamente simples com um duplo objetivo. O primeiro objetivo foi adquirir confiabilidade no uso do programa SAP2000 para fazer cálculo seqüencial. O segundo objetivo foi apresentar um exemplo completo do cálculo seqüencial de um pórtico plano de cinco andares sujeito à ação de forças verticais.

Como se viu, o trabalho numérico envolvido no cálculo seqüencial aumenta consideravelmente quando comparado ao cálculo não seqüencial, já que foram calculadas 5 estruturas com 7 carregamentos distintos. Como se sabe, no cálculo não seqüencial basta calcular uma única estrutura com um único carregamento. Conclui-se, desta forma, que em estruturas de maior porte, onde o número de andares e de carregamentos aumenta consideravelmente, é imprescindível ter-se um software amigável que viabilize o cálculo seqüencial.

Por outro lado, ficou claro no capítulo 3 que os resultados obtidos com o cálculo seqüencial podem diferir significativamente dos resultados obtidos com o cálculo não seqüencial. Além disto, feito o cálculo seqüencial de uma estrutura pode-se ter o



histórico dos esforços em cada elemento estrutural ao longo das etapas de construção e carregamento.

No capítulo 4 apresentou-se, em detalhes, a estrutura analisada. Deve-se dizer que esta não era a estrutura inicialmente proposta no projeto de dissertação. Pretendia-se analisar um edifício com dimensões de 30m x 30m em planta e com 180m de altura (50 andares). Desejava-se, como de fato ocorreu na estrutura finalmente analisada, modelar as lajes e o núcleo central com elementos de casca. Todavia, isto exigiu um número elevadíssimo de elementos finitos e, conseqüentemente, um volume imenso de informações necessárias. Percebeu-se, após algumas horas de processamento desta estrutura, em um microcomputador Pentium 4 com 2,4 GHz, a total impossibilidade de se completar a análise em tempo razoável, já que a mera duplicação dos elementos para gerar um novo andar levava 30 minutos aproximadamente. Após várias tentativas, sempre reduzindo as dimensões da estrutura e o número de elementos finitos, chegou-se a estrutura descrita no capítulo 4.

Do exposto acima conclui-se que ainda existem limitações quanto ao número de elementos finitos usados na modelagem de edifícios altos calculados em microcomputadores.

No capítulo 5 foram feitas considerações detalhadas sobre a modelagem da estrutura apresentada no capítulo 4. Como se viu, esta modelagem foi feita com o objetivo de tornar o modelo mais realista e apresenta um alto grau de complexidade. Note-se que ela só foi possível devido às facilidades oferecidas pelo software utilizado. Conclui-se, portanto, que já é possível utilizar modelos mais refinados do que os ainda adotados em diversos escritórios de cálculo estrutural.

No capítulo 6 foram descritos os quatro modelos estruturais analisados. Mostra-se, na TABELA 9.1, o número de nós, de elementos FRAME, de elementos SHELL, de etapas de construção, de etapas de carregamento e o tempo médio de processamento destes modelos.

**TABELA 9.1** - Número de nós, de elementos FRAME, de elementos SHELL, de etapas de construção, de etapas de carregamento e tempo médio de processamento dos modelos

Modelo	Número de				Tempo médio de processamento (*)	
	Nós	elementos FRAME	elementos SHELL	Etapas de Construção		Etapas de Carregamento
NÃO SEQÜENCIAL NRD	31.030	4.668	30.850	1	1	1:00 h
NÃO SEQÜENCIAL				1	1	3:00 h
SEQÜENCIAL NRD				30	33	6:00 h
SEQÜENCIAL				30	33	60:00 h

(\*) Tempos medidos em microcomputador Pentium 4 com 2,4 GHz

Como se vê, o número de nós, de elementos FRAME e de elementos SHELL é o mesmo para os quatro modelos, o que não ocorre com as etapas de construção, com as etapas de carregamento e com o tempo médio de processamento.

