

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

“Estudo Teórico-Experimental da Distribuição das Ações Verticais entre Paredes de Edifício de Alvenaria Estrutural Cerâmica em Escala Reduzida”

Eng. RODRIGO FRANCISCO DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Ilha Solteira - SP
Abril/2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

S586e Silva, Rodrigo Francisco da.
Estudo teórico-experimental da distribuição das ações verticais entre paredes de edifício de alvenaria estrutural cerâmica em escala reduzida / Rodrigo Francisco da Silva. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2011
232 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Estruturas, 2011

Orientador: Jefferson Sidney Camacho
Inclui bibliografia

1. Alvenaria estrutural. 2. Ações verticais. 3. Modelo físico. 4. Edifício.
5. Bloco cerâmico.

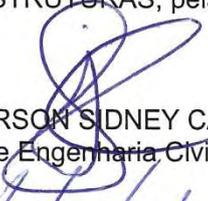
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

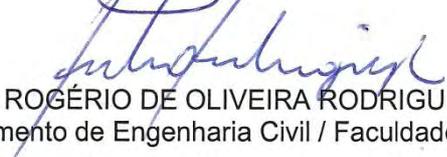
TÍTULO: Estudo Teórico-Experimental da Distribuição das Ações Verticais entre Paredes de Edifício de Alvenaria Estrutural Cerâmica em Escala Reduzida

AUTOR: RODRIGO FRANCISCO DA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL , Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ROGÉRIO DE OLIVEIRA RODRIGUES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MARCIO ROBERTO SILVA CORREA
Departamento de Engenharia Civil / Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP - São Carlos/SP

Data da realização: 18 de abril de 2011.

Dedico este trabalho a Deus.

Aos meus pais, Idercilia Inocencia da Silva
e Valdevino Francisco da Silva.

Aos meus irmãos, Jones Francisco da Silva
e Wederson Francisco da Silva.

À minha noiva Evelin Alyne Testi.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de todas as coisas, por me dar sabedoria, conhecimento e compreensão, assim como por sua presença em todos os momentos da minha vida, sem a qual não teria forças para prosseguir em direção ao alvo;

Aos meus pais, Idercilia Inocencia da Silva e Valdevino Francisco da Silva, pelo amor dedicado e também aos meus irmãos Jones e Wederson pelo incentivo;

Ao meu orientador Professor Doutor Jefferson Sidney Camacho por sua paciência, confiança, incentivo e dedicação nesses quatro anos desde a iniciação científica;

Ao Professor Doutor Rogério de Oliveira Rodrigues por ter me despertado o interesse pelas estruturas, desde as aulas de Resistência dos Materiais, e pelas oportunidades concedidas, assim como ao Eng. Rodrigo Piernas Andolfato por suas contribuições;

Ao doutorando da EESC/USP Wilson José da Silva, que construiu o edifício em escala reduzida, empenhando-se desde 2006 na realização de sua pesquisa e execução do protótipo, meus agradecimentos pelas suas contribuições, sem as quais este trabalho não seria realizado;

À minha noiva Evelin Alyne Testi, pela grande paciência, apoio e carinho;

Aos amigos de graduação e pós-graduação Rodrigo da Silva Manera, João Victor Fazzan, Daniel Queiroz de Oliveira e Emerson Alexandro Bolandim;

Ao senhor Ademir Modesto de Carvalho (Gugu) pelos cafezinhos e auxílio na realização dos ensaios. Aos Assistentes de Suporte Acadêmico Gilson Campos Corrêa, Ronaldo Mendes do Amaral, José Cavassano Ribeiro e Mário Roberto Corrêa Ferreira;

À FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa concedida durante a iniciação científica. Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa concedida no mestrado.

No princípio criou Deus os céus e a terra. E a terra era sem forma e vazia, e o espírito do Senhor se movia sobre a face das águas.

Gn 1.1-2

...

...

...

Não se afastem de ti a benignidade e a fidelidade, ata-as ao teu pescoço, escreve-as na tábua do teu coração, assim acharás favor e bom entendimento à vista de Deus e dos homens. Confia no Senhor de todo o teu coração, e não te estribes no teu próprio entendimento. Reconhece-o em todos os teus caminhos, e ele endireitará as tuas veredas. Não sejas sábio a teus próprios olhos; teme ao Senhor e aparta-te do mal. Isso será saúde para a tua carne e refrigério para os teus ossos.

Pv. 3.3-8

...

...

...

O fim de todas as coisas é: Teme a Deus e guarda os seus mandamentos, pois isto é tudo para o Homem.

Ec.12.13

...

...

...

Somos cooperadores de Deus, vós sois a lavoura de Deus e edifício de Deus... Se a obra que alguém edificou permanecer, receberá recompensa.

1Co. 3.9,14

...

...

...

E o Espírito e a noiva dizem: Vem. E quem ouve, diga: Vem. E quem tem sede, venha; e quem quiser, receba de graça a água da vida.

Ap. 22.17

Resumo

SILVA, R. F. **Estudo teórico-experimental da distribuição das ações verticais entre paredes de edifício de alvenaria estrutural cerâmica em escala reduzida.** 2011. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

Esta pesquisa foi realizada com o intuito de se conhecer, através de análise teórico-experimental, a distribuição das ações verticais ao longo da altura das paredes de um edifício em alvenaria estrutural cerâmica não armada em escala reduzida. O edifício em questão é formado por quatro pavimentos, blocos cerâmicos e lajes maciças estando apoiado sobre sistema de vigas baldrame e estacas, sendo que as estacas estão sobre um pequeno radier. Após obtenção dos resultados experimentais necessários, foram feitas análises teóricas da distribuição das ações verticais, utilizando-se dos modelos de cálculos atualmente conhecidos e também através de um software comercial baseado no Método dos Elementos Finitos. Fez-se comparações com os resultados obtidos através dos ensaios experimentais com o intuito de verificar qual modelo de cálculo melhor representou o comportamento da alvenaria. A fim de avaliar a distribuição das ações verticais, o edifício foi ensaiado através de carregamentos uniformemente distribuídos - bandejas com água - sobre as lajes dos diferentes pavimentos, medindo assim, os valores de reações de apoio nos pontos instrumentados. Como principal conclusão, verificou-se que para cálculos manuais de distribuição de ações verticais as paredes não devem ser tratadas como isoladas, mesmo para edifícios de pequena altura, com poucos pavimentos, mas como pertencentes a determinado grupo, por causa da existência de interação entre elas.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Ações verticais. Modelo físico. Edifício. Bloco cerâmico.

Abstract

SILVA, R. F. Theoretical-experimental study of the distribution of vertical loads between walls of building of ceramic structural masonry in small scale. 2011. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

This research was carried out in order to know, through theoretical and experimental analysis, the distribution of vertical loads along the height of the walls of a building in unreinforced structural masonry with ceramic blocks in small scale. The building in question consists of four floors, ceramic blocks and slabs being supported on system foundation beams and piles, the piles are upon a small raft. After obtaining the necessary experimental results were made theoretical analysis of the vertical loads distribution, using the currently model calculations and also with a commercial software based on finite element method. Comparisons were made with the results obtained from experimental tests with in order to determine which calculation model best represented the behavior of masonry. In order to evaluate the distribution of vertical loads, the building was tested by imposing uniformly distributed loads - trays with water - upon the slabs of different floors, thus measuring the values of support reactions at points instrumented. The main conclusion, it was found that for manual calculations of the distribution of vertical loads the walls should not be treated as isolated, even for buildings of small height, with few floors, but as belonging to a particular group, because of interaction between them.

Keywords: Structural masonry. Vertical loads. Physical model. Building. Ceramic block.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Exemplos de diferentes tipos de alvenaria de pedra em (a) e (b) e possíveis seções transversais em (c) e (d), (LOURENÇO, 1999a)..... | 22 |
| Figura 2 - Aspecto de Khriotikia, aldeia neolítica do Chipre, (RAMOS, 2002, p. 1.1)..... | 23 |
| Figura 3 - Coliseu Romano e Aqueduto de Segóvia - Espanha. | 24 |
| Figura 4 - Construção medieval: (a) gravura da construção de uma torre; (b) seção de uma catedral gótica, França (1220-1288 d.C.), (RAMOS, 2002, p. 1.2)..... | 25 |
| Figura 5 - Catedral de Wells - Inglaterra (1175-1490 d.C.). Foi construída no século XII e a fachada é do século XIII (1230-1240 d.C.). | 25 |
| Figura 6 - Forno Hoffman, (LOURENÇO, 1999b, p. 1.10)..... | 26 |
| Figura 7 - Edifício Monadnock. | 27 |
| Figura 8 - Conjunto habitacional “Central Parque da Lapa”, (LINDENBERG NETO)..... | 30 |
| Figura 9 - Edifícios em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. Fonte: Cerâmica Selecta..... | 32 |
| Figura 10 - Ensaios em edifícios em escala natural, (a) edifício construído na Escócia e (b) Japão. HENDRY (1981, p. 171) e CAMACHO (1995, p. 4), respectivamente..... | 39 |
| Figura 11 - Estrutura de alvenaria ensaiada, (MOON et al., 2007)..... | 40 |
| Figura 12 - Blocos de diferentes escalas, adaptado de Camacho (1995, p. 58). | 44 |
| Figura 13 - Prismas e paredinhas ensaiadas, adaptado de Camacho (1995, p. 66-67). | 44 |
| Figura 14 - Sistema estrutural em paredes celulares. | 48 |
| Figura 15 - Sistema estrutural em paredes transversais. | 48 |
| Figura 16 - Sistema estrutural complexo..... | 49 |
| Figura 17 - Detalhe de amarrações diretas entre duas (a) e três (b) paredes. | 50 |
| Figura 18 - Detalhe de amarração indireta com grampo metálico, (SILVA, 2003, p. 63)..... | 50 |
| Figura 19 - Distribuição de ações de acordo com a NBR 10837 (1989, p. 6)..... | 51 |
| Figura 20 - Espalhamento de uma força parcialmente distribuída em paredes que se interceptam, adaptado de Ramalho e Corrêa (2003, p. 29)..... | 52 |
| Figura 21 - Interação de paredes em um canto, adaptado de Ramalho e Corrêa (2003, p. 29)..... | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 22 - Interação de paredes na região da janela, adaptado de Ramalho e Corrêa (2003, p. 29).... | 53 |
| Figura 23 - Áreas de influência para transferência das ações verticais por paredes isoladas..... | 55 |
| Figura 24 - Grupo isolado de paredes. | 56 |
| Figura 25 - Métodos alternativos de cálculo das ações nas paredes. Na esquerda, áreas atribuídas às paredes isoladas e à direita, grupos de paredes, (SUTHERLAND ⁹ , 1969, apud HENDRY, 1998). | 57 |
| Figura 26 - Edifício modelado por elementos finitos..... | 59 |
| Figura 27 - Deformações medidas na parede do edifício, (STOCKBRIDGE ¹⁰ , 1967, apud CAPUZZO NETO, 2005)..... | 60 |
| Figura 28 - Exemplo de intersecção de paredes, adaptado de Corrêa e Ramalho (1994b, p. 307). | 62 |
| Figura 29 - Tensões normais verticais nas seções de controle ao longo da altura da edificação. | 63 |
| Figura 30 - Grupos e macrogrupos do pavimento tipo, (CORRÊA; RAMALHO, 1994b, p. 312)..... | 64 |
| Figura 31 - Planta do edifício, adaptado de Oliveira Junior e Pinheiro (1994, p. 318)..... | 67 |
| Figura 32 - Ações não homogeneizadas (kN/m), (OLIVEIRA JUNIOR; PINHEIRO, 1994, p. 321).. | 70 |
| Figura 33 - Ações homogeneizadas (kN/m), (OLIVEIRA JUNIOR; PINHEIRO, 1994, p. 321). | 70 |
| Figura 34 - Interação entre três paredes, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002). | 72 |
| Figura 35 - Distribuição do carregamento atuante na Parede 01, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002). .. | 73 |
| Figura 36 - Uniformização da ação da parede 02 nas paredes adjacentes, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002). | 73 |
| Figura 37 - Distribuição de cargas entre aberturas, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002)..... | 75 |
| Figura 38 - Exemplos de casos de interação entre duas paredes, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).... | 75 |
| Figura 39 - Exemplo de interação entre 3 paredes, adaptado de Parsekian e Franco (2002). | 76 |
| Figura 40 - Exemplos de paredes carregadas com aberturas, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002). | 78 |
| Figura 41 - Planta da edificação com 1º fiada, (ANDOLFATO, 2006, p. 17)..... | 80 |
| Figura 42 - Pontos instrumentados para leitura, (ANDOLFATO, 2006, p. 39)..... | 81 |
| Figura 43 - Piscinas utilizadas para prova de carga, (ANDOLFATO, 2006, p. 142). | 82 |
| Figura 44 - Área carregada das lajes dos dormitórios, (ANDOLFATO, 2006, p. 112). | 83 |
| Figura 45 - Área de influência das lajes carregadas pela prova de carga para as PI, (ANDOLFATO, 2006, p. 112). | 83 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46 - Área de influência das lajes carregadas considerando (GIP), (ANDOLFATO, 2006, p. 114). | 84 |
| Figura 47 - Resultados de tensões nos pontos instrumentados devido à prova de carga PC3 para o PI, GIP e GPCI50, (ANDOLFATO, 2006, p. 117)..... | 87 |
| Figura 48 - Planta do pavimento tipo do edifício com dimensões em metros. | 90 |
| Figura 49 - Elevações 1, 3 e 4 do edifício, com dimensões em metros..... | 91 |
| Figura 50 - Elevação 2 do edifício, com dimensões em metros..... | 92 |
| Figura 51 - Grelha formada pela intersecção das vigas baldrames com os 12 pontos de leitura (células de carga), com dimensões em metros..... | 93 |
| Figura 52 - Elevação 1 das paredes externas do edifício que é idêntica as elevações 3 e 4, e elevação 2, respectivamente..... | 94 |
| Figura 53 - Detalhes do assentamento das paredes do térreo sobre a viga metálica. | 94 |
| Figura 54 - Edifício em alvenaria estrutural cerâmica em escala reduzida. | 95 |
| Figura 55 - Detalhe das células de carga sob o edifício. | 95 |
| Figura 56 - Sistema de aquisição de dados. | 96 |
| Figura 57 - Carga (água) uniformemente distribuída sobre a laje do ambiente 1. | 98 |
| Figura 58 - Carga uniformemente distribuída sobre a laje da cobertura. | 98 |
| Figura 59 - Detalhe das marcações feitas para ensaios posteriores, e retirada de água das bandejas. .. | 98 |
| Figura 60 - Esquema em planta de aplicação do carregamento nas lajes..... | 101 |
| Figura 61 - Reações de apoio para ações atuando na laje L1 - Caso 1..... | 103 |
| Figura 62 - Reações de apoio para ações atuando na laje L2 - Caso 2..... | 107 |
| Figura 63 - Reações de apoio para ações atuando na laje L3 - Caso 3..... | 110 |
| Figura 64 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes dos pavimentos - Caso 4. | 113 |
| Figura 65 - Numeração e comprimento das paredes - (PI)..... | 117 |
| Figura 66 - Áreas de influência considerando 45° para o pavimento tipo - (PI)..... | 118 |
| Figura 67 - Áreas de influência considerando 30°/60° para o pavimento tipo - (PI). | 118 |
| Figura 68 - Áreas de influência considerando 45° para a cobertura - (PI). | 119 |
| Figura 69 - Áreas de influência considerando 30°/60° para a cobertura - (PI). | 119 |

| | |
|---|-----|
| Figura 70 - Áreas de influência para o pavimento tipo, considerando apoios como pilares. | 120 |
| Figura 71 - Áreas de influência para a cobertura, considerando apoios como pilares. | 121 |
| Figura 72 - Ações verticais uniformemente distribuídas nas vigas, laje L1 - (PI). | 123 |
| Figura 73 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (PI). | 124 |
| Figura 74 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (PI). | 126 |
| Figura 75 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (PI). | 127 |
| Figura 76 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (PI). | 128 |
| Figura 77 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (PI). | 130 |
| Figura 78 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (PI). | 131 |
| Figura 79 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (PI). | 132 |
| Figura 80 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (PI). | 133 |
| Figura 81 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (PI). | 134 |
| Figura 82 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (PI). | 135 |
| Figura 83 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (PI). | 136 |
| Figura 84 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (PI). | 137 |
| Figura 85 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (PI). | 138 |
| Figura 86 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (PI). | 139 |
| Figura 87 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (PI). | 140 |
| Figura 88 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (PI). | 141 |
| Figura 89 - Designação dos cinco grupos de paredes. | 142 |
| Figura 90 - Áreas de influência considerando 45° para o pavimento tipo - (GP). | 143 |
| Figura 91 - Áreas de influência considerando 30°/60° para o pavimento tipo - (GP). | 143 |
| Figura 92 - Áreas de influência considerando 45° para a cobertura - (GP). | 144 |
| Figura 93 - Áreas de influência considerando 30°/60° para a cobertura - (GP). | 144 |
| Figura 94 - Ações verticais uniformemente distribuídas nas vigas, laje L1 - (GP). | 146 |
| Figura 95 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (GP). | 147 |

| | |
|--|-----|
| Figura 96 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (GP)..... | 148 |
| Figura 97 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (GP)..... | 149 |
| Figura 98 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (GP). | 150 |
| Figura 99 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (GP)..... | 151 |
| Figura 100 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (GP)..... | 152 |
| Figura 101 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (GP)..... | 153 |
| Figura 102 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (GP). | 154 |
| Figura 103 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (GP)..... | 155 |
| Figura 104 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (GP)..... | 156 |
| Figura 105 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (GP)..... | 157 |
| Figura 106 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (GP). | 158 |
| Figura 107 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (GP). | 159 |
| Figura 108 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (GP). | 160 |
| Figura 109 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (GP). | 161 |
| Figura 110 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (GP)..... | 162 |
| Figura 111 - Designação dos novos grupos de paredes..... | 163 |
| Figura 112 - Áreas de influência considerando 45° para o pavimento tipo - (NGP). | 164 |
| Figura 113 - Áreas de influência considerando 30°/60° para o pavimento tipo - (NGP)..... | 164 |
| Figura 114 - Áreas de influência considerando 45° para a cobertura - (NGP)..... | 165 |
| Figura 115 - Áreas de influência considerando 30°/60° para a cobertura - (NGP)..... | 165 |
| Figura 116 - Ações verticais uniformemente distribuídas nas vigas, laje L1 - (NGP)..... | 167 |
| Figura 117 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (NGP)..... | 168 |
| Figura 118 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (NGP)..... | 168 |
| Figura 119 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (NGP)..... | 169 |
| Figura 120 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (NGP). | 169 |
| Figura 121 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (NGP)..... | 170 |

| | |
|---|-----|
| Figura 122 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (NGP)..... | 170 |
| Figura 123 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (NGP)..... | 171 |
| Figura 124 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (NGP). | 171 |
| Figura 125 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (NGP)..... | 172 |
| Figura 126 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (NGP)..... | 172 |
| Figura 127 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (NGP)..... | 173 |
| Figura 128 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (NGP). | 173 |
| Figura 129 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (NGP). | 174 |
| Figura 130 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (NGP). | 174 |
| Figura 131 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (NGP). | 175 |
| Figura 132 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (NGP)..... | 175 |
| Figura 133 - Cotas (metro) em planta das paredes do edifício, em vermelho referente às aberturas de janelas e em preto aberturas de portas e distância entre paredes..... | 178 |
| Figura 134 - Parede do térreo de um dos lados do edifício discretizada..... | 179 |
| Figura 135 - Paredes do térreo discretizadas, vigas baldrame representadas em azul..... | 179 |
| Figura 136 - Ações provenientes do carregamento atuando na cobertura, e aqui lançadas sobre as paredes do térreo. | 180 |
| Figura 137 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (MEF). | 181 |
| Figura 138 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (MEF). | 181 |
| Figura 139 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (MEF). | 182 |
| Figura 140 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (MEF). | 182 |
| Figura 141 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (MEF). | 183 |
| Figura 142 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (MEF). | 183 |
| Figura 143 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (MEF). | 184 |
| Figura 144 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (MEF). | 184 |
| Figura 145 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (MEF). | 185 |
| Figura 146 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (MEF). | 185 |

| | |
|---|-----|
| Figura 147 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (MEF). | 186 |
| Figura 148 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (MEF). | 186 |
| Figura 149 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (MEF). | 187 |
| Figura 150 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (MEF). | 187 |
| Figura 151 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (MEF). | 188 |
| Figura 152 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (MEF). | 188 |
| Figura 153 - Planta baixa e elevação, (CORRÊA, 2003, p. 144). | 189 |
| Figura 154 - Escolha inicial dos grupos. | 190 |
| Figura 155 - Comprimento das paredes. | 191 |
| Figura 156 - Determinação das áreas de influência. | 192 |
| Figura 157 - Localização dos CC das áreas carregadas. | 192 |
| Figura 158 - Definição dos nós. | 193 |
| Figura 159 - Localização dos Centros de Carga resultantes que coincidirão com centro da circunferência para limitação do comprimento das paredes do grupo. | 194 |
| Figura 160 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G1. | 195 |
| Figura 161 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G2. | 196 |
| Figura 162 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G3. | 196 |
| Figura 163 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G4. | 197 |
| Figura 164 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G5. | 197 |
| Figura 165 - Grupos de paredes definidos para análise da distribuição das ações verticais. | 198 |
| Figura 166 - Resultados teóricos obtidos com o primeiro procedimento proposto. | 199 |
| Figura 167 - Definição dos nós principais. | 200 |
| Figura 168 - Determinação dos comprimentos das paredes dos grupos. | 201 |
| Figura 169 - Novos grupos criados pela aplicação do procedimento. | 202 |
| Figura 170 - Resultados teóricos obtidos com o segundo procedimento proposto. | 203 |
| Figura 171 - Comparações entre procedimentos propostos. | 204 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Tensões normais verticais nas seções de controle (kN/m ²), adaptado de Corrêa e Ramalho (1994b, p. 308)..... | 63 |
| Tabela 2 - Cargas distribuídas nas paredes abaixo do primeiro pavimento, adaptado de Corrêa e Ramalho (1994b, p. 313)..... | 65 |
| Tabela 3 - Ações homogêneas em um pavimento, adaptado de Oliveira Junior e Pinheiro (1994, p. 320). | 69 |
| Tabela 4 - Ações acumuladas nas paredes (kN/m), adaptado de Oliveira Junior e Pinheiro (1994, p. 320). | 69 |
| Tabela 5 - Comparação dos resultados de todos os exemplos, adaptado de Parsekian e Franco (2002). | 79 |
| Tabela 6 - Dados para as paredes isoladas e grupos de paredes influenciados pela prova de carga, adaptado de Andolfato (2006, p. 113-115)..... | 85 |
| Tabela 7 - Dados para os grupos de paredes com interação influenciados pela prova de carga, adaptado de Andolfato (2006, p. 116). | 85 |
| Tabela 8 - Valores teóricos de tensão atuante nos pontos instrumentados na base do edifício devido à prova de carga para os casos de (PI), (GIP) e (GPCI50), adaptado de Andolfato (2006, p. 114-116). | 86 |
| Tabela 9 - Resumo das ações aplicadas nas lajes dos ambientes. | 100 |
| Tabela 10 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 - (PI)..... | 122 |
| Tabela 11 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 - (GP). | 145 |
| Tabela 12 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 - (NGP). | 166 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 19 |
| 1.1 | Objetivo | 19 |
| 1.2 | Justificativa..... | 20 |
| 1.3 | Organização da Dissertação..... | 20 |
| 2 | A ALVENARIA DE ONTEM E DE HOJE | 22 |
| 2.1 | A Alvenaria ao Longo dos Tempos..... | 22 |
| 2.2 | O Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural no Brasil..... | 29 |
| 2.3 | Vantagens e Desvantagens da Alvenaria Estrutural | 33 |
| 2.3.1 | Vantagens | 33 |
| 2.3.2 | Desvantagens | 35 |
| 2.4 | O Bloco Cerâmico Estrutural | 36 |
| 3 | MODELAGEM EM ESCALA REDUZIDA | 38 |
| 3.1 | O Uso de Modelos | 38 |
| 3.2 | A Modelagem Física Reduzida da Alvenaria Estrutural | 41 |
| 3.3 | A Modelagem Física Reduzida da Alvenaria no Brasil | 43 |
| 4 | O CAMINHAMENTO DAS AÇÕES VERTICAIS | 47 |
| 4.1 | Arranjo em Planta das Paredes de Edifícios..... | 47 |
| 4.1.1 | Paredes Celulares..... | 47 |
| 4.1.2 | Paredes Transversais..... | 47 |
| 4.1.3 | Sistema Complexo..... | 48 |
| 4.2 | O Fenômeno da Interação entre Paredes | 49 |
| 4.3 | Procedimentos de Distribuição das Ações Verticais | 53 |
| 4.3.1 | Paredes Isoladas..... | 54 |
| 4.3.2 | Grupos Isolados de Paredes..... | 55 |
| 4.3.3 | Grupos de Paredes com Interação | 57 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.3.4 | Modelagem por Elementos Finitos..... | 58 |
| 4.4 | Pesquisas sobre o Tema..... | 59 |
| 4.4.1 | Trabalho de Stockbridge (1967)..... | 59 |
| 4.4.2 | Trabalho de Corrêa e Ramalho (1994b)..... | 61 |
| 4.4.3 | Trabalho de Oliveira Junior e Pinheiro (1994)..... | 66 |
| 4.4.4 | Trabalho de Parsekian e Franco (2002)..... | 71 |
| 4.4.5 | Trabalho de Andolfato (2006)..... | 80 |
| 5 | O MODELO EXPERIMENTAL ESTUDADO..... | 88 |
| 5.1 | Características dos Materiais..... | 88 |
| 5.2 | O Edifício Ensaiado..... | 89 |
| 5.3 | O Ensaio - Carregando o Edifício..... | 96 |
| 6 | RESULTADOS EXPERIMENTAIS..... | 102 |
| 6.1 | Caso 1..... | 103 |
| 6.2 | Caso 2..... | 107 |
| 6.3 | Caso 3..... | 110 |
| 6.4 | Caso 4..... | 113 |
| 7 | RESULTADOS TEÓRICOS..... | 116 |
| 7.1 | Paredes Isoladas (PI)..... | 116 |
| 7.1.1 | Resultados e Comparações - Caso 1..... | 124 |
| 7.1.2 | Resultados e Comparações - Caso 2..... | 130 |
| 7.1.3 | Resultados e Comparações - Caso 3..... | 134 |
| 7.1.4 | Resultados e Comparações - Caso 4..... | 138 |
| 7.2 | Grupos de Paredes (GP)..... | 142 |
| 7.2.1 | Resultados e Comparações - Caso 1..... | 147 |
| 7.2.2 | Resultados e Comparações - Caso 2..... | 150 |
| 7.2.3 | Resultados e Comparações - Caso 3..... | 154 |
| 7.2.4 | Resultados e Comparações - Caso 4..... | 158 |
| 7.3 | Novos Grupos de Paredes (NGP)..... | 163 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7.3.1 | Resultados e Comparações - Caso 1 ao Caso 4..... | 168 |
| 7.4 | Modelagem por Elementos Finitos (MEF)..... | 177 |
| 7.4.1 | Resultados e Comparações - Caso 1..... | 181 |
| 7.4.2 | Resultados e Comparações - Caso 2..... | 183 |
| 7.4.3 | Resultados e Comparações - Caso 3..... | 185 |
| 7.4.4 | Resultados e Comparações - Caso 4..... | 187 |
| 7.5 | Propostas de Procedimento de Distribuição das Ações Verticais | 189 |
| 7.5.1 | Proposta 1: Processo dos Centros de Cargas (CC)..... | 190 |
| 7.5.2 | Proposta 2: Processo dos Nós Principais..... | 199 |
| 7.5.3 | Comparação entre os Procedimentos Propostos..... | 203 |
| 8 | CONCLUSÕES..... | 205 |
| | REFERÊNCIAS | 209 |
| | ANEXOS..... | 218 |

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Edifícios em alvenaria estrutural, bem como estruturas constituídas de outros materiais, estão sujeitos às ações horizontais provenientes, por exemplo, do vento, e esforços verticais como as sobrecargas atuantes ou o peso próprio do edifício. Obviamente quando se projeta determinada estrutura devem ser consideradas todas as ações que possam atuar durante a vida útil da mesma, pois cada uma produz esforços particulares, sendo importante sua análise para o correto dimensionamento, a fim de evitar surpresas.

Especificamente em edifícios de alvenaria estrutural atenção especial deve ser dada às ações verticais, pois são as que normalmente apresentam maior magnitude e podem ocasionar esforços consideráveis nas paredes, determinando seu dimensionamento. Não que as demais não sejam importantes, por exemplo, no caso de esforços horizontais, a disposição das paredes no edifício como as chamadas paredes de contraventamento são capazes de absorver tais esforços sem muitos problemas, devido à rigidez apresentada pela estrutura.

Para a consideração da distribuição das ações verticais atuantes nas paredes, existem alguns procedimentos, sendo que em geral são divididos em dois. No primeiro as paredes são tratadas totalmente independentes umas das outras, ou seja, “Paredes Isoladas”, onde se aceita que cada parede seja responsável pelo seu peso próprio e as cargas de qualquer natureza a ela transmitidas, pelas lajes apoiadas, fluam diretamente para a fundação. No segundo as paredes são consideradas como pertencentes a determinado “Grupo”, ou seja, paredes que se interceptam agora trabalham em conjunto, por causa da interação que existe entre elas, sendo preferencial amarração direta das mesmas.

1.1 Objetivo

Desenvolver uma investigação teórico-experimental da distribuição das ações verticais ao longo da altura de um edifício em alvenaria estrutural cerâmica não armada em escala reduzida, através de modelos matemáticos usuais e programa computacional, bem como compará-los com resultados obtidos experimentalmente.

1.2 Justificativa

A interação que ocorre entre paredes de alvenaria que se cruzam ainda é pouco estudada. É um dos problemas mais importantes a ser enfrentado durante a realização do projeto de um edifício de alvenaria estrutural. O questionamento que se faz é como considerar o caminhamento de um carregamento aplicado numa parede para outras na vizinhança?

Na maioria das vezes a distribuição das ações é feita intuitivamente, baseando-se na experiência do projetista estrutural. Assim, são de grande importância estudos que forneçam uma melhor compreensão da distribuição das ações verticais entre as paredes para uma correta análise e dimensionamento estrutural da alvenaria. Neste sentido, poucos estudos são conclusivos, tanto no exterior como no Brasil. Em outros países são construídos edifícios de alvenaria de poucos pavimentos, e ainda na maioria dos casos, devido às condições climáticas, as paredes possuem espessuras consideráveis, sendo que a distribuição das ações verticais não seria fator relevante no projeto ou no custo da obra. No Brasil se verifica a construção de edifícios altos, utilizando paredes com unidades de pouca espessura, tornando as ações verticais relevantes o que evidencia a necessidade de compreender melhor sua distribuição.

1.3 Organização da Dissertação

Este trabalho foi dividido em oito capítulos. Neste capítulo foram relatadas considerações iniciais acerca do assunto abordado, objetivos, justificativas e organização da dissertação.

A trajetória percorrida pela alvenaria, utilizada como material de construção, ao longo dos tempos é apresentada no Capítulo 2, bem como algumas de suas características e materiais utilizados atualmente.

O Capítulo 3 relata sobre a utilização da modelagem física, apresentando de forma sucinta algumas situações em que foi empregada. Também descreve um breve histórico sobre a modelagem física reduzida, especificamente para estruturas de alvenaria, tanto internacional como no Brasil.

O problema da distribuição das ações verticais entre paredes de alvenaria é apresentado no Capítulo 4. Inicialmente são mostrados exemplos de possíveis arranjos em planta das paredes, assim como abordados os tipos de ligações existentes e o fenômeno da interação entre elas. Os procedimentos de distribuição de ações verticais mais indicados são relatados, assim como expostos trabalhos realizados por diferentes pesquisadores que se utilizaram de tais procedimentos.

No Capítulo 5 é feita a apresentação do modelo experimental estudado, algumas características do edifício e também suas dimensões verticais e horizontais. A forma de realização do ensaio também é descrita na sequência.

Os Capítulos 6 e 7 mostram, respectivamente, os resultados experimentais para os diferentes casos de carregamentos aplicados e os resultados teóricos obtidos com os diferentes procedimentos adotados, bem como a comparação entre eles e ainda são apresentadas propostas de procedimentos de distribuição das ações verticais.

As conclusões estão expostas no Capítulo 8.

2 A ALVENARIA DE ONTEM E DE HOJE

2.1 A Alvenaria ao Longo dos Tempos

A alvenaria é o elemento construtivo representado pela superposição de pedras ou outros materiais, naturais ou artificiais, ligados entre si de maneira estável, utilizando ou não juntas de argamassa, em fiadas horizontais ou em camadas parecidas, que se repetem sobrepondo umas sobre as outras. Pode-se também defini-la como componente complexo, utilizado na construção e disposto em obra, formado por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, resultando em um conjunto rígido e coeso. Sobre a etimologia da palavra *alvenaria* sabe-se que, origina-se do árabe *al-banná* e significa trabalho feito pelo pedreiro ou trabalho feito por aquele que constrói.

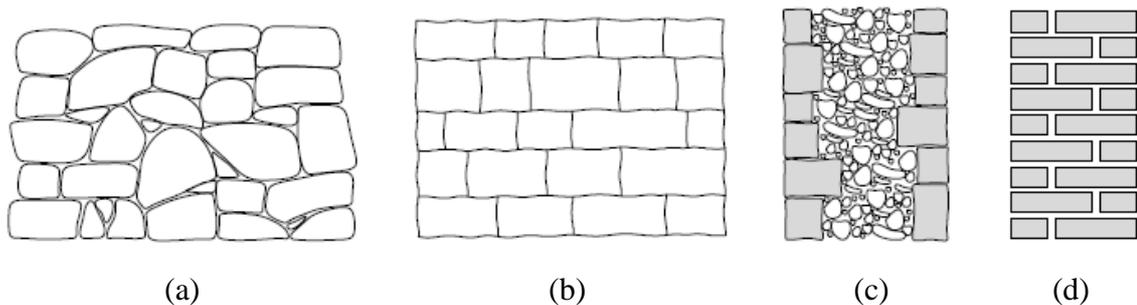


Figura 1 - Exemplos de diferentes tipos de alvenaria de pedra em (a) e (b) e possíveis seções transversais em (c) e (d), (LOURENÇO, 1999a).

A alvenaria é o material de construção mais antigo utilizado pelo homem e que ainda encontra vasta utilização nas edificações. Seu uso remonta desde o início das civilizações, onde o homem construía seus abrigos para se proteger das intempéris da natureza, das guerras e batalhas ou para realizar cultos sagrados, com o simples amontoar de pedras.

Dentre muitas razões, o elevado uso da alvenaria está associado à sua durabilidade, solidez e baixo custo de manutenção. Contudo, a razão mais forte para o seu uso é sua simplicidade: a sobreposição de peças sólidas, dispostas umas em cima das outras, com ou sem coesão, introduzida pela presença ou não de argamassas, é um processo de construção fácil e de rápida aprendizagem, que gerou um conhecimento que atravessou séculos (RAMOS, 2002, p. 1.1).

As primeiras construções em alvenaria são datadas de 9000-8000 a.C., próximas do lago Hulen, Israel, onde foram encontradas casas em alvenaria de pedra não argamassada e formato circular de 3 a 9m de diâmetro, semi-enterradas com uma profundidade de 70cm. A cobertura era formada por camadas de barro sobre uma armação. Exemplo deste tipo de arquitetura é dado pela aldeia neolítica de Khriotikia no Chipre, constituída por casas em forma de colmeia, conforme Figura 2.

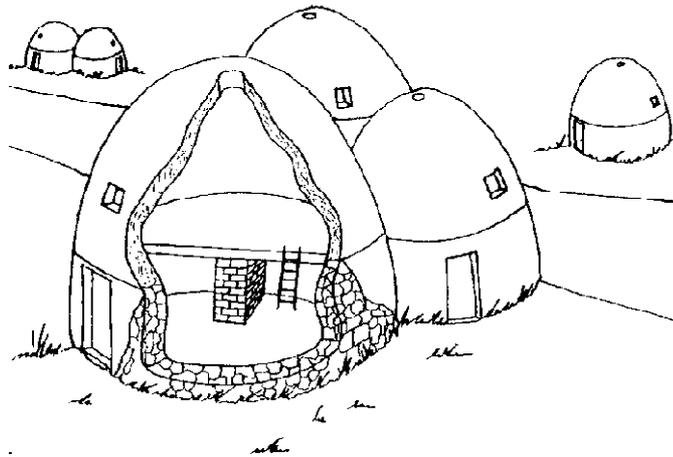


Figura 2 - Aspecto de Khriotikia, aldeia neolítica do Chipre, (RAMOS, 2002, p. 1.1).

Por volta de 7700-7600 a.C. ocorre a mudança da estrutura circular para uma estrutura retangular, permitindo ampliações do espaço e refletindo certo desenvolvimento demográfico. Como exemplo desta mudança tem-se Jericó, referida na Bíblia como a cidade que teve suas muralhas destruídas ao som das trombetas de Josué. Essas habitações possuíam mais de um andar e se caracterizavam por um reboco das paredes feitas agora com blocos de barro de forma alongada e secos ao sol, bem como por um chão perfeitamente polido. A escolha dos materiais básicos de construção era feita de acordo com as matérias primas disponíveis em cada local. Na Mesopotâmia, como não existiam afloramentos rochosos, foram adotados os tijolos de barro.

Também os egípcios de 2800-2000 a.C. construíram suas pirâmides e diversos templos em alvenaria de pedra. Citam-se as pirâmides de Gizé, onde foram utilizados mais de dois milhões de blocos de pedra pesando em média duas toneladas e meia cada. A maior delas, Quéops, foi construída há mais de 4.500 anos, por volta do ano 2550 a.C., possuindo 147m de

altura foi a maior construção feita pelo homem durante mais de quatro mil anos, sendo superada apenas no final do século XIX, com a construção da Torre Eiffel.

Posteriormente os romanos de 0-1200 d.C. construíram inúmeras obras de arte em alvenaria de pedra ou de tijolo, tais como: palácios, arcos, igrejas, colunas, pontes e aquedutos, utilizando-se de uma nova tecnologia na construção conhecida como elemento em arco. Pode-se citar o Coliseu, construído ente 70-90 d.C., que era sustentado por um conjunto de pórticos formados por pilares e arcos. A sua planta elíptica possui dois eixos que se estendem aproximadamente de 190m por 155m, tendo uma altura de aproximadamente 50m. Outro exemplo, conforme a Figura 3, é o Aqueduto de Segóvia que foi construído durante os séculos I e II. O aqueduto que resta tem 29m de altura, 728m de comprimento e 167 arcos. Foram empregados cerca de 35.000 blocos de granito.



Figura 3 - Coliseu Romano e Aqueduto de Segóvia - Espanha.

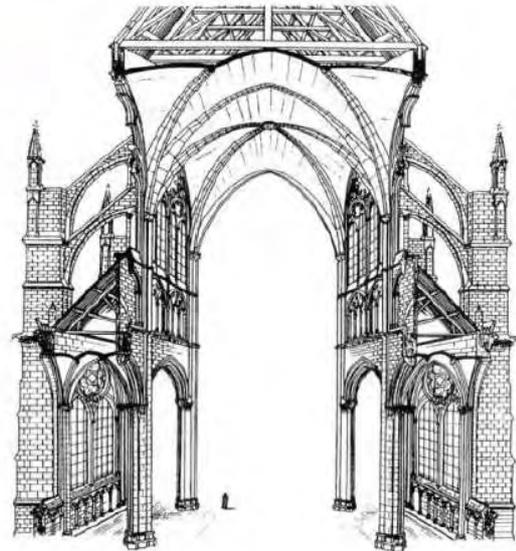
Durante o Império Romano ocorreu a generalização da produção de tijolos em razão da variedade e facilidade de obtenção da matéria prima. Os edifícios romanos eram construídos com tijolos secos ao sol assentes sobre juntas de barro. Devido às dimensões das pedras, havia dificuldade em se trabalhar e construir, obrigando os povos daquela época a utilizar peças de tamanhos reduzidos, ou seja, os tijolos, possibilitando assim, segundo Roman (1983, p. 1), o aparecimento e o desenvolvimento de obras com arcos e abóbadas totalmente em alvenaria.

Conforme se construíam mais edifícios a tecnologia da indústria da construção evoluía. Os utensílios e equipamentos usados nas construções também passaram por sucessivas transformações, Figura 4(a). Foi com a arquitetura gótica de 1200-1600 d.C., através da arte

de talhar a pedra, que o homem conseguiu construir o que de mais belo se pode erguer em alvenaria, as encantadoras catedrais, Figura 4(b) e Figura 5. Essas catedrais consistem num esqueleto de colunas, contrafortes, paredes, arcos e abóbadas.



(a)



(b)

Figura 4 - Construção medieval: (a) gravura da construção de uma torre; (b) seção de uma catedral gótica, França (1220-1288 d.C.), (RAMOS, 2002, p. 1.2).



Figura 5 - Catedral de Wells - Inglaterra (1175-1490 d.C.). Foi construída no século XII e a fachada é do século XIII (1230-1240 d.C.).

Lourenço (1999b, p. 1.7) relata que no norte da Europa, devido à escassez de pedra, as construções eram dominadas pelo uso do tijolo. Com isso, a produção de tijolos aumentou, passando a existir uma diversidade de cores disponíveis que iam do bege ao cinzento, passando por vários tons de vermelho. Conforme o uso do tijolo nas construções aumentava, havia necessidade de uma maior produção. No início do século XIX, quando se pretendia construir um edifício, começava-se por preparar a pasta de argila para fabricar os tijolos que seriam necessários. Mais tarde, esta produção pontual passou a ser de maior escala, produzindo-se grandes quantidades de tijolos.

Com a Revolução Industrial desenvolveu-se a mecanização da produção que permitiu o desenvolvimento de técnicas de construção e o aparecimento de novos materiais até aos dias de hoje. Segundo Gomes (2001, p. 4), a grande transformação da indústria do tijolo ocorreu em 1858, na Alemanha, com a introdução do forno Hoffman que possibilitou que todos os estágios da queima pudessem ser efetuados de forma contínua, Figura 6. Desde então, outras pesquisas e desenvolvimentos contribuíram para a criação de uma eficiente indústria manufatureira de tijolos.

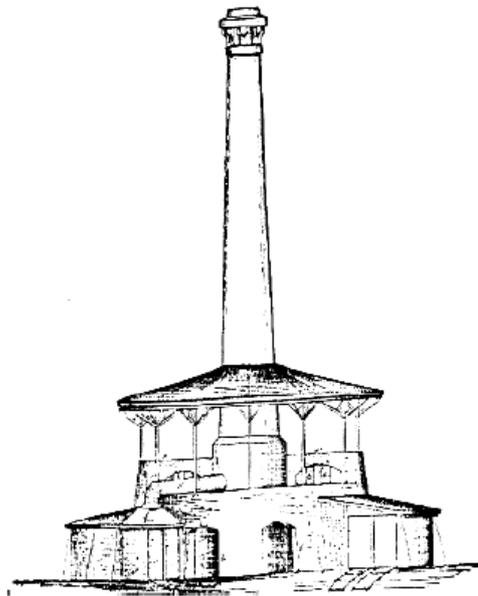


Figura 6 - Forno Hoffman, (LOURENÇO, 1999b, p. 1.10).

Como se pode observar, muitas dessas obras, citadas anteriormente, foram construídas com diferentes materiais, como argila e pedra, desafiando o tempo e chegando até nossos dias como monumentos imponentes de grande importância histórica evidenciando a resistência da

alvenaria. Todavia, segundo Camacho (1995, p. 1) essas obras sempre foram construídas com base na experiência, ou seja, de forma empírica, por conhecimentos passados de uma geração a outra e adquiridos através de tentativas, num processo de erros e acertos. Apesar disso, até o final do século XIX, obras de grande porte eram erguidas usando a alvenaria como elemento de sustentação.

Entre os anos de 1889 e 1893 vê-se, em Chicago, um exemplo que demonstra a dificuldade enfrentada pelos projetistas da época na construção de um edifício com seus 16 pavimentos e 60m de altura, em alvenaria não armada de tijolos cerâmicos, Figura 7. As paredes estruturais, que constituem seu sistema de contraventamento, possuem na base uma espessura de aproximadamente 1,80m. Segundo Ramalho e Corrêa (2003, p. 4) se tivessem sido utilizadas técnicas e métodos construtivos modernos, e não métodos empíricos de dimensionamento empregados até então, os projetistas do “Monadnock” utilizariam uma espessura de parede inferior a 30cm.



Figura 7 - Edifício Monadnock.

Ainda no século XIX ocorreu a primeira ameaça na utilização da alvenaria como sistema estrutural, por causa da produção de vigas e pilares em ferro fundido. No final deste século as técnicas de construção de edifícios altos já tinham eliminado a necessidade de paredes de grande espessura nos pisos inferiores. Com o advento do aço e do concreto armado, e

posteriormente o concreto protendido, ocorreu uma revolução na arte de se construir, pois possibilitaram a construção de estruturas esbeltas e de grande altura com peças de reduzidas dimensões.

Juntamente com os novos materiais, surgiram também novas filosofias e técnicas construtivas com embasamento científico que se desenvolveram muito rapidamente. Com isso, as obras em alvenaria foram deixadas em segundo plano, servindo apenas como elemento de fechamento ou estético. Pode-se dizer também que o declínio da alvenaria ocorreu em virtude dos códigos (normas) subdesenvolvidos e a falta de compreensão do comportamento deste tipo de estrutura.

Segundo Camacho (1995, p. 2), em meados do século XX, devido à necessidade do mercado em buscar técnicas alternativas de construção, as obras de alvenaria voltaram novamente a serem erguidas, acompanhadas, agora, de pesquisas realizadas em vários países, o que permitiu a criação de várias normas e adoção de critérios de cálculo baseados em métodos racionais, surgindo assim, o que se chama modernamente de **Alvenaria Estrutural**.

Sendo assim, a **Alvenaria Estrutural** pode ser definida como um sistema construtivo racionalizado, ou seja, uma estrutura de alvenaria dimensionada por cálculo racional, onde os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, atendendo simultaneamente as funções de estrutura e vedação. É o oposto da alvenaria tradicional, projetada e construída empiricamente. O principal conceito estrutural ligado à sua utilização é a transmissão de ações através de tensões de compressão.

Segundo Prudêncio Junior (1986, p. 5), na Índia, em 1923, testes extensivos sobre a alvenaria foram executados e resultaram numa teoria racional de projeto sendo considerado o verdadeiro início da alvenaria estrutural.

Conforme Calçada (1998, p. 2), os anos 50 foram marcados pela evolução dos métodos de cálculo para a alvenaria estrutural e pelo desenvolvimento das indústrias de blocos de concreto, o que incentivou ainda mais o retorno da alvenaria estrutural. Em 1966, nos Estados Unidos, foi publicado o “Building Code Requirements for Engineered Brick Masonry”, pelo “Structural Clay Products Institute”, hoje o “Brick Institute of América” (BIA), fato

considerado como um marco na história da alvenaria estrutural. Posteriormente, em 1969, essas recomendações foram incluídas no “Recommended Practice for Engineered Brick Masonry” do BIA (CAMACHO, 1995, p. 12).