Nos modelos NÃO SEQÜENCIAL NRD e NÃO SEQÜENCIAL têm-se uma única estrutura a ser analisada submetida a um único carregamento. Já nos modelos SEQÜENCIAL NRD e SEQÜENCIAL têm-se 30 estruturas diferentes, cada uma delas sujeita a um ou mais carregamentos. É óbvio, conseqüentemente, que os modelos SEQÜENCIAL NRD e SEQÜENCIAL terão tempos médios de processamento superiores aos dos modelos NÃO SEQÜENCIAL NRD e NÃO SEQÜENCIAL. Por outro lado, no caso dos modelos NRD, que utilizam o comando DIAPHRAGM CONSTRAINT, ocorre uma significativa redução no número de equações a serem resolvidas. Logo, o tempo médio de processamento do modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD é menor do que o do modelo NÃO SEQÜENCIAL. Da mesma forma, o tempo médio de processamento do modelo SEQÜENCIAL NRD é menor do que o do modelo SEQÜENCIAL.

Tomando-se como referência o tempo médio de processamento do modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD, verifica-se que este tempo para o modelo NÃO SEQÜENCIAL é três vezes maior, para o modelo SEQÜENCIAL NRD é seis vezes maior e para o modelo SEQÜENCIAL é sessenta vezes maior.

Considera-se o tempo médio de processamento do modelo SEQÜENCIAL (60:00 horas) muito elevado em termos práticos. Todavia, o tempo médio do processamento do modelo SEQÜENCIAL NRD (6:00 horas) já é razoável. Estes números mostram, portanto, mais uma limitação no uso do modelo SEQÜENCIAL para analisar estruturas de edifícios altos de grande porte. Todavia, ele poderá ser utilizado em estruturas de menor porte.

Por outro lado, já é viável a utilização do modelo SEQÜENCIAL NRD, sendo este um dos motivos da sua inclusão neste trabalho.

No capítulo 7 foram feitas comparações entre os modelos NÃO SEQÜENCIAL NRD e NÃO SEQÜENCIAL. Observou-se que o modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD foi incapaz de determinar as forças axiais das vigas e as forças de membrana (F11 e F22) das lajes. Da mesma forma, os esforços obtidos em alguns locais do núcleo central diferiram substancialmente dos obtidos com o modelo NÃO SEQÜENCIAL. Todavia, este modelo foi capaz de determinar adequadamente os momentos fletores nas vigas e nas lajes, as forças axiais nos pilares e as reações de apoio. Pode-se afirmar que, de maneira geral, os resultados obtidos com os dois modelos foram próximos entre si.

Conclui-se, então, que os resultados obtidos com o modelo NÃO SEQÜENCIAL validaram os resultados obtidos como o modelo NÃO SEQÜENCIAL NRD, exceto nos casos em que o este modelo foi incapaz de determinar os esforços e nos locais onde os resultados diferiram substancialmente.

No capítulo 8 foram feitas comparações entre os modelos SEQÜENCIAL NRD e SEQÜENCIAL. Observou-se que o modelo SEQÜENCIAL NRD também foi incapaz de determinar as forças axiais das vigas e as forças de membrana (F11 e F22) das lajes. Da mesma forma, os esforços obtidos em alguns locais do núcleo central diferiram substancialmente dos obtidos com o modelo SEQÜENCIAL. Todavia, este modelo foi capaz de determinar adequadamente os momentos fletores nas vigas e nas lajes, as forças axiais nos pilares e as reações de apoio. Pode-se afirmar que, de maneira geral, os resultados obtidos com os dois modelos foram próximos entre si.

Conclui-se, aqui também, que os resultados obtidos com o modelo SEQÜENCIAL NRD validaram os resultados obtidos como o modelo SEQÜENCIAL, exceto nos casos em que este modelo foi incapaz de determinar os esforços e nos locais onde os resultados diferiram substancialmente.