Em 1967, com a publicação da “Specification for the Design and the Construction of Load Bearing Concrete Masonry” pelo National Concrete Masonry Association (NCMA), que passou a ser utilizado como código de obra em todo território norte-americano, foi incentivada a construção em alvenaria estrutural de blocos de concreto (CALÇADA, 1998, p. 2). Outro fato marcante na história da alvenaria estrutural foi a publicação da nova norma inglesa, BS-5628 Part 1: Unreinforced Masonry, em 1978, substituindo a última versão do CP-111 de 1970, onde foi abandonado o conceito das tensões admissíveis, antes adotado para a alvenaria no mundo todo, substituindo-o pela filosofia dos estados limites. Já em 1985 veio a publicação da BS-5628 Part 2: Reinforced and Prestressed Masonry, voltada para a alvenaria protendida (CAMACHO, 1995, p. 13).

A partir da década de 80 surgiram muitas pesquisas, que tiveram por objetivos: o estudo da alvenaria protendida; o comportamento global das paredes resistentes inseridas no sistema estrutural; a avaliação dos efeitos das cargas horizontais e verticais e o efeito de ações dinâmicas sobre as estruturas (CAMACHO, 1995, p. 13).

2.2 O Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural no Brasil

O sistema construtivo em alvenaria estrutural permaneceu subutilizado por vários anos no Brasil por causa, principalmente, do maior domínio da tecnologia do concreto armado e ainda a pouca divulgação no conteúdo programático das universidades brasileiras. Somente a partir dos anos sessenta, do século XX, devido à necessidade de se buscar maior racionalização do sistema convencional com minimização dos custos, a alvenaria estrutural passou a ter novo impulso como sistema construtivo. Ainda no final desta década, com a montagem de fábricas produtoras, os blocos estruturais de concreto começaram a ser usados na construção de edifícios.

A cronologia das edificações realizadas com blocos vazados estruturais é um pouco controversa. Segundo Camacho (1986, p. 8), o marco inicial da alvenaria estrutural armada no Brasil foi o Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa, Figura 8, em São Paulo no ano de 1966 com edificações de quatro pavimentos construídos com blocos de concreto. Para Garcia (2000, p. 5), nesse período, por não haver pesquisas nacionais sobre os materiais aqui existentes e por não existir normalização da alvenaria como elemento estrutural foram usados padrões estrangeiros para o dimensionamento. Posteriormente, no mesmo conjunto, em 1972, ergueram-se mais quatro edifícios com 12 pavimentos cada um, demonstrando a potencialidade do material produzido, e dessa época em diante, a produção de blocos estruturais de concreto cresceu sensivelmente no país.



Figura 8 - Conjunto habitacional “Central Parque da Lapa”, (LINDENBERG NETO).

Estima-se que entre 1964 e 1976 mais de dois milhões de unidades habitacionais foram construídas em alvenaria estrutural. Segundo Camacho (1995, p. 14), as pesquisas sobre a alvenaria só surgiram no final da década de 70, em São Paulo, e em 1983, em Porto Alegre. Já a utilização dos blocos cerâmicos na alvenaria estrutural, armada ou não, só apareceu na década de oitenta, quando foram instaladas as primeiras indústrias em solo nacional.

Em 1977, as indústrias produtoras de blocos de concreto juntamente com profissionais ligados ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, através do comitê brasileiro de construção civil, CB-2 da ABNT, oficializaram uma comissão de estudos para desenvolver as normas nacionais de alvenaria estrutural (SÁNCHEZ, 1994, p. 370-371). A alvenaria estrutural

atingiu seu apogeu, no Brasil, na década de 80 do século XX, quando diversas construtoras investiram nesta tecnologia para torná-la mais vantajosa (ARAÚJO, 2001, p. 11).

Ainda na década de 80 e 90 algumas normas foram editadas, tanto para blocos cerâmicos como de concreto. Para os blocos cerâmicos as normas só tratavam de especificações e caracterização das unidades. Em 1989 foi editada, a NB-1228, atual NBR 10837 - Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto, que fixa as condições exigíveis no projeto e na execução de obras em alvenaria estrutural não-armada, parcialmente armada ou armada, exclusivamente de blocos vazados de concreto. Em agosto de 2005 foram publicadas novas normas de alvenaria estrutural para componentes cerâmicos, a NBR 15270 partes 2 e 3, que, respectivamente, se referem a blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - terminologia e requisitos - e blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - métodos de ensaio.

Como se observa, a alvenaria estrutural de blocos cerâmicos ficou em segundo plano de forma que até hoje, no Brasil, existe um pequeno número de normas necessárias para a sua utilização segura. Durante muitos anos os projetistas utilizaram normas específicas de blocos de concreto para o projeto e execução de estruturas de alvenaria em blocos cerâmicos, como a NBR 10837 (1989). Somente em meados de 2010 foi publicada a norma NBR 15812 (2010) para alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, sendo dividida em duas partes, ficando a parte 1 com os requisitos mínimos exigíveis para o projeto de estruturas de alvenaria de blocos cerâmicos e a parte 2 estabeleceu os requisitos mínimos exigíveis para a execução e o controle destas obras.

O uso da alvenaria estrutural aumentou muito no Brasil nas últimas três décadas. Atualmente, esse uso desponta como uma alternativa técnica e economicamente viável para o grande déficit habitacional existente no Brasil, Figura 9. Esse sistema construtivo parece ser ideal para a realidade brasileira, pois necessita de mão de obra de fácil aprendizado, possui elevado potencial de racionalização, não exige grandes investimentos e imobilização de capital para a aquisição de equipamentos (PASQUALI, 2007, p. 21).



Figura 9 - Edifícios em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. Fonte: Cerâmica Selecta.

De forma geral, no Brasil, o nível de desenvolvimento do sistema construtivo em alvenaria estrutural encontra-se baixo comparado com países como Inglaterra, França, Estados Unidos, Canadá e Austrália. Serão necessários grandes avanços tecnológicos para se aproximar do desenvolvimento que se observa para as estruturas convencionais em concreto armado. Daí a importância de pesquisas que possam contribuir para o melhor entendimento desse sistema estrutural complexo, fornecendo assim, subsídios para a elaboração de Normas Técnicas tanto para alvenaria estrutural de blocos de concreto, inclusive, de blocos cerâmicos, possibilitando projetos e execuções de edifícios econômicos e seguros.

2.3 Vantagens e Desvantagens da Alvenaria Estrutural

A durabilidade da alvenaria quando usada corretamente é excelente. Embora, analogamente com outros materiais, o correto uso da alvenaria requer o entendimento de suas características físicas, suas resistências e fraquezas frente aos esforços impostos, os métodos de construção e a disponibilidade das várias formas, juntamente com os custos relativos. Considerando o uso adequado da alvenaria estrutural, as vantagens e desvantagens que se seguem foram retiradas do “Structural Masonry Designers’ Manual” de Curtin et al. (2006, p. 4-9).

2.3.1 Vantagens

✓ Custo

É muito difícil obter custos precisos e abrangentes para elementos de construção, e muito menos edifícios concluídos. Muitas vezes, os custos refletem o estado atual do mercado da construção civil, e quase sempre fornecem apenas o custo da construção do edifício, e não o custo a longo prazo do edifício, durante a sua vida. Na prática, tem-se que, quando uma estrutura de alvenaria é adequada, ela tem sido inevitavelmente mais econômica comparada a outras alternativas estruturais. Curtin et al. (2006) afirmam que:

- 1) Em estruturas de aço e concreto, a alvenaria ou outros materiais são usados para formar divisórias, caixas de escadas, paredes de corredores, etc. Em muitos casos, se

estas partições e outras paredes são projetadas em alvenaria portante, elas podem transferir as cargas e dispensar a necessidade de pilares e vigas;

- 2) O construtor pode erguer uma estrutura de alvenaria normalmente, enquanto estruturas de aço e alguns outros materiais normalmente requerem subconstrutores especialistas. A experiência mostra que, em geral, menor quantidade de trabalho posto a subempreiteiros, menores serão os custos de construção - sempre supondo, é claro, que o trabalho está dentro da capacidade total do empreiteiro principal. Com estruturas de alvenaria, não é só reduzido o número de subconstrutores, mas há também uma redução no número de operações locais, serviços e materiais. A possibilidade de atrasos, enquanto se aguarda o andamento da construção é superada;
- 3) Edifícios de alvenaria tendem a ser rápidos de se construir, resultando em menores despesas gerais locais;
- 4) Os custos de manutenção da alvenaria são mínimos;
- 5) Edifícios de alvenaria possuem um alto grau de proteção contra incêndios, são bons isolantes térmicos e acústicos.

A melhor maneira de determinar as diferenças de um edifício em particular é projetar e comparar o custo de uma estrutura adequada com as diversas possibilidades estruturais, incluindo a alvenaria, garantindo que o projeto mais econômico seja escolhido para cada material.

✓ **Velocidade de Construção**

Esta é uma das principais vantagens da construção em alvenaria. Frequentemente, porém, uma estrutura de aço repentinamente aparece em um local, rapidamente se eleva ao nível do telhado, e então fica esperando o seguimento dos serviços para continuar seu caminho através do edifício. Ignorando o tempo de fabricação, certamente, é verdade que uma estrutura de aço tem um tempo curto de construção local. Por outro lado, deve-se considerar que nenhum trabalho de construção pode ocorrer durante o período de elevação. Este não é o caso da

estrutura em alvenaria, onde outros serviços podem rapidamente ser realizados, assim, alcançando um rápido tempo de construção de todo o edifício.

Uma parede de alvenaria pode ser facilmente construída em dois dias e suportar a carga de um pavimento logo em seguida. Compare isto com um pilar de concreto armado, moldado in loco, em que o tempo necessário para montagem de armaduras, colocação de formas, escoramento, lançamento do concreto, cura, e em seguida retirada das formas, é muitas vezes maior que uma semana.

✓ **Durabilidade**

A excelente durabilidade da alvenaria é, obviamente, uma grande vantagem. Muitas construções históricas e estruturas de engenharia são provas vivas desta qualidade. Deve-se enfatizar, porém, que esse benefício considerado funcional e ambiental só se aplica à alvenaria devidamente projetada e construída com competência e cuidado.

✓ **Resistência ao fogo e dano acidental**

No bombardeio da Segunda Guerra Mundial, estruturas em alvenaria sofreram menos danos do que o aço ou edifícios de concreto armado - fato que comprova não só a alta resistência ao fogo, mas também sua capacidade de resistir a danos acidentais. Tijolos e blocos não são inflamáveis e não podem iniciar ou propagar um incêndio. A alvenaria raramente é seriamente danificada pelo fogo, ela não se deforma como o aço, lasca como o concreto armado ou se queima como a madeira.

✓ **Manutenção**

A alvenaria corretamente projetada requer pouca ou nenhuma manutenção e é extremamente econômica em termos de custos de manutenção.

2.3.2 Desvantagens

✓ **Aumento de áreas obstruídas em relação ao uso de aço e concreto armado**

Embora as unidades de alvenaria possam ser obtidas com elevada força de esmagamento, a resistência à compressão de paredes de alvenaria é geralmente inferior a do aço ou concreto

armado. Portanto, em condições particulares de carregamento a alvenaria exigirá uma maior seção transversal. Em locais onde grandes áreas sem obstáculos são necessárias, tal requisito suscita possíveis problemas tornando a obra inaceitável. Deve-se notar, no entanto, que um projeto cuidadoso e detalhado pode produzir um esquema aceitável e econômico para muitas aplicações, e a alvenaria não deve ser completamente ignorada para edifícios que necessitam de grandes áreas desobstruídas.

✓ **Grandes aberturas e juntas de Controle**

Em situações onde grandes aberturas são formadas, concreto armado ou vigas de aço geralmente são os meios mais econômicos de suporte. Em algumas formas de construção em alvenaria, a necessidade de espaçamentos relativamente próximos das juntas de controle necessárias para prevenir fissuras devidas aos efeitos de retração e/ou expansão pode ser difícil de conseguir, em virtude de restrição estrutural, visual e outras. Deve ser lembrado, no entanto, que a alvenaria é muitas vezes necessária para paredes divisórias quando uma estrutura independente é empregada, e a introdução de uma estrutura com material diferente muitas vezes pode causar um problema ainda maior de movimento diferencial.

✓ **Dificuldade de se adaptar a arquitetura para um novo uso**

Como as paredes são parte da estrutura, não existe possibilidade de adaptações significativas no arranjo arquitetônico. Alguns estudos demonstram que ao longo de sua vida útil uma edificação tende a sofrer mudanças para se adaptar a novas necessidades de seus usuários. No caso da alvenaria isso não só é inconveniente como tecnicamente impossível na grande maioria dos casos (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 12).

2.4 O Bloco Cerâmico Estrutural

Os principais componentes empregados na execução de edifícios de alvenaria estrutural são as unidades (tijolos ou blocos), a argamassa, o graute e as armaduras (construtivas ou de cálculo). Quanto ao material que compõe as unidades, a alvenaria pode ser classificada em: alvenaria estrutural cerâmica, de concreto e sílico calcárea. A definição de “cerâmica” compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em elevadas temperaturas. Quanto à forma das unidades, o tijolo é o

elemento maciço com no máximo 25% de vazios em relação a sua área total, se os vazios excederem este limite a unidade é denominada bloco.

De acordo com Pimenta (2007, p. 34), os tijolos cerâmicos são materiais de construção dos mais antigos, vindo logo após a pedra e a madeira. Nos tijolos cerâmicos mais primitivos a argila era amassada com palha, proporcionando mais consistência, e em seguida seca ao sol. É com a queima ao fogo, acima de 700°C, que a cerâmica passa a adquirir uma estrutura cristalina e uma elevada resistência mecânica à compressão, ao desgaste e baixa porosidade.

Os blocos cerâmicos foram estudados no início do século passado na Itália, França e particularmente nos Estados Unidos. Após o terremoto que abalou a Califórnia em 1933, provou-se que as paredes destes materiais se comportavam de modo excessivamente frágil, por este motivo foram colocados em segundo plano. Com a retomada dos estudos sobre a alvenaria no mundo inteiro, notou-se a possibilidade de se armar as paredes de blocos cerâmicos, aumentando sua resistência à tração (GOMES, 1974, p. 5).

A produção de tijolos cerâmicos com melhores qualidades mecânicas ao longo dos anos tem permitido o uso generalizado deste material com significantes funções estruturais (ROMAN, 1991, p. 101). Os materiais cerâmicos são obtidos hoje a partir de matérias-primas beneficiadas e materiais sintéticos de características controláveis. Por meio de processos adequados ocorrem alterações sensíveis do ponto de vista químico nas propriedades destes materiais. Esta sequência de etapas consiste em provocar reações físico-químicas sob temperaturas elevadas, com o objetivo de serem obtidas certas propriedades desejadas (ROQUE, 2009, p. 57).

Uma das grandes vantagens da utilização de blocos cerâmicos na alvenaria é a disponibilidade de jazidas de argila com boa qualidade na maioria das regiões do país. Para Mendes (1998, p. 3), outra grande vantagem do tijolo ou bloco cerâmico em relação ao bloco de concreto é a obtenção de alta resistência à compressão sem aumento considerável no custo de produção. Para blocos de concreto, a obtenção de resistências elevadas fica condicionada ao aumento do teor de cimento, com conseqüente aumento dos custos de produção. Ainda o bloco cerâmico tem propriedades mais distintas da argamassa do que o bloco de concreto, desenvolvendo menor deformação até atingir a ruptura quando submetido à compressão.

3 MODELAGEM EM ESCALA REDUZIDA

3.1 O Uso de Modelos

Atualmente o conhecimento que se tem a respeito do comportamento da alvenaria estrutural está quase que totalmente fundamentado a partir de resultados de ensaios experimentais em unidades, prismas e paredes. Segundo Fusco e Camacho (1994, p. 137), os ensaios em unidades já não acrescentam conhecimentos significativos com relação à alvenaria. Ensaios em prismas são mais adequados do que os realizados em unidades, porém nem sempre representam satisfatoriamente o comportamento de uma parede estrutural. Já os ensaios em paredes (painéis) reais têm como inconveniente o seu alto custo, e, além de consumir tempo, exigem equipamentos especiais que muitas vezes não estão disponíveis nos laboratórios de pesquisas.

Apesar desses ensaios serem ainda muito empregados, não são capazes de fornecer informações do comportamento de elementos estruturais mais complexos, da interação entre esses elementos na estrutura e de suas respostas quando submetidos às ações que atuam nos edifícios de um modo geral. Dessa forma, frente às dificuldades para a realização de ensaios mais complexos e a necessidade de melhor entender o comportamento estrutural dos edifícios de alvenaria, voltam-se as atenções para a possibilidade de se trabalhar com modelos físicos reduzidos, permitindo a realização de programas de ensaios complexos com significativa redução de tempo e custo (CAMACHO; ANDOLFATO, 2000, p. 1).

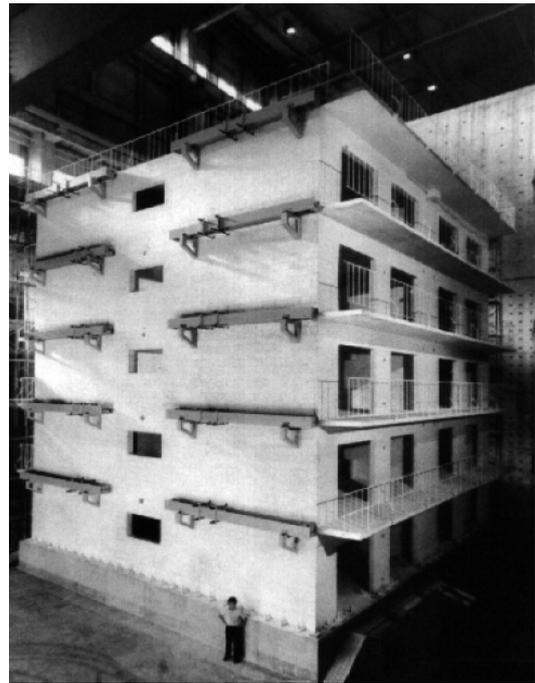
Diante da necessidade de obtenção de resultados que explicassem o comportamento de elementos estruturais complexos, alguns estudos foram realizados em estruturas reais, em escala natural. Hendry (1981, p. 170-172) e Hendry, Sinha e Davies (1981, p. 96-97) citam o trabalho realizado por Sinha e Hendry¹ (1971), onde um edifício de cinco pavimentos foi construído ao lado de uma encosta rochosa na Escócia, as paredes do edifício possuíam espessura de 125mm.

¹ SINHA, B. P.; HENDRY, A. W. The stability of a five-storey brickwork cross-wall structure following the removal of a section of a main load bearing wall. **Structural Engineer**, v.49, p. 467-474, 1971.

Foram realizados estudos relacionados ao comportamento da estrutura quando sujeita a danos acidentais, para simular isto foram removidas paredes da estrutura e posteriormente aplicado ações horizontais através de cilindros hidráulicos, conforme Figura 10a. Exemplos mais recentes podem ser encontrados nas pesquisas desenvolvidas pelo Building Research Institute, Ministry of Construction, no Japão, na construção de um edifício de cinco pavimentos Figura 10b.



(a)



(b)

Figura 10 - Ensaio em edifícios em escala natural, (a) edifício construído na Escócia e (b) Japão. Hendry (1981, p. 171) e Camacho (1995, p. 4), respectivamente.

O uso de edifícios de alvenaria em escala natural também é aplicado em estudos relacionados às ações sísmicas, como se observa no trabalho desenvolvido por Moon et al. (2007), onde investigaram a eficácia de diversas técnicas de reforço sísmico em uma estrutura de alvenaria não armada sujeita a carregamentos laterais, conforme Figura 11.



Figura 11 - Estrutura de alvenaria ensaiada, (MOON et al., 2007).

O modelo estrutural é a representação física de uma estrutura (protótipo), ou de parte dela, sendo normalmente construído em escala reduzida. Pode-se ainda defini-lo como um elemento ou conjunto de elementos construídos em escala reduzida e submetidos a ensaios. Como vantagens da utilização de modelos físicos reduzidos em detrimento de protótipos, têm-se a utilização de estruturas com dimensões reduzidas, facilitando o transporte e armazenamento dentro do laboratório e a contribuição positiva para economia de espaço, de material e financeira.

A utilização de modelos reduzidos em pesquisas e cálculos de estruturas existe há muitos anos. Esta técnica de modelagem foi satisfatoriamente aplicada para solucionar problemas não lineares de estruturas de concreto armado e protendido, submetidas a ações estáticas e dinâmicas, provando ser uma poderosa ferramenta e uma alternativa viável aos ensaios em escala natural. Como exemplos podem ser citados os trabalhos de Rocha² (1952), Litle e Paparoni (1966), Sabnis e Roll (1971), Hossdorf³ (1972), Chowdhury e White (1977) e Harris e Sabnis (1999).

² ROCHA, M. Publicação 21: **Dimensionamento experimental das estruturas**. Lisboa. Ministério das Obras Públicas. Laboratório de Engenharia Civil, 1952.

³ HOSSDORF, H. **Modelos reducidos – método de cálculo**. Madrid. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1972.

Harris e Sabnis (1999, p. 11) enfatizam que a principal motivação para a realização de ensaios experimentais em estruturas em escala reduzida é a redução de custos, a qual se deve a dois fatores: diminuição dos equipamentos de aplicação de carga e seus respectivos pórticos de reação; redução nos custos de fabricação, preparação e transporte da estrutura.

Como desvantagens da utilização de modelos físicos reduzidos, pode-se citar a dificuldade na obtenção de elementos em escala reduzida, como a fabricação de tijolos ou blocos miniaturas, obtenção de granulometria reduzida dos agregados, bem como a dificuldade durante a execução da estrutura.

Para Andolfato (2002, p. 5), o engenheiro sempre tem por meta representar os fenômenos físicos através da modelagem numérica. Porém, muitas vezes estes fenômenos estão além do alcance de nossas abstrações matemáticas. É nesse momento que se recorre à natureza para subsidiar as informações necessárias para entender o comportamento de um sistema, através da modelagem física.

3.2 A Modelagem Física Reduzida da Alvenaria Estrutural

O uso de modelos para estudar o comportamento da alvenaria é relativamente novo, posterior ao emprego em estruturas de concreto. Abboud, Hamid e Harris (1990, p. 145-146) apresentam um histórico sobre uso de modelos e relatam que a primeira tentativa de utilização de modelos físicos reduzidos na alvenaria que se tem na literatura foi realizada por Vogt⁴ (1956), onde foram modeladas estruturas utilizando tijolos em escala (1:4) e (1:10). Estes estudos tiveram caráter exploratório, não apresentando dados para projeto. Segundo os autores, na década de 60, foram iniciadas pesquisas com modelos de tijolos na Universidade de Melbourne, Austrália. Houve um sucesso limitado por causa das dificuldades encontradas em fazer as miniaturas de tijolos e de construir os corpos de prova das paredinhas.

⁴ VOGT, H. **Consideration and investigation on the basic principle of model tests in brickwork and masonry structures**. Library Communication n° 932, Building Research Station, Garston, Watford, 1956. 30p.

Na Universidade de Edinburgo, Escócia, Hendry e Murthy⁵ (1965) executaram ensaios em modelos, nas escalas: real, (1:3) e (1:6), em pilares e paredes de tijolos. Neste estudo concluíram que o comportamento das estruturas de tijolos na escala natural pode ser representado por meio de modelos. Anos depois, um grande sucesso foi alcançado por Mohr⁶ (1970) usando modelos de tijolos, em escala (1:6), comercialmente fabricados, e um método de pré-fabricação para produzir os corpos de prova das paredinhas.

Posteriormente, Sinha, Maurenbrecher e Hendry⁷ (1970) investigaram a ação do cisalhamento em paredes submetidas a cargas laterais. O estudo foi conduzido em um edifício de cinco pavimentos, em escala natural e em seu modelo na escala (1:6), onde concluíram que, apesar de algumas diferenças na rigidez entre modelo e protótipo, eles apresentaram um comportamento bastante semelhante.

Abboud, Hamid e Harris (1990, p. 145-146) relatam que uma das primeiras tentativas de modelar estruturas de alvenaria em blocos de concreto foi realizada pelo National Bureau of Standards (NBS), no final da década de 60. São cuidadosamente fabricados blocos na escala (1:4) para a execução dos modelos. Entretanto, este estudo não foi conclusivo.

Harris e Becica⁸ (1977) retomam os estudos realizados antes pela NBS e desenvolvem metodologias e técnicas para a modelagem de estruturas de alvenaria em blocos de concreto na escala (1:4), na Universidade de Drexel, EUA. Concluem que a modelagem para alvenaria de blocos de concreto não grauteados é viável.

⁵ HENDRY, A. W.; MURTHY, C. K. Comparative tests on one-third and one-sixth scale model brickwork piers and walls. In: BRITISH CERAMIC SOCIETY, 4., 1965, Stoke-on-Trent. **Proceedings...** Stoke-on-Trent, jul. 1965. p. 21-32.

⁶ MOHR, G. A. **Slender load bearing brickwork walls with returns**. 1970. MSc thesis, Civil Engineering Department, University of Melbourne, 1970.

⁷ SINHA, B. P.; MAURENBRECHER, A. H. P., HENDRY, A. W. Model and full scale tests on a five-story cross-wall structure under lateral loading. In: INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK MASONRY CONFERENCE, 2., 1970, Stoke-on-Trent. **Proceedings...** Stoke-on-Trent, apr. 1970. p. 201-208.

⁸ HARRIS, H. G.; BECICA, I. J. Direct small scale modeling of concrete masonry. In: ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING THROUGH ENGINEERING MECHANICS, American Society of Civil Engineers, 2., 1977, New York. **Proceedings...** New York, may. 23-25, 1977. p. 101-104.

Mais adiante, estudos realizados por Hamid, Abboud e Harris (1985), Hamid e Abboud (1986), Abboud, Hamid e Harris (1990), concluem que o uso de modelos é um método viável e poderoso para estudar e prever, de maneira econômica, o comportamento de sistemas estruturais complexos em alvenaria.

Abboud, Hamid e Harris (1990, p. 146) citam que nos elementos de alvenaria que consistem de blocos ou tijolos, argamassa, graute e armadura, a modelagem em escala reduzida deve satisfazer as condições de similaridade não apenas dos blocos, mas também das juntas de argamassa, graute e armadura. Para uma modelagem real, as condições de similaridade podem ser divididas em quatro grupos: carregamento, geometria, propriedades dos materiais e projeto.

Para Capuzzo Neto (2005, p. 63) os fatores que afetam a precisão dos modelos são: as propriedades dos materiais dos modelos, a exatidão na fabricação, as técnicas utilizadas na aplicação de força, as técnicas e os equipamentos de leituras e a interpretação dos resultados.

3.3 A Modelagem Física Reduzida da Alvenaria no Brasil

O uso da modelagem física reduzida no Brasil é muito recente, iniciam-se estudos na década de 90 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP e na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, resultando na tese de Camacho (1995), que se preocupou em realizar comparações diretas do comportamento e da resistência da alvenaria em diferentes escalas. Com esta iniciativa, é dada a largada para estudos em outros centros de pesquisa, tais como UFSC, UFSM e EESC-USP.

O trabalho de Camacho (1995) teve como objetivo principal estudar a possibilidade da substituição dos ensaios em alvenaria de blocos cerâmicos por ensaios em modelos físicos reduzidos, tanto em condições de serviço, como em regime de ruptura. Foram utilizadas duas escalas diferentes, (1:3) e (1:5), inclusive a natural (1:1), com o objetivo de também avaliar se o fator escala poderia alterar significativamente as relações entre modelo e protótipo. Ensaaiaram-se unidades, prismas de dois, três e quatro blocos justapostos e paredinhas.

As unidades utilizadas nos ensaios possuem as dimensões apresentadas na Figura 12, onde a altura do bloco na escala natural é de 14cm, sendo reduzida proporcionalmente para as demais escalas. A resistência à compressão da argamassa aplicada nos prismas e paredinhas em escala natural foi de 5,45MPa aos 28 dias, já a utilizada nos modelos em escalas (1:3) e (1:5) tem resistência de 4,13MPa.

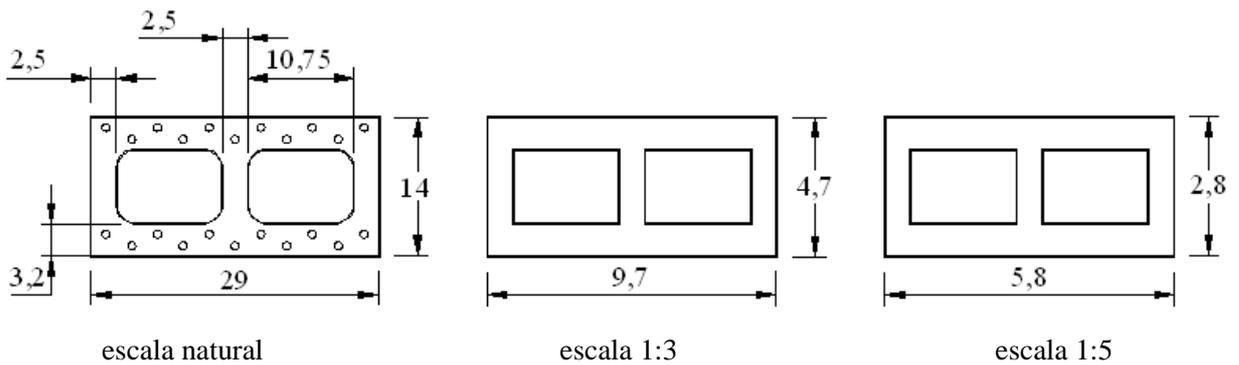


Figura 12 - Blocos de diferentes escalas, adaptado de Camacho (1995, p. 58).

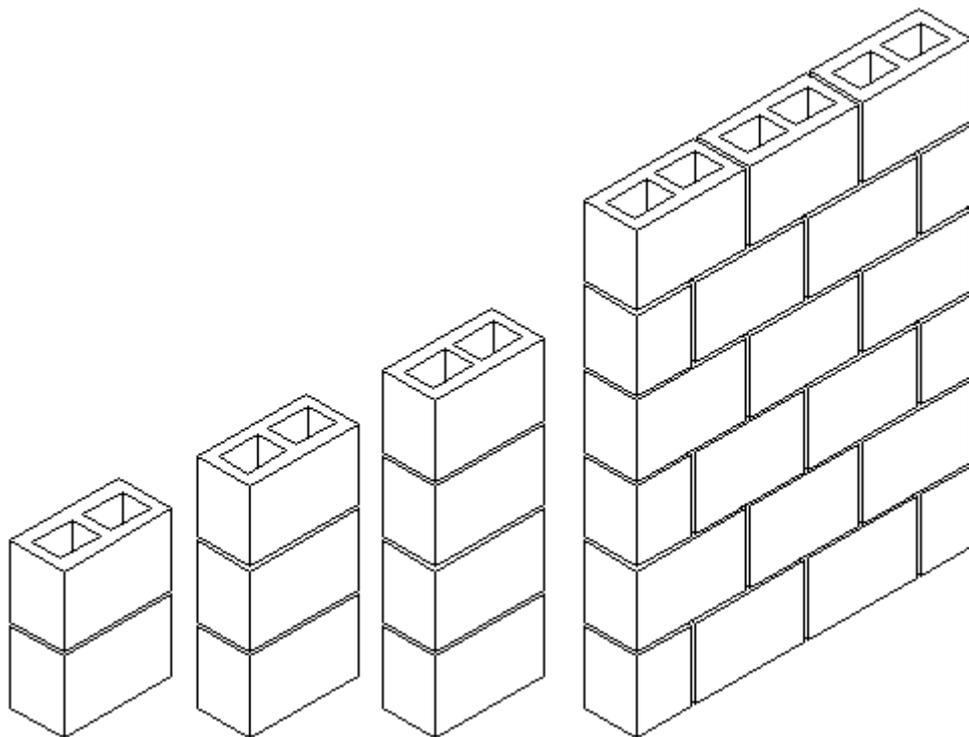


Figura 13 - Prismas e paredinhas ensaiadas, adaptado de Camacho (1995, p. 66-67).

Camacho (1995, p. 74-78) observou que a forma de ruptura dos prismas e paredinhas foi semelhante para as três escalas, sendo caracterizada pelo aparecimento de fissuras verticais, seguidas de estilhaçamento e quebra das paredes dos blocos. Com relação às resistências obtidas na ruptura, tanto os blocos, prismas e paredinhas para as três escalas apresentaram comportamento parecido. Já o fator de eficiência decresce com o aumento do número de fiadas do elemento, tendendo a um crescimento global conforme se diminui a escala. Grandes diferenças nos valores de deformação na ruptura, para as escalas reduzidas (1:3) e (1:5), foram encontradas, onde as maiores deformações foram observadas nos blocos em relação aos prismas e paredinhas, não sendo constatado este comportamento para a escala natural, e ainda os corpos de prova na escala reduzida apresentaram deformações superiores às observadas na escala natural. Segundo o autor, a grande deformabilidade verificada nos blocos reduzidos se deve ao processo de fabricação.

Em sua pesquisa Camacho (1995, p. 124-125) conclui que as resistências à compressão dos modelos são semelhantes entre si, de forma geral. Todavia, para os prismas e paredinhas, os modelos apresentam valores superiores aos observados no protótipo. As deformações de ruptura, medidas nos modelos, foram consideravelmente superiores aos valores medidos no protótipo, fato observado também em outras pesquisas. Apesar da diferença dos valores numéricos, o comportamento e os modos de ruptura apresentados pelo protótipo e modelos foram semelhantes. Assim, o autor concluiu que é possível trabalhar de forma direta com modelos físicos reduzidos para o estudo da alvenaria de blocos cerâmicos.

Nos últimos anos diversos outros trabalhos foram realizados utilizando modelos reduzidos em alvenaria estrutural no Brasil. Podem ser citados, os trabalhos desenvolvidos no Núcleo de Ensino e Pesquisa de Alvenaria Estrutural - NEPAE da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, do Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP e da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, em ordem cronológica: Santos (2001), Lindner (2001), Andolfato (2002) - onde se desenvolveu a técnica necessária para a produção de blocos estruturais de concreto em escala reduzida (1:4), Signor e Roman (2002), Holanda Junior (2002), Silva (2003), Nascimento Neto (2003), Maurício (2005), Capuzzo Neto (2005) e Moreira (2007).

De acordo com Nascimento Neto (2003, p. 48), atualmente os estudos desenvolvidos com modelos reduzidos não mais se preocupam com a correlação direta com resultados de protótipos, mas tem como objetivo avaliar o comportamento estrutural e servir de base para uma modelagem numérica ou teórica mais adequada, que seja capaz de representar tanto quanto possível o comportamento real da estrutura.

4 O CAMINHAMENTO DAS AÇÕES VERTICAIS

4.1 Arranjo em Planta das Paredes de Edifícios

Uma das primeiras considerações no projeto de edifícios de alvenaria estrutural com vários pavimentos é a escolha do arranjo em planta das paredes de acordo com a finalidade da construção. Realizada esta etapa, a concepção da estrutura dependerá da escolha de quais paredes serão consideradas estruturais ou não estruturais, neste caso, em relação às ações verticais. Hendry (1998, p. 2-4) salienta que, do ponto de vista estrutural, o arranjo das paredes é importante como um meio de fornecer rigidez e resistência lateral, bem como para garantir que o edifício seja geralmente robusto no sentido de que danos locais na estrutura não resultem em colapso catastrófico. Ainda para o mesmo autor existem vários arranjos possíveis para as paredes, mas é útil distinguí-los em três categorias básicas, como apresentado na sequência.

4.1.1 Paredes Celulares

Neste caso tanto as paredes internas quanto externas são estruturais, isso possibilita o uso de lajes apoiadas nas duas direções, conforme Figura 14. É o sistema mais adequado às edificações de plantas mais gerais como edifícios residenciais onde se têm pequenos vãos. Segundo Barreto (2002) e Ramalho e Corrêa (2003, p. 25) é o que oferece maiores vantagens estruturais, uma vez que a edificação é provida de rigidez semelhante nas duas direções principais, fato que gera uma maior distribuição das tensões atuantes entre as paredes, sendo interessante seu uso sempre que possível.

4.1.2 Paredes Transversais

Utilizável em edifícios de planta retangular e alongada como hotéis e escolas. As paredes externas na direção do maior comprimento não são estruturais, como se observa na Figura 15. A estabilidade longitudinal de edifícios que têm sido projetados é conseguida através de poços de escadas e elevadores em algum lugar ao longo do comprimento da estrutura, mas isto é

insatisfatório, pois a falha de uma parede poderia precipitar o colapso de uma grande parte do edifício, esta prática deve, portanto, ser evitada, mesmo em edifícios relativamente baixos.

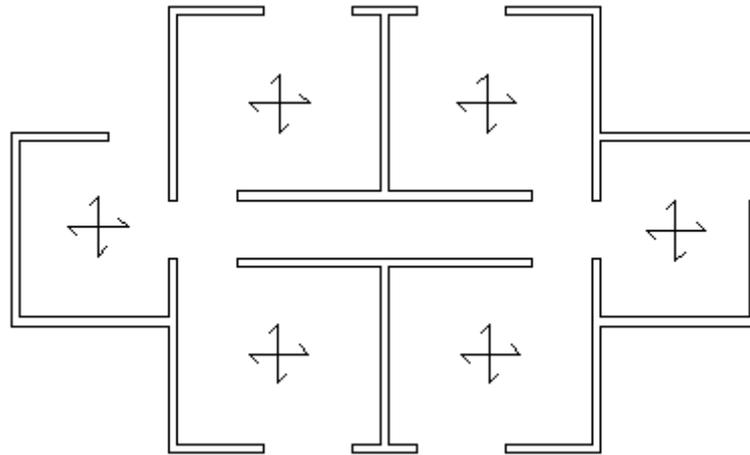


Figura 14 - Sistema estrutural em paredes celulares.

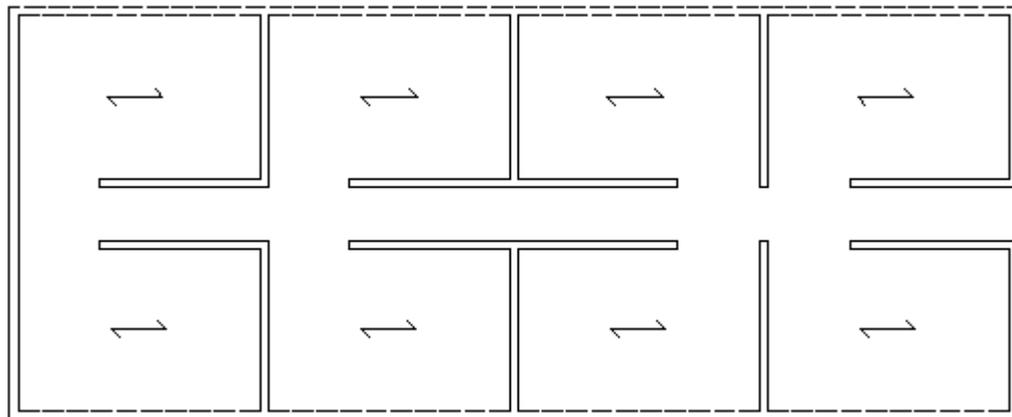


Figura 15 - Sistema estrutural em paredes transversais.

4.1.3 Sistema Complexo

É a utilização simultânea dos dois anteriores, normalmente em regiões diferentes da planta da edificação. A estabilidade lateral é obtida por um sistema complexo que incorpora poço de elevador, poços de escadas, salas de serviço, banheiros, etc., estas paredes, atuando juntas, formam uma torre forte como estrutura, como se vê na Figura 16.

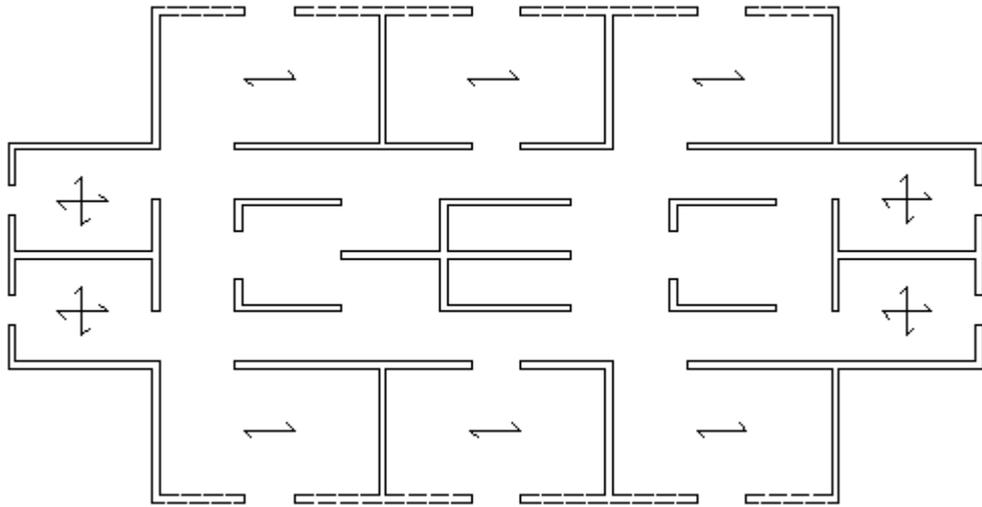


Figura 16 - Sistema estrutural complexo.

4.2 O Fenômeno da Interação entre Paredes

Para a NBR 10837 (1989) a junção de paredes que se cruzam pode ocorrer por amarração direta, isto é, contrafiada ou indireta, ou seja, com juntas a prumo, como a Figura 17 e Figura 18. A amarração direta é realizada com 50% dos blocos penetrando alternadamente na parede interceptada, vale ressaltar que esta definição da norma se aplica para o caso de blocos com dimensões modulares, onde o comprimento é múltiplo da largura, caso contrário tal definição se torna incoerente. Na amarração indireta são utilizados outros meios de ligação, como grampos metálicos ou telas soldadas.

Capuzzo (2000, p. 4) considera que além das amarrações citadas anteriormente, existe, na prática, a presença de cintas, que são fiadas compostas por blocos do tipo canaletas preenchidos com graute e armadura, cuja finalidade é a de transmitir esforços uniformes à parede que lhe dá apoio ou servir de travamento e amarração.

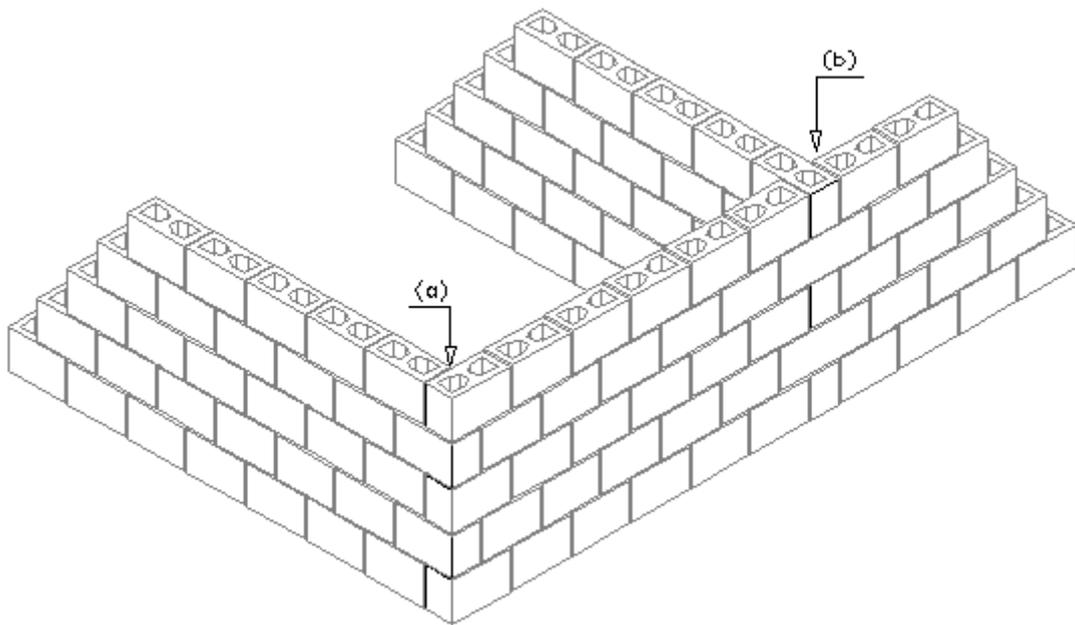


Figura 17 - Detalhe de amarrações diretas entre duas (a) e três (b) paredes.



Figura 18 - Detalhe de amarração indireta com grampo metálico, (SILVA, 2003, p. 63).

Para Thomaz e Helene (2000, p. 10), as juntas em amarração facilitam a redistribuição de tensões provenientes de cargas verticais ou introduzidas por deformações estruturais e movimentações higrotérmicas, já as juntas apumadas não propiciam o espalhamento das tensões, tendendo as paredes a trabalharem como uma sucessão de “pilaretes”.

Assim, quando carregamentos atuam em paredes isoladas ou ligadas a outras por alguma das formas citadas, essas cargas tendem a se espalhar ao longo da altura da parede. A NBR 10837

(1989) não deixa explícito como ocorre a transferência de carregamento entre paredes interligadas, mas numa parede de alvenaria plana, não conectada a outra, uma carga concentrada ou parcialmente distribuída pode ser suposta, repartida uniformemente, em seções horizontais limitadas por dois planos inclinados a 45° sobre a vertical e passando pelo ponto de aplicação de carga ou pelas extremidades da faixa de aplicação, conforme Figura 19.

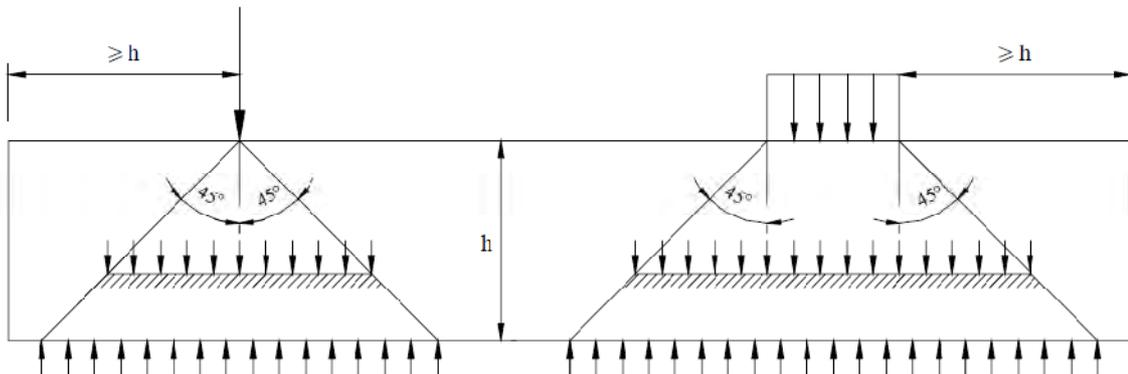


Figura 19 - Distribuição de ações de acordo com a NBR 10837 (1989, p. 6).

Ramalho e Corrêa (2003, p. 28-30) explicam que se o espalhamento ocorre em paredes planas, também deve ocorrer nos cantos e bordas de paredes que se interceptam, principalmente quando há um contrafiado perfeito, sem existência de juntas a prumo, como apresentado na Figura 20. Nestes cantos se desenvolvem forças de interação, as quais provocam a distribuição dos esforços, uniformizando as cargas que atuam nas paredes, Figura 21. Nas aberturas de portas e janelas também se pode considerar a existência destas forças, favorecendo o espalhamento e uniformização de cargas, Figura 22. É importante notar que não acontece transferência de cargas entre paredes ligadas com juntas a prumo, portanto, a amarração adequada entre as paredes é uma condição primordial para que haja o devido espalhamento das cargas.

Comentam também sobre a importância da uniformização das cargas, de modo que paredes de um mesmo nível não sejam solicitadas por ações verticais muito diferentes, o que exigiria blocos com resistência elevada, aumentando os custos. Assim, a uniformização das cargas verticais ao longo da altura da edificação tem importância econômica, porém o projetista deve estar atento para que as considerações adotadas no projeto se reflitam na prática da

construção, a fim de não cometer erros ou conservadores, refletindo em maiores custos, ou que comprometam a segurança da edificação caso a uniformização não ocorra como esperado.

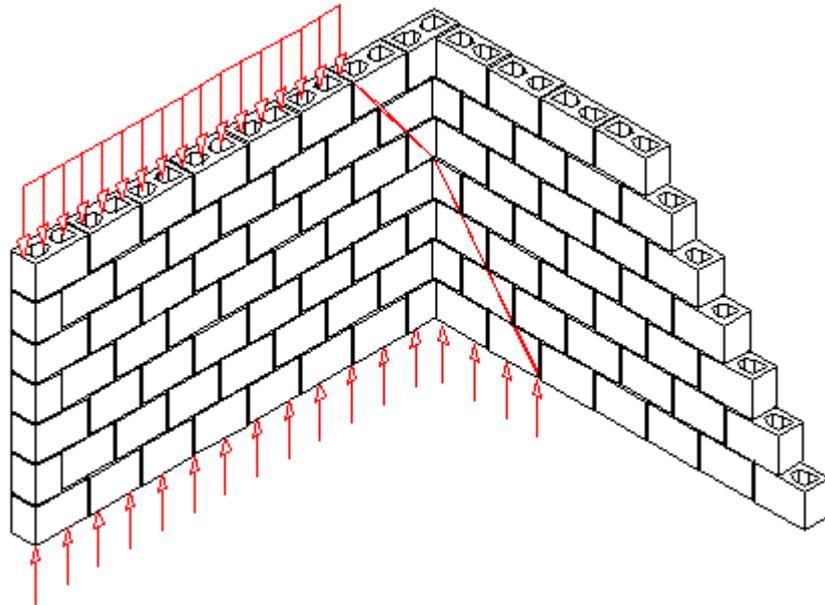


Figura 20 - Espalhamento de uma força parcialmente distribuída em paredes que se interceptam, adaptado de Ramalho e Corrêa (2003, p. 29).

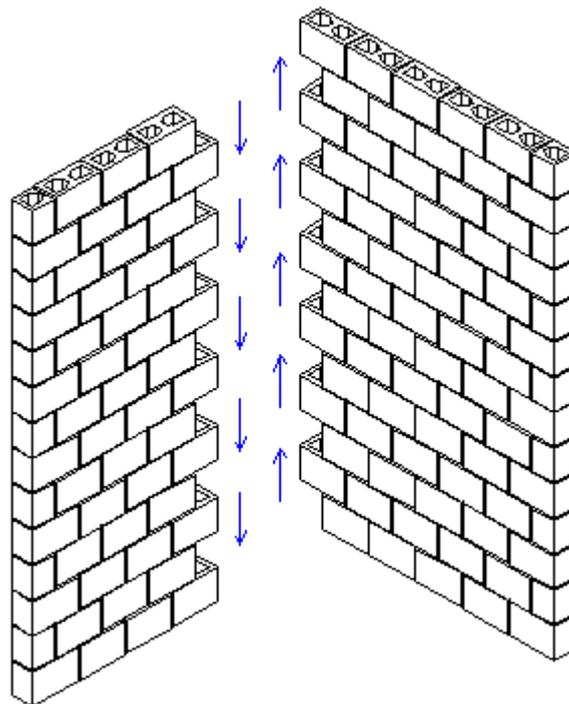


Figura 21 - Interação de paredes em um canto, adaptado de Ramalho e Corrêa (2003, p. 29).

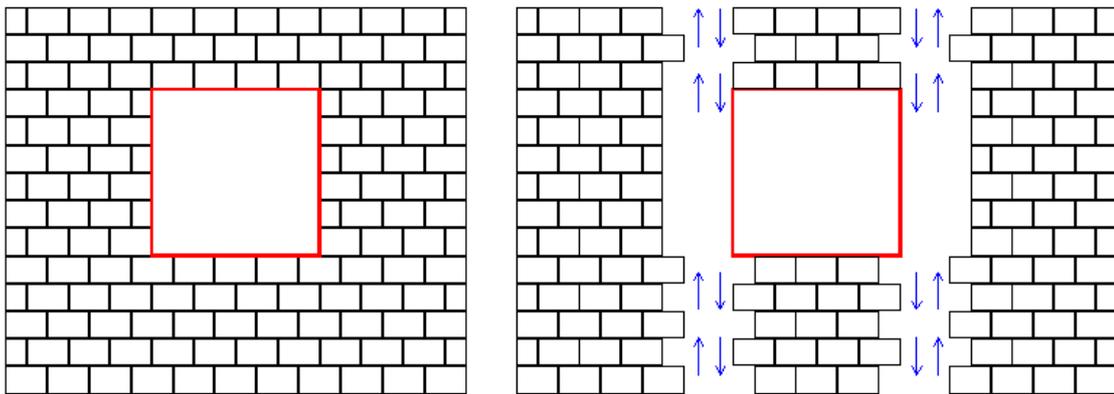


Figura 22 - Interação de paredes na região da janela, adaptado de Ramalho e Corrêa (2003, p. 29).

4.3 Procedimentos de Distribuição das Ações Verticais

Segundo Parsekian e Franco (2002) um dos aspectos até hoje pouco estudados da alvenaria estrutural é a interação que há entre duas paredes que se cruzam. Uma grande questão existente é como considerar a distribuição de um carregamento aplicado em uma parede estrutural para outra adjacente. Muitas vezes a consideração da distribuição de esforços é feita intuitivamente pelo projetista.

Corrêa e Ramalho (1994, p. 305) afirmam que a distribuição das ações verticais entre as paredes é um dos problemas mais importantes a ser enfrentado durante a realização do projeto de um edifício de alvenaria estrutural. Para realizar sua análise, o projetista deve ter em mente como tratar a ação das lajes sobre as paredes que lhe servem de apoio e também como simulará a interação entre elas.

Segundo Oliveira Junior e Pinheiro (1994), estudos realizados têm mostrado que as paredes de alvenaria estrutural, trabalhando em conjunto com as lajes, possuem capacidade de distribuição das ações, conduzindo a uma série de efeitos favoráveis na redução das resistências necessárias. Outro fato de grande importância é a uniformização das ações ao longo da altura de um edifício. Esta tendência de uniformização de ações diferentes entre paredes adjacentes é que faz com que as tensões finais sejam médias, reduzindo assim as tensões máximas de projeto.

Antes de se iniciar a descrição dos procedimentos é importante lembrar que as cargas verticais atuantes nas paredes, além do peso próprio das mesmas, são provenientes de ações permanentes e acidentais, concentradas ou uniformemente distribuídas, que atuam nas lajes. Tais ações são transferidas às paredes e posteriormente para as fundações. Para quantificar a porção de carregamento distribuído na laje e que efetivamente atua em uma parede, Hendry (1998, p. 123) adota o procedimento da subdivisão das lajes em áreas de influência, formadas por triângulos e trapézios, que distribuirão as ações para as correspondentes paredes, semelhante à determinação de ações em vigas de concreto armado. O autor relata ainda que para lajes retangulares isto é provavelmente razoável, porém deve-se notar que a distribuição das ações não é uniforme ao longo do comprimento da parede, sendo na verdade concentrada na região central. No entanto, é provável que esta não uniformidade diminua gradualmente ao longo da altura da parede, não existindo nos pavimentos inferiores dos edifícios. Assim, em todos os procedimentos adotados parte-se da premissa de que as ações atuantes nas paredes provêm das respectivas áreas de influência das lajes.

A distribuição de ações verticais pode ser considerada de diferentes formas, na tentativa de avaliar esta transferência, na sequência são demonstrados os procedimentos mais indicados com suas particularidades. Tais procedimentos são comentados por diferentes pesquisadores como: Camacho (1986), Corrêa e Ramalho (1994), Accetti (1998), Corrêa e Ramalho (1998), Capuzzo (2000), Ramalho (2001), Corrêa e Page (2001), Barreto (2002), Corrêa (2003), Ramalho e Corrêa (2003), Silva (2003), Maurício (2005), Grama (2005), Moreira (2007) e Oliveira (2009).

4.3.1 Paredes Isoladas

Conforme já mencionado, neste procedimento as paredes são tratadas como elementos independentes, cada parede é responsável, única e exclusivamente, pelo seu peso próprio e pelas cargas permanentes e acidentais transmitidas pelas lajes que nela se apóiam, não interagindo com outros elementos, como na Figura 23. Dessa forma, a carga atuante em uma parede é o somatório do que ocorre em cada pavimento, ao longo da altura do edifício, sendo que a carga flui exclusivamente por ela ao longo de sua altura até as fundações, sem interação com as demais.

As paredes são limitadas pelas aberturas existentes ou por alguma mudança de direção. Tem a vantagem de ser um procedimento simples e rápido. Em contrapartida, teremos exigências de blocos com resistência elevada devido a não uniformização das cargas, o que geraria custos elevados. Recomenda-se que este procedimento seja utilizado somente para edifícios de pouca altura, e ainda quando construtivamente for garantido a não solidarização das paredes, de forma que trabalhem isoladamente de fato.

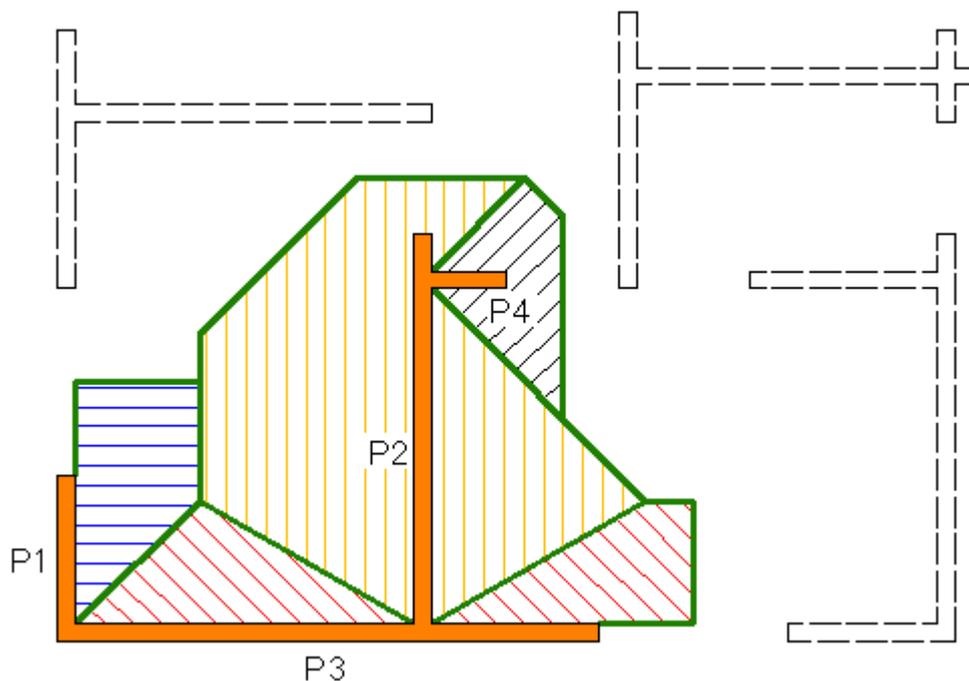


Figura 23 - Áreas de influência para transferência das ações verticais por paredes isoladas.

4.3.2 Grupos Isolados de Paredes

Agora um conjunto de paredes são consideradas solidárias, porém não interagem com outros grupos. Não há uma regulamentação que indique como determinar o grupo, mas geralmente limita-se um grupo de paredes pelas aberturas de portas e janelas. Neste caso, existe uma uniformização das cargas, ou seja, considera-se que nos cantos de paredes as forças de interação são suficientes para espalhar as ações verticais, mas nas aberturas isto não é considerado, pois os grupos trabalham isolados, como se vê na Figura 24.

A vantagem está na segurança e simplicidade de ser realizado, pois basta somar todas as cargas a serem aplicadas em qualquer parede do grupo e posteriormente distribuí-las pelo comprimento total das paredes do grupo, sendo mais trabalhoso que o procedimento anterior, além de considerar a uniformização das cargas o que gera especificações de blocos com resistências bem menores que o método anterior. O problema aqui está na escolha adequada de quais paredes farão parte do grupo, pois esta definição pode ser feita por outros parâmetros, podendo apresentar distorções. Este procedimento é aceito internacionalmente e indicado para edifícios de qualquer altura.

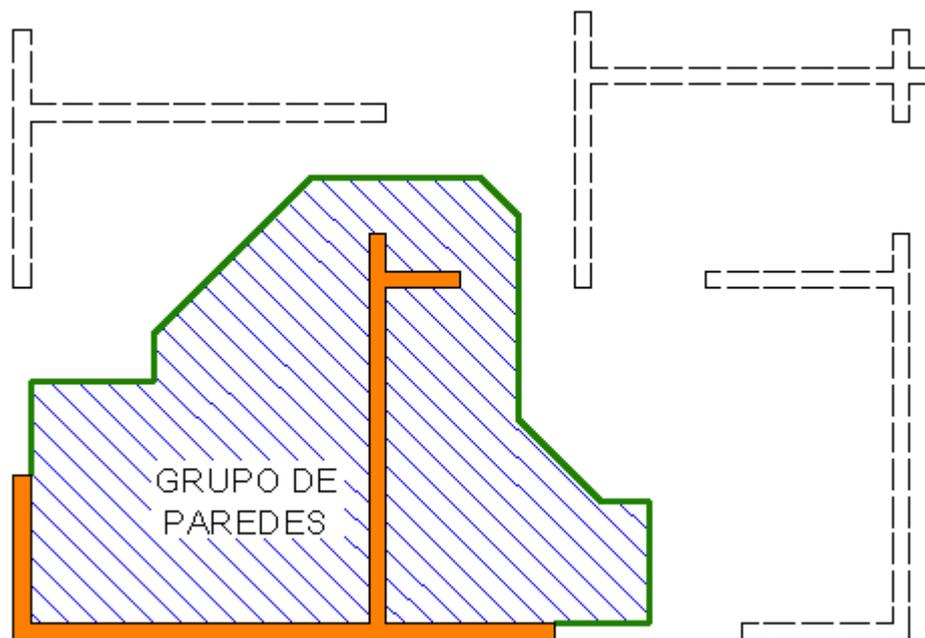


Figura 24 - Grupo isolado de paredes.

Sutherland⁹ (1969) apud Hendry (1998, p. 124) já propunha a subdivisão das ações na laje em áreas de influência limitadas por triângulos e trapézios e que essas áreas fossem levadas a grupos de paredes, como na Figura 25, tratados como elemento único, com carga correspondente à área de influência do grupo, admitindo-se distribuição linear das tensões normais e considerando também o efeito da excentricidade da resultante em relação ao centróide da área do grupo de paredes.

⁹ SUTHERLAND, R. J. M. Design Engineer's Approach to Masonry Construction. In: DESIGNING, ENGINEERING AND CONSTRUCTING WITH MASONRY PRODUCTS, 1969, Houston. **Proceedings...** Houston: ed. F.B. Johnson, 1969. p. 375-385.

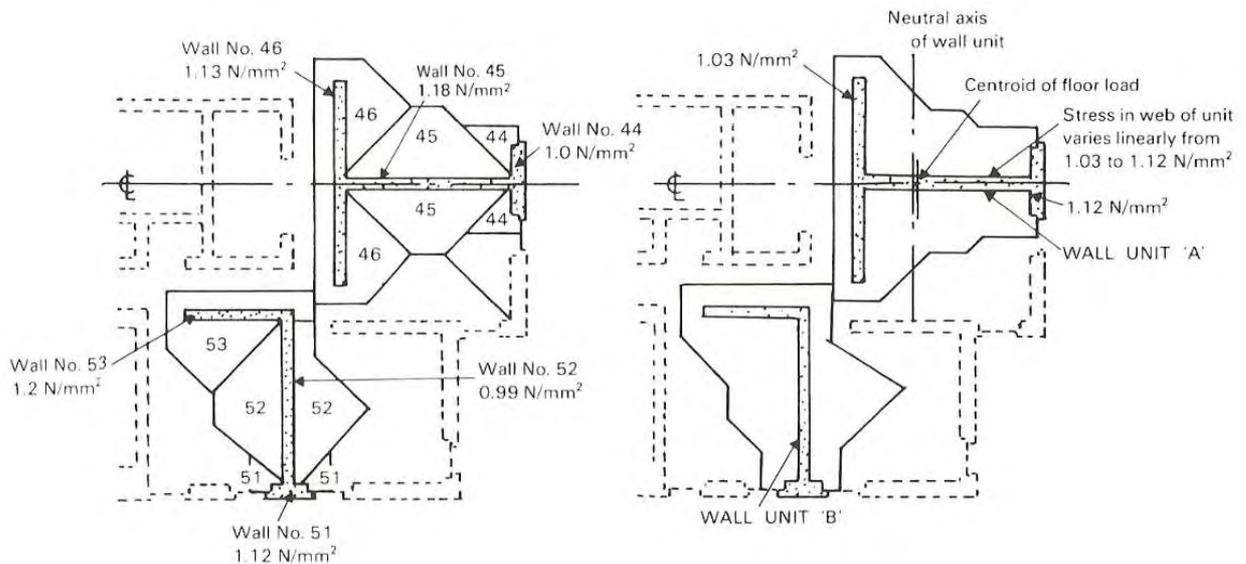


Figura 25 - Métodos alternativos de cálculo das ações nas paredes. Na esquerda, áreas atribuídas às paredes isoladas e à direita, grupos de paredes, (SUTHERLAND⁹, 1969, apud HENDRY, 1998).

4.3.3 Grupos de Paredes com Interação

É análogo ao procedimento anterior, mas agora os grupos de paredes interagem entre si, ou seja, é considerada a existência de forças de interação nas aberturas. Os grupos interagem segundo uma taxa pré-definida, formando os macrogrupos, considerando o fato de que há interação de grupos quando houver alvenaria entre a abertura e a laje. A taxa de interação representa o quanto da diferença de cargas entre grupos que interagem deve ser uniformizada em cada nível. Por exemplo, uma taxa de 40%, indica que 40% da diferença das ações dos grupos e a ação média do macrogrupo são uniformizadas entre os grupos componentes, ou que 60% da diferença será mantida. Portanto, grupos com valores de cargas maiores que a média do macrogrupo transmitem parte dessa diferença para grupos com ações menores que a média.

Há também, a liberdade de se utilizar a taxa de interação do macrogrupo de acordo com o tipo de ligação dos grupos e ainda taxas referentes a aberturas diferentes podem ter valores distintos. É mais trabalhoso que os procedimentos anteriores, sendo recomendada sua automatização computacional. A uniformização conduz a tensões médias menores, resultando em especificações de resistências dos blocos menores que os métodos anteriores. A dificuldade está, mais uma vez, na definição dos grupos, quais grupos interagem entre si e a

taxa de interação entre eles, exigindo experiência do projetista e resultados experimentais para sua utilização. Também é indicado para edifícios de qualquer altura. Analiticamente sua implementação é dada pelas expressões seguintes:

$$q_m = \frac{(q_1 \cdot l_1 + q_2 \cdot l_2 + \dots + q_n \cdot l_n)}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \quad (1)$$

$$d_i = (q_i - q_m) \times (1 - t) \quad (2)$$

$$q_i^* = q_m + d_i \quad (3)$$

onde:

n = número de grupos que estão interagindo;

q_i = carga do grupo i no nível considerado;

l_i = comprimento do grupo i ;

q_m = carga média uniformemente distribuída do macrogrupo no nível considerado;

d_i = diferença de carga do grupo i no nível considerado em relação à média;

t = taxa de interação;

q_i^* = carga uniformemente distribuída corrigida do grupo i levando em conta a interação no nível considerado.

4.3.4 Modelagem por Elementos Finitos

Neste caso discretiza-se o edifício ou parte dele a partir de pequenos elementos que representem de forma mais aproximada possível o comportamento da estrutura real, Figura 26. A alvenaria pode ser discretizada por elementos de casca, que possuem comportamento de placa e membrana de acordo com o tipo de solicitação em que a estrutura estará submetida. As lajes dos pavimentos são discretizadas por elementos de placa, inserindo os carregamentos ao nível de cada pavimento. Dessa forma, a uniformização se dará através da compatibilização dos deslocamentos no nível de cada nó.

Para a modelagem tridimensional em elementos finitos são necessárias algumas características mecânicas do material alvenaria, tais como módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Barreto (2002) afirma que a modelagem numérica por elementos finitos é um procedimento adequado, pois permite obter resultados com boa aproximação do comportamento real da estrutura e se constitui em uma importante ferramenta no entendimento do mecanismo de sustentação e transmissão de cargas da alvenaria estrutural. Possibilita a obtenção do perfil de tensões e deformações atuantes ao longo de um painel, permite o refinamento da malha, favorecendo a análise global e localizada da estrutura. Como desvantagem tem-se grande esforço computacional envolvido e tempo necessário para a modelagem.

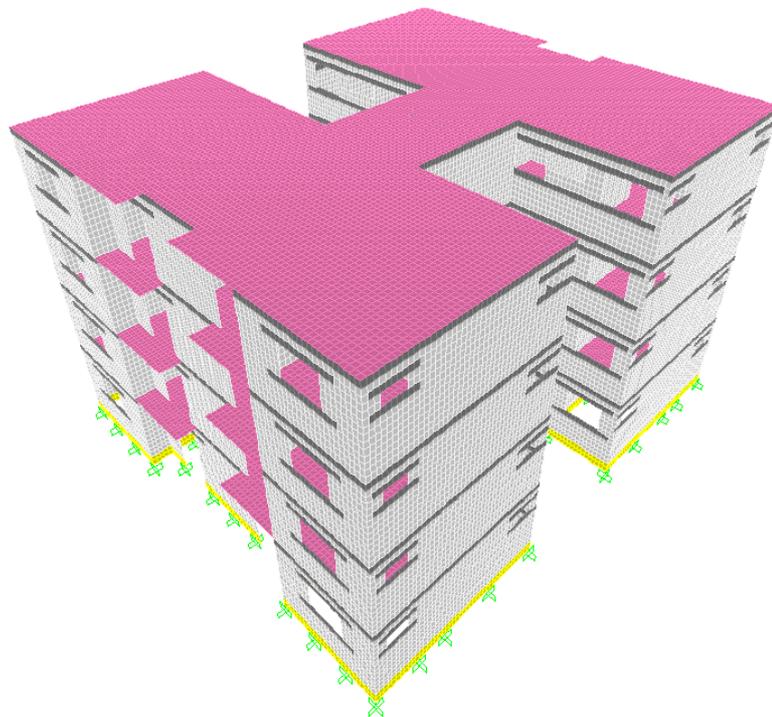


Figura 26 - Edifício modelado por elementos finitos.

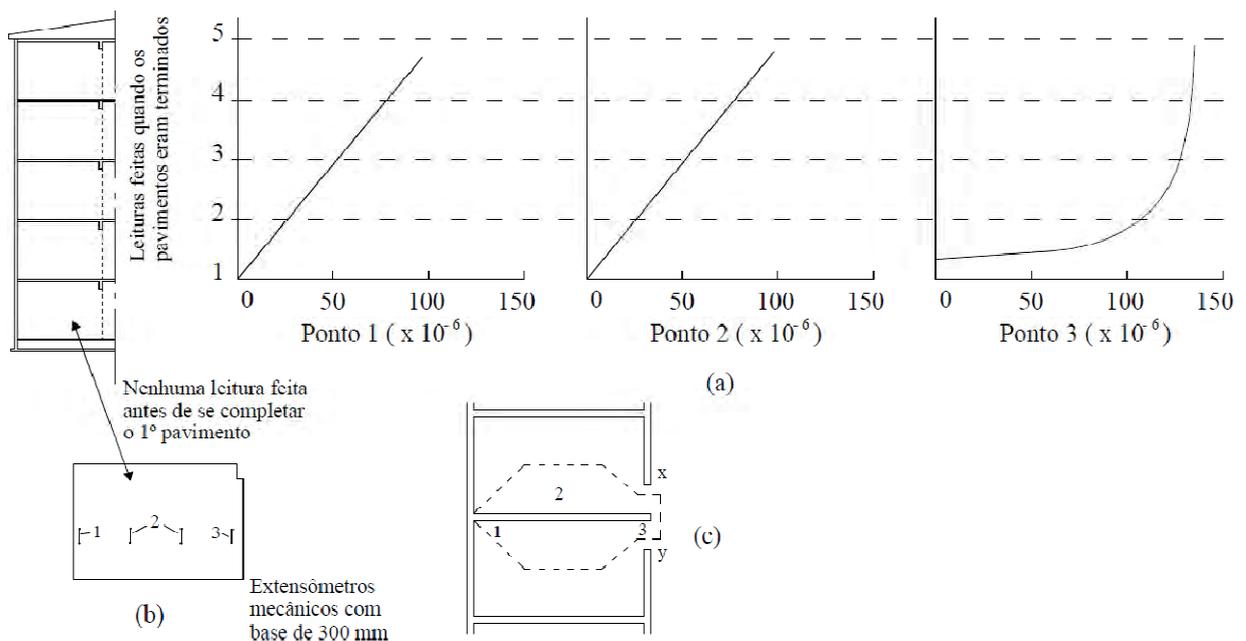
4.4 Pesquisas sobre o Tema

4.4.1 Trabalho de Stockbridge (1967)

Esta tese de doutorado de Stockbridge¹⁰, desenvolvida na universidade de Edinburgh, Escócia em 1967, é considerada um marco, pois foi o primeiro trabalho a fornecer informações sobre a

interação das paredes quando sujeitas às ações verticais. Neste trabalho foram realizadas medidas de deformações, em diferentes pontos, na parede do térreo de um edifício de cinco pavimentos. Essas medidas foram registradas conforme os pavimentos superiores do edifício eram construídos, as leituras de deformação podem ser observadas na Figura 27.

Segundo Hendry (1998, p. 125), para a distribuição de carregamento indicada na Figura 27c, em virtude da área de influência, seria de se esperar que a leitura de deformação no ponto 1 fosse consideravelmente menor que a do ponto 2, pois na região central deveria haver uma concentração das reações das duas lajes apoiadas, contudo elas são quase iguais, como se observa na Figura 27a. As tensões na parede no ponto 3 são influenciadas pela presença de uma verga, XY, conforme Figura 27c.



(a) Medidas feitas na parede do 1º pavimento; (b) Localização dos extensômetros mecânicos (mesma disposição na face oposta) e (c) área de influência estimada da laje.

Figura 27 - Deformações medidas na parede do edifício, (STOCKBRIDGE¹⁰, 1967, apud CAPUZZO NETO, 2005, p. 24).

¹⁰ STOCKBRIDGE, J. G. A study of high-rise load bearing brickwork in Britain. 1967. PhD Thesis, University of Edinburgh, 1967.

O efeito desta verga era inicialmente atrair as cargas para esta área, mas após a construção ter alcançado o primeiro pavimento a proporção de aumento da deformação diminuiu consideravelmente até alcançar o quinto pavimento. Observa-se que as tensões ao longo do comprimento da parede se tornaram mais uniformes que nos estágios iniciais.

Hendry (1998, p. 125) comenta que a partir desses resultados são encontradas evidências da uniformização das ações verticais nos pavimentos inferiores, tanto para a consideração de paredes isoladas quanto para grupos de paredes interligadas, evidenciando a existência de forças de interação, podendo assim, supor que esta uniformização será mais evidente em edifícios mais altos, com maior número de pavimentos.

4.4.2 Trabalho de Corrêa e Ramalho (1994b)

Corrêa e Ramalho (1994b, p. 306) afirmam que o procedimento de Sutherland⁹ (1969), já relatado anteriormente, da consideração de grupos de paredes é bastante racional, pois contempla a interação de paredes interligadas, em função da tendência de uniformização de tensões ao longo da altura do edifício. Mas, neste caso, esta interação só ocorre dentro de um mesmo grupo. Neste trabalho os autores propõem a interação de paredes de grupos distintos por causa da presença de vergas ou da própria laje que funciona como diafragma a vinculá-las em planos horizontais.

Aqui, a reunião de grupos distintos que se interagem constitui o que se denomina de macrogrupo. Os autores também enfatizam que a consideração de uniformidade total de cargas, portanto tensões normais, em um grupo não constituem limitação ao procedimento proposto, pois uma parede isolada pode ser considerada como grupo interagindo com outras. Para Corrêa e Ramalho (1994b, p. 306) a interação entre paredes ocorre por existir caminhos alternativos para o fluxo de cargas, que começam em uma parede e se espalham por paredes adjacentes, o que pode ser resumido no conceito da tendência de uniformização de tensões que ocorre ao longo da altura do edifício.

A questão fundamental está em se determinar a taxa de uniformização ao longo do pé-direito de cada pavimento, ou seja, como tratar as diferenças de cargas distribuídas entre os diversos

grupos de um mesmo macrogrupo. Corrêa e Ramalho (1994a, p. 362), em seu estudo sobre os efeitos de aberturas em painéis de alvenaria estrutural, sugerem que a redução das diferenças de cargas distribuídas em dois lados diferentes de uma abertura pode ser tratada, de maneira conservadora, como especificado pela NBR 10837 (1989) no item 4.3.3.1.1, ou seja, com espalhamento a 45° das diferenças.

O fato descrito no parágrafo anterior é demonstrado pelos autores através de um exemplo teórico, conforme Figura 28, mediante a simulação de três paredes que se interceptam, modeladas por elementos finitos de chapa, em comportamento elástico linear e dimensões de 0,5m x 0,5m, sendo: $E = 3,0 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0,15$; $t = 0,14\text{m}$; $h = 3,0\text{m}$; $L_1 = L_3 = 3,0\text{m}$; $L_2 = 6,0\text{m}$. Adotam-se dois casos de carregamento no topo da parede 1, sendo o primeiro uma carga distribuída ao longo dos 3,0m da parede (Caso 1) e o segundo uma carga concentrada na extremidade livre (Caso 2). A resultante de ambos carregamentos é de 168kN, correspondendo a uma tensão normal vertical média de 100kN/m².

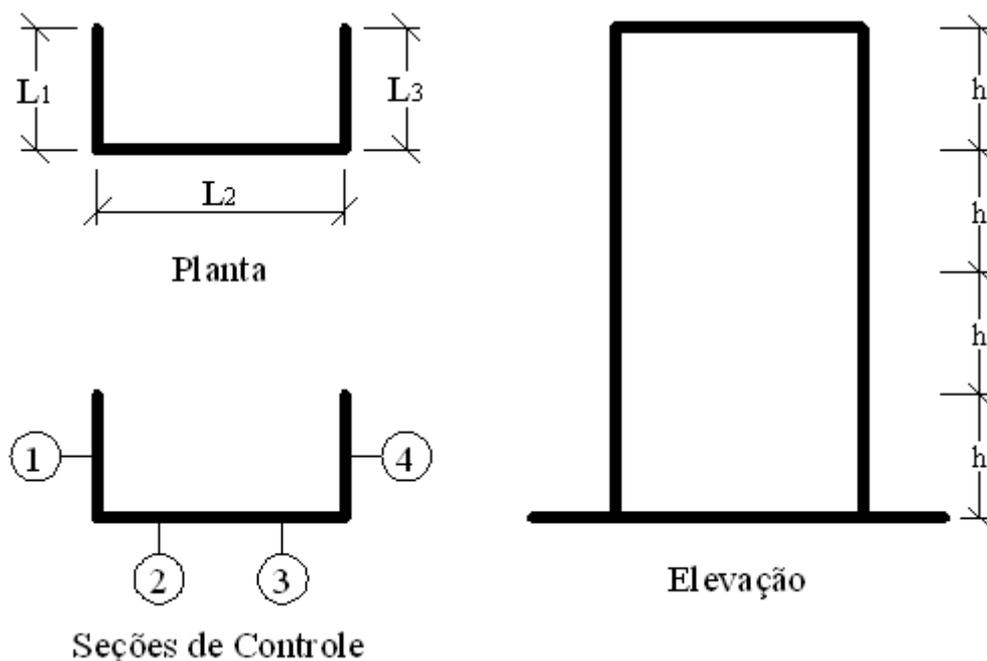


Figura 28 - Exemplo de intersecção de paredes, adaptado de Corrêa e Ramalho (1994b, p. 307).

Na Tabela 1 é possível observar o espalhamento da ação através dos valores médios das tensões normais verticais nas seções de controle da figura anterior, a fim de facilitar o entendimento da Tabela 1, foi elaborada a Figura 29. As tensões foram obtidas nos pontos situados nos centróides dos elementos localizados logo acima dos níveis 0m, 3m, 6m e 9m.

Para os autores a tendência de uniformização é muito forte, pois três níveis abaixo da aplicação da carga as tensões normais são praticamente iguais nas paredes, como se observa na Figura 29 para os níveis 0 e 3m, mesmo para o caso 2 em que foi aplicada uma carga concentrada na extremidade da parede 1.

Corrêa e Ramalho (1994b, p. 307-308) afirmam que se for observada a regra do espalhamento a 45° vê-se que tal procedimento é bastante razoável, pois com sua utilização obtém-se uniformização de tensões entre os níveis 0 e 3m para as três paredes em conjunto, considerando os dois tipos de carregamentos analisados. Nos níveis superiores ocorrem as maiores diferenças de tensões visto que a carga não pode se uniformizar. Para os dois casos a diferença de tensões entre os níveis 0 e 3m é inferior a 0,5%.

Tabela 1 - Tensões normais verticais nas seções de controle (kN/m^2), adaptado de Corrêa e Ramalho (1994b, p. 308).

| Nível | Caso 1 | | | | Caso 2 | | | |
|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 9 m | 154,29 | 119,55 | 71,81 | 54,37 | 176,92 | 105,92 | 65,56 | 51,60 |
| 6 m | 112,65 | 105,79 | 95,38 | 86,20 | 113,24 | 108,19 | 94,47 | 84,13 |
| 3 m | 102,97 | 102,00 | 99,07 | 96,00 | 103,59 | 102,00 | 98,90 | 95,54 |
| 0 m | 100,97 | 101,14 | 99,92 | 97,99 | 101,17 | 101,23 | 98,86 | 97,77 |

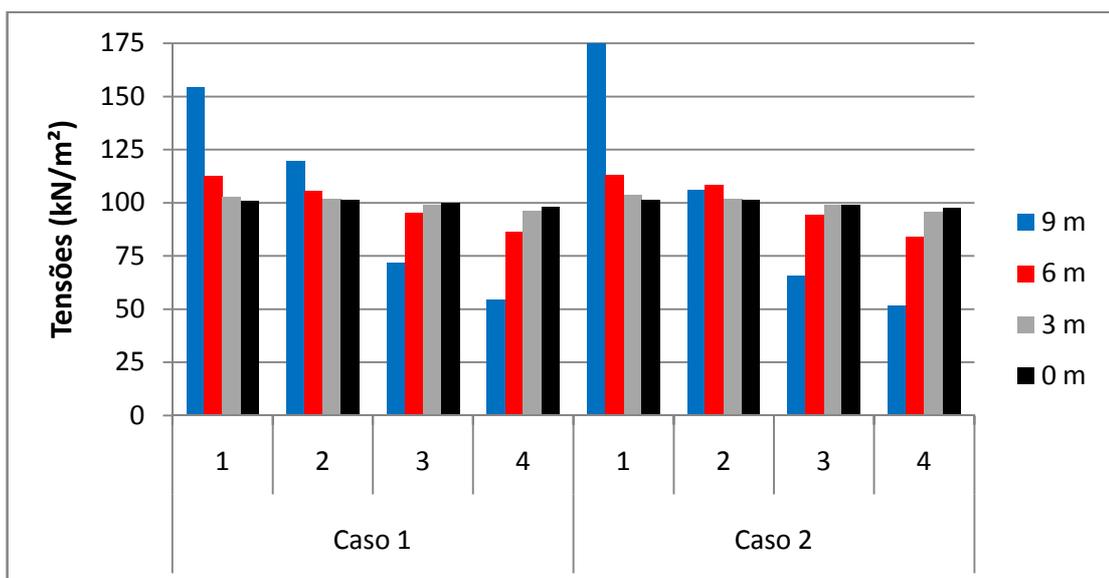


Figura 29 - Tensões normais verticais nas seções de controle ao longo da altura da edificação.

Para automatização do procedimento de distribuição de ações verticais proposto, Corrêa e Ramalho (1994b, p. 308-311) criaram um programa computacional onde a estrutura a ser analisada tem sua geometria e seu carregamento discretizados, adotando-se um esquema semelhante ao utilizado para análise de estruturas planas de barras, como as grelhas. No programa é possível a criação de grupos de paredes e também como opção a possibilidade de utilização de macrogrupos, que são grupos cujos carregamentos interagem segundo uma taxa determinada, resultando assim em tensões mais uniformes e menores, o que gera economia.

A metodologia de cálculo, para o caso de interação entre grupos é a mesma já relatada anteriormente na descrição “**Grupos de Paredes com Interação**”, no item 4.3.3. Como exemplo do procedimento proposto, os autores apresentam análise de um edifício de 10 pavimentos em alvenaria estrutural não armada. A planta do edifício é apresentada na Figura 30 onde foram definidos alguns grupos representados pela letra G e macrogrupos MG. Os autores declaram que as escolhas feitas podem ser questionadas, por exemplo, o grupo G1 poderia ser dividido em dois grupos, um formado pela parede na horizontal e outro pela parede na vertical. Em outros casos, pode-se achar desnecessária a divisão feita, por se tratar de paredes que devem apresentar cargas de valores muito próximos, porém, essas definições foram adotadas somente para exemplificar o procedimento proposto.

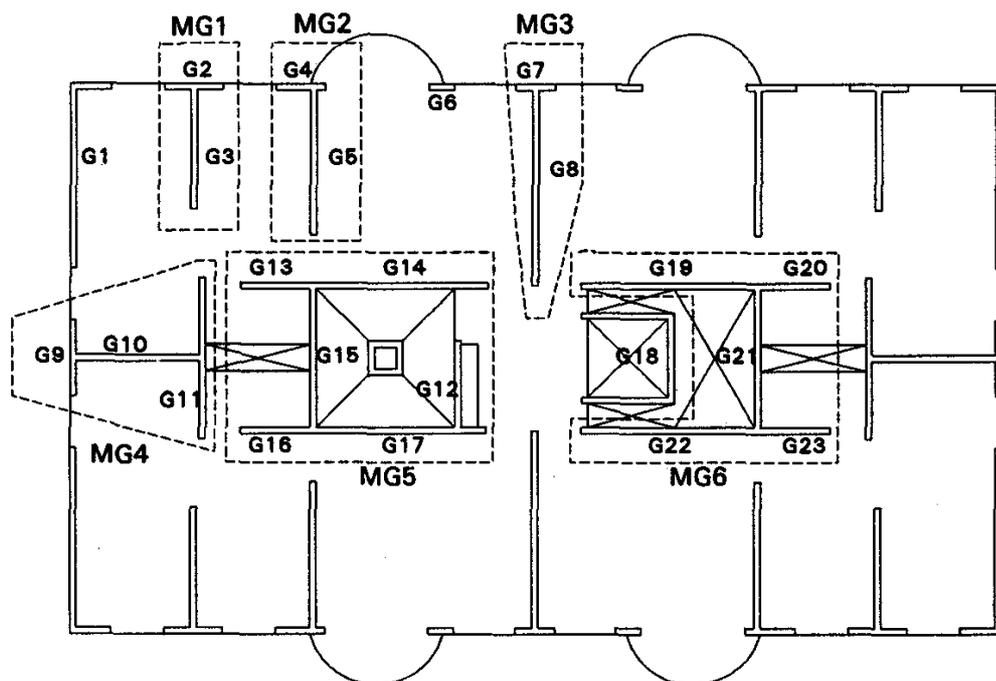


Figura 30 - Grupos e macrogrupos do pavimento tipo, (CORRÊA; RAMALHO, 1994b, p. 312).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para as cargas distribuídas nas paredes abaixo do primeiro pavimento. Foram consideradas três diferentes taxas de interação: 0, 1 e 0,5, com o objetivo de mostrar as modificações dos valores de cargas quando se varia esse parâmetro.

Tabela 2 - Cargas distribuídas nas paredes abaixo do primeiro pavimento, adaptado de Corrêa e Ramalho (1994b, p. 313).

| Grupo G | Macrogrupo MG | Carga (kN/m) taxa = 0,0 | Carga (kN/m) taxa = 1,0 | Carga (kN/m) taxa = 0,5 |
|----------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | - | 117,1 | 117,1 | 117,1 |
| 2 | 1 | 182,9 | 164,7 | 166,4 |
| 3 | 1 | 155,7 | 164,7 | 163,8 |
| 4 | 2 | 321,0 | 244,8 | 252,3 |
| 5 | 2 | 218,4 | 244,8 | 242,2 |
| 6 | - | 255,4 | 255,4 | 255,4 |
| 7 | 3 | 396,7 | 269,5 | 283,5 |
| 8 | 3 | 243,4 | 269,5 | 266,7 |
| 9 | 4 | 176,3 | 172,4 | 172,6 |
| 10 | 4 | 119,9 | 172,4 | 167,0 |
| 11 | 4 | 216,3 | 172,4 | 177,0 |
| 12 | 5 | 205,8 | 200,4 | 201,9 |
| 13 | 5 | 228,8 | 200,4 | 204,7 |
| 14 | 5 | 212,2 | 200,4 | 200,5 |
| 15 | 5 | 176,0 | 200,4 | 198,6 |
| 16 | 5 | 252,5 | 200,4 | 204,7 |
| 17 | 5 | 169,5 | 200,4 | 197,2 |
| 18 | - | 69,7 | 69,7 | 69,7 |
| 19 | 6 | 168,9 | 176,6 | 174,8 |
| 20 | 6 | 212,7 | 176,6 | 181,8 |
| 21 | 6 | 154,6 | 176,6 | 175,3 |
| 22 | 6 | 168,9 | 176,6 | 174,7 |
| 23 | 6 | 212,7 | 176,6 | 181,8 |

Constata-se que a influência da forma de tratamento do sistema estrutural leva a diferenças significativas nos valores das cargas, e conseqüentemente as tensões. Tomando os grupos 7 e 8, interagindo através do macrogrupo 3, para a parede definida como grupo 7, a carga sem

qualquer interação seria de 396,7kN/m, caindo para 269,5kN/m com interação total, representando uma diferença de 47%. Mesmo considerando a interação com taxa de 0,5 a carga seria 283,5kN/m, com uma variação de 40%, em outros casos as diferenças são da mesma ordem de grandeza.

Como conclusões, Corrêa e Ramalho (1994b, p. 313) afirmam que a consideração de taxas alternativas de interação leva a diferenças apreciáveis nas cargas das paredes, podendo afetar de maneira significativa a segurança e a economia. O modelo desenvolvido permite simular o comportamento conjunto de paredes, fornecendo-se a taxa de interação. Essa taxa pode ser estimada mediante modelo teórico, como por exemplo, o espalhamento a 45°, ou por procedimento experimental que estiver disponível durante o desenvolvimento do projeto.

4.4.3 Trabalho de Oliveira Junior e Pinheiro (1994)

Com o objetivo de determinar um procedimento prático de distribuição das ações verticais entre paredes de edifícios, Oliveira Junior e Pinheiro (1994) apresentam resultados teóricos obtidos através da análise das cargas verticais em um edifício de 6 pavimentos em alvenaria estrutural executada com blocos vazados de concreto e pé direito de 2,60m. Sobre os vãos das janelas e portas existem vergas com seção de 14cm x 39cm. A planta do edifício com suas dimensões pode ser observada na Figura 31.

Foram consideradas as ações verticais, permanentes e variáveis, como distribuídas uniformemente ao longo das paredes. As permanentes se constituem pelo peso próprio da alvenaria, adotada pelos autores como sendo 2,50 kN/m², e pelo peso próprio das lajes mais revestimento, e as ações variáveis foram calculadas seguindo as prescrições da NBR 6120 (1980), sendo estas últimas dadas em função do uso previsto das lajes.

As reações de apoio das lajes, segundo os autores, foram calculadas seguindo as recomendações da antiga NBR 6118 (1978), cabe aqui salientar que no trabalho os autores não demonstram em detalhes as áreas de influência das lajes, mas somente os valores das reações distribuídas nas paredes. São também consideradas ações concentradas, oriundas das reações de apoio das vergas sobre os vãos das aberturas, obtidas segundo a NBR 6118 (1978).

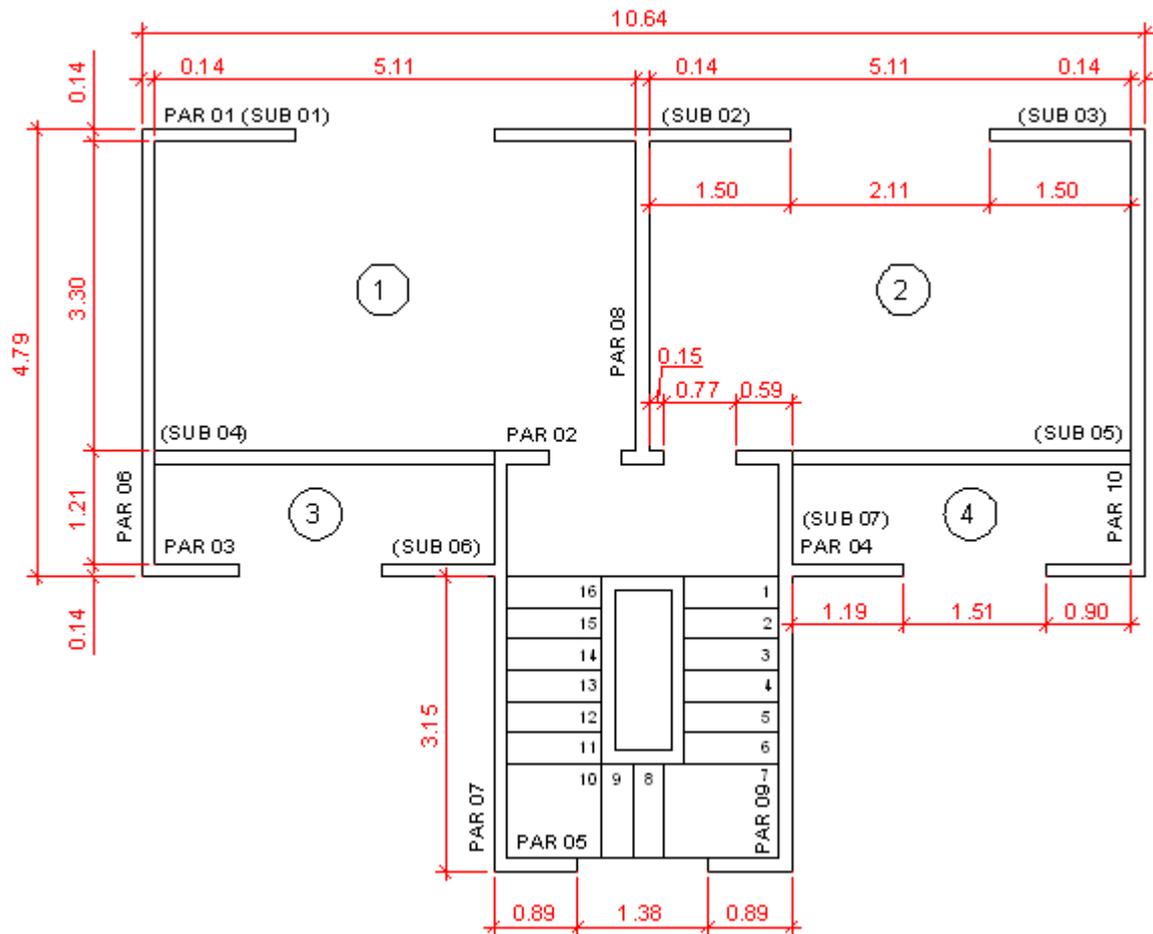


Figura 31 - Planta do edifício, adaptado de Oliveira Junior e Pinheiro (1994, p. 318).