Convêm comentar que havia algum receio de obterem-se resultados espúrios com o modelo SEQÜENCIAL, devido ao seu longo tempo médio de processamento (60:00 horas). Nesta perspectiva, como o tempo médio de processamento do modelo SEQÜENCIAL NRD foi muito inferior (6:00 horas) ao do modelo SEQÜENCIAL, pode-se afirmar que os resultados obtidos com o modelo SEQÜENCIAL NRD também validaram os resultados obtidos com o modelo SEQÜENCIAL.

Com o material exposto nos capítulos anteriores, seria também possível comparar os resultados obtidos com os modelos NÃO SEQÜENCIAL e SEQÜENCIAL. No entanto, esta comparação não foi feita em virtude deste tema já ter sido abordado em dissertações de mestrado anteriores desenvolvidas no Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS, Inc. *ANSYS 6.1 Documentation*, 2002, manual of program ANSYS.

CARVALHO, B.A.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Modelo para Análise Estrutural Evolutiva de Edifícios de Andares Múltiplos com Lajes Lisas*, 2003, XXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto-MG.

CARVALHO, B. A. – “*Análise Comparativa pelo Método dos Elementos Finitos de Modelos Tridimensionais Clássicos e Evolutivos do Sistema Estrutural de um Edifício Alto em Concreto Armado*”, dissertação de mestrado, 2004, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

CHOI, C.K.; KIM, E.D. *Multistory Frames Under Sequential Gravity Loads*, 1985, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, v. 111, nº 11, Nov., p. 2373–2384.

COELHO, A.O.L. *Influência das Etapas de Construção e Carregamento na Análise de Pórticos Planos em Edifícios Altos*, dissertação de mestrado, 2003, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

COELHO L. H. e GORZA L. S *Análise Incremental Construtiva de Edifícios Metálicos de Andares Múltiplos*, 2005, Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto – 2005 IBRACON, v. XII - Projetos de Estruturas de Concreto, p. XII58-71

FONTE, A.O.C.; SORIANO, H.L. *Influência do Efeito Construtivo Incremental em Edifícios Altos*, 1989, II Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, Escola Politécnica da USP.

GRUNDY, P.; KABAILA, A. *Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings*, 1963, ACI Structural Journal, v. 60, nº 12, Dec., p. 1729-1738.

KRIPKA, M. *Análise Incremental Construtiva de Edificações*, dissertação de mestrado, 1990, COPPE-UFRJ.

MATEUS, F.M. *Influência das Deformações Axiais dos Pilares e das Etapas de Construção e Carregamento na Análise Estrutural de Edifícios Altos com Lajes Lisas*, dissertação de mestrado, 2003, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

PRADO, J.F.M.A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. *Construction Load Analysis of Concrete Structures Using Computer 3D Models*, 1998a, Computational Mechanics – CIMNE, Barcelona.

PRADO, J.F.M.A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. *Panorama sobre Ações Construtivas em Estruturas de Edifícios em Concreto Armado*, 1998b, Revista IBRACON, nº 21, Abr.–Jul., p. 21–31.

---

SELVARAJ, S.; SHARMA, S.P. *Influence of Construction Sequence on the Stresses in Tall Building Frames*, 1974, Regional Conference on Tall Buildings, Bangkok, Jan., p. 197–211.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Edifícios de Andares Múltiplos*, tese apresentada em concurso de professor titular, 1981, Edições Engenharia, Escola de Engenharia da UFMG.

WEAVER Jr., W.; GERE, J.M. *Matrix Analysis of Framed Structures*, livro, 1990, Van Nostrand Reinhold.

## **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

CAMPOS, M.R.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Plenor – Um Software Didático e Amigável para Análise de Placas com Enrijecedores*, 1997, XVIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Volume IV, p. 1467-1476.

CARVALHO, B.A.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Modelo para Análise Estrutural Evolutiva de Edifícios de Andares Múltiplos com Lajes Lisas*, 2003, XXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto-MG.