Na consideração da distribuição das ações verticais os autores adotam dois procedimentos: paredes isoladas e grupos de paredes, sendo este último denominado pelos autores como subestruturas. Para Oliveira Junior (1992, p. 155) a primeira atitude a ser assumida no dimensionamento das paredes, é a divisão destas em subestruturas, ou seja, regiões onde as ações de uma parede influenciam nas ações finais de outra. Ainda segundo o autor, o conceito de subestrutura é prático, não existindo critério fixo para divisão das paredes, sendo aceitável como coerente a interrupção das mesmas nos vãos de portas e janelas e em grandes lances de paredes sem aberturas.

Neste artigo, Oliveira Junior e Pinheiro (1994) propuseram a divisão da estrutura nas seguintes subestruturas, com o objetivo de obter ações resultantes homogêneas nas bases das paredes que compõem estas regiões:

- a) SUB 01 - inicia-se no eixo da janela da parede PAR 01 do cômodo 1, seguindo à esquerda e abaixo, até a metade do comprimento da PAR 06;
- b) SUB 02 - inicia-se no eixo da janela PAR 01 do cômodo 1, segue a direita e bifurca-se para baixo, até o fim da parede PAR 08, e continua em frente até o eixo da janela da parede PAR 01 do cômodo 2;
- c) SUB 04 - começa na metade do comprimento da parede PAR 06 do cômodo 1, caminha para baixo e após à direita até o eixo da janela da parede PAR03;
- d) SUB 06 - começa no eixo da janela da PAR 03 no cômodo 3, segue à direita e bifurca-se, para cima, na parede PAR 07 e até o fim da parede PAR 02, e para baixo, na PAR 07 e na PAR 05 até o eixo da janela;
- e) SUB 03, SUB 05 e SUB 07 são simétricas às SUB 01, SUB 04 e SUB 06, respectivamente.

Após isso, procedeu-se a homogeneização das ações verticais nas paredes de um pavimento, conforme Tabela 3. As ações uniformemente distribuídas de uma subestrutura são somadas às ações concentradas e, posteriormente redistribuídas pelas paredes que fazem parte desta subestrutura, conforme a expressão seguinte. As ações obtidas na Tabela 3 são agrupadas e somadas, pavimento por pavimento, na Tabela 4, a fim de se obter ações acumuladas ao longo de toda altura do edifício.

$$q = \frac{(q_{oi} \cdot l + p_i)}{l} \quad (4)$$

onde:

q = ações homogeneizadas uniformemente distribuídas;

q_{oi} = ações uniformemente distribuídas das paredes da subestrutura;

p_i = ações concentradas nas paredes da subestrutura;

l = comprimento das paredes.

Tabela 3 - Ações homogeneizadas em um pavimento, adaptado de Oliveira Junior e Pinheiro (1994, p. 320).

| SUB | PAREDE | l(m) | PP Alvest (kN/m) | Laje (kN/m) | q ₀ = PP + Laje (kN/m) | q ₀ l (kN) | P (kN) | q (kN/m) |
|---------|--------|------|------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------|--------|----------|
| 01 = 03 | 1a | 1,64 | 6,50 | 6,30 | 12,80 | 20,99 | 10,34 | 19,10 |
| | 6b | 2,26 | 6,50 | 5,20 | 11,70 | 26,44 | | 11,70 |
| | Σ | 3,90 | - | - | - | 47,43 | 10,34 | 14,81 |
| 02 | 1b | 3,14 | 6,50 | 6,30 | 12,80 | 40,19 | 20,68 | 19,39 |
| | 8 | 3,44 | 6,50 | 9,40 | 15,90 | 54,70 | 2,70 | 16,68 |
| | Σ | 6,58 | - | - | - | 94,89 | 23,38 | 17,97 |
| 04 = 05 | 6a | 2,26 | 6,50 | 5,20 | 11,70 | 26,44 | | 11,70 |
| | 3a | 1,04 | 6,50 | 5,40 | 11,90 | 12,38 | 6,72 | 18,36 |
| | Σ | 3,30 | - | - | - | 38,82 | 6,72 | 13,80 |
| 06 = 07 | 3b | 1,19 | 6,50 | 5,40 | 11,90 | 14,16 | 6,72 | 17,55 |
| | 7b | 1,06 | 6,50 | 1,10 | 7,60 | 8,06 | | 7,60 |
| | 7a | 3,15 | 6,50 | 2,50 | 9,00 | 28,35 | | 9,00 |
| | 2 | 0,59 | 6,50 | 2,50 | 9,00 | 5,31 | 1,35 | 11,29 |
| | 5a | 0,89 | 6,50 | 2,90 | 9,40 | 8,37 | 5,31 | 15,37 |
| | Σ | 6,88 | - | - | - | 64,24 | 13,38 | 11,28 |

Tabela 4 - Ações acumuladas nas paredes (kN/m), adaptado de Oliveira Junior e Pinheiro (1994, p. 320).

| SUB | PAREDE | 5° PAV | 4° PAV | 3° PAV | 2° PAV | 1° PAV | TÉRREO |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 01 = 03 | 1a | 19,10 | 38,21 | 57,31 | 76,42 | 95,52 | 114,63 |
| | 6b | 11,70 | 23,40 | 35,10 | 46,80 | 58,50 | 70,20 |
| | q | 14,81 | 29,63 | 44,44 | 59,26 | 74,07 | 88,88 |
| 02 | 1b | 19,39 | 38,77 | 58,16 | 77,54 | 96,93 | 116,32 |
| | 8 | 16,68 | 33,37 | 50,05 | 66,74 | 83,42 | 100,11 |
| | q | 17,97 | 35,95 | 53,92 | 71,90 | 89,87 | 107,84 |
| 04 = 05 | 6a | 11,70 | 23,40 | 35,10 | 46,80 | 58,50 | 70,20 |
| | 3a | 18,36 | 36,72 | 55,08 | 73,45 | 91,81 | 110,17 |
| | q | 13,80 | 27,60 | 41,40 | 55,20 | 69,00 | 82,80 |
| 06 = 07 | 3b | 17,55 | 35,09 | 52,64 | 70,19 | 87,74 | 105,28 |
| | 7b | 7,60 | 15,20 | 22,80 | 30,40 | 38,00 | 45,60 |
| | 7a | 9,00 | 18,00 | 27,00 | 36,00 | 45,00 | 54,00 |
| | 2 | 11,29 | 22,58 | 33,86 | 45,15 | 56,44 | 67,73 |
| | 5a | 15,37 | 30,73 | 46,10 | 61,47 | 76,83 | 92,20 |
| | q | 11,28 | 22,56 | 33,85 | 45,13 | 56,41 | 67,69 |

Para uma melhor compreensão das vantagens do método através dos resultados obtidos, os autores mostram a distribuição das ações nas paredes PAR 01 e PAR 06, sem homogeneização (Figura 32) e após a homogeneização das ações (Figura 33), todas no térreo.

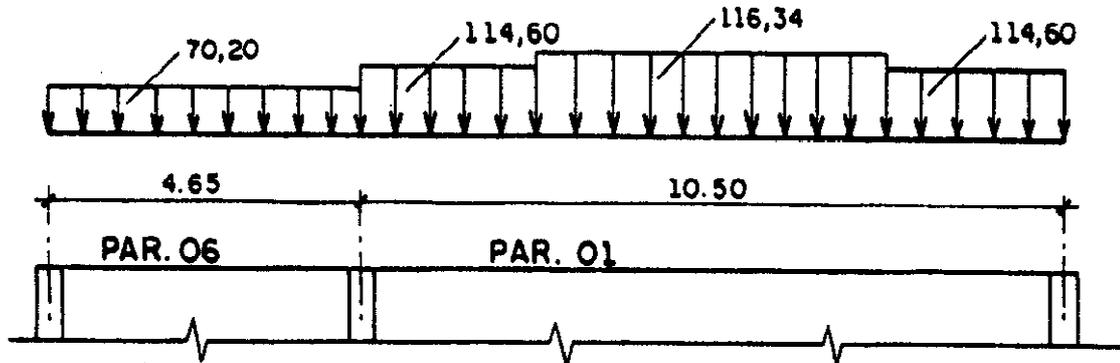


Figura 32 - Ações não homogeneizadas (kN/m), (OLIVEIRA JUNIOR; PINHEIRO, 1994, p. 321).

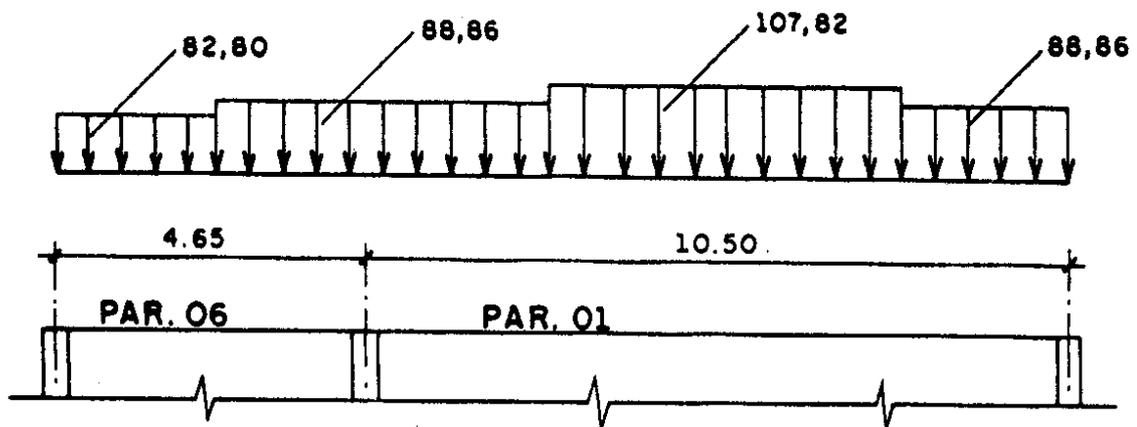


Figura 33 - Ações homogeneizadas (kN/m), (OLIVEIRA JUNIOR; PINHEIRO, 1994, p. 321).

Os autores concluíram que a homogeneização conduziu à redução de até 22% das ações em algumas regiões (PAR 01a) e acréscimos de 27% em outras (PAR 06b). Salientam que para o dimensionamento das paredes de alvenaria, devem ser tomadas as ações homogeneizadas, que constam das linhas **q** na Tabela 4, cujos valores máximos são menores que os relativos às ações sem homogeneização, conduzindo a uma diminuição em alguns pontos das tensões no projeto, o que possibilitaria a utilização de blocos de menor resistência, gerando economia nos custos finais da construção. Além disto, os autores citam que se tem observado a ocorrência de problemas patológicos em edifícios de alvenaria estrutural, quando os conceitos de homogeneização das ações não são considerados na ocasião do seu dimensionamento.

4.4.4 Trabalho de Parsekian e Franco (2002)

Parsekian e Franco (2002) comentam que atualmente, com relação à distribuição de ações verticais, alguns projetistas consideram que não há qualquer interação entre paredes, ou seja, a parede carregada distribuí seu carregamento apenas nela própria até a fundação, não importando o número de pavimentos, trabalhando como parede isolada. Outros consideram que paredes que se cruzam são capazes de permitir uma total redistribuição de esforços, sendo um carregamento aplicado em uma das paredes uniformemente distribuído entre todas elas, funcionando como grupos de paredes.

Neste trabalho os autores propõem um método que permite determinar, a partir de parâmetros geométricos definidos, como o comprimento das paredes, o número de pavimentos, a existência de aberturas e a altura do pavimento, como se dará essa distribuição, sendo que o resultado final conduz a um comportamento intermediário entre as duas considerações citadas anteriormente.

No presente método a distribuição das ações verticais é baseada na ideia do espalhamento a 45°, igual ao adotado pela NBR 10837 (1989). Paredes com aberturas são também consideradas na aplicação do método, sendo proposta a mesma distribuição de cargas a 45°, permitindo o espalhamento de uma ação atuante em uma parede para diversas outras. A distribuição pode abranger todas as paredes do edifício, irá depender apenas que a quantidade de pavimentos seja suficiente para isso.

Para o caso de paredes que se interceptam, sem ocorrência de aberturas, como apresentado na Figura 34 para o caso de três paredes, e com carregamentos distintos, a distribuição de carregamento aplicado na Parede 01 e que atua na Parede 02 é mostrado na Figura 35. Para o caso da ação distribuída aplicada na Parede 02 a distribuição para as paredes adjacentes é apresentada na Figura 36. Já a Parede 03 distribui seu carregamento na Parede 02 de forma análoga ao que ocorre com o carregamento aplicado na parede 01. Aqui, L1, L2 e L3 são os comprimentos das paredes 01, 02 e 03, com suas respectivas ações uniformemente distribuídas q_1 , q_2 e q_3 .

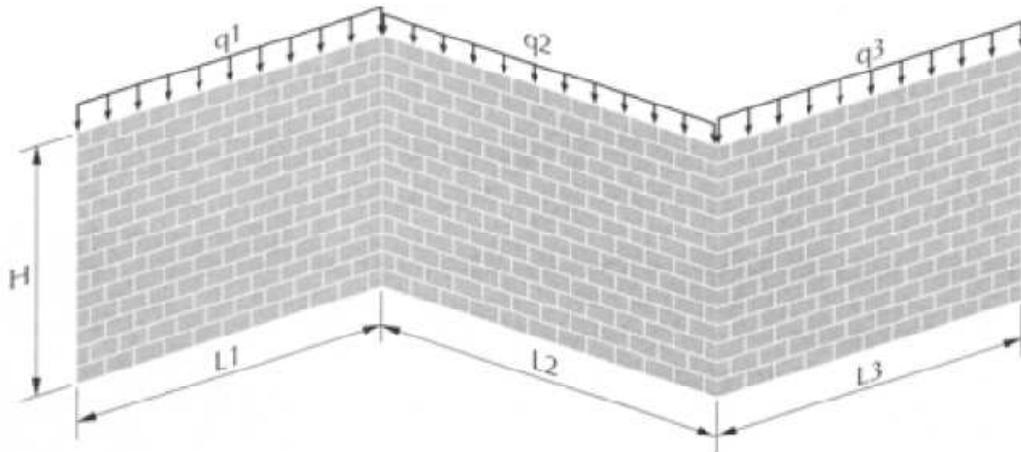


Figura 34 - Interação entre três paredes, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).

A carga q_1 , sobre Parede 01, será uniformizada na Parede 02 em um comprimento de influência L_{12} , de acordo com os seguintes parâmetros:

→ L_{12} é o comprimento de influência da Parede 01 na Parede 02, sendo limitado por:

$$L_{12} \leq \begin{cases} L_1 \\ L_2 \\ H \end{cases} ;$$

→ LU_1 é o comprimento de carga q_1 a ser uniformizada: $LU_1 = L_{12}$;

→ LNU_1 é o comprimento de carga q_1 não uniformizada: $LNU_1 = L_1 - LU_1$.

Com isso é possível calcular:

→ Carga da Parede 01 uniformizada: $q_{1u} = q_1 \cdot LU_1 / (LU_1 + L_{12})$

→ Carga da Parede 01 a ser transmitida para Parede 02: $p_{12} = q_{1u} \cdot L_{12}$

→ Carga da Parede 01 que não é transmitida: $p_{11} = q_1 \cdot LNU_1 + q_{1u} \cdot LU_1$

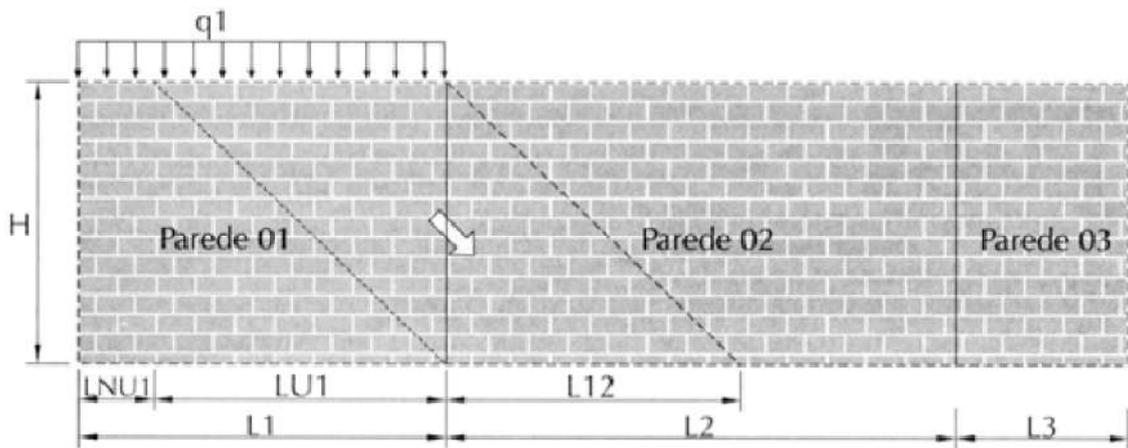


Figura 35 - Distribuição do carregamento atuante na Parede 01, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).

A carga q_2 da Parede 02 será uniformizada nos comprimentos L_{21} e L_{23} nas paredes 01 e 03:

$$\rightarrow \text{Comprimentos de influência (Parede 01 e Parede 03): } L_{21} \leq \begin{cases} L_1 \\ L_2 \\ H \end{cases} ; L_{23} \leq \begin{cases} L_3 \\ L_2 \\ H \end{cases}$$

$$\rightarrow \text{Comprimento de carga uniformizada na Parede 02: } L_{U2} \leq \begin{cases} L_{21} + L_{23} \\ L_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \text{Comprimento de carga não uniformizada da Parede 02: } L_{NU2} = L_2 - L_{U2}$$

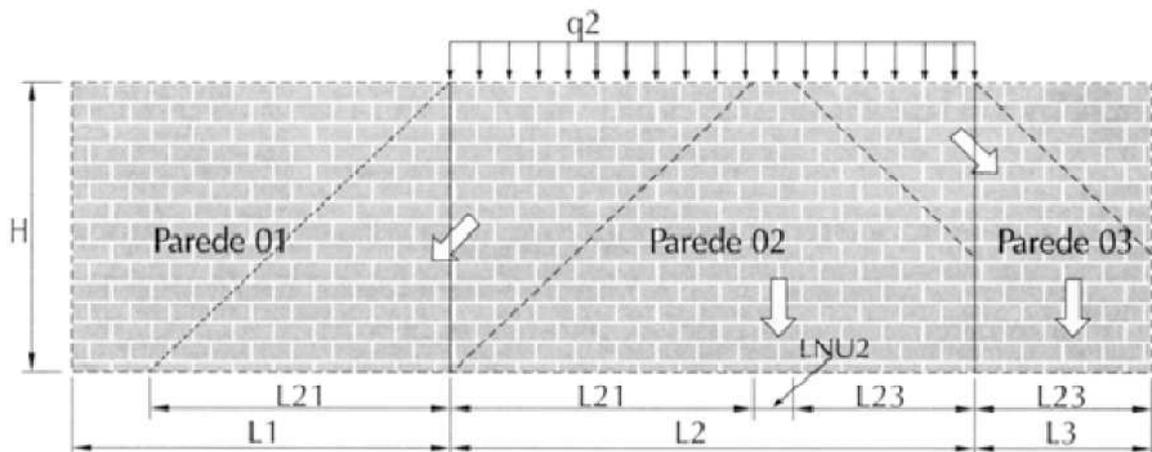


Figura 36 - Uniformização da ação da parede 02 nas paredes adjacentes, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).

Com isso é possível calcular:

$$\rightarrow \text{Carga da Parede 02 uniformizada: } q_{2u} = q_2 \cdot L_{U2} / (L_{U2} + L_{21} + L_{23})$$

- Carga da Parede 02 a ser transmitida para Parede 01: $p_{21} = q_{2u} \cdot L_{21}$
- Carga da Parede 02 a ser transmitida para Parede 03: $p_{23} = q_{2u} \cdot L_{23}$
- Carga da Parede 02 que não é transmitida: $p_{22} = q_{2u} \cdot L_{22}$

De maneira semelhante devem ser calculados p_{32} e p_{33} . As cargas uniformizadas finais em cada parede serão:

- Parede 01: $q_1' = (p_{11} + p_{21}) / L_1$;
- Parede 02: $q_2' = (p_{12} + p_{22} + p_{32}) / L_2$;
- Parede 03: $q_3' = (p_{23} + p_{33}) / L_3$.

Na ocorrência de aberturas, a distribuição entre cada lado se dará seguindo a mesma formulação anterior. O comprimento de distribuição (C_1) será: $C_1 = H - H_a - L_a$ onde ($H - H_a$) é a distância entre aberturas e (L_a) o comprimento da abertura. Parte da carga aplicada de um lado irá se distribuir sobre a verga existente acima da abertura, sendo o comprimento de influência para cálculo das reações de apoio de cada lado da verga igual a $C_2 = L_a / 2$, como se observa na Figura 37.

Assim, a região de influência total é dada por:

$$C_1 + C_2 = H - H_a - L_a/2.$$

O comprimento de influência será:

$$L_{12} \leq \begin{cases} L_1 \\ L_2 \\ C_1 + C_2 = H - \frac{L_a}{2} - H_a \end{cases}$$

Os autores afirmam que o método proposto pode ser facilmente implementado em programas computacionais ou mesmo em planilhas eletrônicas, o fluxograma apresentado não foi aqui mostrado, mas pode ser obtido diretamente no trabalho.

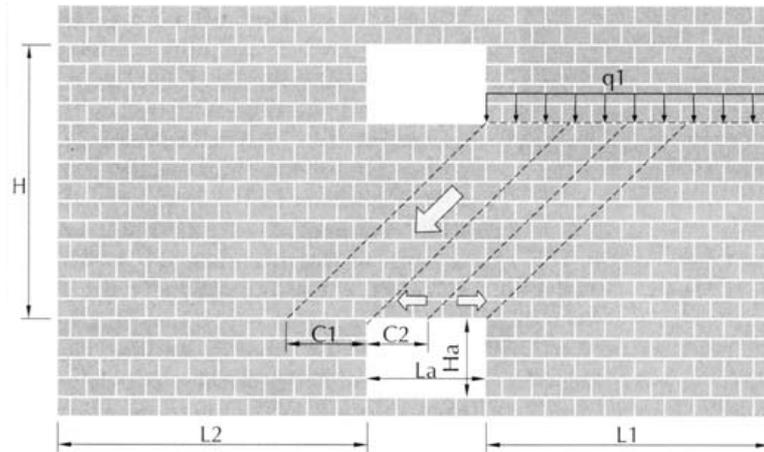


Figura 37 - Distribuição de cargas entre aberturas, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).

Visando avaliar a metodologia proposta, os autores propuseram a aplicação das expressões em exemplos constituídos por encontros de duas e três paredes sem aberturas e exemplos de paredes com aberturas. Também compararam os resultados com os obtidos através da consideração de paredes isoladas, grupos de paredes e modelagem das paredes por elementos finitos, os resultados são apresentados na sequência, mostrando somente os cálculos de alguns exemplos e apresentação da Tabela 5 que contém todos os resultados e comparações.

➤ **Interação entre duas paredes**

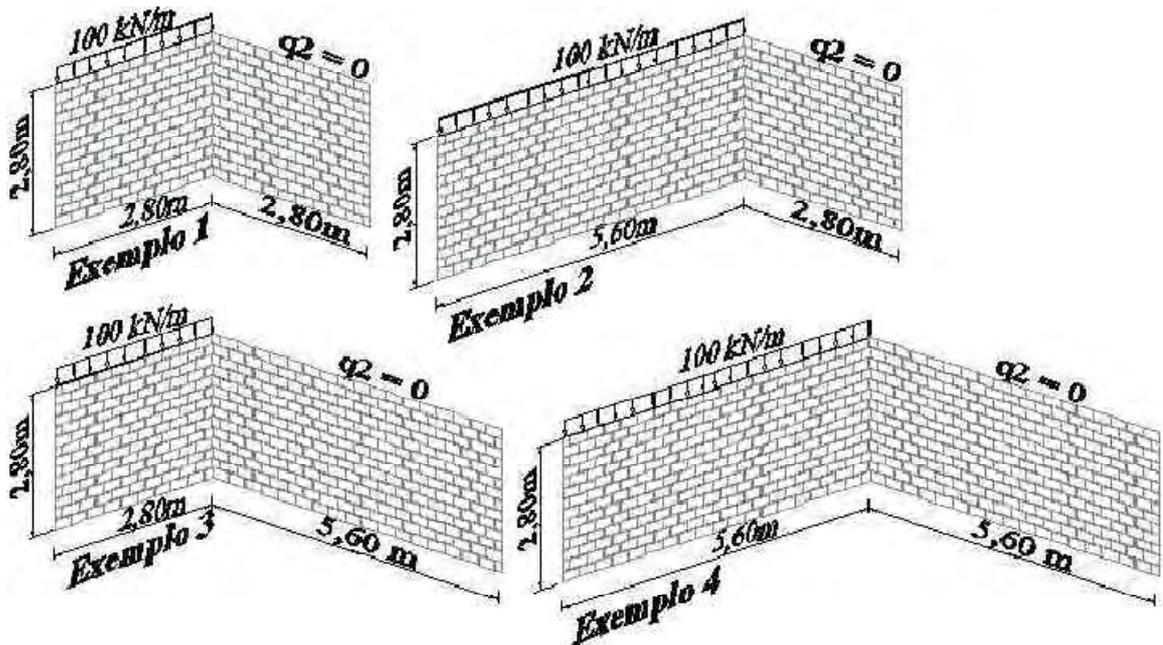


Figura 38 - Exemplos de casos de interação entre duas paredes, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).

Exemplo 1:

$$q_1 = 100; q_2 = 0$$

$$L_{12} \leq \begin{cases} L_1 = 2,80 \\ L_2 = 2,80 \\ H = 2,80 \end{cases} \rightarrow L_{12} = L_{21} = 2,80$$

$$\text{Parede 1: } LU_1 = 2,80; LNU_1 = 0$$

$$q_{1u} = 100 \cdot 2,8 / (2,8 + 2,8) = 50 \text{ kN/m}$$

$$p_{11} = 100 \cdot 0 + 50 \cdot 2,8 = 140 \text{ kN}$$

$$p_{12} = 50 \cdot 2,8 = 140 \text{ kN}$$

$$\text{Parede 2: como } q_2=0 \rightarrow p_{21} = p_{22} = 0$$

Cargas uniformizadas:

$$q_1' = 140/2,8 = 50 \text{ kN/m}$$

$$q_2' = 140/2,8 = 50 \text{ kN/m}$$

Exemplo 4:

$$q_1 = 100; q_2 = 0$$

$$L_{12} \leq \begin{cases} L_1 = 5,60 \\ L_2 = 5,60 \\ H = 2,80 \end{cases} \rightarrow L_{12} = L_{21} = 2,80$$

$$\text{Parede 1: } LU_1 = 2,80; LNU_1 = 2,8$$

$$q_{1u} = 100 \cdot 2,8 / (2,8 + 2,8) = 50 \text{ kN/m}$$

$$p_{11} = 100 \cdot 2,8 + 50 \cdot 2,8 = 420 \text{ kN}$$

$$p_{12} = 50 \cdot 2,8 = 140 \text{ kN}$$

$$\text{Parede 2: como } q_2=0 \rightarrow p_{21} = p_{22} = 0$$

Cargas uniformizadas:

$$q_1' = 420/5,6 = 75 \text{ kN/m}$$

$$q_2' = 140/5,6 = 25 \text{ kN/m}$$

➤ **Interação entre três paredes**

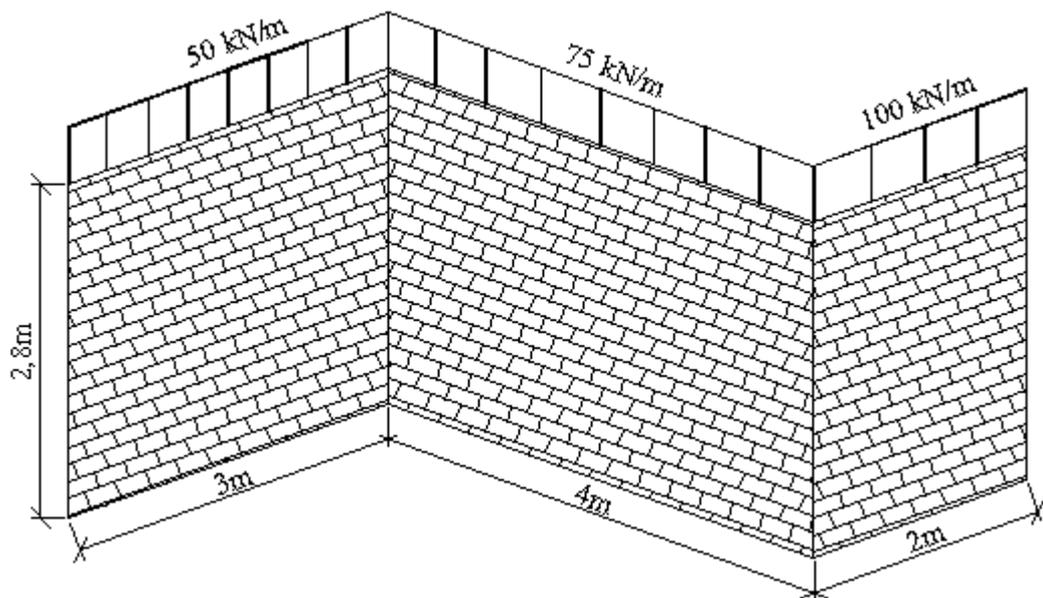


Figura 39 - Exemplo de interação entre 3 paredes, adaptado de Parsekian e Franco (2002).

$$q_1 = 50; q_2 = 75; q_3 = 100$$

$$L_{12} \leq \begin{cases} L_1 = 3,0 \\ L_2 = 4,0 \\ H = 2,8 \end{cases} \rightarrow L_{12} = L_{21} = 2,8$$

$$L_{23} \leq \begin{cases} L_2 = 4,0 \\ L_3 = 2,0 \\ H = 2,8 \end{cases} \rightarrow L_{12} = L_{21} = 2,0$$

Pared 1:

$$LU_1 = 2,80; LNU_1 = 0,2$$

$$q_{1u} = 50 \cdot 2,8 / (2,8 + 2,8)$$

$$q_{1u} = 25 \text{ kN/m}$$

$$p_{11} = 0,2 \cdot 50 + 2,8 \cdot 25 = 80 \text{ kN}$$

$$p_{12} = 2,8 \cdot 25 = 70 \text{ kN}$$

Pared 2:

$$LU_2 = 4,0; LNU_2 = 0$$

$$q_{2u} = 75 \cdot 4,0 / (4,0 + 2,8 + 2,0)$$

$$q_{2u} = 34,1 \text{ kN/m}$$

$$p_{21} = 2,8 \cdot 34,1 = 95,5 \text{ kN}$$

$$p_{22} = 0 \cdot 75 + 4,0 \cdot 34,1 = 136,4 \text{ kN}$$

$$p_{23} = 2,0 \cdot 34,1 = 68,2 \text{ kN}$$

Pared 3:

$$LU_3 = 2,0; LNU_3 = 0$$

$$q_{3u} = 100 \cdot 2,0 / (2,0 + 2,0)$$

$$q_{3u} = 50 \text{ kN/m}$$

$$p_{32} = 2,0 \cdot 50 = 100 \text{ kN}$$

$$p_{33} = 0 \cdot 100 + 2,0 \cdot 50 = 100 \text{ kN}$$

Cargas uniformizadas:

$$q_1' = (80 + 95,5) / 3,0 = 58,5 \text{ kN/m}$$

$$q_2' = (70 + 136,4 + 100) / 4,0 = 76,6 \text{ kN/m}$$

$$q_3' = (68,2 + 100) / 2,0 = 84,1 \text{ kN/m}$$

➤ **Interação entre paredes com aberturas**

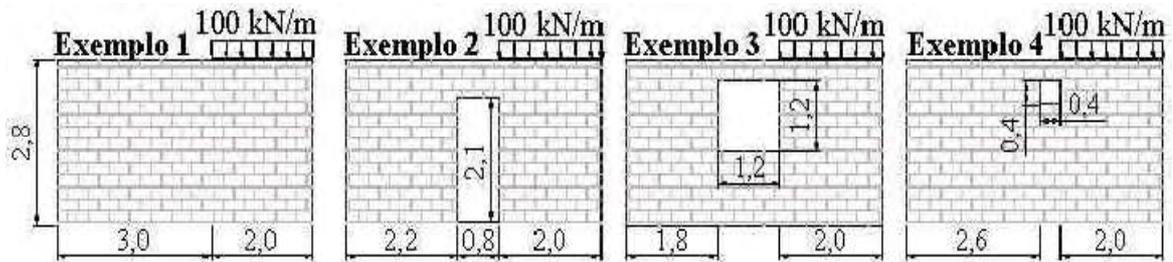


Figura 40 - Exemplos de paredes carregadas com aberturas, (PARSEKIAN; FRANCO, 2002).

Exemplo 2:

$$q_1 = 0; q_2 = 100$$

$$L_{12} = L_{21} \leq \begin{cases} L_1 = 2,2 \\ L_2 = 2,0 \\ C_1 + C_2 = H - \frac{L_a}{2} - H_a = 2,8 - \frac{0,8}{2} - 2,1 = 0,3 \end{cases}$$

$$L_{12} = L_{21} = 0,3$$

Parede 1:

$$\text{Como } q_1 = 0 \rightarrow p_{11} = p_{12} = 0$$

Parede 2:

$$L_{U1} = L_{21} = 0,3; L_{NU1} = 1,7$$

$$q_{2u} = 100 \cdot 0,3 / (0,3 + 0,3) = 50 \text{ kN/m}$$

$$p_{21} = 50 \cdot 0,3 = 15 \text{ kN}$$

$$p_{22} = 100 \cdot 1,7 + 50 \cdot 0,3 = 185 \text{ kN}$$

Cargas uniformizadas:

$$q_1' = 15 / 2,2 = 6,8 \text{ kN/m}$$

$$q_2' = 185 / 2,0 = 92,5 \text{ kN/m}$$

Tabela 5 - Comparação dos resultados de todos os exemplos, adaptado de Parsekian e Franco (2002).

| CASO | | | CARGAS UNIFORMIZADAS | | | | COMPARAÇÃO COM M.E.F | | |
|------------------------------|-------|-------|----------------------|-------|----------|-------|----------------------|--------|----------|
| | | | ISOLADA | GRUPO | PROPOSTO | M.E.F | ISOLADA | GRUPO | PROPOSTO |
| 2 Paredes | Ex. 1 | Par 1 | 100,0 | 50,0 | 50,0 | 62,9 | 59,0% | -20,5% | -20,5% |
| | | Par 2 | 0,0 | 50,0 | 50,0 | 37,1 | -100,0% | 34,8% | 34,8% |
| | Ex. 2 | Par 1 | 100,0 | 66,7 | 75,0 | 81,0 | 23,5% | -17,7% | -7,4% |
| | | Par 2 | 0,0 | 66,7 | 50,0 | 37,9 | -100,0% | 76,0% | 31,9% |
| | Ex. 3 | Par 1 | 100,0 | 33,3 | 50,0 | 61,6 | 62,3% | -45,9% | -18,8% |
| | | Par 2 | 0,0 | 33,3 | 25,0 | 19,2 | -100,0% | 73,4% | 30,2% |
| | Ex. 4 | Par 1 | 100,0 | 50,0 | 75,0 | 77,8 | 28,5% | -35,7% | -3,6% |
| | | Par 2 | 0,0 | 50,0 | 25,0 | 22,2 | -100,0% | 125,2% | 12,6% |
| 3 Paredes | Ex. 1 | Par 1 | 50,0 | 72,2 | 58,5 | 56,0 | -10,7% | 28,9% | 4,5% |
| | | Par 2 | 75,0 | 72,2 | 76,6 | 74,8 | 0,3% | -3,5% | 2,4% |
| | | Par 3 | 100,0 | 72,2 | 84,1 | 91,4 | 9,4% | -21,0% | -8,0% |
| Paredes com aberturas | Ex. 1 | Par 1 | 0,0 | | 33,3 | 32,2 | -100,0% | | 3,4% |
| | | Par 2 | 100,0 | | 50,0 | 51,7 | 93,4% | | -3,3% |
| | Ex. 2 | Par 1 | 0,0 | | 6,8 | 14,1 | -100,0% | | -51,8% |
| | | Par 2 | 100,0 | | 92,5 | 85,0 | 17,6% | | 8,8% |
| | Ex. 3 | Par 1 | 0,0 | | 27,8 | 25,0 | -100,0% | | 11,2% |
| | | Par 2 | 100,0 | | 75,0 | 79,1 | 26,4% | | -5,2% |
| | Ex. 4 | Par 1 | 0,0 | | 38,5 | 30,9 | -100,0% | | 24,6% |
| | | Par 2 | 100,0 | | 50,0 | 59,9 | 66,9% | | -16,5% |

Como conclusões, Parsekian e Franco (2002) afirmam que a utilização do procedimento é simples, podendo ser facilmente implementado em “softwares” de cálculo de edifícios ou mesmo em planilhas de cálculo. Com relação aos resultados do método proposto, verificou-se, na análise da interação entre paredes em um único andar, que tais resultados são mais próximos dos obtidos pelo método dos elementos finitos, em relação às paredes isoladas e grupos de paredes. Os autores também analisaram os resultados de uma parede carregada uniformemente em um trecho do último pavimento de um edifício de 10 andares, os resultados mostraram uma efetiva distribuição dos esforços entre todas as paredes quando utilizado o método proposto. Comparando os resultados com a modelagem em elementos finitos ocorreu uma maior distribuição de esforços entre as paredes, podendo-se afirmar que o método proposto é seguro.

4.4.5 Trabalho de Andolfato (2006)

Andolfato (2006) investiga a distribuição das ações verticais entre paredes de um edifício residencial de quatro pavimentos em escala natural de alvenaria estrutural com blocos de concreto. O arranjo em planta das paredes se encaixa na definição de sistema complexo, como já definido, conforme Figura 41.

O edifício foi monitorado, durante sua execução e depois dela, com ensaio de prova de carga, usando extensômetros que foram fixados nas unidades da segunda fiada do térreo e demais pavimentos, exatamente sobre os apoios da fundação como se observa na Figura 42, totalizando 90 pontos, sendo 30 por pavimento. Tais pontos se converteram em células de carga nas quais as tensões em cada ponto de análise puderam ser determinadas.

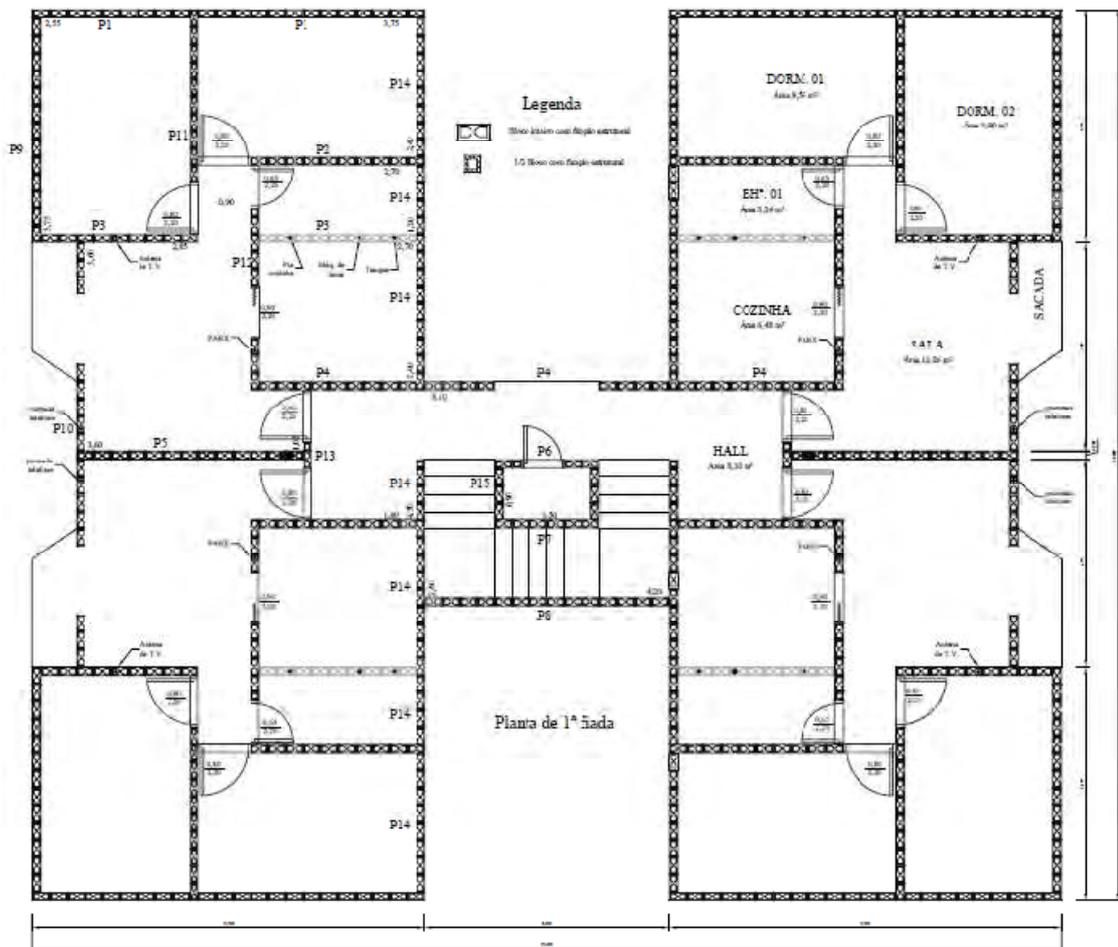


Figura 41 - Planta da edificação com 1ª fiada, (ANDOLFATO, 2006, p. 17).

O autor compara os resultados experimentais das medições de tensões com resultados dos procedimentos usuais de distribuição das ações verticais, a saber: paredes isoladas, grupos de paredes e grupos de paredes com interação, além de modelagem numérica em elementos finitos, tanto durante a construção, que no caso os esforços nas paredes se devem exclusivamente ao peso próprio dos elementos estruturais, como também devido à prova de carga. Aqui são apresentados os resultados somente desta última, já que o trabalho que está sendo desenvolvido nesta pesquisa trata deste tipo de carregamento, ainda segundo o autor, este é o carregamento mais importante para verificação da interação entre paredes sujeitas às ações verticais.

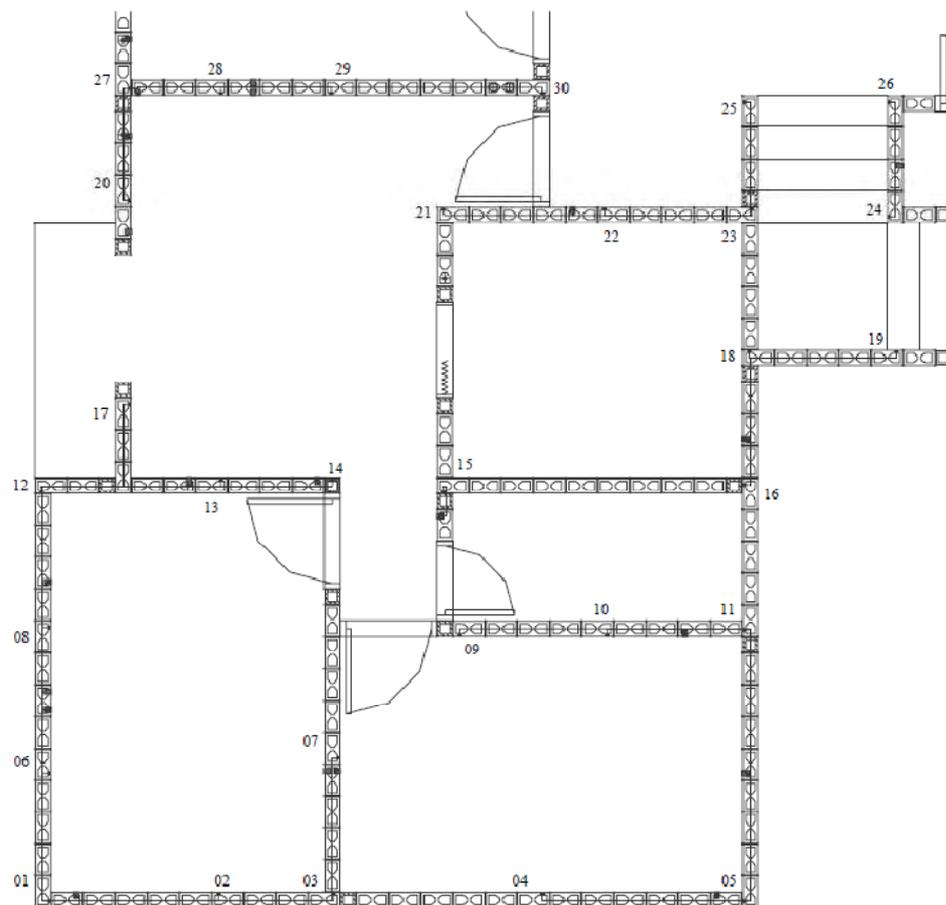


Figura 42 - Pontos instrumentados para leitura, (ANDOLFATO, 2006, p. 39).

A prova de carga foi realizada após a construção do edifício. Usaram-se duas piscinas de lona plástica, em cada ambiente carregado, com capacidade de 1000 litros cada, Figura 43. As piscinas foram instaladas sobre as lajes de dois dormitórios que pertenciam à parte instrumentada do edifício, de modo que cada cômodo tivesse sobre seu piso uma carga

aplicada de aproximadamente 20kN. Essa carga por sua vez foi distribuída por quase toda a área de piso dos cômodos, fazendo resultar carga de 2kN/m².

Iniciou-se o carregamento de cima para baixo a partir do piso do último pavimento do edifício e se fez a leitura em todos os pontos, este foi o carregamento PC1, depois foi carregado o pavimento abaixo deste nível, sendo este o PC2, por último, foi carregada a laje-piso do primeiro pavimento, de modo que o edifício ficou carregado nos dormitórios da parte instrumentada da estrutura no terceiro, no segundo e no primeiro pavimentos. A identificação do carregamento passou a ser feita pelo nome PC3.



Figura 43 - Piscinas utilizadas para prova de carga, (ANDOLFATO, 2006, p. 142).

A Figura 44 exhibe a área carregada do edifício em um dos pavimentos e a Figura 45 assinala as áreas de influência desses dois painéis de laje e as paredes que são por elas influenciadas, considerando o procedimento das paredes isoladas (PI).

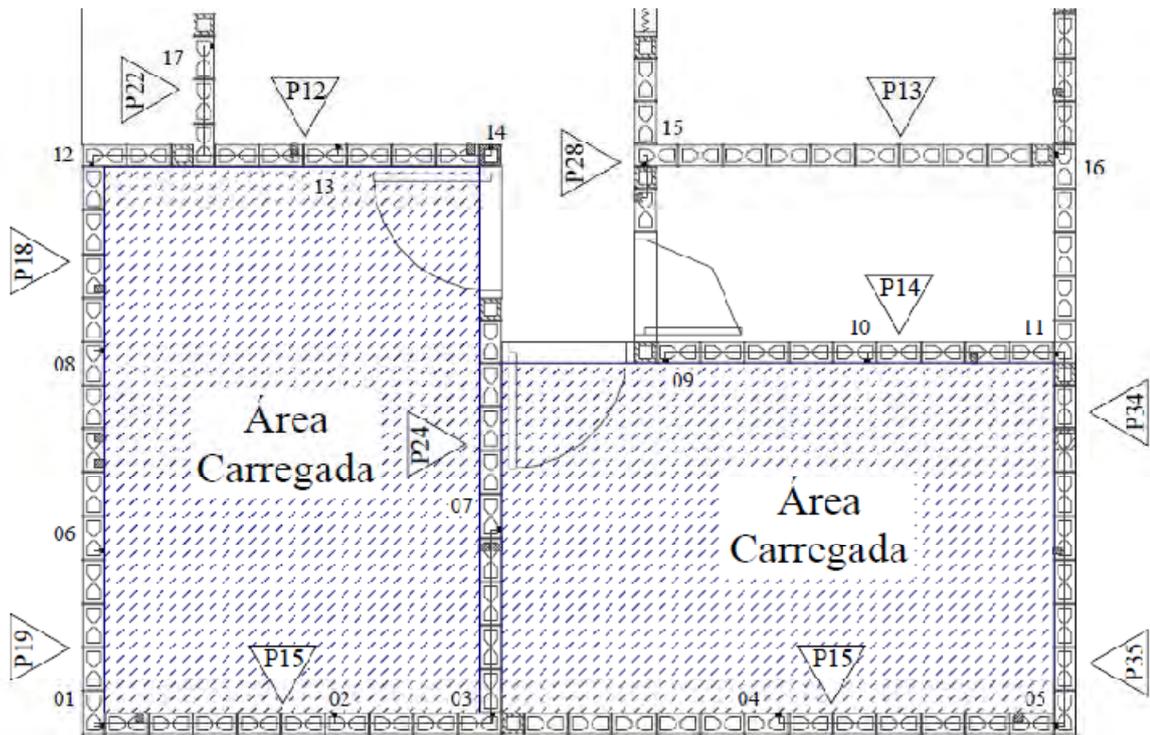


Figura 44 - Área carregada das lajes dos dormitórios, (ANDOLFATO, 2006, p. 112).

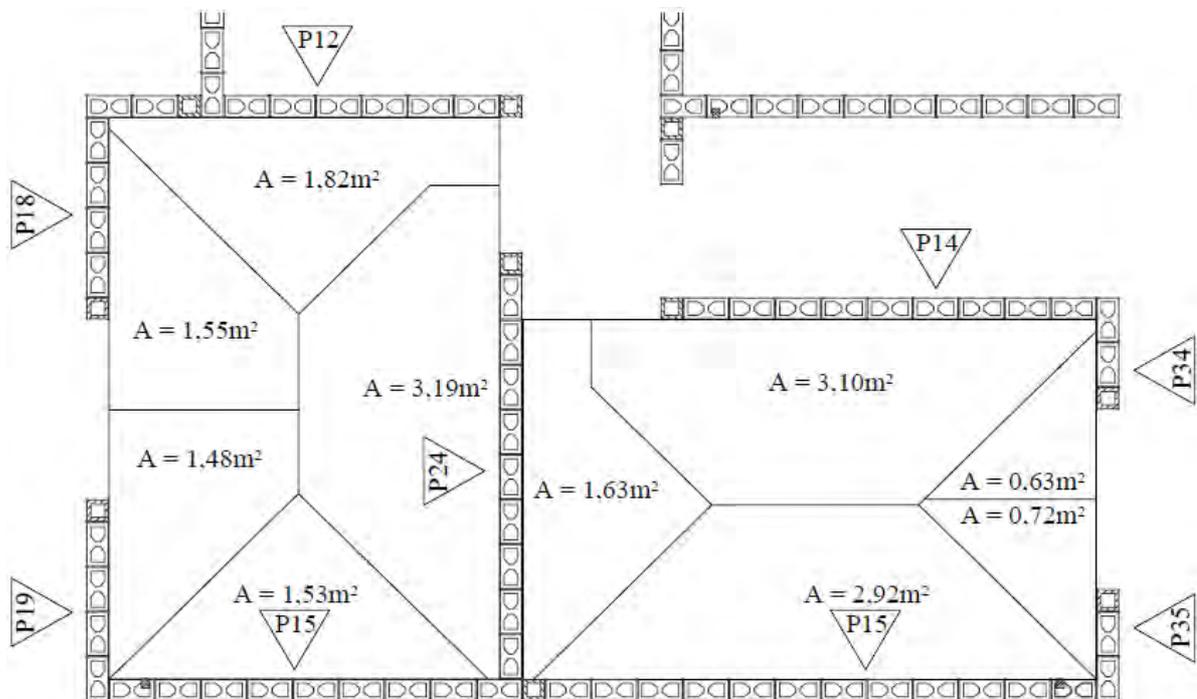


Figura 45 - Área de influência das lajes carregadas pela prova de carga para as PI, (ANDOLFATO, 2006, p. 112).

Vale salientar que as áreas de influência das lajes foram obtidas considerando as bissetrizes das interseções entre paredes ou grupos. Tais bissetrizes apresentam ângulos de 45° para todos os casos, em razão da suposição, adotada por Andolfato (2006, p. 39-40), de que as paredes acima dos apoios das lajes restringem as rotações nos nós de apoio e que desse modo introduzem característica de engastamento neles.

A Figura 46 apresenta os grupos de paredes (GIP) influenciados pela prova de carga e o valor da área de influência do carregamento nesses grupos. Além da consideração dos grupos isolados de paredes, foi utilizado o procedimento da interação entre grupos, neste caso adotada como sendo de 50% (GPCI50).

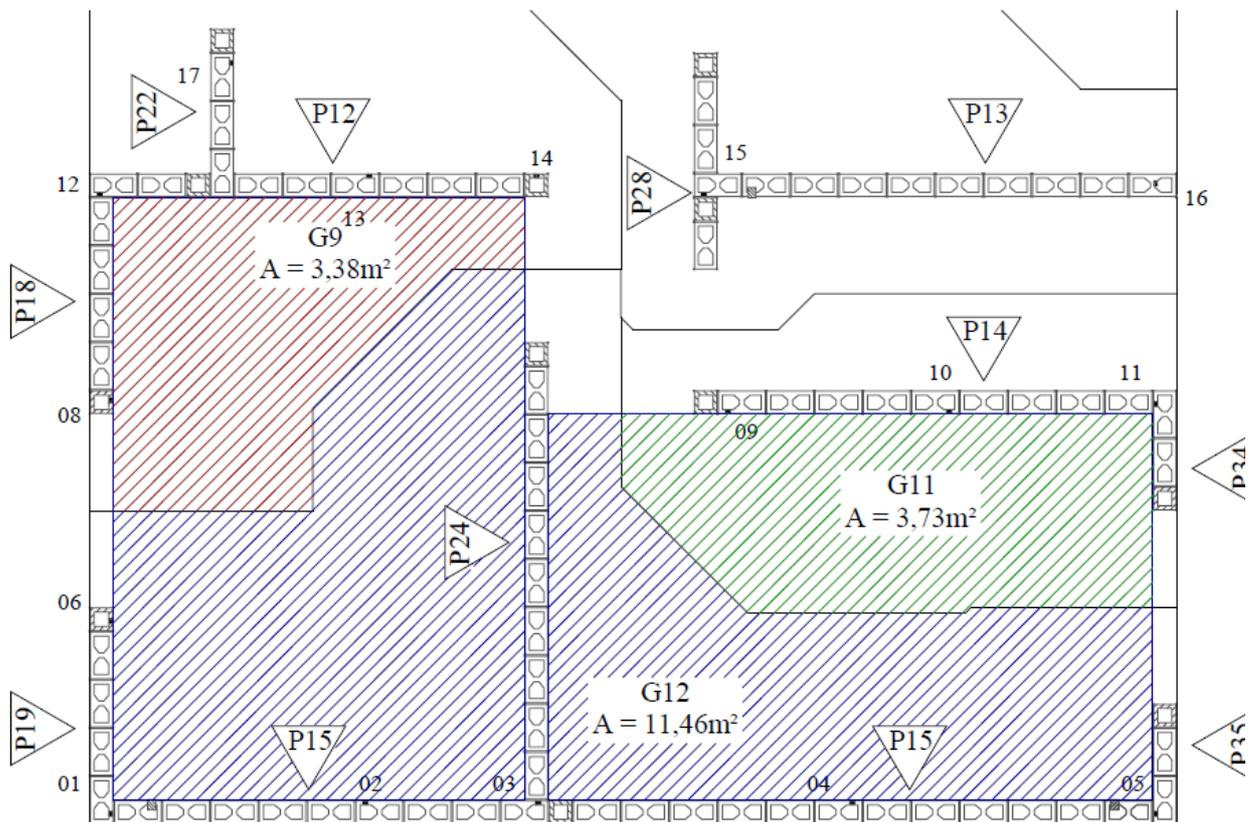


Figura 46 - Área de influência das lajes carregadas considerando (GIP), (ANDOLFATO, 2006, p. 114).

Nas tabelas seguintes são apresentados os dados para as paredes influenciadas pela prova de carga para os três procedimentos, bem como os resultados de tensão na base do edifício nos pontos instrumentados.

Tabela 6 - Dados para as paredes isoladas e grupos de paredes influenciados pela prova de carga, adaptado de Andolfato (2006, p. 113-115).

| Procedimentos | | Comprimento (m) | Influência da Laje* (m ²) | Carga na Laje (kN/m ²) | Carga Total por Pavimento (kN) | Tensão por Pavimento (MPa) |
|---------------|-----|-----------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Paredes | | | | | | |
| PI | P12 | 2,85 | 1,82 | 2,00 | 3,64 | 0,009 |
| | P14 | 3,00 | 3,10 | 2,00 | 6,20 | 0,015 |
| | P15 | 6,75 | 4,45 | 2,00 | 8,90 | 0,009 |
| | P18 | 1,35 | 1,55 | 2,00 | 3,10 | 0,016 |
| | P19 | 1,20 | 1,48 | 2,00 | 2,96 | 0,018 |
| | P24 | 2,85 | 4,82 | 2,00 | 9,64 | 0,024 |
| | P34 | 0,60 | 0,63 | 2,00 | 1,26 | 0,015 |
| | P35 | 0,60 | 0,72 | 2,00 | 1,44 | 0,017 |
| GIP | G9 | 5,10 | 3,38 | 2,00 | 6,76 | 0,009 |
| | G11 | 3,60 | 3,73 | 2,00 | 7,46 | 0,015 |
| | G12 | 11,40 | 11,46 | 2,00 | 22,92 | 0,014 |

* Computada somente a área onde existem carregamentos

Tabela 7 - Dados para os grupos de paredes com interação influenciados pela prova de carga, adaptado de Andolfato (2006, p. 116).

| Grupo | L (m) | Influência da Laje* (m ²) | Carga na Laje (kN/m ²) | Carga Total por Pavimento (kN) | Tensão por Pavimento $q_{1,2,\dots,n}$ (MPa) | Tensão Média q_m (MPa) | d_i (MPa) | Tensão Corrigida q_i (MPa) |
|-------|-------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------|-------------|------------------------------|
| G1 | 11,40 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G2 | 3,60 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G3 | 5,10 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G4 | 4,20 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G5 | 6,30 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G6 | 7,35 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G7 | 4,65 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G8 | 8,25 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G9 | 5,10 | 3,38 | | 6,76 | 0,009 | | 0,00312 | 0,006 |
| G10 | 4,20 | 0,00 | | 0,00 | 0,000 | | -0,00161 | 0,002 |
| G11 | 3,60 | 3,73 | | 7,46 | 0,015 | | 0,00579 | 0,009 |
| G12 | 11,40 | 11,46 | | 22,92 | 0,014 | | 0,00557 | 0,009 |

* Computada somente a área onde existem carregamentos

Tabela 8 - Valores teóricos de tensão atuante nos pontos instrumentados na base do edifício devido à prova de carga para os casos de (PI), (GIP) e (GPCI50), adaptado de Andolfato (2006, p. 114-116).

| Pontos | PI | | | GIP | | | GPCI50 | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC1 | PC2 | PC3 | PC1 | PC2 | PC3 |
| | (MPa) | | | (MPa) | | | (MPa) | | |
| 1 | 0,014 | 0,027 | 0,041 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 2 | 0,009 | 0,018 | 0,027 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 3 | 0,017 | 0,033 | 0,050 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 4 | 0,009 | 0,018 | 0,027 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 5 | 0,013 | 0,026 | 0,039 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 6 | 0,018 | 0,036 | 0,054 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 7 | 0,024 | 0,048 | 0,072 | 0,014 | 0,029 | 0,043 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 8 | 0,016 | 0,032 | 0,048 | 0,009 | 0,019 | 0,028 | 0,006 | 0,013 | 0,019 |
| 9 | 0,015 | 0,030 | 0,045 | 0,015 | 0,030 | 0,044 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 10 | 0,015 | 0,030 | 0,045 | 0,015 | 0,030 | 0,044 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 11 | 0,015 | 0,030 | 0,045 | 0,015 | 0,030 | 0,044 | 0,009 | 0,018 | 0,026 |
| 12 | 0,013 | 0,025 | 0,038 | 0,009 | 0,019 | 0,028 | 0,006 | 0,013 | 0,019 |
| 13 | 0,009 | 0,018 | 0,027 | 0,009 | 0,019 | 0,028 | 0,006 | 0,013 | 0,019 |
| 14 | 0,009 | 0,018 | 0,027 | 0,009 | 0,019 | 0,028 | 0,006 | 0,013 | 0,019 |
| 15 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 17 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,009 | 0,019 | 0,028 | 0,006 | 0,013 | 0,019 |
| 18 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 19 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 20 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 22 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 23 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 24 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 25 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 26 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 27 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 28 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 29 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| 30 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |

Na sequência é possível observar a Figura 47 que fornece os valores de tensão obtidos nos pontos instrumentados na base do edifício para os três procedimentos de distribuição verificados, tais valores refletem o carregamento do tipo PC3 da prova de carga. Segundo Andolfato (2006, p. 117), pode-se notar a existência de maior uniformização das tensões entre os pontos instrumentados para o Grupo de Paredes com interação, conforme esperado. Como

citado anteriormente, foi realizada a prova de carga, embora os resultados experimentais obtidos não foram aqui inseridos nem mesmo os resultados pela análise via M.E.F.

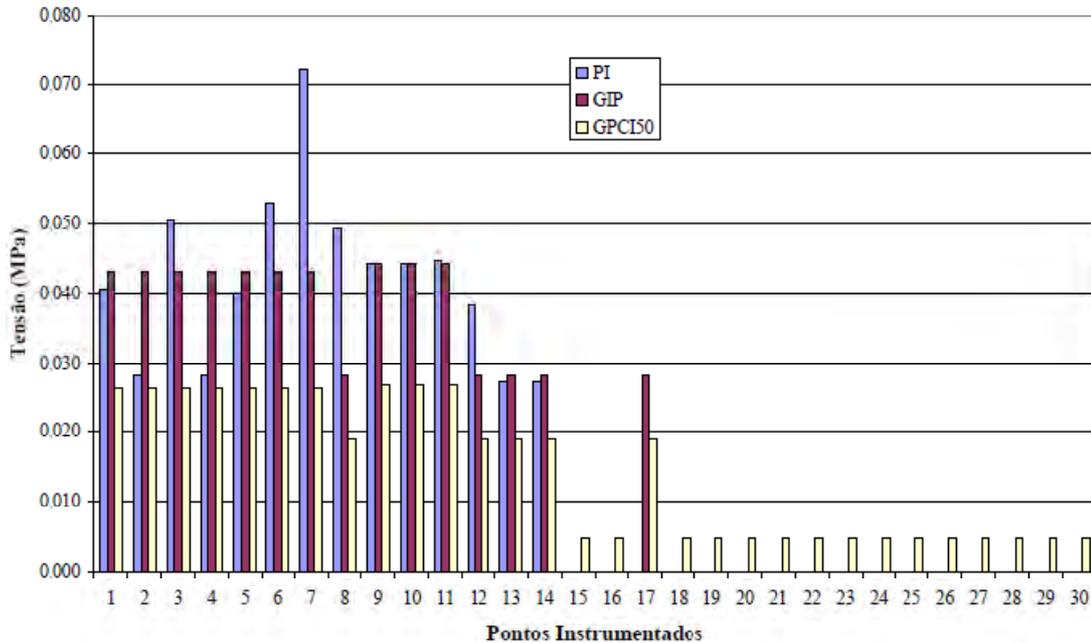


Figura 47 - Resultados de tensões nos pontos instrumentados devido à prova de carga PC3 para os casos de PI, GIP e GPCI50, (ANDOLFATO, 2006, p. 117).

Como conclusões o autor relata que os modelos numéricos de análise simplificados mostraram ter havido incremento de redistribuição de tensões atuantes, à medida que se incrementava a interação definida em projeto. Conclui que a utilização do procedimento das paredes isoladas leva a maiores diferenças entre os resultados teóricos e os experimentais.

No modelo numérico em elementos finitos, as tensões obtidas na base do edifício a partir dos elementos de membrana se assemelharam de certa forma com o grupo de paredes com 50% de interação. Segundo o autor os modelos em que não se prevê o efeito arco apresentam valores menores que os valores do modelo em elementos finitos que fazem aquela previsão. Para o modelo experimental na prova de carga no primeiro nível, os pontos mais próximos da ação das cargas se comportaram de maneira similar ao esperado numericamente através do modelo em elementos finitos. A respeito dos pontos mais afastados, o modelo experimental forneceu valores de tensão maiores do que os verificados pelo modelo numérico.

5 O MODELO EXPERIMENTAL ESTUDADO

Cabe aqui salientar que este edifício em alvenaria estrutural cerâmica não armada em escala reduzida (1:5), bem como toda a caracterização dos materiais utilizados, foi construído pelo doutorando Wilson José da Silva da EESC/USP em parceria com a FEIS/UNESP. O edifício foi construído a partir de 2007 com parte de recursos financeiros do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural - NEPAE, ficando locado ao lado desse laboratório de modo a facilitar a obtenção dos dados experimentais em todos os demais estudos que foram programados utilizando a mesma estrutura. O mesmo foi assentado sobre um sistema de vigas metálicas apoiadas sobre estacas que por sua vez se apoiavam sobre um pequeno radier como fundação. Tais estacas são, na realidade, células de carga utilizadas para a leitura do quinhão de carga, ou reações de apoio, que se transferem para cada ponto instrumentado de acordo com o carregamento aplicado. Aqui, são apresentados somente alguns resultados da caracterização dos materiais extraídos do referido trabalho. Maiores informações sobre sua construção e pormenores acerca dos materiais utilizados, bem como toda a caracterização dos mesmos podem ser obtidas diretamente do trabalho do autor citado.

O presente trabalho foi realizado através de análise teórico-experimental da distribuição das ações verticais no edifício já relatado. Foram realizados ensaios experimentais de carregamentos na estrutura e comparados com os valores teóricos obtidos por diferentes procedimentos.

5.1 Características dos Materiais

O edifício foi construído com somente um tipo de bloco cerâmico em escala reduzida (1:5) com dimensões de (2,8 x 3,8 x 5,8)cm - (largura x altura x comprimento), sendo que suas dimensões em escala natural seriam (14 x 19 x 29)cm - (largura x altura x comprimento). Os blocos na escala reduzida foram produzidos e fornecidos pela Cerâmica Gresca (Jundiaí-SP).

Na construção do edifício foi utilizada argamassa de assentamento mista composta por Cimento Portland CP II-Z-32, cal hidratada CH III e areia silicosa natural. O traço em massa utilizado foi de 1:0,30:5,89; que corresponde ao traço em volume de 1:0,5:4,5 (cimento : cal :

areia) com relação água/cimento (a/c) correspondente a 1,5. Usou-se graute para o preenchimento das vergas, contra-vergas e execução da laje do edifício modelo, composto de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo (pedrisco) e água. Foram usados dois traços de graute usando cimento Portland CP II-Z-32, um para a execução das vergas e contra-vergas, sendo o traço em massa correspondente a 1:2,48:2,52 (cimento : areia : pedrisco) com relação a/c = 1,02; o outro traço foi confeccionado para realização da concretagem da laje, com proporção em massa de 1:1,2:1,8 e relação a/c = 0,55.

5.2 O Edifício Ensaiado

A planta de um pavimento tipo da edificação é apresentada na Figura 48, onde se observa as aberturas de portas e janelas bem como as dimensões do modelo. O edifício é constituído por quatro pavimentos com lajes maciças armadas nas duas direções, sendo que as lajes se estendem pelos três ambientes e hall, não existindo na porção que se apresenta com um “X” no desenho, para o caso dos três primeiros pavimentos, na cobertura a laje se estende sobre todas as paredes.

As lajes do primeiro pavimento são designadas pelo número “1”, analogamente para as lajes do segundo e terceiro pavimentos, já o último pavimento possui a laje da cobertura, designada aqui “Cobert.”. Na Figura 49 e Figura 50 são apresentadas todas as elevações, como também, suas dimensões verticais. Nota-se que as vistas 1, 3 e 4 do edifício possuem paredes com aberturas idênticas diferenciando da vista 2 que possui paredes com duas aberturas de janelas.

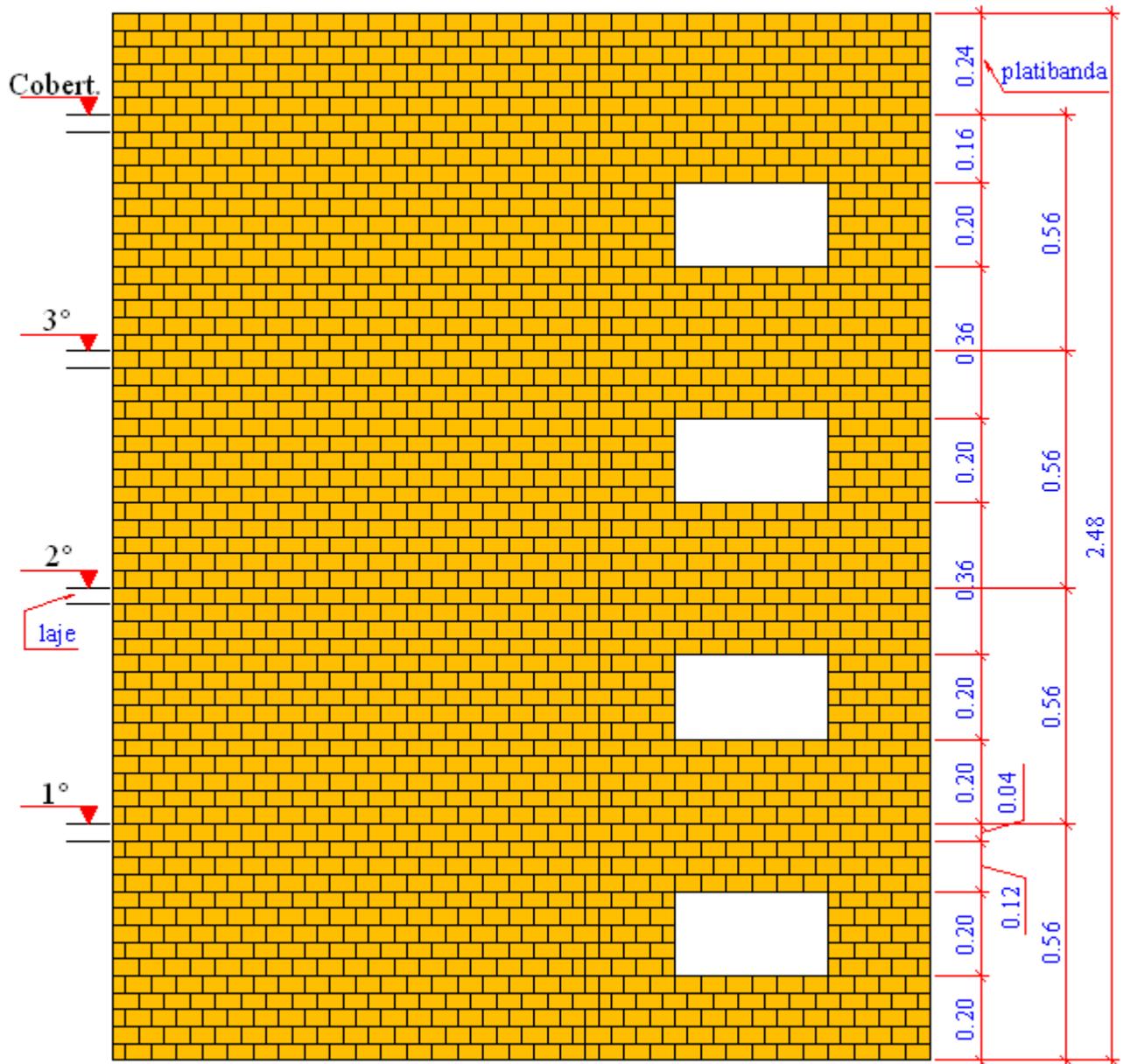


Figura 49 - Elevações 1, 3 e 4 do edifício, com dimensões em metros.

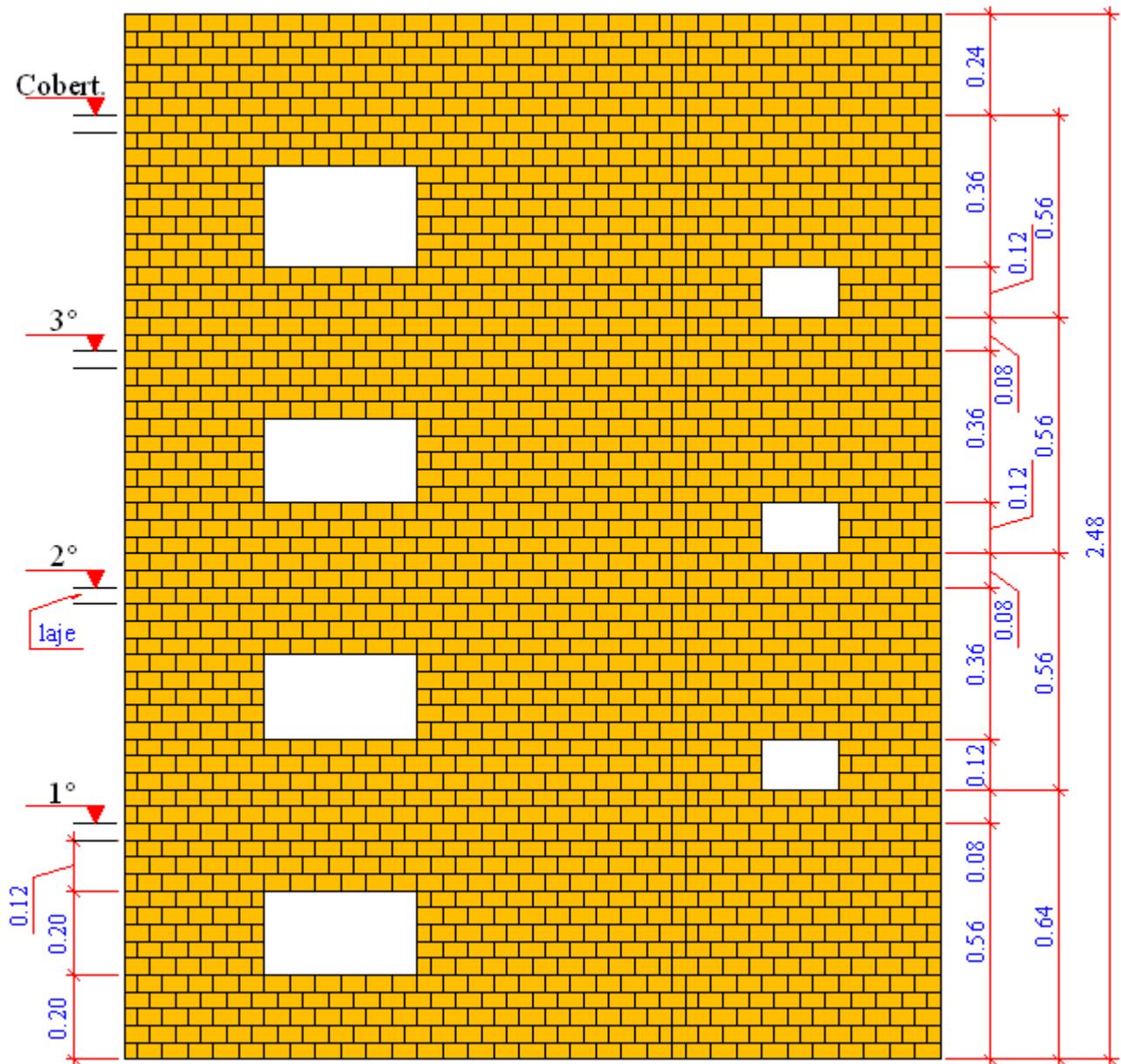


Figura 50 - Elevação 2 do edifício, com dimensões em metros.

Como já relatado, abaixo das paredes do edifício existem vigas metálicas - vigas baldrame - que recebem as cargas provenientes das paredes, unidas essas vigas formam um sistema do tipo grelha. As vigas estão apoiadas sobre 12 células de carga totalizando 12 pontos de leitura, sendo que as mesmas foram numeradas de 1 a 12. Na Figura 51 é possível observar os pontos onde situam tais células.

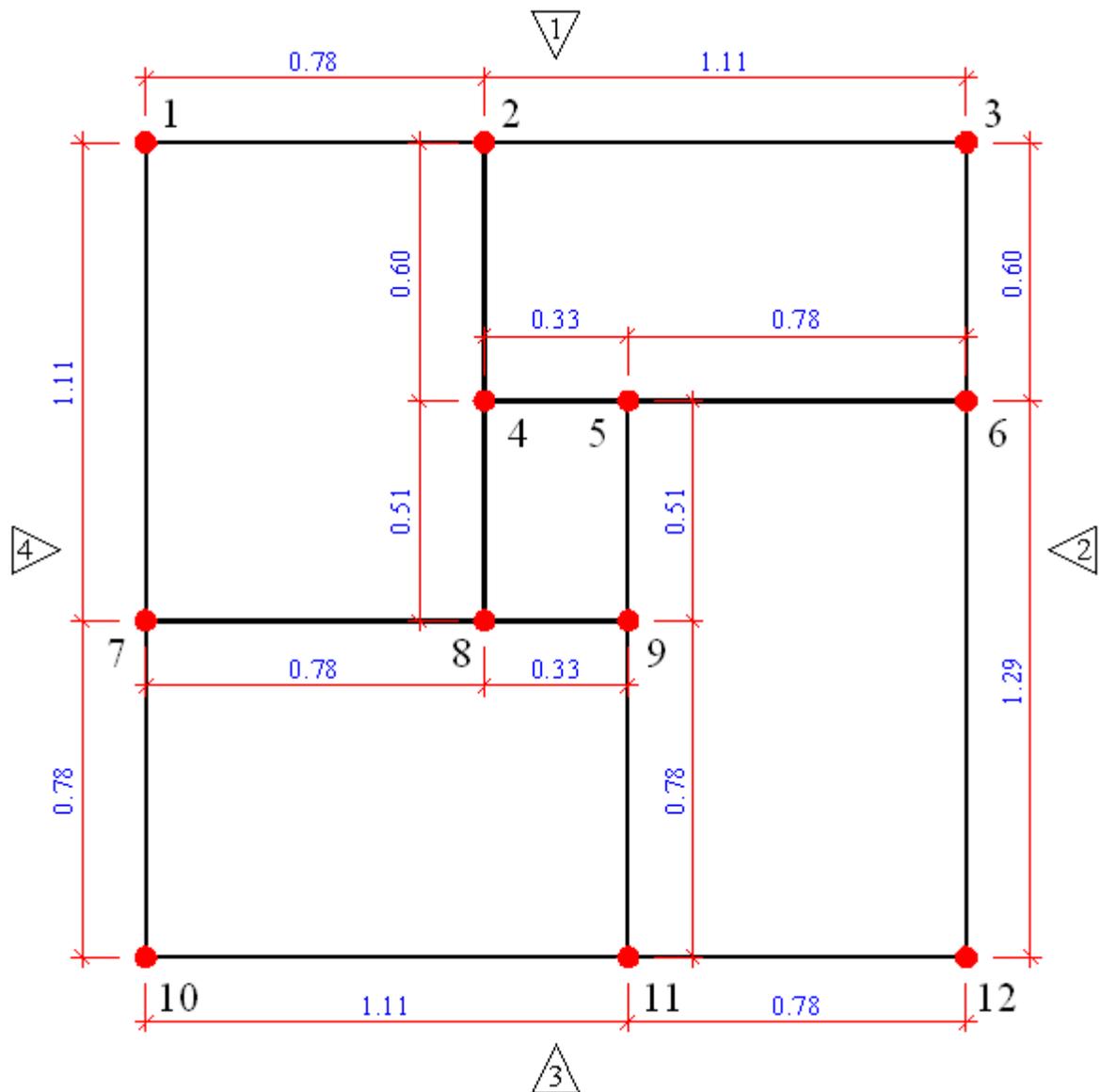


Figura 51 - Grelha formada pela intersecção das vigas baldrames com os 12 pontos de leitura (células de carga), com dimensões em metros.

Deve-se notar que as células de carga foram colocadas exatamente sob os locais de intersecção das paredes, tanto em “L” como “ T ”, e ainda abaixo de alguns pontos das paredes internas, como os pontos 4, 5, 8 e 9. Nas Figuras 52-55 são apresentadas imagens do edifício em alvenaria estrutural cerâmica ensaiado, com alguns detalhes.

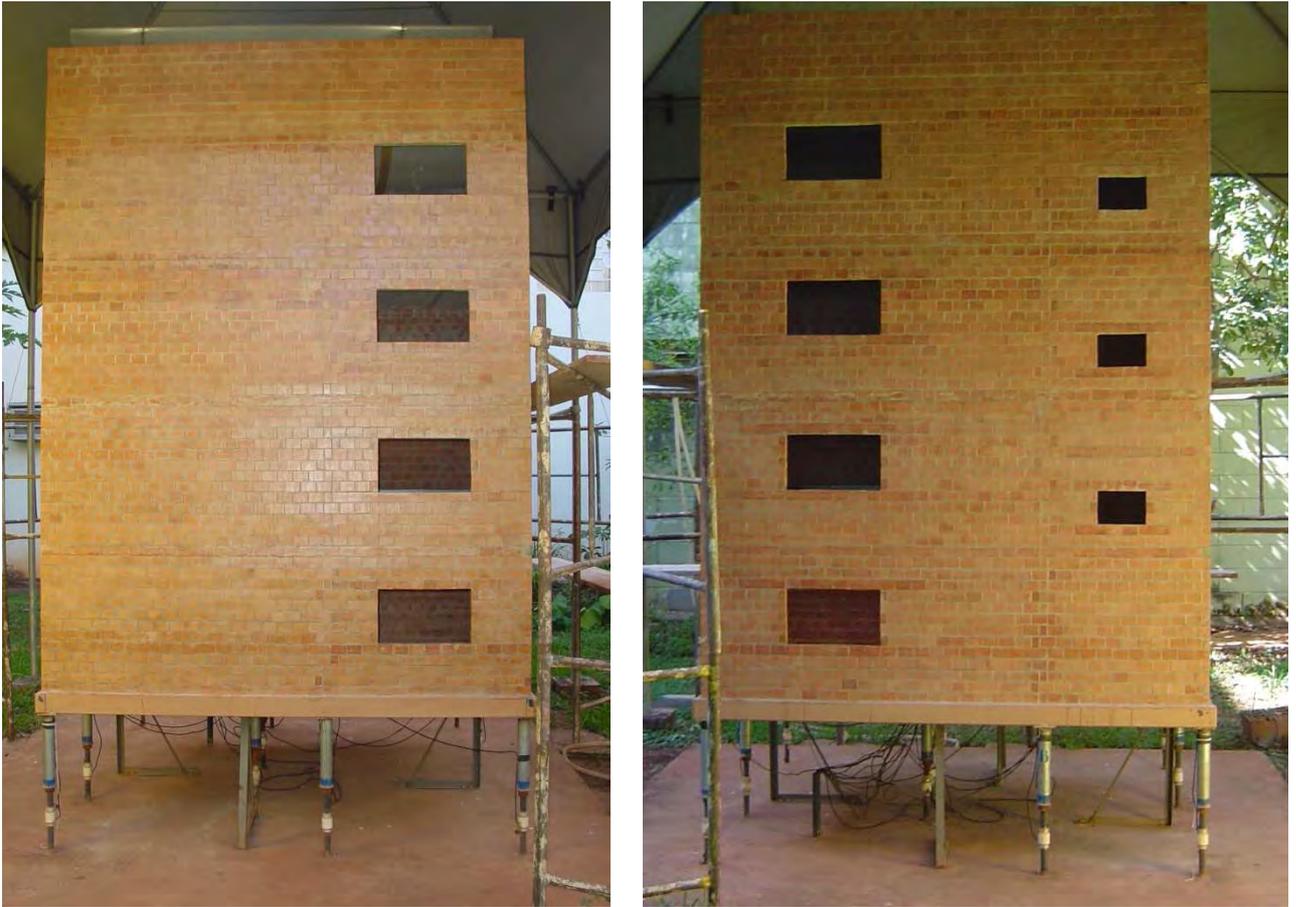


Figura 52 - Elevação 1 das paredes externas do edifício que é idêntica as elevações 3 e 4, e elevação 2, respectivamente.



Figura 53 - Detalhes do assentamento das paredes do térreo sobre a viga metálica.



Figura 54 - Edifício em alvenaria estrutural cerâmica em escala reduzida.



Figura 55 - Detalhe das células de carga sob o edifício.

5.3 O Ensaio - Carregando o Edifício

O modelo foi construído ao lado do laboratório do NEPAE, permitindo que as leituras das células de carga fossem efetuadas dentro de uma sala previamente preparada. Os cabos ligados as células de carga caminhavam no interior de uma tubulação, localizada abaixo da edificação, até o laboratório para medição das cargas nos 12 pontos instrumentados. As células de carga foram elaboradas utilizando extensômetros e posteriormente calibradas.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados e uma caixa seletora de múltiplos pontos no qual os cabos das células de carga estavam conectados, permitindo assim, a leitura individual de cada célula de carga, bastando para isso selecionar o ponto (canal) desejado e realizar a leitura, para o carregamento aplicado. Cada célula de carga possui uma constante, sendo que o sistema de aquisição capta as medidas de deformação ocorrida na célula de carga graças ao carregamento transferido ao ponto, este valor de deformação é mostrado no sistema de aquisição e com ele se chega ao valor da reação de apoio (carga) usando a constante de cada célula. Os aparelhos usados para medição são apresentados na Figura 56.



Figura 56 - Sistema de aquisição de dados.

Com o objetivo do trabalho em mente, o modelo físico foi ensaiado através da aplicação de ações verticais uniformemente distribuídas sobre as lajes dos quatro pavimentos. Para a aplicação de uma ação distribuída sobre a laje de um determinado ambiente foi utilizada água como carga. Durante a construção do edifício foi necessário a fabricação de bandejas

metálicas para conter o líquido inserido, conforme se terminava de erguer as paredes e concretar a laje do pavimento, as bandejas foram inseridas em suas posições nos respectivos ambientes e posteriormente se continuava o trabalho de levantamento das paredes superiores.

Com o edifício construído foram realizados ensaios para diferentes combinações de carga, o carregamento foi aplicado, por exemplo, sobre a laje do ambiente 2 do primeiro pavimento sendo designado “L2.1” e depois se efetuava a leitura de deformação nos 12 pontos instrumentados obtendo consequentemente as reações de apoio em cada um deles. Um carregamento aplicado na “L3.2” significa que a ação foi inserida na laje do ambiente 3 do segundo pavimento, analogamente para os demais. Já na cobertura a laje quando carregada foi designada “Lcob.”. Assim, em virtude da quantidade de ambientes e pavimentos existem algumas combinações de carga que podem ser realizadas, posteriormente são relatadas quais combinações foram efetuadas de acordo com o que se pretendia analisar.

Na sequência são apresentadas algumas figuras que mostram os carregamentos sendo aplicados. Salienta-se que após a aplicação da carga desejada e leitura dos pontos, era necessário retirar a água inserida. Para tanto na fabricação das bandejas foram deixados orifícios para retirada do líquido após os ensaios. Durante a realização da pesquisa notou-se que o esvaziamento ocorria muito lentamente, então se optou pela retirada da água com auxílio de uma pequena bomba de aquário, conforme Figura 59. O carregamento aplicado nas lajes dos ambientes foi o mesmo, diferindo do atuando na cobertura. Para a aplicação da ação nas lajes, inicialmente foi efetuado a pesagem da água e depois de inserida nas bandejas foram realizadas marcações para ensaios posteriores, não necessitando nova pesagem.



Figura 57 - Carga (água) uniformemente distribuída sobre a laje do ambiente 1.



Figura 58 - Carga uniformemente distribuída sobre a laje da cobertura.



Figura 59 - Detalhe das marcações feitas para ensaios posteriores, e retirada de água das bandejas.

Foram realizadas diferentes sequências de carregamentos, sendo que as lajes, como já relatado, foram designadas de acordo com o ambiente e também o pavimento. Todos os carregamentos aplicados no edifício foram realizados partindo-se sempre do primeiro pavimento e “subindo” carregando até a cobertura. Assim, foram carregadas inicialmente todas as lajes pertencentes ao ambiente 1, ou seja, a L1.1, L1.2, L1.3 e posteriormente a laje da cobertura Lcob., sendo designado “Caso 1” de carregamento. Para a obtenção dos valores de reações em todos os 12 pontos procedeu-se da seguinte maneira:

- Com o edifício sem nenhum carregamento foi realizado a leitura de todas as células de carga, sendo designado “Zero”;
- O passo seguinte foi a aplicação do carregamento na laje L1.1 através do enchimento da bandeja com água até o nível de carga adotado nas marcações como se vê na Figura 59;
- Com a carga aplicada na laje L1.1 foi realizada nova leitura em todas as 12 células de carga, sendo designado “Leitura”;
- Fazendo a diferença entre a “Leitura” e o “Zero” para cada um dos 12 pontos, foram obtidos os valores de deformação medidos para cada célula de carga em virtude da ação atuante na laje L1.1, neste caso;
- De posse do valor de deformação de cada uma das células de carga, fez-se a multiplicação deste valor pela constante de cada célula, obtendo agora a carga que se transferiu para cada um dos 12 pontos;
- Após aplicação de carga na laje L1.1 foi aplicado uma ação de mesmo valor na laje L1.2 imediatamente um pavimento acima, lembrando que a carga na L1.1 ainda estava presente. Então, após a aplicação da carga e leitura na L1.1, foi realizada uma nova leitura que representa o “Zero” para o carregamento atuante na L1.2. Carregou-se a laje L1.2 e foi feita a “Leitura”, sendo possível obter as reações devido ao carregamento aplicado somente na L1.2;
- Assim, foi possível obter as reações para os carregamentos aplicados individualmente.

Analogamente foram carregadas todas as lajes dos ambientes dois e três individualmente, partindo-se do 1º pavimento até a cobertura, sendo designados “Caso 2” e “Caso 3” respectivamente. Após a aplicação do carregamento subindo exclusivamente pelos ambientes já citados, foi aplicado carregamento em todas as lajes de um mesmo pavimento, ou seja,

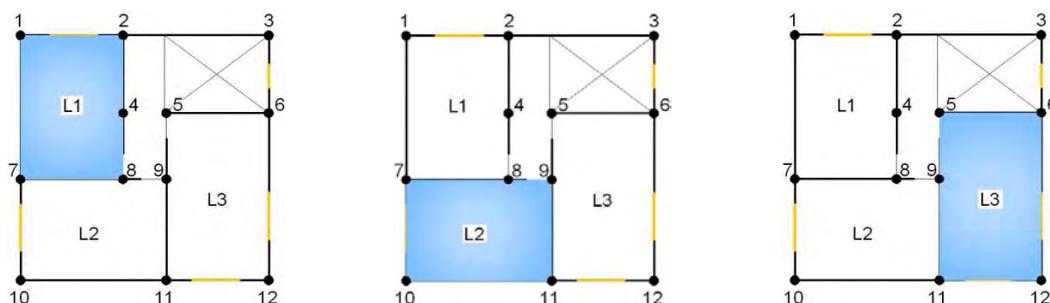
carregou-se a L1.1 + L2.1 + L3.1 e fez-se a leitura obtendo as reações de apoio para todo o 1º pavimento carregado, posteriormente foi carregado a L1.2 + L2.2 + L3.2, ou seja, todo o 2º pavimento, e obtido as reações para este carregamento aplicado, lembrando que o 1º pavimento já estava carregado. O edifício foi carregado pavimento por pavimento até a cobertura e da mesma forma foi possível obter as reações para os carregamentos aplicados individualmente, sendo este designado “Caso 4”.

Foi aplicado o mesmo valor de carga uniformemente distribuída nos ambientes 1, 2 e 3. Os ambientes 1 e 2 possuem a mesma área em planta de forma que o carregamento resultante aplicado foi de 1050N. Já o ambiente 3 possui uma área em planta maior e para que o carregamento distribuído fosse o mesmo foi aplicado uma carga de 1225N. Para a cobertura que possui maior área a carga imposta foi de 3000N. Na Tabela 9 consta um resumo das áreas em planta dos ambientes carregados bem como o valor da ação inserida nas lajes.