CHOI, C.K.; KIM, E.D. *Multistory Frames Under Sequential Gravity Loads*, 1985, Journal of Structural Engineering, ASCE, v. 111, nº 11, Nov., p. 2373–2384.

COELHO, A.O.L. *Influência das Etapas de Construção e Carregamento na Análise de Pórticos Planos em Edifícios Altos*, dissertação de mestrado, 2003, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

COELHO, A.O.L.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Análise Comparativa de Modelos Clássicos e Evolutivo para o Cálculo de Pórticos Planos de Edifícios Altos*, 2003,



XXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto-MG.

FINTEL, M. *Handbook of Concrete Engineering*, livro, 1974, Van Nostrand Reinhold Company.

FONTE, A.O.C.; SORIANO, H.L. *Influência do Efeito Construtivo Incremental em Edifícios Altos*, 1989, II Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, Escola Politécnica da USP.

GRUNDY, P.; KABAILA, A. *Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings*, 1963, ACI Structural Journal, v. 60, nº 12, Dec., p. 1729-1738.

KRIPKA, M. *Análise Incremental Construtiva de Edificações*, dissertação de mestrado, 1990, COPPE-UFRJ.

MATEUS, F.M. *Influência das Deformações Axiais dos Pilares e das Etapas de Construção e Carregamento na Análise Estrutural de Edifícios Altos com Lajes Lisas*, dissertação de mestrado, 2003, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

OÑATE, E. *Calculo de Estructuras por el Metodo de Elementos Finitos – Análisis Estático Lineal*, livro, 1995, CIMNE.

PEREZ, G.B.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Comparação de Modelos Clássicos para Cálculo da Estrutura de um Edifício de Andares Múltiplos*, 2000, IV Simpósio Mineiro de Mecânica Computacional, Uberlândia - MG, p. 259-266.

PITANGUEIRA, R.; VASCONCELLOS FILHO, A. *Uso do Programa PLENOR para Análise de Estruturas Reticuladas*, apostila, 1999, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

PRADO, J.F.M.A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. *Construction Load Analysis of Concrete Structures Using Computer 3D Models*, 1998a, Computational Mechanics – CIMNE, Barcelona.

PRADO, J.F.M.A.; RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. *Panorama sobre Ações Construtivas em Estruturas de Edifícios em Concreto Armado*, 1998b, Revista IBRACON, nº 21, Abr.–Jul., p. 21–31.

SELVARAJ, S.; SHARMA, S.P. *Influence of Construction Sequence on the Stresses in Tall Building Frames*, 1974, Regional Conference on Tall Buildings, Bangkok, Jan., p. 197–211.

SMITH, B.S.; COULL, A. *Tall Building Structures: Analysis and Design*, livro, 1991, John Wiley and Sons, Inc.

UGURAL, A.C. *Stresses in Plates and Shells*, livro, 1981, McGraw-Hill Book Company.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Análise Estrutural de Edifícios Altos – Cópias de Transparências*, apostila, 2002, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Edifícios de Andares Múltiplos*, tese apresentada em concurso de professor titular, 1981, Edições Engenharia, Escola de Engenharia da UFMG.

VASCONCELLOS FILHO, A. *Teoria das Estruturas: Método dos Deslocamentos, Processo de Cross, Tabelas*, livro, 1986, Escola de Engenharia da UFMG, Imprensa Universitária.

VASCONCELLOS FILHO, A.; CAMPOS, M.R. *Programa PLENOR – Exemplos de Aplicação*, apostila, 1996, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

VASCONCELLOS FILHO, A.; MAIA, E.V.; SILVA, R.P. *Programas para Cálculo de Estruturas de Barras*, apostila, 1995, Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG.

WEAVER Jr., W.; GERE, J.M. *Matrix Analysis of Framed Structures*, livro, 1990, Van Nostrand Reinhold.

WEAVER Jr., W.; JOHNSTON, P.R. *Finite Elements for Structural Analysis*, livro, 1984, Prentice-Hall.