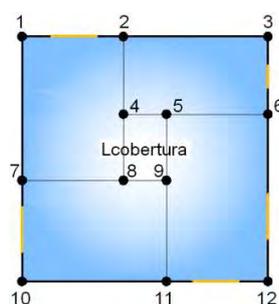
Tabela 9 - Resumo das ações aplicadas nas lajes dos ambientes.

| AMBIENTE | ÁREA (m²) | AÇÃO TOTAL (N) | AÇÃO DISTRIBUÍDA (N/m²) |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------|---|
| L1 | 0,810 | 1050 | 1296,3 |
| L2 | 0,810 | 1050 | 1296,3 |
| L3 | 0,945 | 1225 | 1296,3 |
| Lcobertura | 3,460 | 3000 | 867,2 |

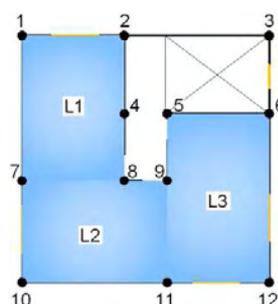
Com intuito de facilitar o entendimento para cada um dos casos de carregamentos aplicados foram criadas figuras apresentadas na sequência que mostram em quais lugares foram inseridas as ações sobre as lajes. Estas figuras foram feitas para acompanhar os gráficos que apresentarão os resultados para cada carregamento aplicado.



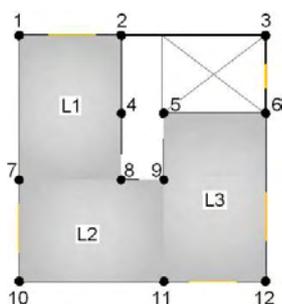
Observa-se que o carregamento foi aplicado exclusivamente na laje do ambiente 1 ou ambiente 2 ou ambiente 3.



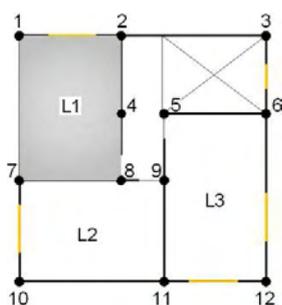
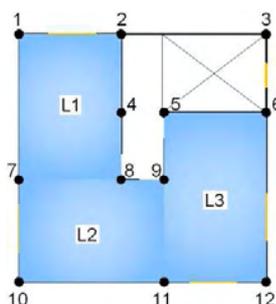
Aqui o carregamento foi aplicado na laje da Cobertura



Aqui o carregamento foi aplicado nas lajes de todo um pavimento diferente da Cobertura



Neste caso a leitura do carregamento esta sendo feita para a ação aplicada em todas as lajes do 2º pavimento, sendo que o primeiro pavimento já estava carregado.



Aqui, a leitura está sendo feita para a ação que está aplicada na laje L1.2, ou seja, a laje L1 do 2º pavimento, lembrando que a L1.1 já estava carregada.

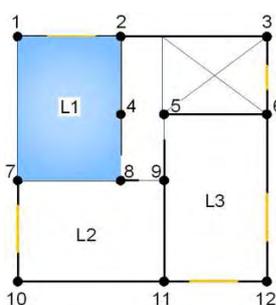


Figura 60 - Esquema em planta de aplicação do carregamento nas lajes.

6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na sequência são apresentados os resultados obtidos através do ensaio experimental realizado. As ações aplicadas foram as descritas no capítulo anterior, iniciando-se no Caso 1 até o Caso 4 de carregamento. Em primeiro momento foram realizados ensaios piloto, a fim de verificar se os doze pontos de apoio ou células de carga estavam funcionando corretamente. Estes ensaios foram realizados no decorrer do dia, no início da manhã até o entardecer. Foram ensaiados, um mesmo caso de carregamento, tanto no período matutino quanto vespertino.

Com os resultados de carga em mãos, para os doze pontos instrumentados, verificou-se que para um mesmo carregamento aplicado, as respostas obtidas pelas células de carga eram diferentes, quando se ensaiava durante a manhã e à tarde. Assim, constatou-se que a temperatura ambiente influenciava na leitura dos pontos instrumentados, uma vez que no período da manhã a variação de leitura de carga em determinado ponto era menor do que a apresentada durante à tarde, para um mesmo intervalo de tempo. Principalmente quando a luz solar incidia na célula de carga, percebeu-se que a leitura da mesma variava consideravelmente em um curto espaço de tempo.

Outro inconveniente observado durante os ensaios foi que devida à grande sensibilidade das células de carga dos doze pontos de apoio, as mesmas registravam deslocamentos, e conseqüentemente esforços, quando alguém permanecia ou caminhava sobre o radier do edifício.

Sabendo disto, optou-se por realizar novos ensaios, sendo feitos no período matutino entre 6:30h e 10:30h, pois a partir deste horário a temperatura começava a se elevar e a luz solar já incidia sobre algumas células de carga. Também se cuidou para que durante a realização dos ensaios ninguém ou nenhum objeto permanecesse ou se movesse sobre o radier. Os resultados destes ensaios são apresentados na sequência.

6.1 Caso 1

O Caso 1, Caso 2 e Caso 3 são análogos, pois foram realizados com o intuito de se verificar como as reações de apoio se comportavam quando o carregamento aplicado se afastava da base do edifício, ou seja, como se distribuiria a ação conforme o carregamento fosse aplicado em pavimentos superiores, mais distantes do térreo, na tentativa de visualizar uma possível tendência de uniformização das ações verticais quando as mesmas fossem aplicadas mais distantes das paredes do térreo.

Neste caso a ação uniformemente distribuída foi aplicada sobre todas as lajes do ambiente 1, do primeiro pavimento até a cobertura, sendo que na Figura 61 são apresentados os resultados individuais para cada carregamento.

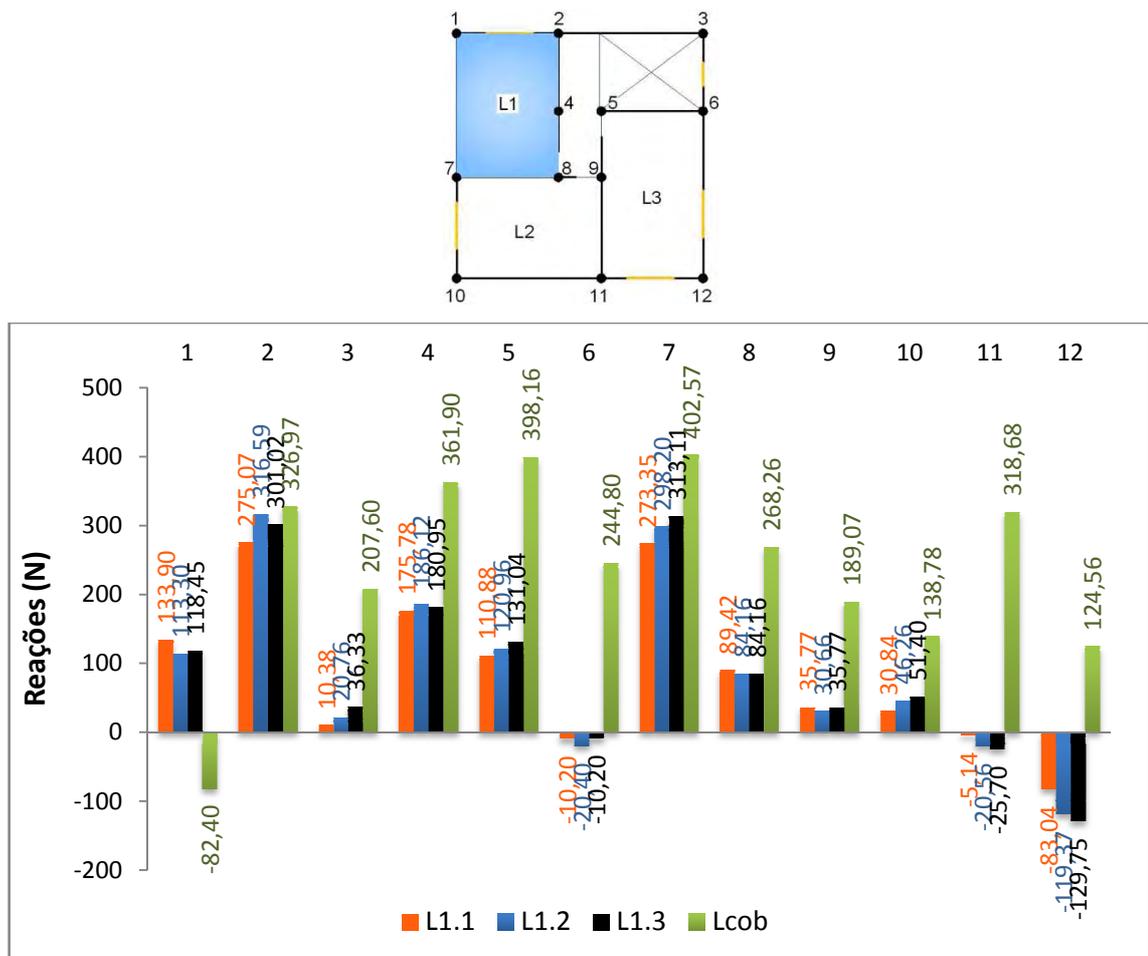


Figura 61 - Reações de apoio para ações atuando na laje L1 - Caso 1.

No esquema em planta são apresentados os locais de aplicação do carregamento, como também a numeração dos doze pontos de leitura complementa o gráfico com os valores das reações de apoio. Em todas as figuras apresentadas neste capítulo, referentes às reações de apoio, o sinal positivo do valor de reação indica que a mesma possui sentido vertical para cima, por isso as colunas estão apresentadas na parte superior, caso contrário, as colunas de valor das reações aponta verticalmente para baixo, na parte inferior, com sinal negativo.

Os pontos ao redor da área carregada da laje L1 são: 1, 2, 4, 7 e 8, sendo que nestes pontos concentraram 91,37% do total de carga aplicada, para o caso da ação atuando na L1.1, 94,48% para a ação atuando na L1.2 e 91,82% para a ação na L1.3, ou seja, mais de 91% do carregamento aplicado na laje L1 concentrou-se nos apoios pertencentes ao contorno da laje, independente da altura de aplicação da ação em relação às paredes do térreo, sendo em média de 92,56%.

Com relação à variação das reações em um mesmo ponto para as cargas aplicadas em diferentes pavimentos da laje L1, constatou-se que:

O ponto 1 mostrou resultados que evidencia o fluxo de tensões, deformações das células de cargas e vigas baldrame, pois quando se carregou a cobertura, em relação aos carregamentos anteriores, ocorreu inversão da reação de apoio, indicando tração neste ponto. Esta situação pode ser constatada observando os resultados neste apoio quando se carregou da L1.1 a L1.3, todos os valores indicaram compressão no ponto e tração nos apoios extremos 6, 11 e 12. Ao carregar a cobertura, graças a uma maior área de atuação e magnitude do carregamento o apoio 1 sofreu alívio de carga, tracionando, e os apoios 6, 11 e 12 foram comprimidos.

No ponto 2, vê-se que a reação de apoio teve um aumento quando carregadas as lajes L1.2 e L1.3, em relação a L1.1, fato também observado nos pontos 4 e 7, pertencentes exatamente ao contorno da laje L1.

O ponto 3, fora da região de aplicação do carregamento, apresentou comportamento interessante, sendo possível verificar aumento da reação de apoio quando se aumentava a altura de aplicação do carregamento. Os resultados mostraram um aumento de 100% na reação de apoio quando se carregou a L1.2, em relação à L1.1, e um aumento de 75% quando

a L1.3 foi carregada, em relação à L1.2. Tais resultados mostram que conforme se aumentou a distância do carregamento aplicado, em relação às paredes do térreo, ocorreu aumento significativo da reação de apoio, evidenciando que de alguma forma a carga aplicada na laje conseguiu se espalhar pelas paredes, já que entre os pontos 2 e 3 existe uma parede sem aberturas.

Cabe ressaltar que os valores de reações apresentados representam a magnitude da carga no ponto analisado, não indicando, necessariamente, que a carga aplicada na laje conseguiu se espalhar nas paredes e chegar até o ponto, mas que graças ao sistema de grelha formado pelas vigas baldrame, as ações consideradas como distribuídas nas paredes e atuando sobre as vigas produziram as reações de apoio mostradas nas figuras. Assim, para o ponto 3, pode-se dizer que a ação atuante, por exemplo na laje L1.3, certamente se distribuiu pelas paredes e chegou até as vigas baldrame de forma que a mesma não se limitou em ficar compreendida entre os pontos 1 e 2, mas com certeza avançou na direção do ponto 3, de forma que a reação de apoio neste ponto aumentou em relação ao carregamento aplicado na L1.1 e L1.2.

Já o ponto 5, também fora da área de aplicação do carregamento, apresentou valores elevados de reações, em relação ao ponto 3, pois o mesmo está mais próximo da área carregada, estando o apoio 3 mais distante do 2. Em se tratando da variação observada para as diferentes posições de carregamentos, os resultados mostraram um aumento de 9,09% na reação de apoio quando se carregou a L1.2, em relação à L1.1, e um aumento de 8,33% quando a L1.3 foi carregada, em relação à L1.2. Também foi verificado que um espalhamento das ações ocorreu, quando o carregamento aplicado se distanciou das paredes do térreo.

Deve-se observar que neste caso, entre os pontos de apoio 4 e 5, não existe alvenaria imediatamente abaixo da laje conectando as paredes, ou seja, a transferência de esforços entre a parede que se apóia entre os pontos 2 - 4 e a parede que se apóia entre os pontos 5 - 6 só pode ocorrer pela laje. Assim, constatou-se que a transferência de carga ocorreu com maior eficiência quando se tinha alvenaria, como observado para o ponto 3, mesmo mais distante do que o ponto 5, já que este está muito mais próximo da área carregada, porém somente a laje poderia contribuir para a transferência de carregamento.

Os pontos 6, 11 e 12 distantes da área carregada, apresentaram reações negativas de tração para carregamentos abaixo da cobertura. Quando se carregou a cobertura os mesmos foram comprimidos, em consequência do fluxo de tensões, deformações das células de cargas e vigas baldrames.

O ponto de reação de apoio número 8, no entorno da área carregada, apresentou variação pequena no valor de reação quando se aumentou a distância de aplicação do carregamento, variação esta de -6,25% quando se carregou a L1.2, em relação à L1.1, ou seja, diminuindo o valor de reação, e mantendo o mesmo valor obtido com a carga aplicada em L1.2 quando se carregou a L1.3. Esta pequena variação pode ser atribuída a abertura entre os pontos 4 e 8.

Já o ponto de reação de apoio número 9, apresentou variação de reação quando se aumentou a distância de aplicação do carregamento, variação esta de -16,67% quando se carregou a L1.2, em relação à L1.1, ou seja, diminuindo o valor de reação, e retornando ao mesmo valor obtido com a carga aplicada em L1.1 quando se carregou a L1.3.

O ponto 10, fora da região de aplicação do carregamento, teve o mesmo comportamento do ponto 3, porém agora existe uma abertura de janela na parede entre os apoios 7 e 10. Os resultados mostraram um aumento de 50% na reação de apoio quando se carregou a L1.2, em relação à L1.1, e um aumento de 11,11% quando a L1.3 foi carregada, em relação à L1.2. Isto mostra que mesmo com a abertura o carregamento conseguiu se distribuir nas paredes de maneira que ao chegar no térreo produziu valores de reações crescentes quando se aumentou a distância da base das paredes do edifício, contudo a variação da reação foi bem menor que a observada para o ponto 3, mesmo estando o ponto 10 mais próximo da área carregada. Diante disso, constata-se que a abertura influenciou na distribuição do carregamento, prejudicando-o, sendo mais eficiente em paredes sem as mesmas.

Quando o carregamento foi aplicado na laje da cobertura, as reações se apresentaram de maneira mais uniforme que a obtida pelos carregamentos anteriores, pois agora a carga se distribuiu sobre toda a laje de forma a carregar todos os pontos de leitura, sendo que de maneira geral os pontos internos apresentaram valores de reações mais elevados do que os pontos das extremidades - 3, 10 e 12.

6.2 Caso 2

Para este caso a ação uniformemente distribuída foi aplicada sobre todas as lajes do ambiente 2, do primeiro pavimento até a cobertura, sendo que na Figura 62 são apresentados os resultados individuais para cada carregamento.

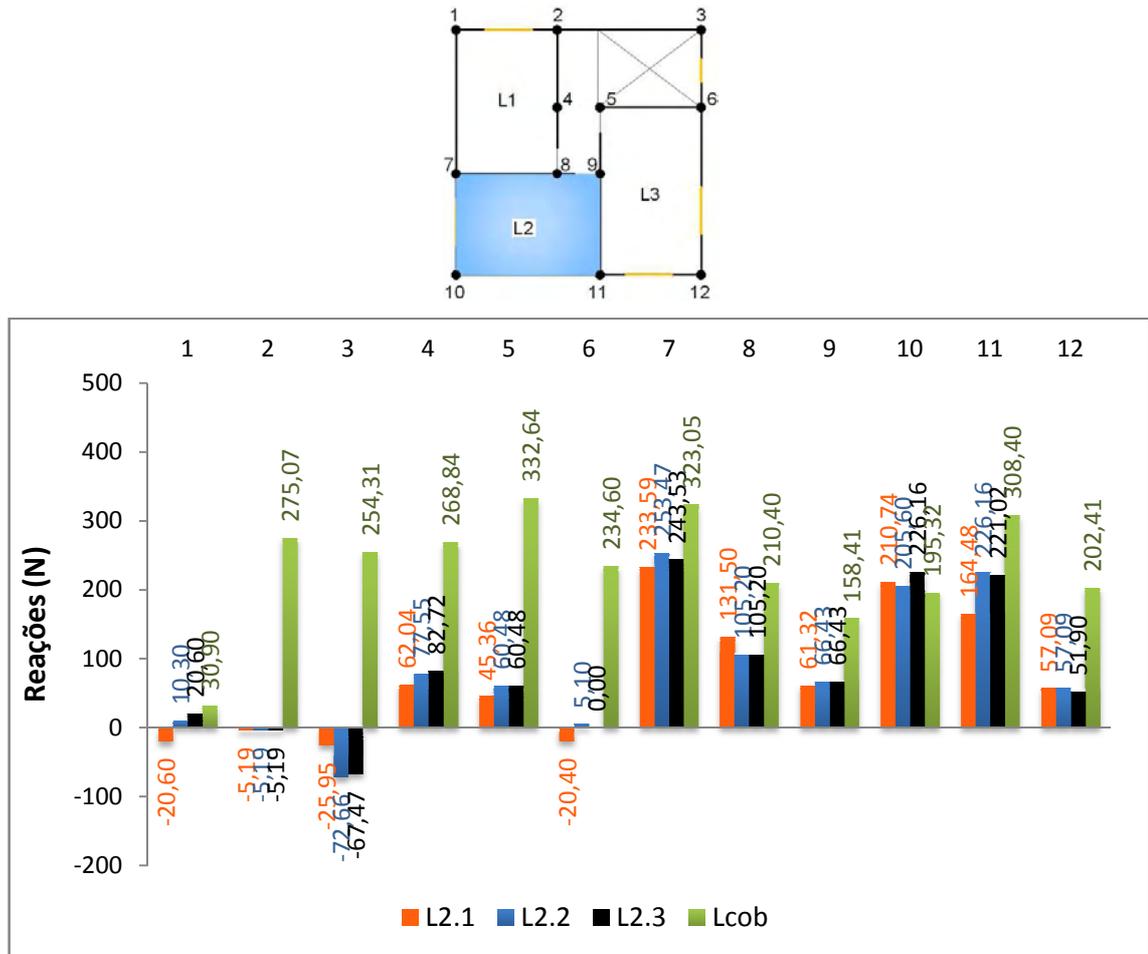


Figura 62 - Reações de apoio para ações atuando na laje L2 - Caso 2.

Como se observa, os pontos ao redor da área carregada da laje L2 são: 7, 8, 9, 10 e 11, sendo que estes pontos absorveram 89,67% do total de carga aplicada, para o caso da ação atuando na L2.1, 86,59% para a ação atuando na L2.2 e 85,77% para a ação na L2.3, ou seja, mais de 85% do carregamento aplicado na laje L2 se concentrou nos apoios pertencentes ao contorno da laje, independente da altura de aplicação da ação em relação às paredes do térreo, sendo em média de 87,34%.

Com relação à variação das reações em um mesmo ponto para as cargas aplicadas em diferentes pavimentos da laje L2, constatou-se que:

O ponto 1 passou a receber aumentos sucessivos de compressão com aumento da altura de aplicação do carregamento, isso mostra que a ação conseguiu se espalhar pela parede entre os apoios 1 e 7 e chegou sobre a viga de modo a produzir no sistema de grelhas reações de compressão.

Os pontos 2, 3 e 6, análogos aos apoios 6, 11 e 12 do Caso 1, distantes da área carregada, apresentaram reações de tração para carregamentos abaixo da cobertura, quando se carregou a cobertura ocorreu o inverso.

O ponto 4, fora da região de aplicação do carregamento, apresentou comportamento interessante, sendo possível verificar aumento da reação de apoio quando se aumentava a altura de aplicação do carregamento. Os resultados mostraram um aumento de 25% na reação de apoio quando se carregou a L2.2, em relação à L2.1, e um aumento de 6,67% quando a L2.3 foi carregada, em relação à L2.2. Tais resultados mostram que conforme se aumentou a distância do carregamento aplicado, em relação às paredes do térreo, ocorreu aumento significativo da reação de apoio, evidenciando que de alguma forma a carga aplicada na laje conseguiu se espalhar pelas paredes, mesmo com a abertura de porta existente entre os pontos 4 e 8.

Comparando o ponto 4, para este caso de carregamento, com o ponto 3 do Caso 1 de carregamento, vê-se que no caso anterior a transferência foi muito mais eficiente do que agora, pois a ação no caso anterior se distribuiu por uma parede sem aberturas, mesmo estando o ponto 3 mais distante da área carregada. Enquanto que aqui, apesar de estar mais próximo da área de aplicação do carregamento, existe uma abertura de porta, prejudicando a distribuição das ações verticais.

No caso do ponto 5, análogo ao 4, também ocorreu aumento de reação de apoio quando se aumentou a altura de aplicação do carregamento. Os resultados mostraram um aumento de 33,33% na reação de apoio quando se carregou a L2.2, em relação à L2.1, e manutenção do valor de reação quando a L2.3 foi carregada, em relação à L2.2. Como se observa a distância

do ponto 5 ao 9, e do ponto 4 ao 8 são iguais, mas o acréscimo de valor de reação ocorrido quando se carregou a L2.2, em relação à L2.1, foi maior para o ponto 5. Parece que, em razão da existência de continuidade da parede após passar sobre o ponto 9, a distribuição das ações foi mais eficiente, fazendo com que o ponto 5 fosse mais solicitado, já para o carregamento se distribuir pela parede que se apóia sobre o ponto 4, imediatamente existe uma abertura de porta, o que deve ter prejudicado a distribuição.

No ponto 7, vê-se que a reação de apoio teve pequeno aumento quando se carregou as lajes L2.2 e L2.3, em relação a L2.1, fato também observado nos pontos 9 e 11, pertencentes exatamente ao contorno da laje L2.

O ponto 8 apresentou queda nos valores de reação conforme se aumentava a altura do carregamento, pois provavelmente as ações conseguiram se espalhar de forma a aliviar o valor de reação e aumentar o valor de outros pontos próximos, como o 4 e 9 que tiveram suas reações elevadas.

Para o carregamento aplicado na laje da cobertura as reações se mostraram mais uniformes que as apresentadas pelos carregamentos anteriores, pois agora a carga se distribui sobre toda a laje de forma a carregar todos os pontos de célula de carga, sendo que de maneira geral os pontos internos apresentaram valores de reações mais elevados do que os pontos das extremidades - 3, 10 e 12.

6.3 Caso 3

Aqui a ação uniformemente distribuída foi aplicada sobre todas as lajes do ambiente 3, do primeiro pavimento até a cobertura, sendo que na Figura 63 são apresentados os resultados individuais para cada carregamento.

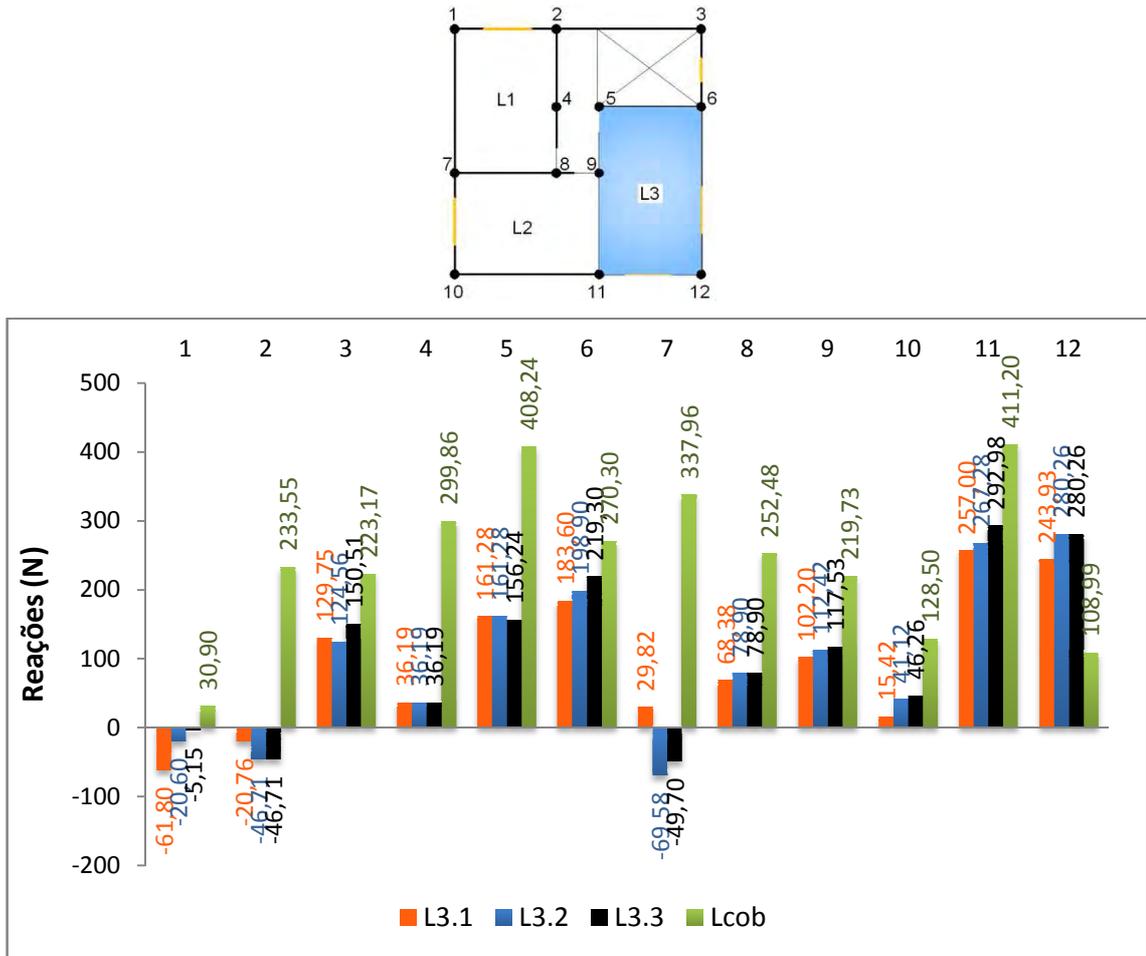


Figura 63 - Reações de apoio para ações atuando na laje L3 - Caso 3.

Para os pontos ao redor da área carregada da laje L3, que são: 5, 6, 9, 11 e 12, os mesmos absorvem 82,79% do total de carga aplicada, para o caso da ação atuando na L3.1, 87,64% para a ação atuando na L3.2 e 83,53% para a ação na L3.3, ou seja, mais de 82% do carregamento aplicado na laje L3 se concentrou nos apoios pertencentes ao contorno da laje, independente da altura de aplicação da ação em relação às paredes do térreo, sendo em média de 84,65%.

Os pontos 1, 2 e 7, como os apoios 2, 3 e 6 do Caso 2, distantes da área carregada, apresentaram reações de tração para carregamentos abaixo da cobertura, quando se carregou a cobertura ocorreu o inverso, evidenciando mais uma vez o fluxo de tensões e deformações das células de cargas e vigas baldrame.

O ponto 3 apresentou resultados onde se pode constatar, mais uma vez, a influência de uma abertura na distribuição das ações verticais. Comparando as reações de apoio é possível perceber uma queda em seu valor de 4,17% quando se carregou a L3.2 em relação à L3.1. Esta queda pode ser explicada considerando que para o carregamento atuando na laje L3.1, ou seja, no primeiro pavimento da laje L3, não existe abertura entre os pontos 3 e 6 que possa dificultar uma melhor distribuição, assim para este carregamento o espraiamento das ações ocorreu sem interferências, possibilitando chegar sobre as vigas de maneira a produzir uma reação de maior intensidade que a observada quando se carregou a L3.2, pois a partir do segundo pavimento passa a existir uma pequena abertura, menor que todas as outras, entre os pontos 3 e 6, como se observa na Figura 50.

Ainda para o ponto 3, quando se carregou a L3.3 o resultado da reação foi maior que os outros dois anteriores, com aumento de 16% em relação à L3.1 e 20,83% em relação à L3.2. Certamente por causa da maior altura de aplicação do carregamento as pequenas aberturas não foram impedimento para que o carregamento se distribuísse e chegasse sobre as vigas de modo a produzir uma reação de apoio superior às apresentadas anteriormente.

No ponto 4 a reação de apoio não se alterou, pois como já observado no Caso 1 entre os pontos de apoio 4 e 5, não existe alvenaria imediatamente abaixo da laje conectando as paredes, ou seja, a transferência de esforços entre as paredes só pode ocorrer pela laje. O ponto 5 praticamente também não teve sua reação de apoio alterada quando se carregou os pavimentos superiores. Os pontos 6, 9, 11 e 12, pertencentes exatamente ao contorno da laje L2, tiveram aumento da reação de apoio quando se carregou as lajes L3.2 e L3.3, em relação a L3.1.

Tanto os pontos 8 e 10, fora da região de aplicação das ações, obtiveram aumento em suas reações com o aumento da distância de aplicação do carregamento. O ponto 8, mesmo estando mais próximo, teve um ganho de 15,38% quando se carregou a L3.2, em relação à L3.1,

mantendo este valor para o carregamento da L3.3, já o ponto 10, mais distante, teve um aumento de 166,67% quando carregada a L3.2, em relação à L3.1, e mais um aumento de 12,5% quando se carregou a L3.3, em relação à L3.2. Assim, vê-se que a abertura presente entre os pontos 8 e 9 influenciou na distribuição de ações verticais, mesmo estando este ponto mais próximo do que o ponto 10. Portanto, constata-se novamente que a abertura influenciou na distribuição do carregamento, prejudicando-o, sendo mais eficiente em paredes sem as mesmas, pois entre os pontos 10 e 11 não existem aberturas.

6.4 Caso 4

Este caso é diferente dos anteriores, pois agora, a ação uniformemente distribuída foi aplicada sobre todas as lajes de um mesmo pavimento, subindo do primeiro até a cobertura, sendo que na Figura 64 são apresentados os resultados individuais para cada carregamento.

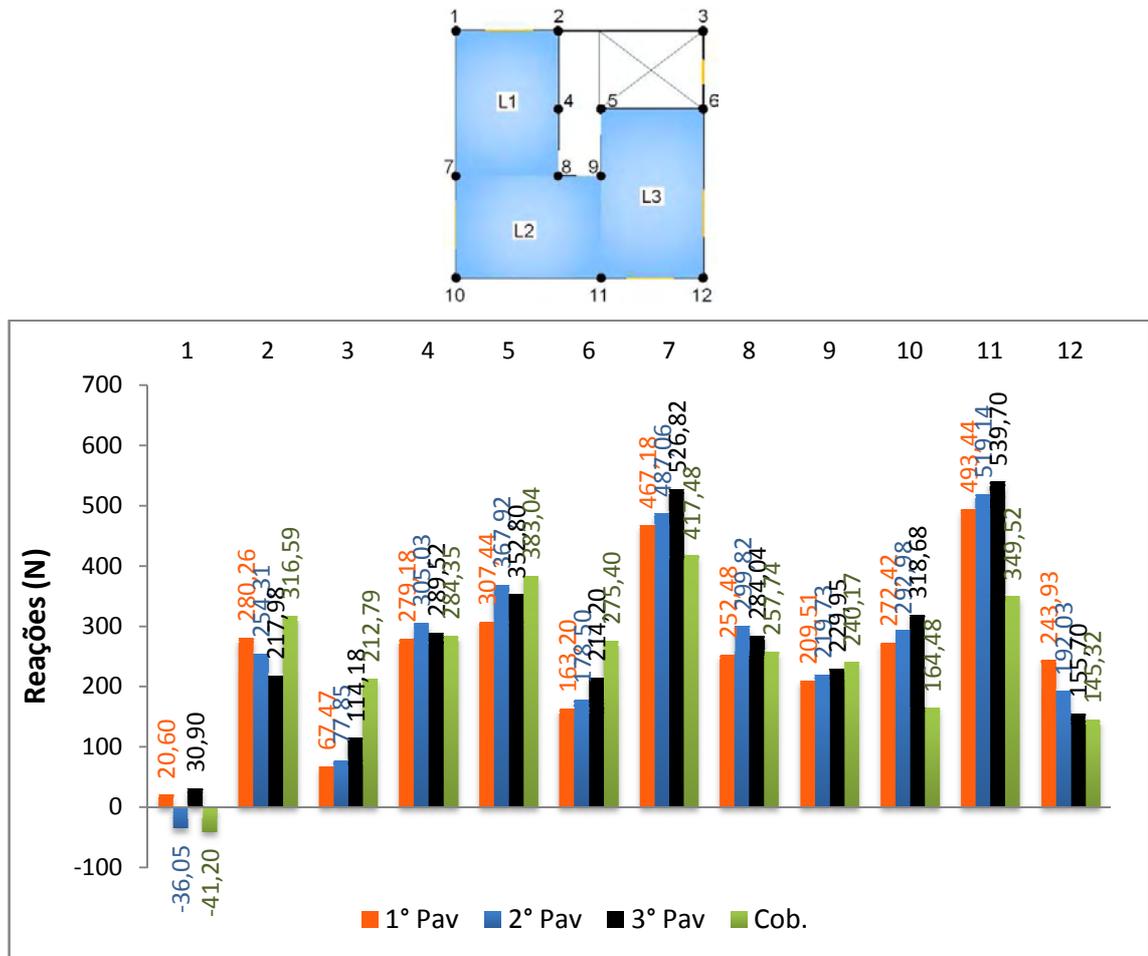


Figura 64 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes dos pavimentos - Caso 4.

Como é possível observar todos os pontos estão sob a área carregada, com exceção do 3, sendo que para este foi obtido os menores valores de reação de apoio. Tanto as células de carga de número 2 quanto a 12 tiveram suas reações diminuídas, porém somente quando se carregou na cobertura ocorreu aumento de reação para o ponto 2, sendo este o maior valor apresentado para este ponto, contrário do observado com a célula de carga de número 12, que teve reações sempre decrescentes à medida que se carregava o edifício em pavimentos mais distantes das paredes do térreo.

O ponto 3, único não pertencente às regiões carregadas, mostrou resultados onde se constata que certamente a distribuição das ações verticais ocorreu, pois o mesmo teve crescimento contínuo das reações à medida que o carregamento nas lajes foi aplicado em pavimentos superiores. Quando se carregou o 2º pavimento houve um aumento de 15,38%, em relação ao 1º pavimento, aumento de 46,67% para carga no 3º pavimento, em relação ao 2º, e aumento de 86,36% quando a cobertura foi carregada, em relação ao 3º pavimento.

Como já comentado anteriormente, o ponto 3 também teve sempre aumento de carregamento para os Casos 1 e 3, quando se aumentou a distância de aplicação das ações em relação à base, comprovando que a ação vertical conseguiu se distribuir quando se tinha uma parede sem aberturas (Caso 1) e uma parede com pequena abertura (Caso 3).

Os pontos 4, 5 e 8 apresentaram comportamentos parecidos com relação às variações apresentadas, sendo que os maiores valores de reação foram obtidos para o apoio 5. Para todos estes pontos ocorreu um aumento e queda nas reações, quando se carregou o 2º e 3º pavimentos, respectivamente. Quando se carregou a cobertura os valores de reação se mantiveram, aumentaram e caíram, respectivamente para os pontos 4, 5 e 8.

Também tiveram aumento contínuo de carga os pontos 6 e 9. No ponto 6 o aumento foi de 9,38% quando se carregou o 2º pavimento, em relação ao 1º pavimento, 20% ao carregar o 3º pavimento, em relação ao pavimento inferior, e 28,57% ao carregar a cobertura, em relação ao 3º pavimento. Já o ponto 9 teve aumentos bem menores.

Os apoios 7 e 11 foram os que apresentaram os maiores valores de reação. Observando a figura em planta do edifício, que complementa a Figura 64, onde mostra as lajes L1, L2 e L3 carregadas, vê-se que de alguma forma o carregamento atuando nos pavimentos abaixo da cobertura se concentra à esquerda e na parte de baixo da figura, sendo assim teoricamente se esperaria que os pontos 7 e 11 recebessem maiores esforços, pois os mesmos estão em posições intermediárias. Quando carregada a cobertura, a área de influência se tornou maior, abrangendo todos os apoios, de forma que o carregamento não se concentrou nestes pontos, mas se distribuiu entre todos os doze apoios, por isso que para esta condição os valores apresentados foram menores.

O ponto 10 apresentou aumentos sucessivos até o carregamento no 3º pavimento, após carga na cobertura ocorreu uma diminuição. Pode-se considerar que esta diminuição se deve a maior área de abrangência da cobertura sobre os pontos, o que facilita a distribuição de carga entre eles.

Constata-se que o carregamento aplicado na cobertura produziu reações mais uniformes nos apoios do edifício, pois está atuando de maneira a cobrir todos os pontos, já nos carregamentos aplicados nos pavimentos inferiores não existe carga aplicada em determinada região, como o hall e devido a não existência de laje, isto dificulta a distribuição de ações verticais fazendo com que as ações nas paredes do térreo cheguem até as vigas baldrame e produzam reações de forma que as mesmas se concentrem exatamente abaixo das regiões carregadas.

7 RESULTADOS TEÓRICOS

Através de alguns dos procedimentos usuais de distribuição das ações verticais foram efetuados os cálculos para obtenção das ações atuando nas paredes. Foram considerados os procedimentos de Paredes Isoladas, Grupos de Paredes e Modelagem por Elementos Finitos. Como relatado no Capítulo 4, as ações verticais atuantes nas paredes foram adotadas como sendo uniformemente distribuídas, sendo que para encontrá-las adotou-se o procedimento de divisão da laje em áreas de influência.

Então, a carga atuante sobre a laje se distribui pelas paredes e chega até as vigas baldrames e posteriormente aos doze pontos de apoio. Como já informado, as vigas baldrames constituem um sistema de grelha apoiadas sobre as células de carga. A partir da obtenção das ações uniformemente distribuídas nas paredes as mesmas foram lançadas sobre as vigas para obtenção das reações teóricas. Foi utilizado um programa computacional, SAP2000®, para montagem do sistema de vigas e obtenção das reações, sendo que as vigas foram discretizadas como elementos lineares, ou elementos de barra, e apoiados sobre doze apoios fixos, possuindo as mesmas propriedades geométricas e mecânicas apresentadas pelo modelo experimental.

No procedimento de divisão da área de influência se optou por considerar dois casos, sendo que os mesmos foram adotados em todos os procedimentos, a saber:

- ❖ considerando as bissetrizes das interseções entre paredes ou grupos, ou seja, consideração da divisão a 45° , a fim de compará-la com a divisão adotada usualmente;
- ❖ considerando a divisão em 30° e 60° ou $30^\circ/60^\circ$, usualmente adotada, como no caso de vigas de concreto armado.

7.1 Paredes Isoladas (PI)

Neste procedimento as paredes são tratadas isoladamente não transferindo ações para outras. Na sequência é apresentada a numeração destas paredes em planta, visto que seus comprimentos foram limitados por uma abertura ou mudança de direção. Todos os

comprimentos das paredes foram adotados considerando as medidas de eixo a eixo das mesmas.

As áreas de influência foram calculadas considerando as áreas internas das lajes, ou seja, a área que efetivamente foi carregada, a partir da face interna dos blocos das paredes. Nas aberturas de portas e janelas existentes a divisão das áreas foi feita exatamente na metade dos vãos, sendo que nas aberturas de portas existem bandeiras. Na sequência são apresentadas estas áreas bem como seus valores para as duas considerações de ângulos adotados, conforme Figura 65.

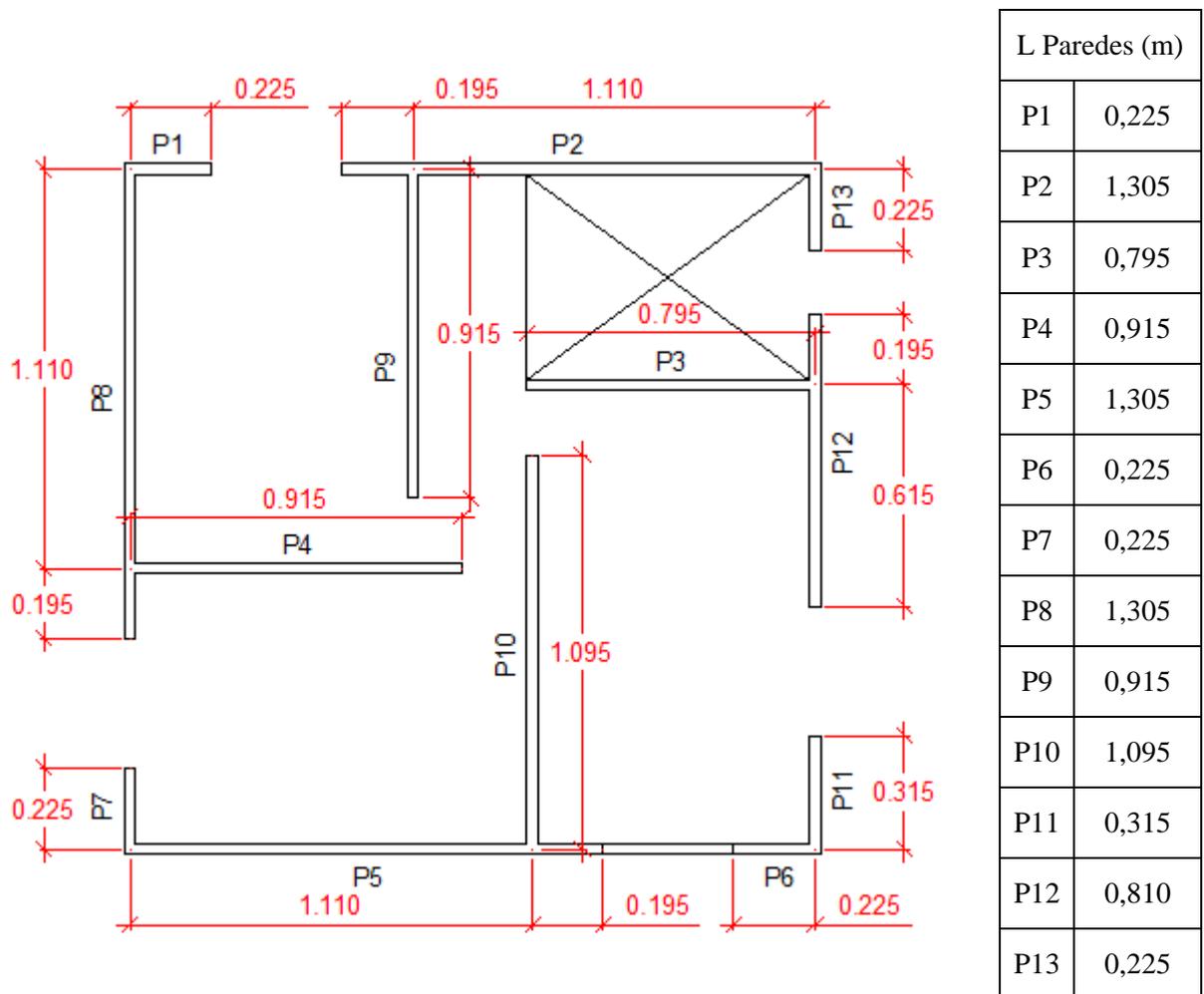


Figura 65 - Numeração e comprimento das paredes - (PI).

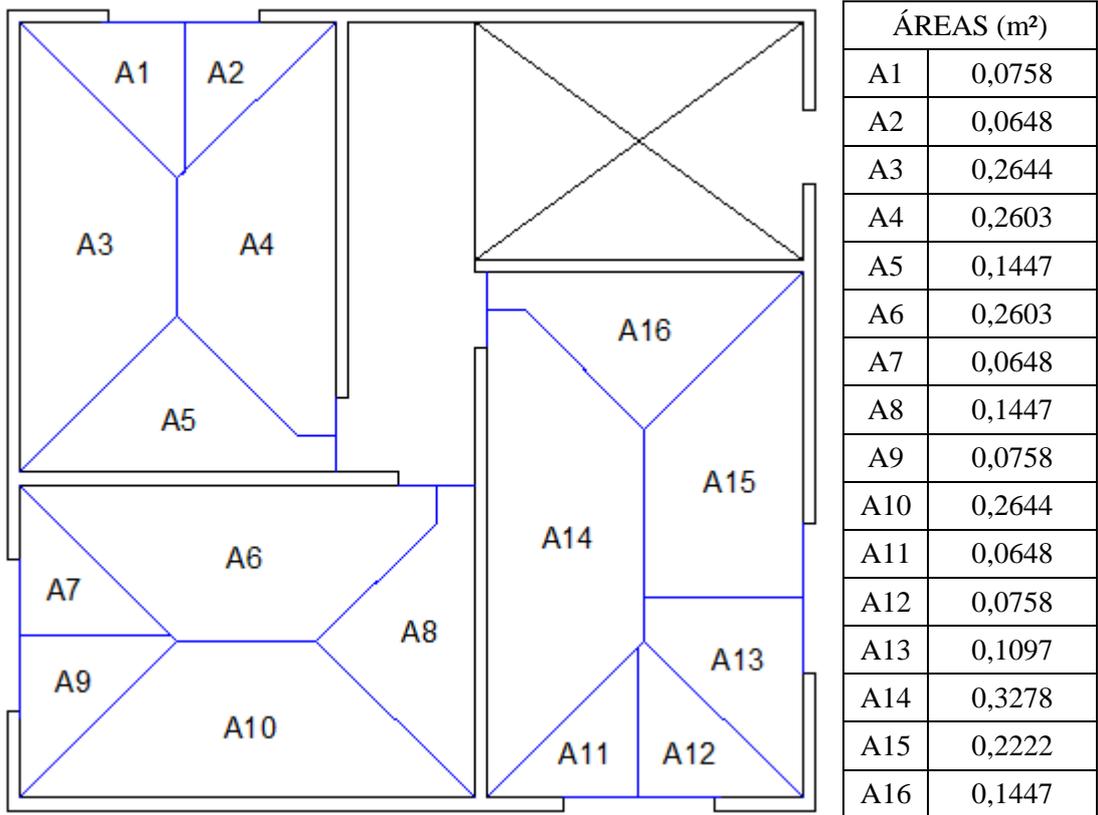


Figura 66 - Áreas de influência considerando 45° para o pavimento tipo - (PI).

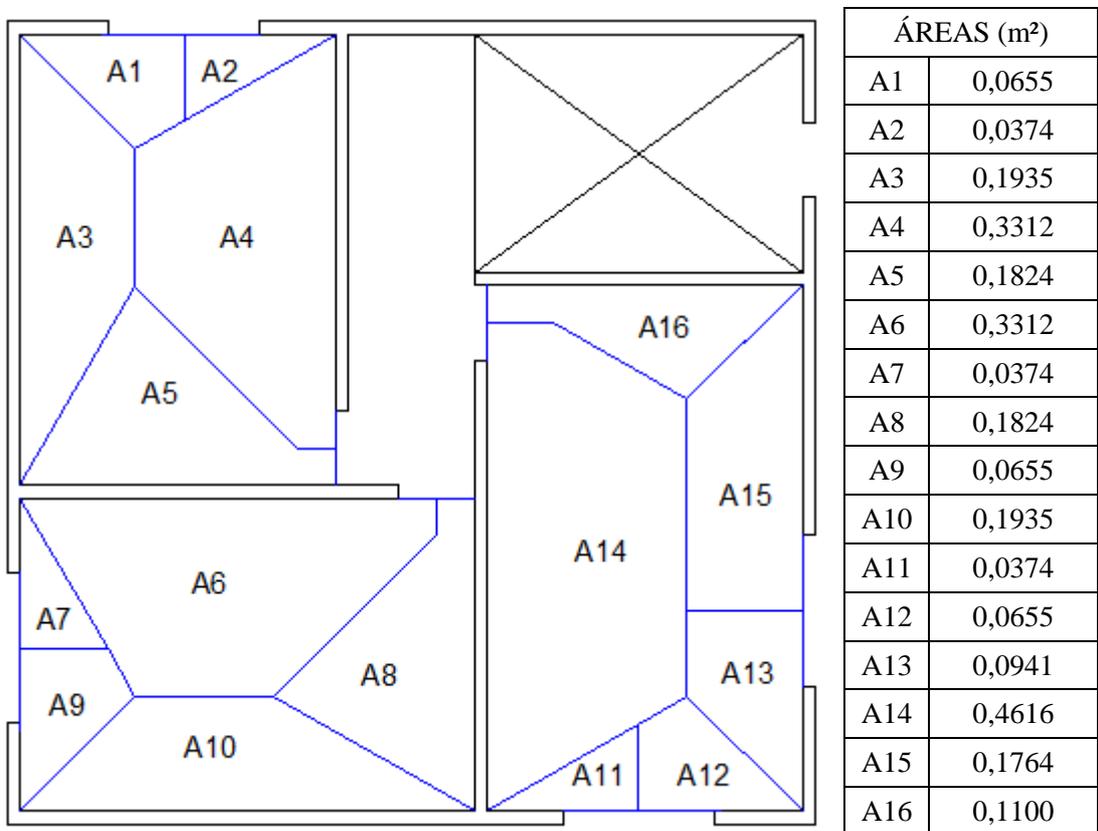


Figura 67 - Áreas de influência considerando 30°/60° para o pavimento tipo - (PI).

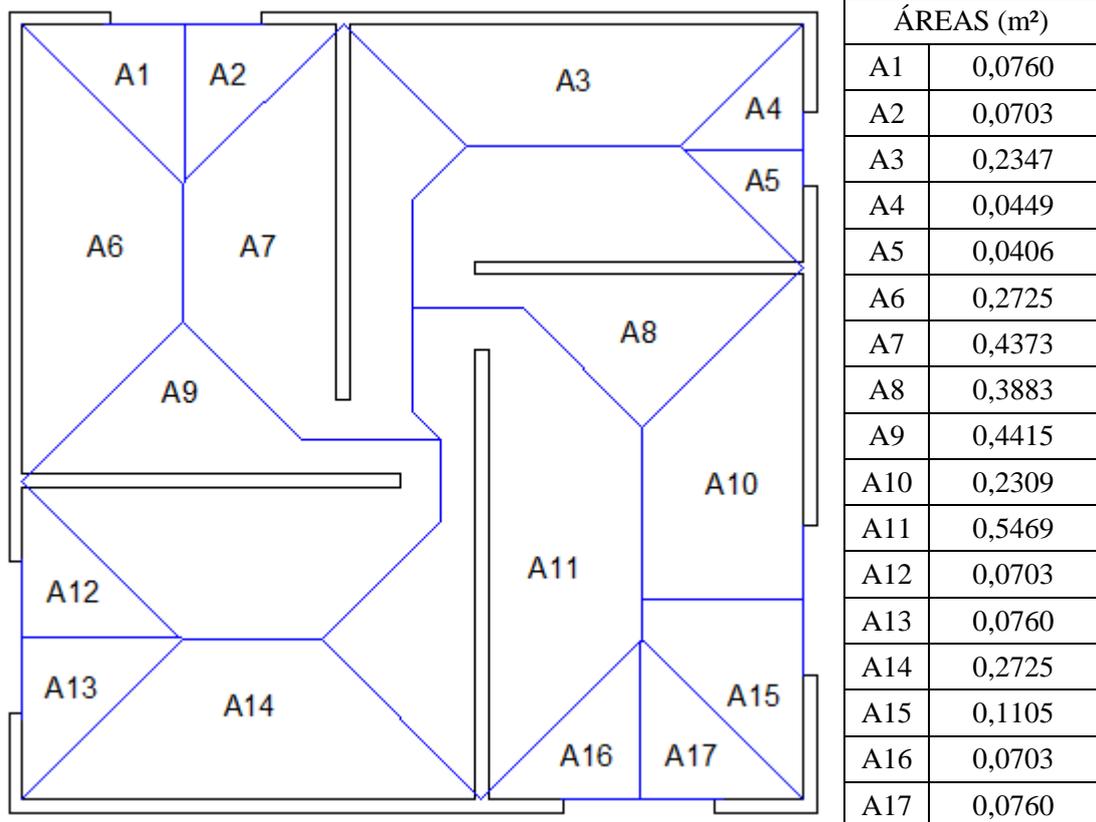


Figura 68 - Áreas de influência considerando 45° para a cobertura - (PI).

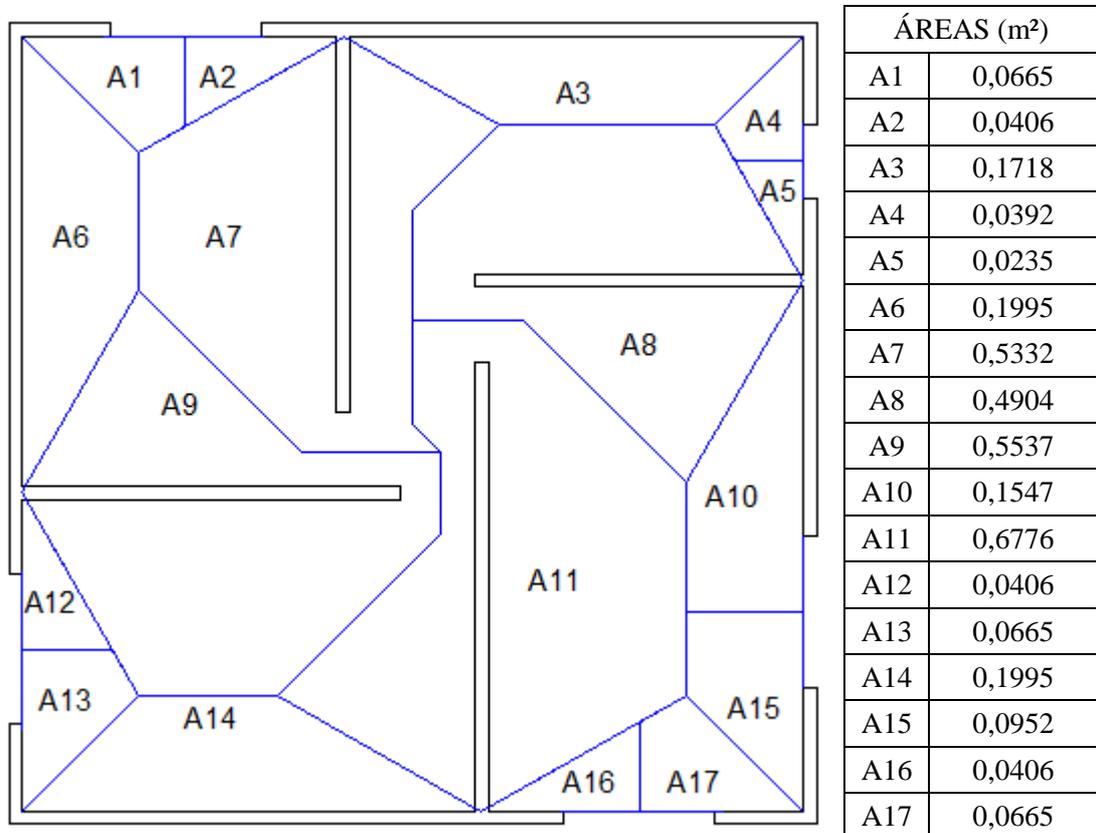


Figura 69 - Áreas de influência considerando 30°/60° para a cobertura - (PI).

Ainda foi considerada a divisão de áreas de influência exatamente pela metade da distância entre dois apoios, sendo que tais resultados foram apresentados em conjunto com o procedimento das paredes isoladas e ainda designados como áreas de influência de pilares ou somente “Pilar”, pois os apoios são considerados como pilares, Figura 70 e Figura 71. Para o caso da divisão das áreas apresentadas nas figuras anteriores, os resultados de ações distribuídas uniformemente sobre as paredes podem ser obtidos a partir da multiplicação da área de influência pertencente à parede pela carga distribuída sobre a laje e posteriormente dividir pelo comprimento total desta parede.

Neste caso, basta multiplicar a área de influência pela carga distribuída sobre a laje, e lançar o carregamento resultante exatamente sobre o ponto que se refere, ou seja, considera-se que o ponto absorva todo o carregamento resultante que pertença à área de influência, obtendo diretamente as reações de apoio.

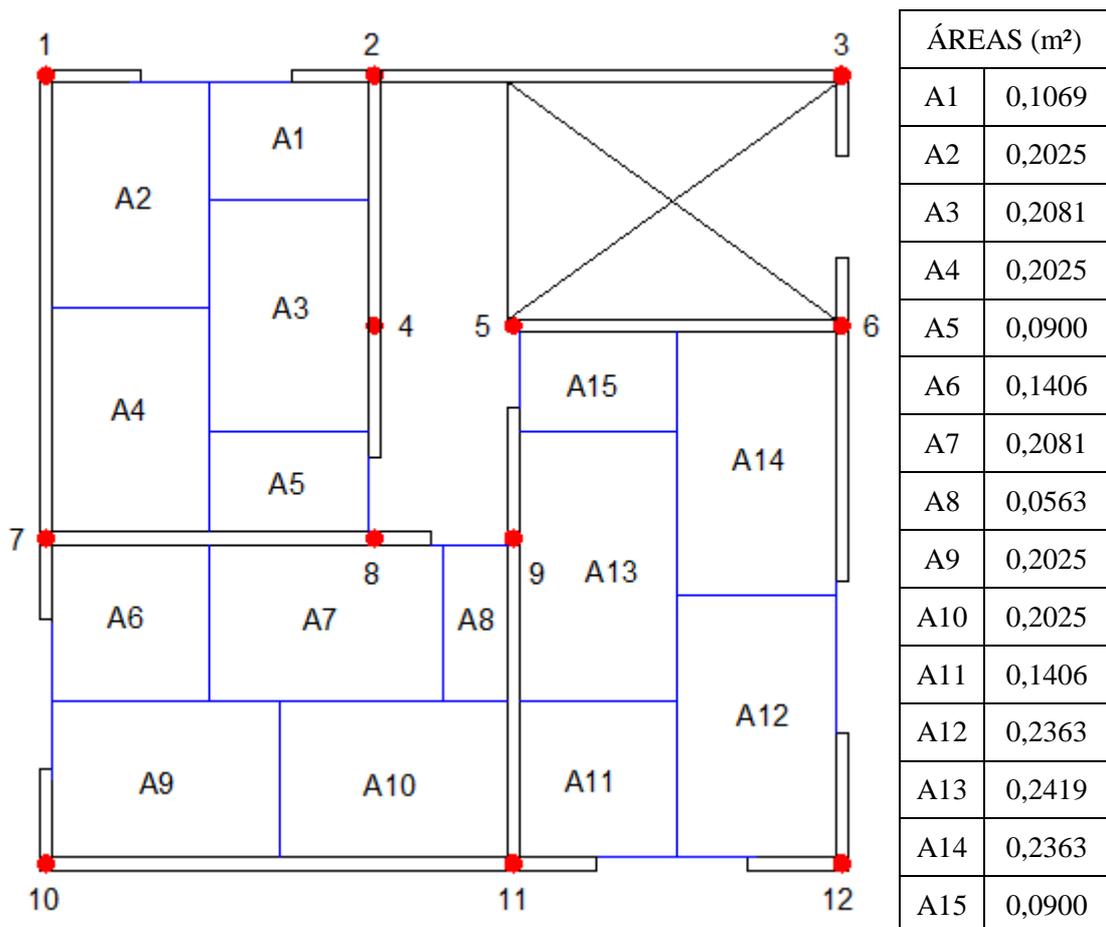


Figura 70 - Áreas de influência para o pavimento tipo, considerando apoios como pilares.

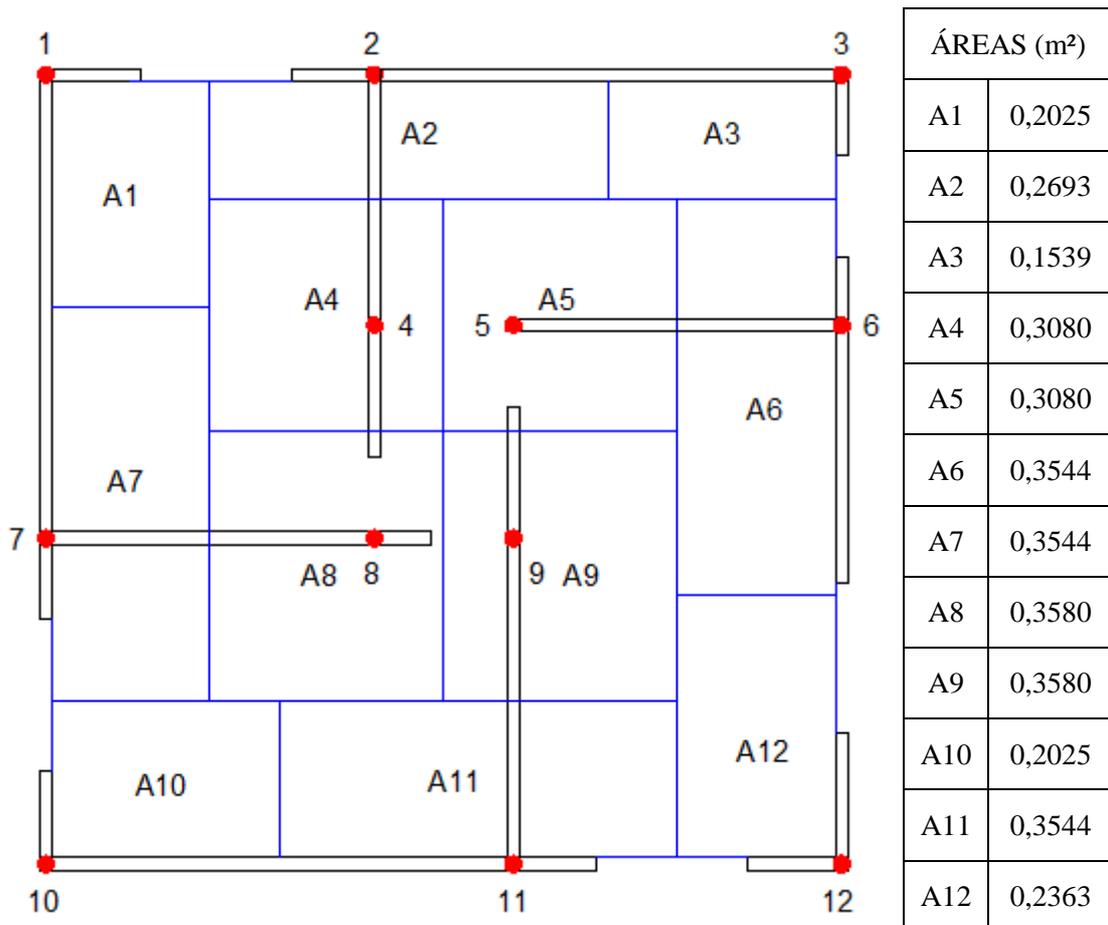


Figura 71 - Áreas de influência para a cobertura, considerando apoios como pilares.

De posse destas informações foram montadas planilhas para obtenção das ações uniformemente distribuídas sobre as paredes para os diferentes procedimentos de distribuição adotados, considerando as distintas formas de divisão das áreas de influência e ainda para os diversos casos de carregamento já relatados.

Como exemplo é mostrado na Tabela 10 os valores de carregamentos distribuídos nas paredes, para o caso de carregamento atuando na laje L1. Cabe salientar que como se trata de resultados teóricos estes valores independem da posição em relação à altura de aplicação do carregamento, ou seja, os resultados de carga nas lajes L1.1, L1.2 e L1.3 serão iguais, pois as ações nas paredes serão as mesmas. Analogamente para os Casos 2, 3 e 4. Assim, são apresentados somente alguns dados, sendo que informações completas sobre os carregamentos atuando nas paredes são apresentadas em anexo.

Tabela 10 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total nas Paredes do Térreo (N/m) | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------------------|---------------------|----------------|-----|---------------------|--------------------------|----------|--|--|
| | | Área por trecho [A] | | | Carregadas (N) | | | Trecho i | Trecho f | | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | | | | |
| P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,0758 | | | X | 98,26 | 436,71 | | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0648 | | | X | 84,00 | 430,77 | | |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A16 | 0,1447 | | | | | | | |
| P4 | 0,915 | 0,780 | A5 | 0,1447 | 0,915 | A6 | X | 187,57 | 240,48 | | |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A10 | 0,2644 | 0,195 | A11 | | | | | |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A12 | 0,0758 | | | | | | | |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,0758 | | | | | | | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A7 | 0,0648 | 1,110 | A3 | | | 342,74 | 308,78 | |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A4 | 0,2603 | | | X | 337,43 | 368,77 | | |
| P10 | 1,095 | 0,780 | A8 | 0,1447 | 1,095 | A14 | | | | | |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A13 | 0,1097 | | | | | | | |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A15 | 0,2222 | | | | | | | |
| P13 | 0,225 | 0,000 | S/ÁREA | 0,0000 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 45° | COMBINAÇÕES | | | | L1 | | | | |

A partir dos valores encontrados de carregamentos atuantes nas paredes foi considerado que os mesmos atuavam nas vigas baldrame, assim de posse das ações nas paredes as mesmas foram lançadas no sistema de grelha, sendo posteriormente obtidas as reações de apoio pelo programa SAP2000®.

Na Figura 72 são apresentados os valores das ações uniformemente distribuídas nas paredes do edifício e conseqüentemente, segundo o que se adotou, as ações atuantes nas vigas baldrame da fundação. A figura é somente esquemática, indicando que existe uma ação distribuída e que a mesma possui sentido vertical para baixo, independente do sentido apresentado nas figuras. Além disto, os valores de carregamento são apresentados em (N/m) e aqueles em vermelho são decorrentes da consideração da divisão de áreas de influência em $30^\circ/60^\circ$, já em preto são originadas da divisão a 45° .

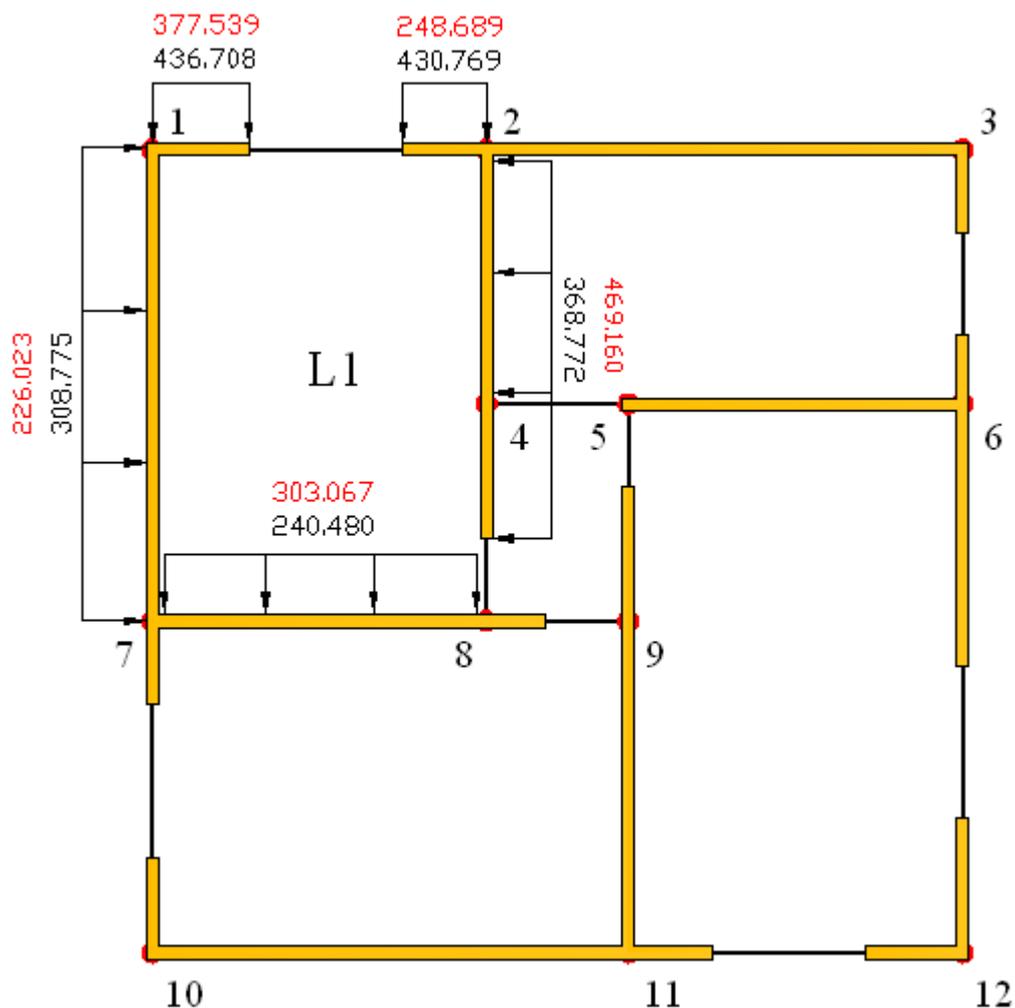


Figura 72 - Ações verticais uniformemente distribuídas nas vigas, laje L1 - (PI).

7.1.1 Resultados e Comparações - Caso 1

Nas figuras que se seguem são apresentados os resultados tanto teóricos quanto experimentais de reações de apoio para os diferentes casos de carregamentos aplicados. Os resultados experimentais são novamente apresentados a fim de serem comparados com os teóricos, sendo mostrados os resultados individuais para os carregamentos aplicados. Da mesma forma, é possível visualizar um esquema em planta do local de aplicação do carregamento e também a numeração dos doze pontos de leitura.

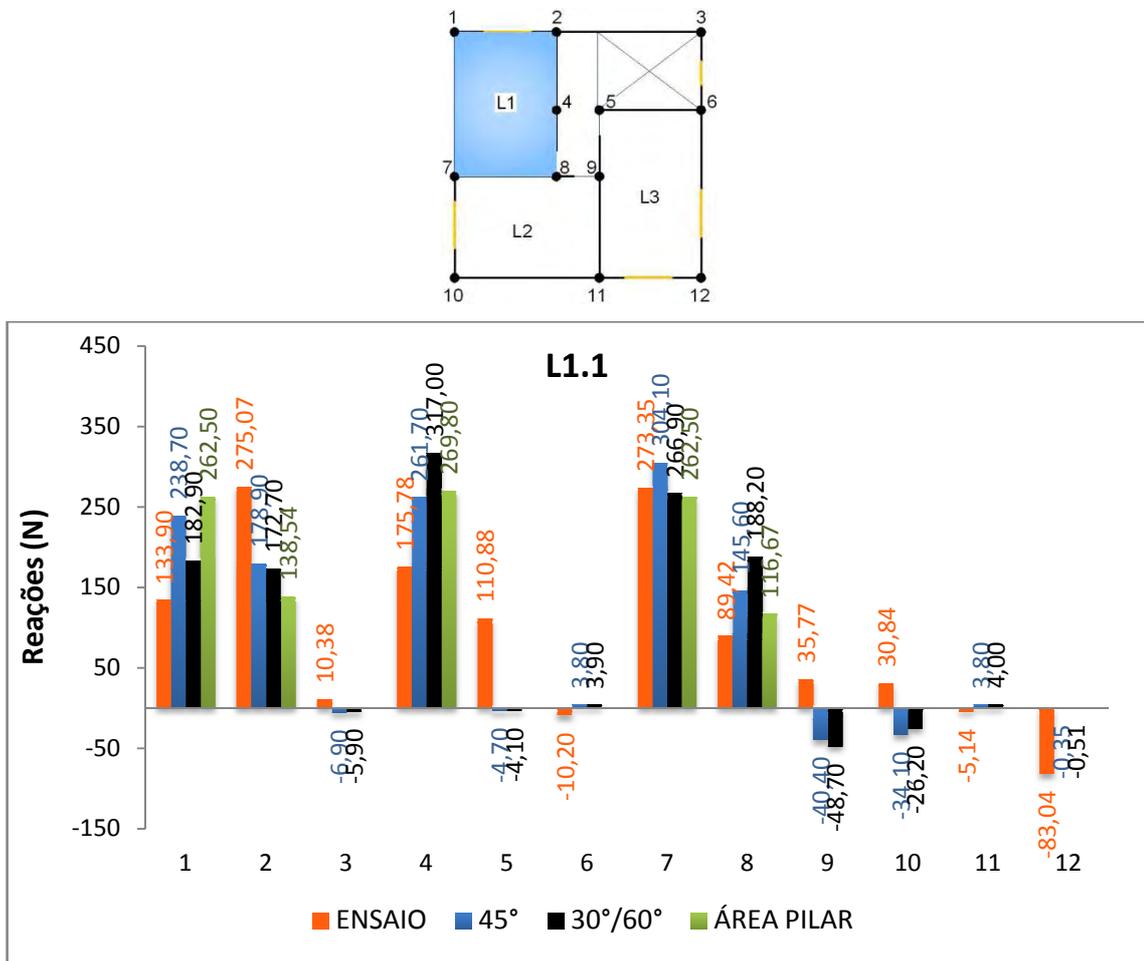


Figura 73 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (PI).

A Figura 73 mostra os resultados das reações de apoio para o carregamento atuando na L1.1, tanto para o ensaio quanto para o procedimento teórico das paredes isoladas, considerando a divisão das áreas de influência por ângulos de 45° e 30°/60°, além da consideração dos apoios como pilares.

Como se observa, os maiores valores obtidos com o procedimento teórico estão nos apoios 1, 2, 4, 7 e 8, lembrando que, estes apoios compõem o contorno da área carregada. No caso do ponto 5 os resultados teóricos foram muito diferentes do apresentado pelo experimental. Tais resultados já eram esperados, pois como o procedimento não considera a interação entre paredes que se interceptam, as ações atuantes na laje e posteriormente nas paredes só permanecem sobre as vigas pertencentes abaixo destas, assim as reações serão maiores nos apoios mais próximos da área carregada, sendo que no ponto 2 foram menores que o experimental e nos pontos 1, 4 e 8 maiores, e praticamente iguais no apoio 7.

Destes resultados, verifica-se que o procedimento adotado é conservador, pois não considera nenhuma interação entre as paredes, de modo que as reações se concentraram abaixo da área carregada, sendo que no ensaio experimental foi constatado que de alguma forma o carregamento atuando na L1.1 conseguiu se espalhar, resultando em pontos com reações consideráveis.

Com relação às considerações de divisão da área de influência adotadas, com ângulo de 45° os resultados mais próximos do experimental nos apoios da região de carregamento foram: 2, 4 e 8, já com ângulos de $30^\circ/60^\circ$ foram os pontos 1 e 7, sendo este ponto o que apresentou resultados teóricos mais próximos do experimental. Assim, na maioria destes apoios os resultados mais próximos foram com divisão a 45° .

A consideração dos apoios como pilares resulta em reações somente nos pontos sob a área carregada. Observando a Figura 70 e os resultados apresentados na Figura 73, vê-se que nos pontos 7 e 8 os resultados foram próximos do experimental. Os pontos 1, 2 e 4 resultaram em respostas superiores, inferiores e superiores, respectivamente ao experimental, ou seja, a divisão de áreas deveria ser feita de modo que uma porção pertencente aos pontos 1 e 4 fosse do apoio 2, assim o ponto 2 deveria possuir maior área de influência e os pontos 1 e 4 menor, do que a adotada no procedimento.

Na Figura 74 são apresentados os resultados das reações de apoio para o carregamento atuando na L1.2, tanto para o ensaio quanto para o procedimento teórico das paredes isoladas, considerando a divisão das áreas de influência por ângulos de 45° e $30^\circ/60^\circ$, além da consideração dos apoios como pilares.

Como já relatado, os resultados teóricos de reações das lajes L1.1, L1.2 e L1.3 são iguais, pois os valores dos carregamentos uniformemente distribuídos sobre as vigas independem da posição em relação à altura de aplicação de carregamento, porém, os resultados experimentais diferem quando se aplica os mesmos carregamentos.

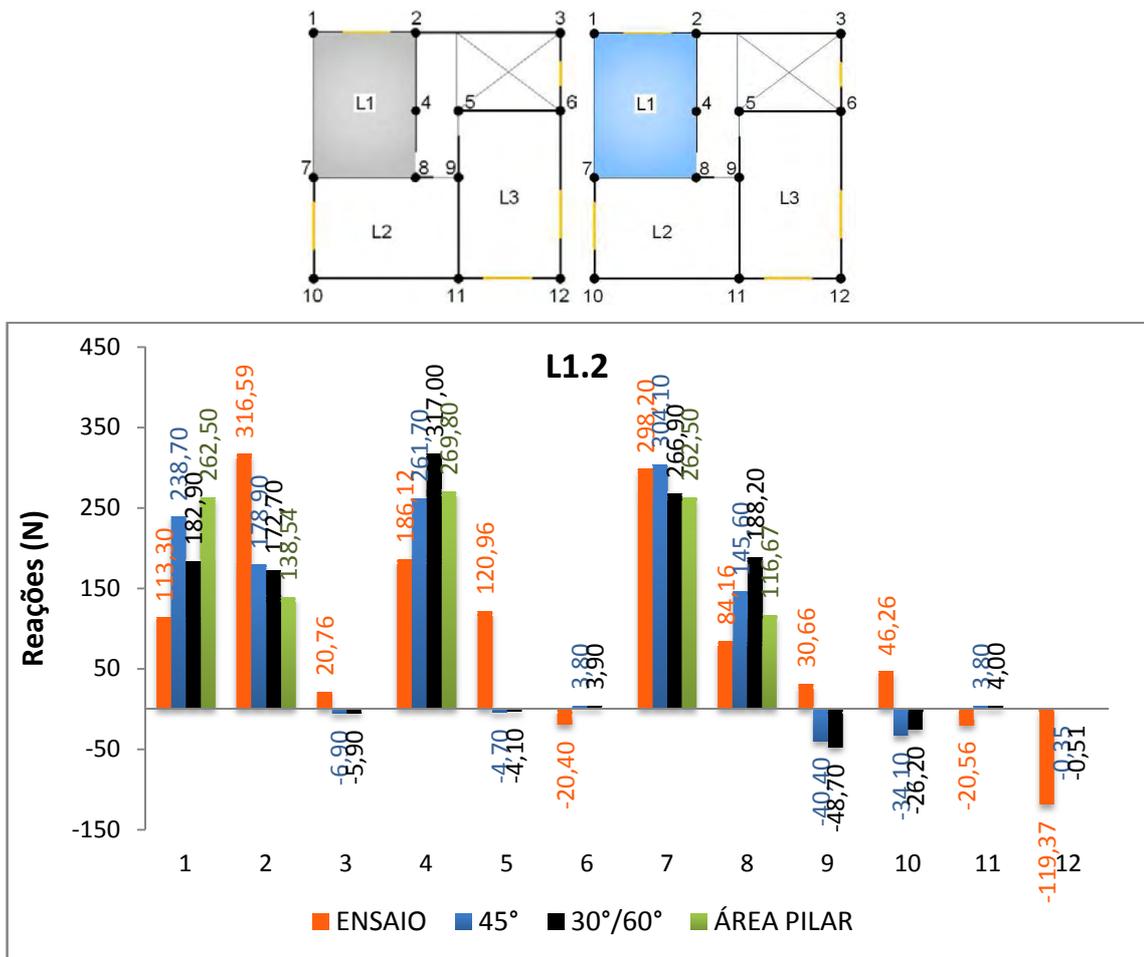


Figura 74 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (PI).

Como os resultados teóricos não se alteram para os carregamentos atuando na L1.1, L1.2 e L1.3, os maiores valores de reações também se mantêm no contorno da área carregada, tanto para a Figura 74 como a Figura 75, assim as observações apresentadas para o caso da L1.1 valem para os casos da L1.2 e L1.3.

Em relação ao carregamento anterior, os resultados teóricos de reações nos apoios indicaram que: os pontos 1, 2 e 8 se distanciaram, os pontos 4 e 7 se aproximaram. Analogamente aos resultados anteriores, nota-se que o procedimento adotado não considera nenhuma interação

entre as paredes, pois foi constatado que de alguma forma o carregamento atuando na L1.2 conseguiu se distribuir, resultando em pontos com reações consideráveis, como, por exemplo, o apoio 5.

Em se tratando das divisões de área de influência adotadas, os resultados mais próximos do experimental nos apoios da região de carregamento foram obtidos com ângulo de 45°, como se observa nos pontos 2, 4, 7 e 8, contrário ao observado anteriormente em que o ponto 7 ficou mais próximo considerando a divisão com ângulos de 30°/60°. Para o procedimento dos apoios adotados como pilares os resultados se mantiverem como no carregamento anterior.

Na Figura 75 são apresentados os resultados das reações de apoio para o carregamento atuando na L1.3.

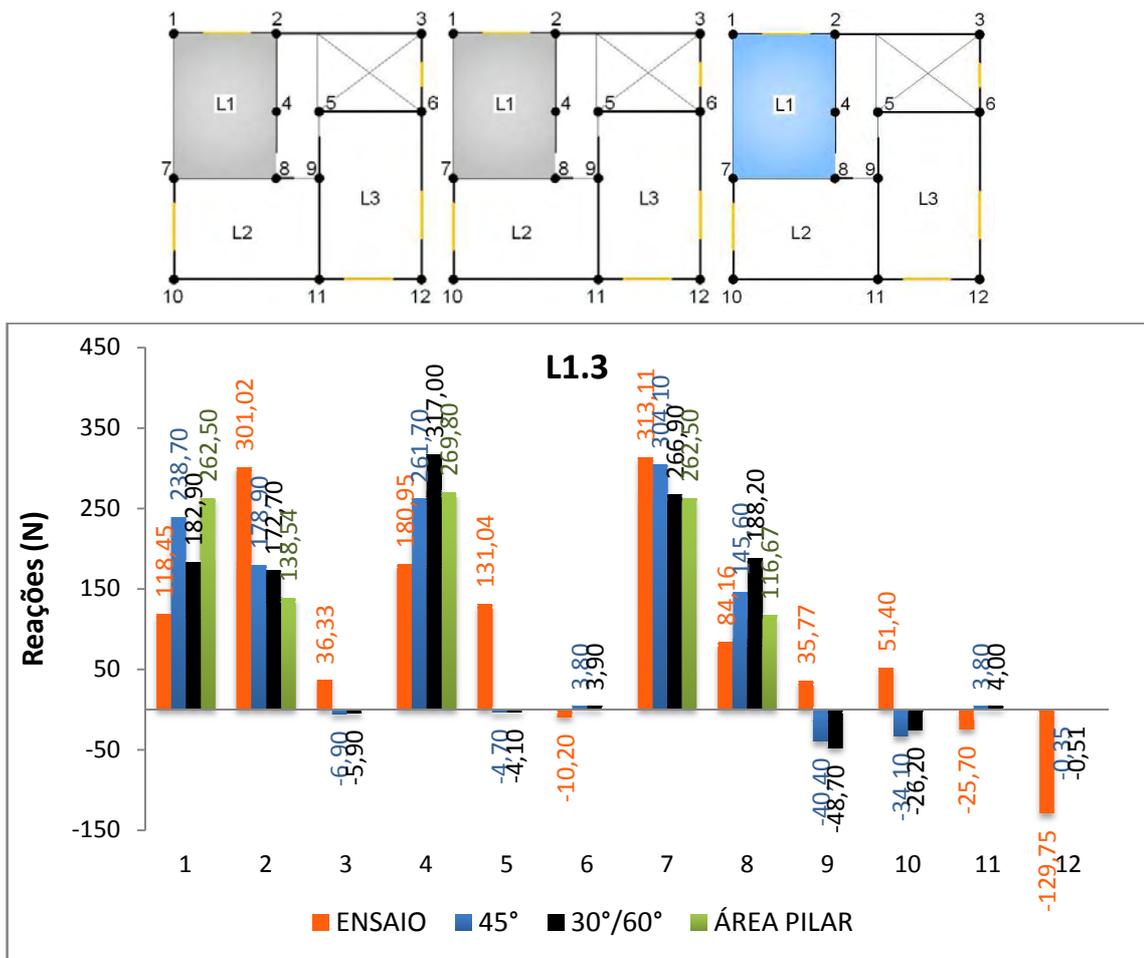


Figura 75 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (PI).

Em relação ao carregamento atuante na L1.2, aqui os resultados teóricos de reações nos apoios indicaram que: os pontos 1 e 2 se aproximaram, os pontos 4 e 7 se afastaram, e o ponto 8 se manteve. Considerando as divisões de área de influência adotadas, os resultados mais próximos do experimental nos apoios da região de carregamento foram obtidos, novamente, com ângulos de 45°, como se observa nos pontos 2, 4, 7 e 8, da mesma forma ocorrida com o carregamento anterior. Para o procedimento dos apoios adotados como pilares os resultados se mantiveram como no caso anterior.

Os resultados experimentais e teóricos das reações de apoio para o carregamento na laje da cobertura são apresentados na Figura 76, considerando a divisão das áreas de influência por ângulos de 45° e 30°/60°, além da consideração dos apoios como pilares. Agora os resultados teóricos são diferentes, pois a área carregada e o carregamento resultante são maiores.

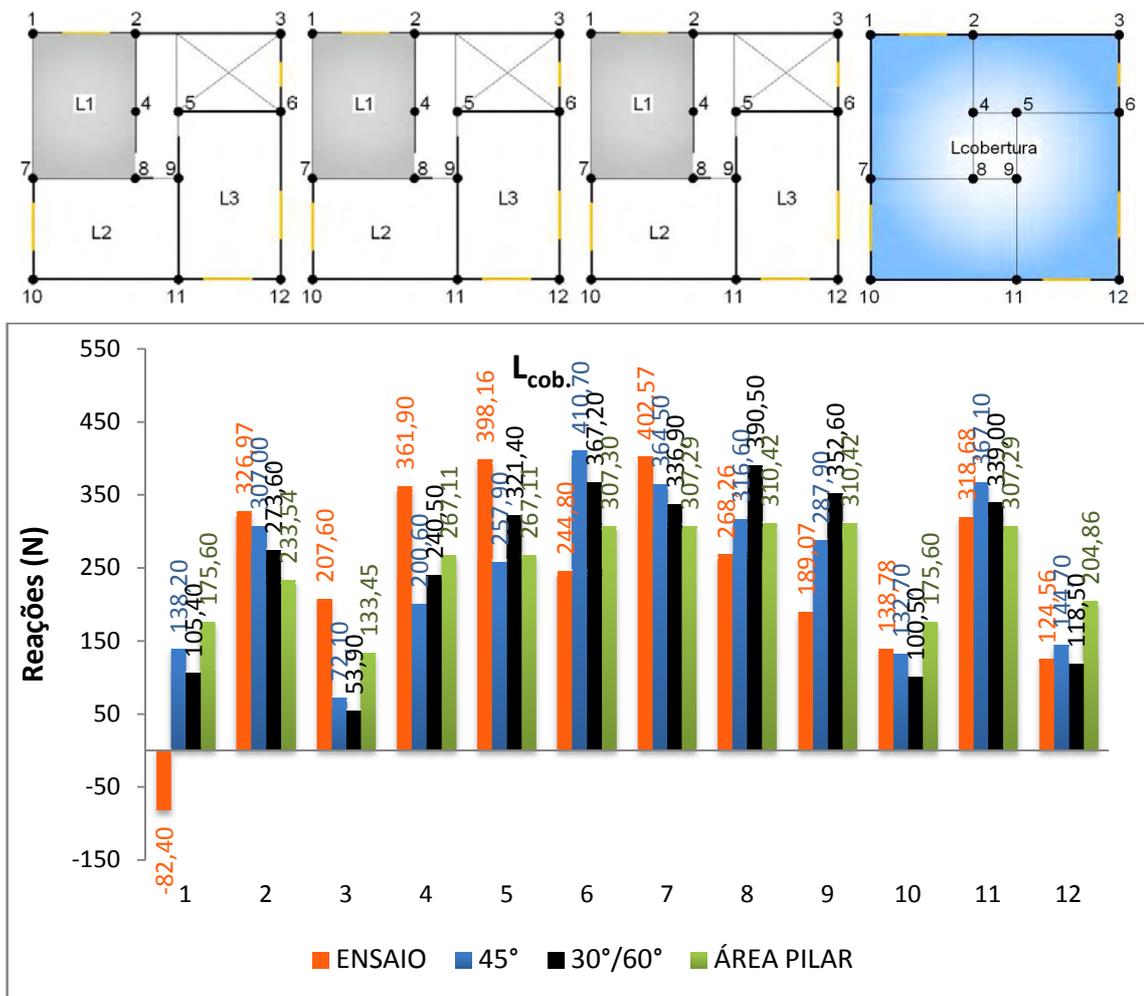


Figura 76 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (PI).

Neste carregamento, como já era de se esperar, as ações se distribuíram entre todos os apoios. Os resultados teóricos se mostraram mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, mesmo não considerando a interação entre as paredes, fato não constatado quando se carregou as lajes L1.1, L1.2 e L1.3, pois quanto mais se distribui o carregamento melhor será a homogeneização das ações.

Vale ressaltar que o carregamento foi aplicado em toda a área do último pavimento, ou seja, a distribuição das ações verticais neste caso pode ocorrer com maior eficiência do que quando se carregou os pavimentos inferiores, em virtude da maior altura de aplicação da carga em relação às paredes do térreo. Assim, mesmo tratando as paredes como independentes uma das outras os resultados foram mais satisfatórios do que os apresentados anteriormente, sendo que as menores diferenças ocorreram nos apoios 2, 7, 10, 11 e 12.

Interessante observar o ponto 1 que apresenta reação experimental de tração em consequência do fluxo de tensões e deformações das células de cargas e vigas baldrames da estrutura quando carregada na cobertura, é notório que o procedimento teórico adotado não consegue captar esta situação uma vez que o mesmo não considera a estrutura já solicitada com carregamentos pré existentes nas lajes L1 abaixo da cobertura, pois essas ações ocasionaram deformações na estrutura aumentando a compressão no referido ponto, ocorrendo alívio ao carregar a cobertura, tracionando o mesmo ponto.

Os resultados teóricos apresentados, em relação ao experimental, sempre foram menores nos apoios 2, 3, 4, 5, 7 e 10, e maiores nos pontos 6, 8, 9 e 11. Assim, verifica-se que o procedimento, na maioria das vezes, subestimou os valores de reação apresentados no ensaio. Os pontos 2, 3, 7, 8, 9 e 10 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45° , já para os demais pontos foi com ângulos de $30^\circ/60^\circ$. Assim, os resultados mais próximos foram novamente com divisão a 45° .

Para o procedimento dos apoios como pilares, observa-se que o mesmo apresenta resultados mais uniformes em relação aos outros. Os resultados se alternaram entre maiores e menores que o experimental. Assim, verifica-se que para este procedimento as melhores respostas são obtidas quando se carrega uma área que engloba mais apoios. Nos apoios em que se tiveram

as menores diferenças no procedimento das paredes isoladas, pontos 2, 7, 10, 11 e 12, somente o apoio 11 apresentou resultados satisfatórios para este procedimento.

7.1.2 Resultados e Comparações - Caso 2

Nas figuras seguintes são apresentados os resultados individuais tanto teóricos quanto experimentais de reações de apoio para o Caso 2 de carregamento, ou seja, carregando de baixo para cima até a cobertura pelo ambiente 2.

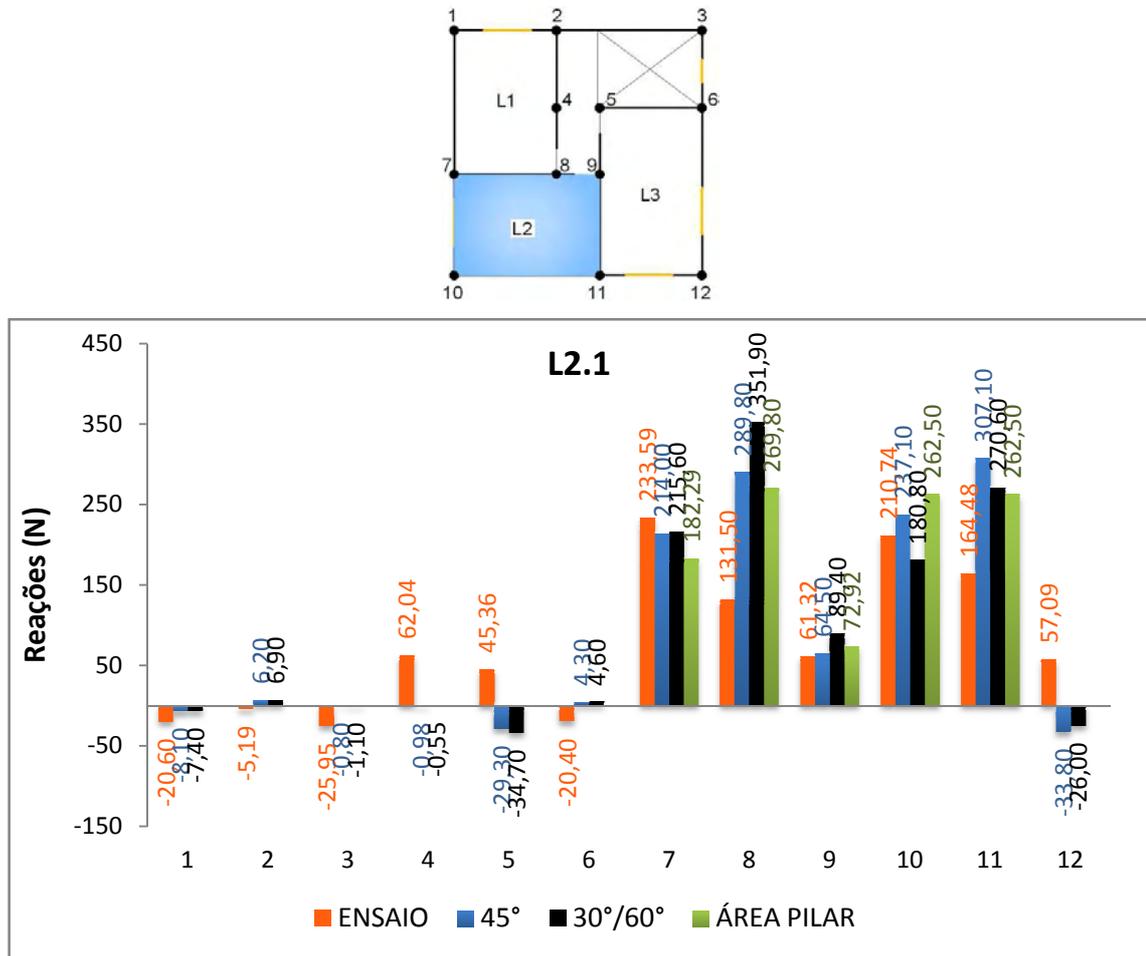


Figura 77 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (PI).

Os maiores valores obtidos com o procedimento teórico estão nos apoios 7, 8, 9, 10 e 11, pertencentes ao contorno da área carregada. Tais resultados já eram esperados, pois o procedimento não considera a interação entre paredes que se interceptam, sendo que a carga

em determinada parede flui exclusivamente por ela até as vigas da fundação. Estes resultados também se repetem na Figura 78 e Figura 79. Para o carregamento atuando na L2.1 e L2.2 os valores teóricos encontrados, em relação ao experimental, foram de maneira geral: menores no apoio 7 e maiores nos pontos 8, 10 e 11, e bem próximos no apoio 9. Considerando a L2.3 carregada os resultados do apoio 10 se aproximaram mais do experimental.

Com relação às considerações de divisão da área de influência adotadas, com ângulos de 45° os resultados mais próximos do experimental nos apoios da região de carregamento, para a ação atuando na L2.1 e L2.3, foram: 8, 9 e 10, já com ângulos de 30°/60° foi o ponto 7 e 11. Quando a ação atuava na L2.2, conforme Figura 78, o ponto 10 passou a apresentar maior proximidade do experimental quando se considerou a divisão com ângulos de 30°/60°. De maneira geral, os resultados mais próximos foram com divisão a 45°.

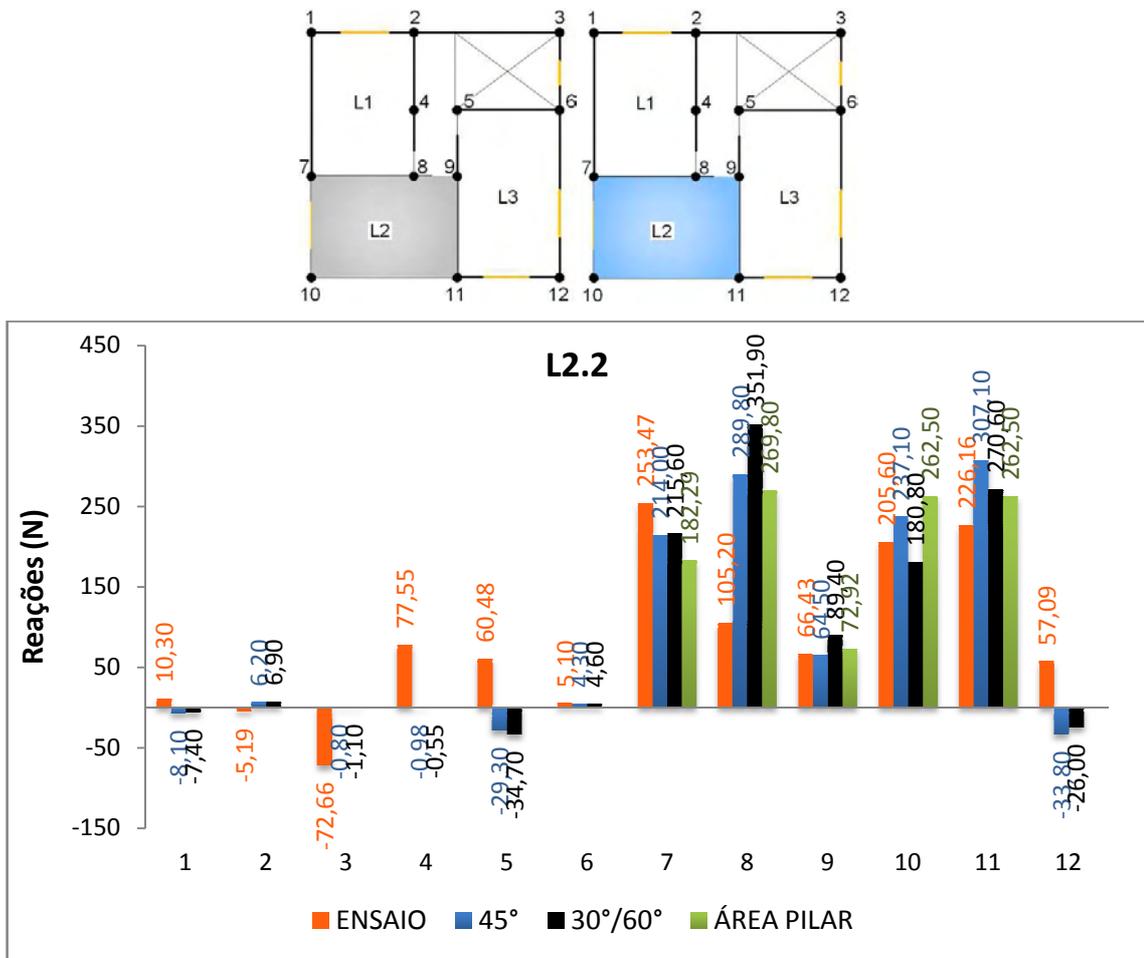


Figura 78 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (PI).

A consideração dos apoios como pilares, nas Figuras 81 a 83, resultaram em reações somente nos pontos sob a área carregada. Tanto para carregamento atuando na L2.1, L2.2 e L2.3, a maioria dos resultados foram maiores que o experimental nos pontos abaixo da área carregada, com exceção do apoio 7 ocorrendo o inverso. Também foi possível observar que conforme se aumentava a distância de aplicação do carregamento, de L2.1 para L2.2 e posteriormente a L2.3, os resultados nos apoios 9, 10 e 11 foram se aproximando, sendo que para a L2.1 carregada o ponto 9 apresentava melhor resultado, com a L2.2 carregada o ponto 9 e 10 mostraram melhores resultados, já ao se carregar a L2.3 o resultado do apoio 11 também se aproximou. Assim, os resultados deste procedimento foram melhores quando o carregamento atuou mais distante das paredes do térreo.

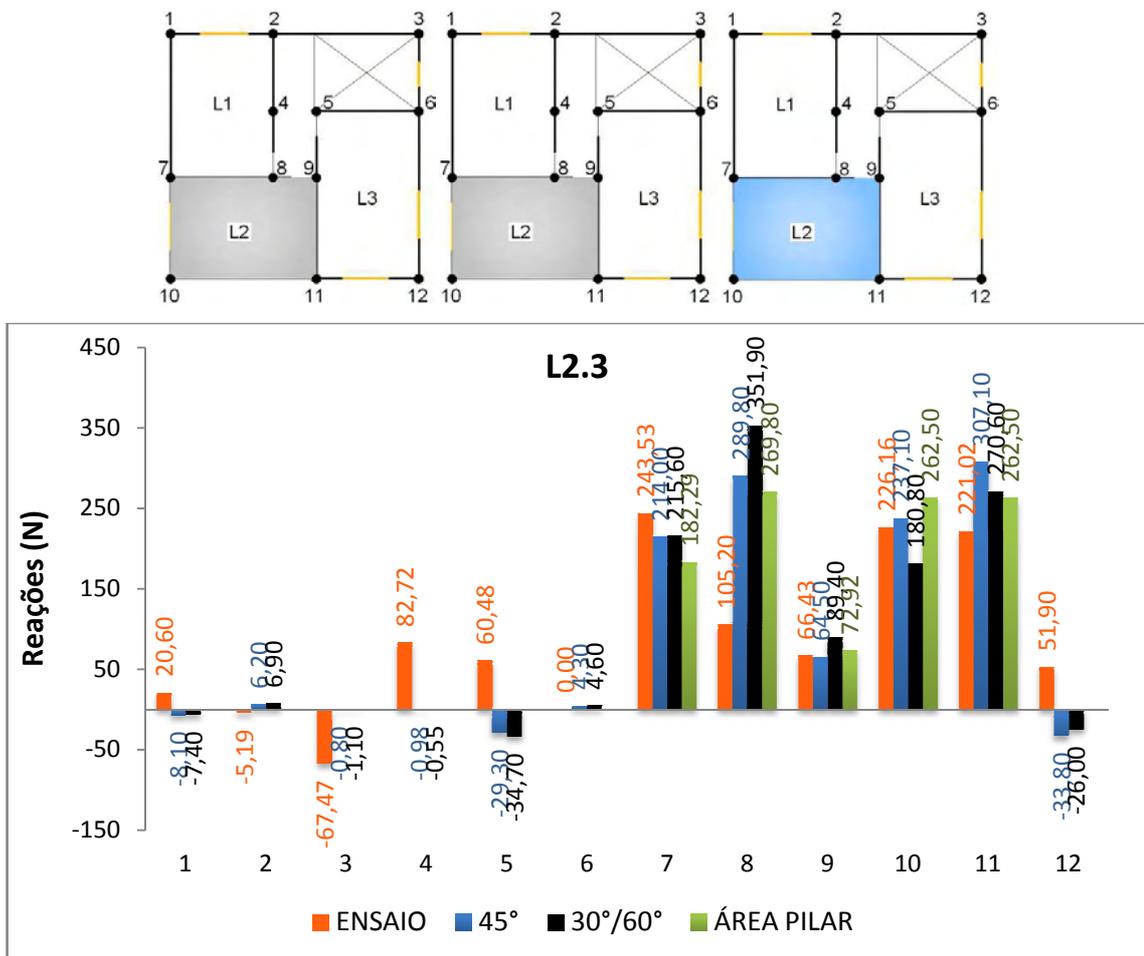


Figura 79 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (PI).

Atuando carregamento na cobertura, têm-se os resultados experimentais e teóricos das reações de apoio, conforme a Figura 80.

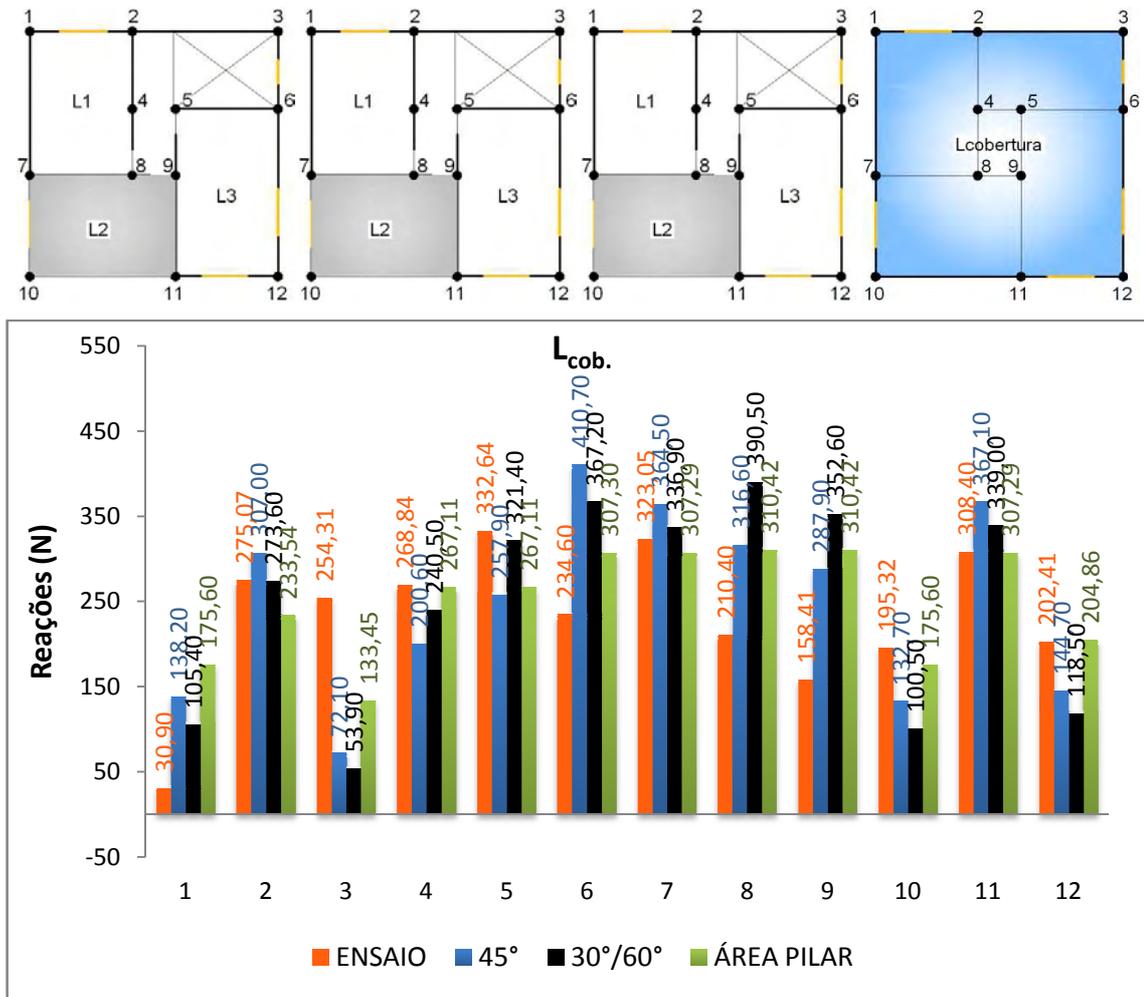


Figura 80 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (PI).

Analogamente ao Caso 1, neste carregamento da Figura 80, as ações se distribuíram entre todos os apoios. Também se verifica que os resultados teóricos apresentados adotando paredes isoladas, mostraram-se mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, fato não observado quando se carregou as lajes L2.1, L2.2 e L2.3. Portanto, mesmo tratando as paredes como independentes os resultados foram mais satisfatórios do que os apresentados anteriormente, sendo que as menores diferenças ocorreram nos apoios 2, 7, 10, 11 e 12, como observado também para o Caso 1.

Os resultados teóricos apresentados, em relação ao experimental, sempre foram menores nos apoios 3, 4, 5, 10 e 12, e maiores nos pontos 1, 6, 7, 8, 9 e 11. Os apoios 3, 8, 9, 10 e 12 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45°, já os pontos 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 11 foi com ângulos de

30°/60°. Neste caso, os resultados mais próximos foram com divisão a 30°/60°, contrário ao observado no Caso 1. Na hipótese dos apoios como pilares, observa-se que o mesmo apresentou resultados mais uniformes em relação aos anteriores como visto no Caso 1.

7.1.3 Resultados e Comparações - Caso 3

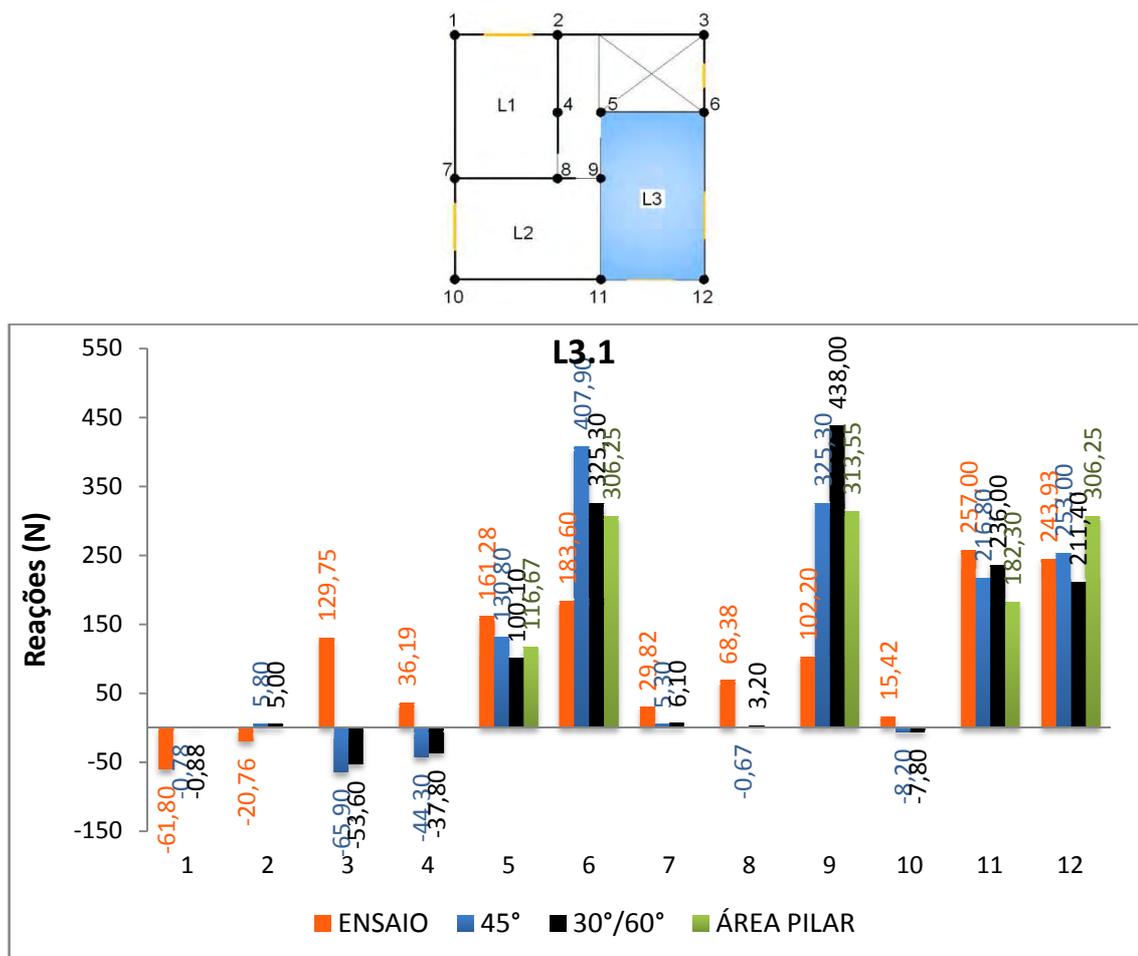


Figura 81 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (PI).

Analogamente aos casos anteriores, nas Figuras 81 a 84 são apresentados os resultados individuais tanto teóricos quanto experimentais de reações de apoio para o Caso 3 de carregamento.

Os maiores valores obtidos com o procedimento teórico estão nos apoios 5, 6, 9, 11 e 12, abaixo do contorno da área carregada, para o carregamento atuando na L3.1, L3.2 e L3.3. Para

o carregamento atuando no ambiente 3 da L3.1 a L3.3, conforme Figuras 85 a 87, os valores teóricos encontrados, em relação ao experimental, foram de maneira geral: menores nos apoios 5, 11 e 12, e maiores nos pontos 6 e 9. À medida que as lajes superiores do ambiente 3 foram carregadas, verifica-se que os resultados dos apoios 5, 6 e 9 se aproximaram do experimental, e os pontos 11 e 12 se afastaram.

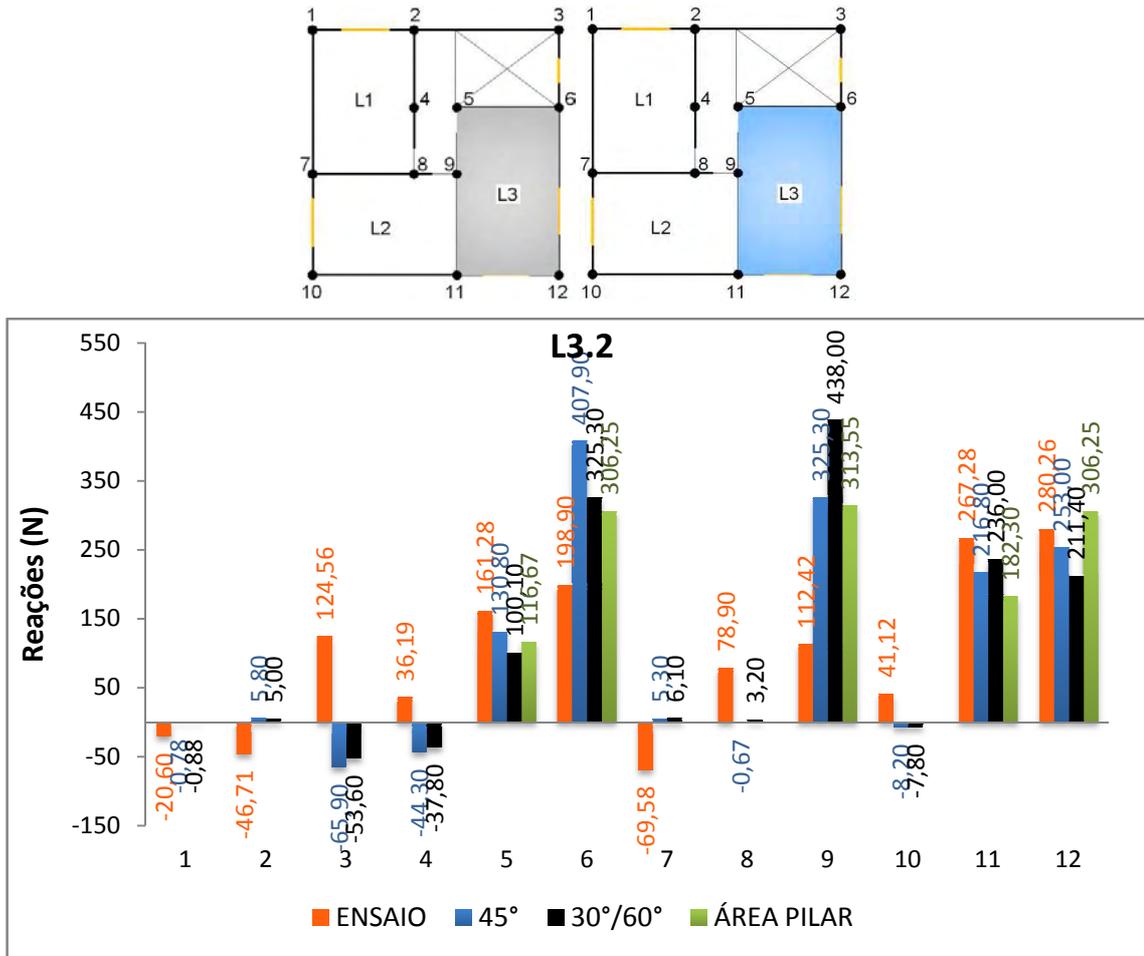


Figura 82 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (PI).

Em relação às divisões da área de influência adotadas, com ângulo de 45° os resultados mais próximos do experimental nos apoios da região de carregamento, para a ação atuando na L3.1, L3.2 e L3.3, foram: 5, 9 e 12, já com ângulos de 30°/60° foram os pontos 6 e 11. Desta maneira, os resultados mais próximos foram com divisão a 45°, confirmando os resultados obtidos nos Casos 1 e 2.

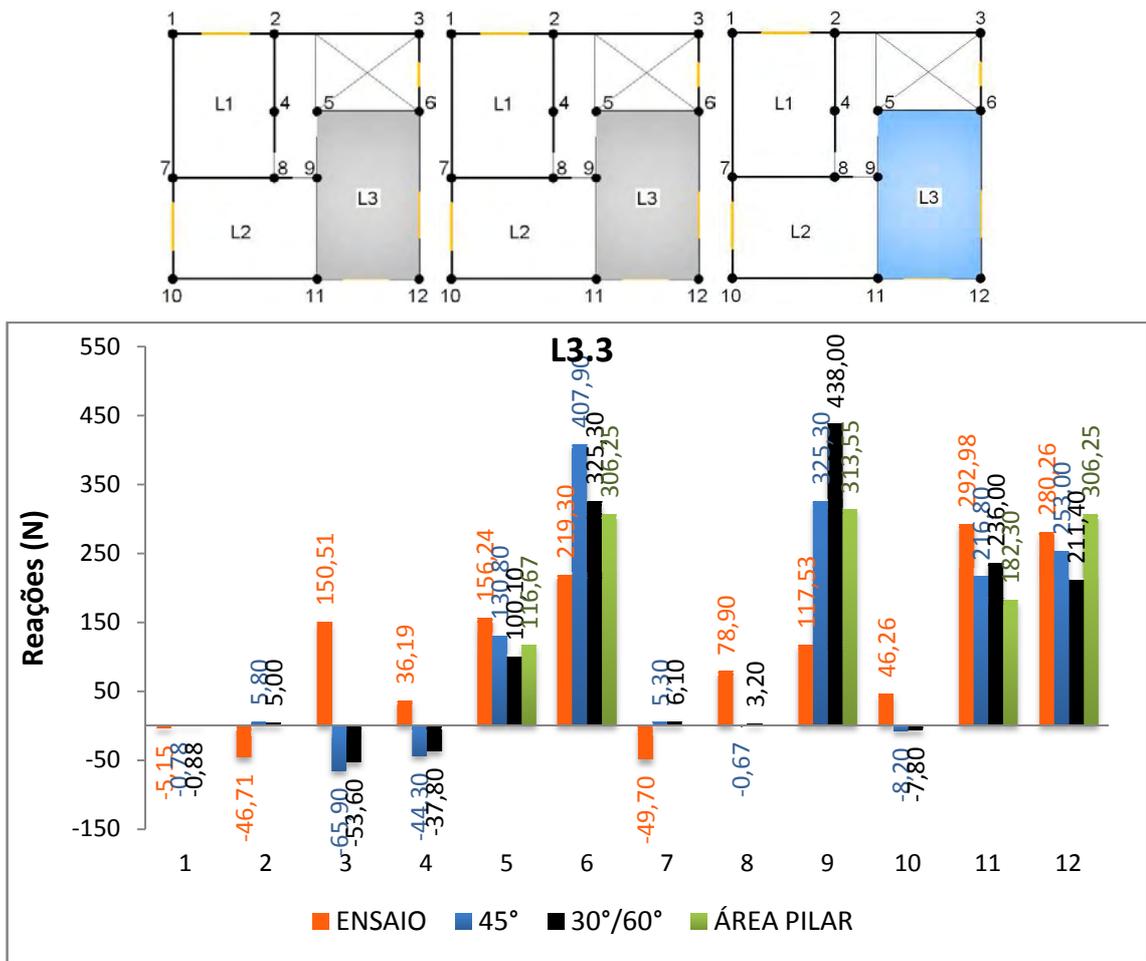


Figura 83 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (PI).

Para a hipótese dos apoios como pilares, nas Figuras 85 a 87, os resultados deste procedimento foram melhores quando o carregamento atuou mais distante das paredes do térreo, fato constatado nos casos anteriores.

Na Figura 84 são visualizados os resultados experimentais e teóricos das reações de apoio para o carregamento atuando na laje da cobertura, sendo evidente que as respostas teóricas obtidas pelo procedimento das paredes isoladas estão mais próximas dos valores experimentais, igual ao visto nos Casos 1 e 2.

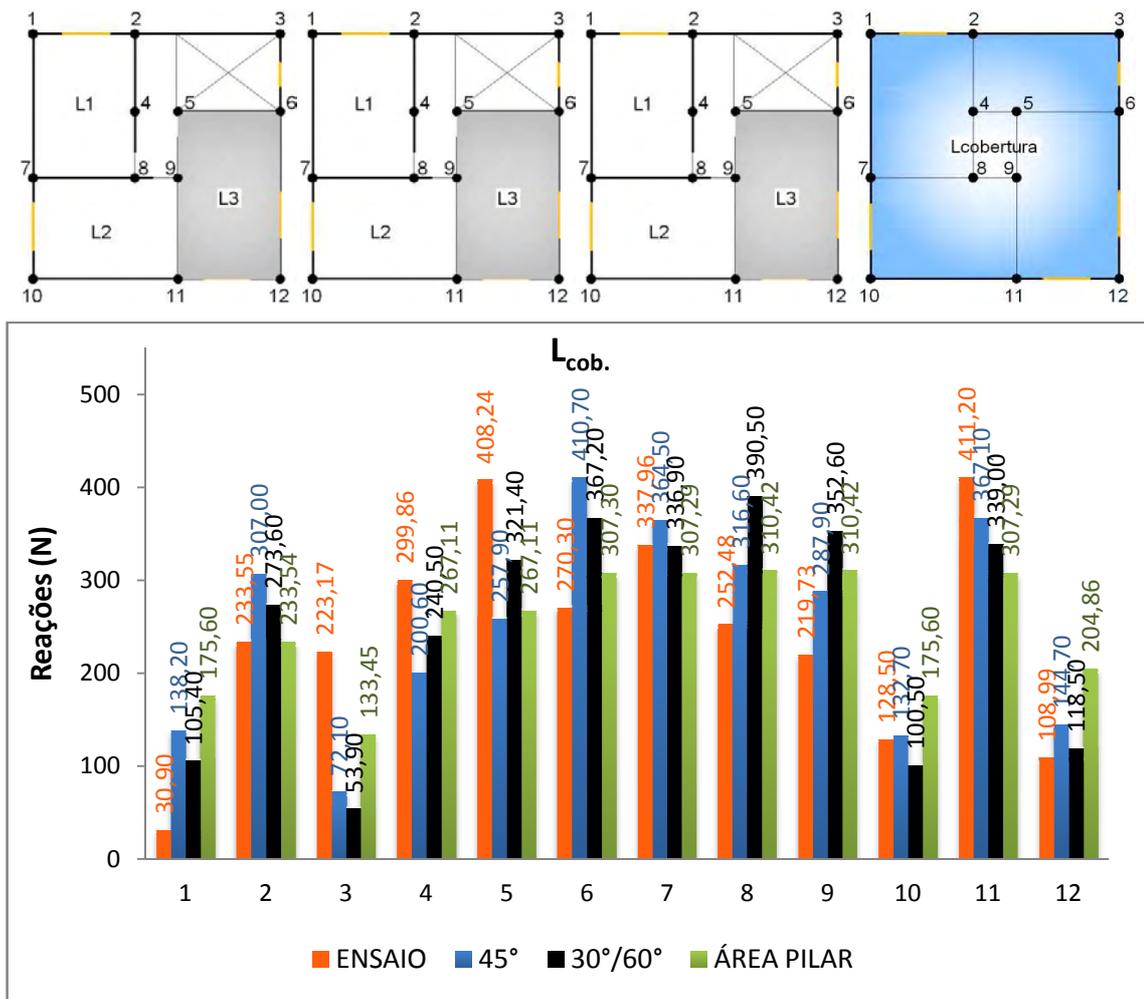


Figura 84 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (PI).

Os resultados teóricos apresentados, em relação ao experimental, sempre foram, na maioria das vezes, maiores nos pontos 1, 2, 6, 7, 8, 9 e 12 e menores nos demais. Os pontos 3, 8, 9, 10 e 11 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45°, já para os pontos 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 12 foi com ângulos de 30°/60°. Assim, os resultados mais próximos foram, de maneira geral, com divisão a 30°/60°, como no Caso 2.

Para o procedimento dos apoios como pilares, verifica-se que, na maioria das vezes, subestimou os valores de reação apresentados no ensaio, análogo ao Caso 2.

7.1.4 Resultados e Comparações - Caso 4

Este caso de carregamento é diferente dos anteriores, agora a ação é aplicada nos ambientes 1, 2 e 3 concomitantemente, com exceção do hall. Sequencialmente são apresentados os resultados das reações de apoio para o carregamento atuando do 1º pavimento até a cobertura.

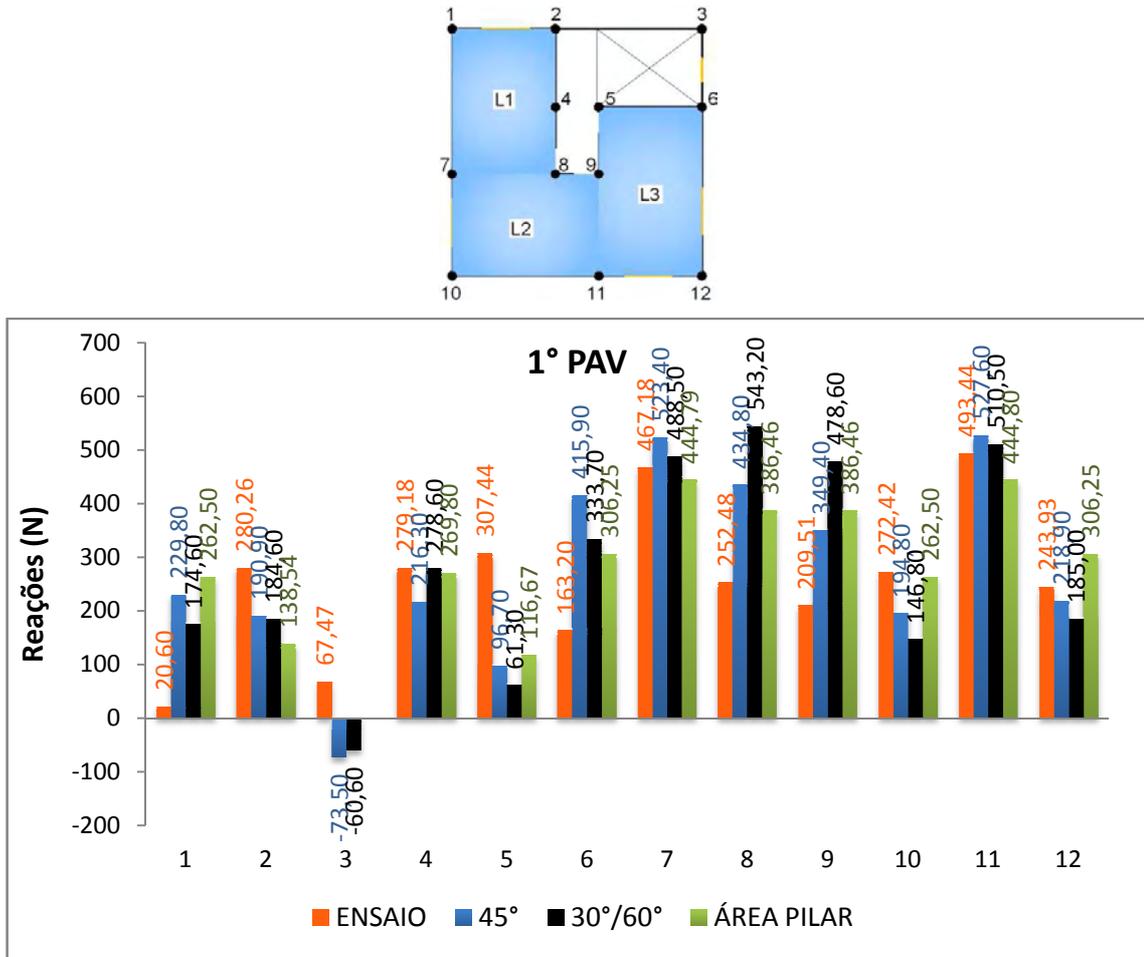


Figura 85 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (PI).

Com este carregamento, em razão da maior área carregada, as ações se distribuem entre todos os apoios. Fica evidente que neste caso os resultados teóricos apresentados pelo procedimento das paredes isoladas, mostraram-se mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, mesmo desconsiderando a interação entre as paredes, fato não constatado quando se carrega os ambientes individuais.

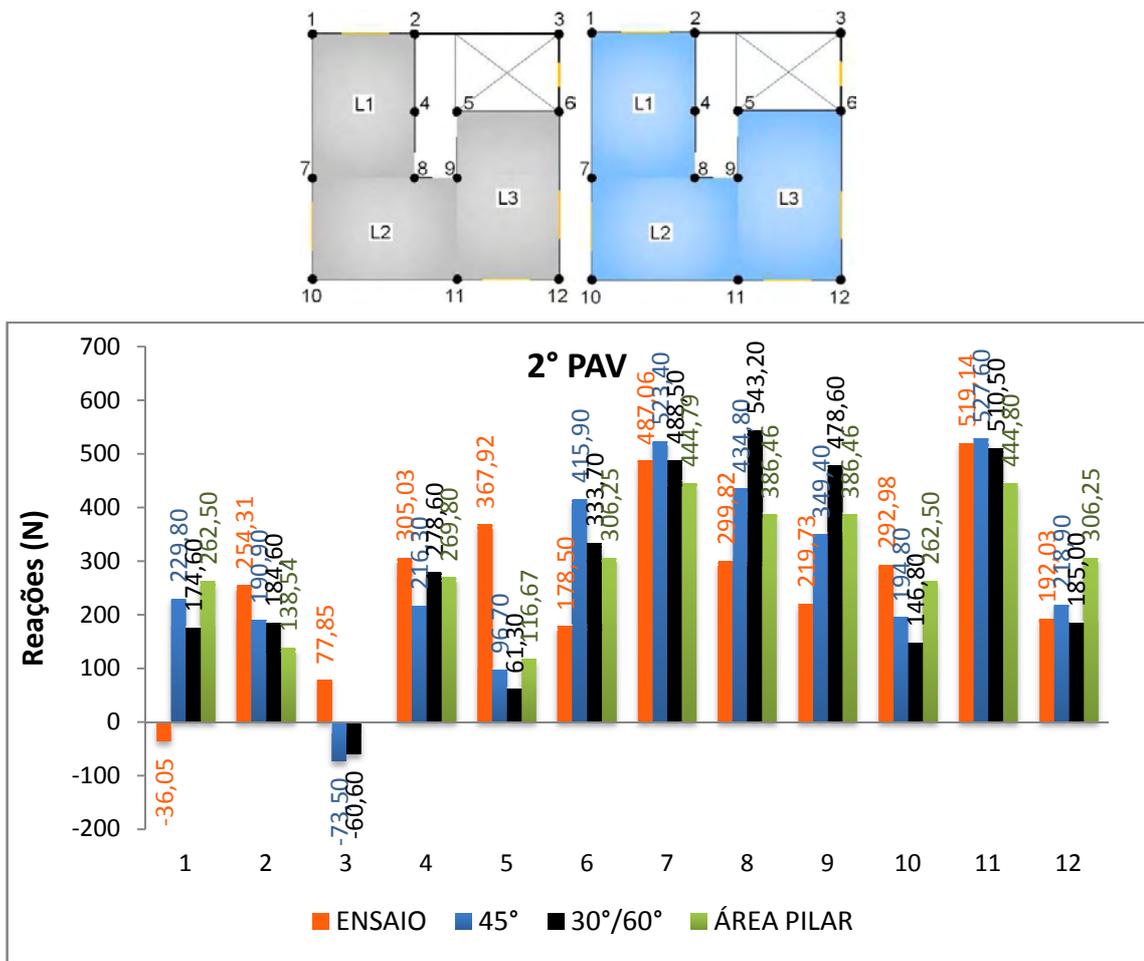


Figura 86 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (PI).

Em relação à divisão das áreas de influência, observou-se que para o 1º pavimento carregado os pontos 2, 5, 8, 9, 10 e 12 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45°, para o 2º pavimento carregado foram os pontos 2, 5, 8, 9, 10 e 11 e para o 3º pavimento carregado foram os apoios 2, 5, 7, 8, 9, 10 e 11. Todos os demais apoios apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental com divisão de 30°/60°. Assim, os resultados mais próximos foram novamente com divisão a 45°.

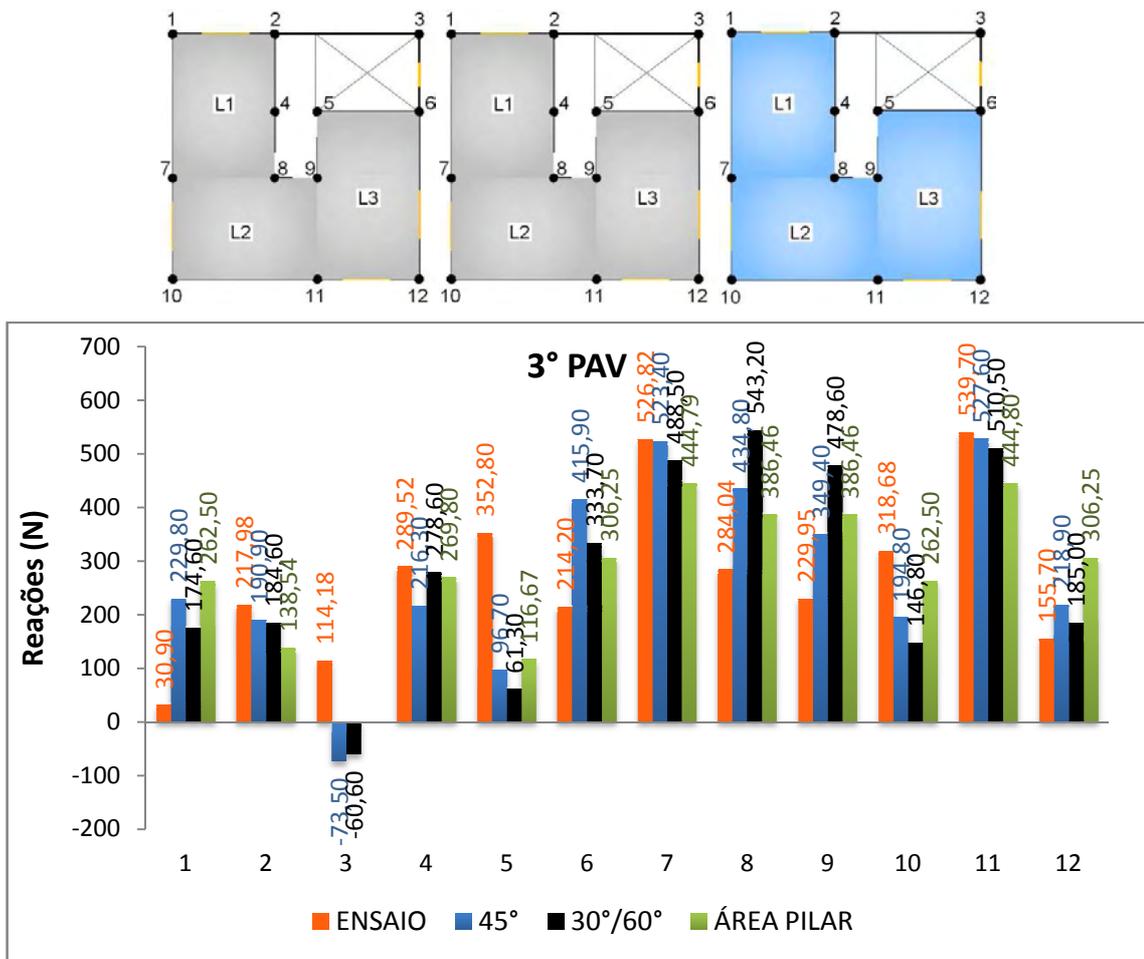


Figura 87 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (PI).

Para o procedimento dos apoios como pilares, os resultados sempre foram menores, em relação ao experimental, nos apoios 2, 4, 5, 7, 10 e 11, e maiores nos pontos 1, 6, 8, 9 e 12.

Considerando a ação atuando na cobertura, conforme Figura 88, os resultados teóricos apresentados pelo procedimento se mostraram mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, mesmo não considerando a interação entre as paredes, fato não constatado quando se carregou os pavimentos inferiores.

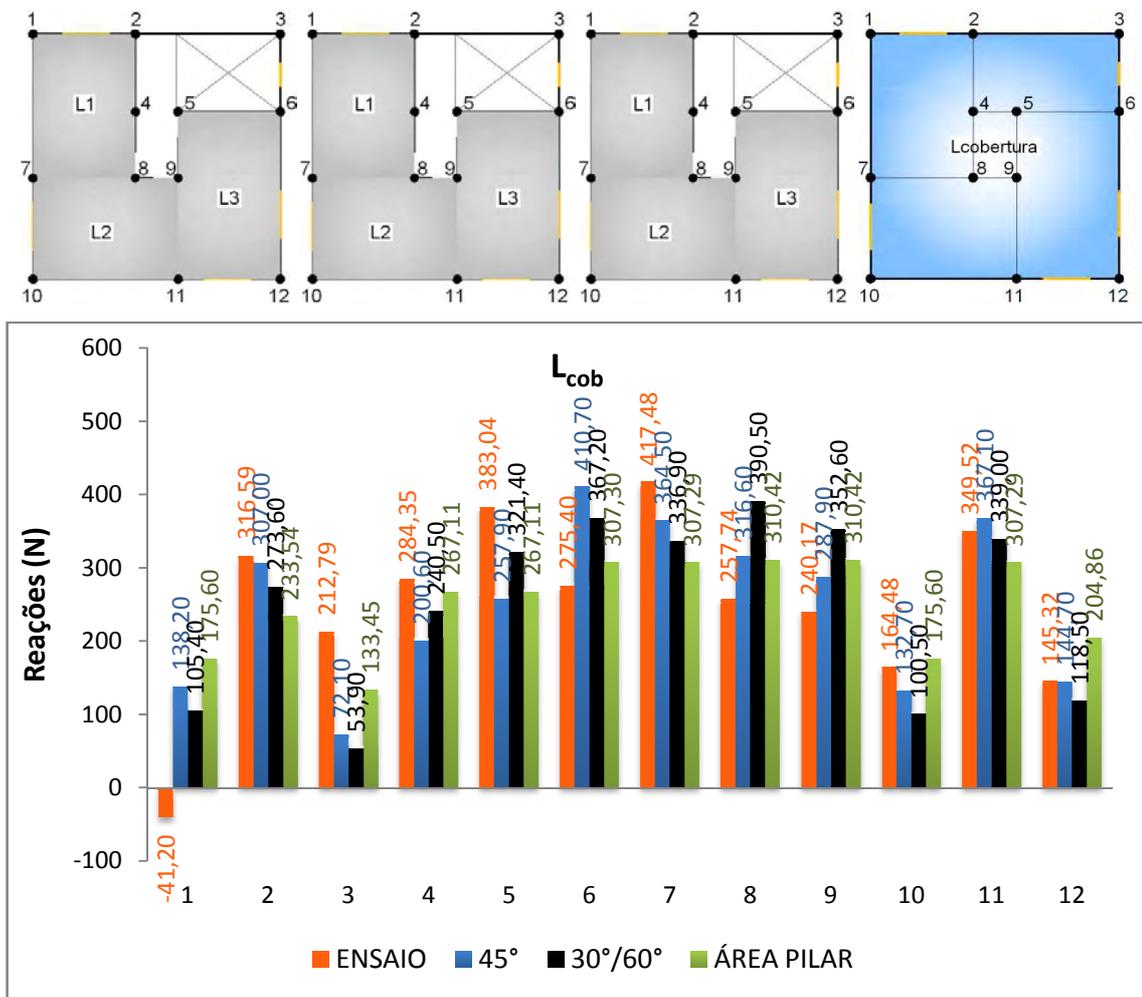


Figura 88 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (PI).

Os resultados teóricos apresentados, em relação ao experimental, sempre foram menores nos apoios 2, 3, 4, 5, 7, 10 e 12, e maiores nos pontos 1, 6, 8, 9 e 11. Assim, verifica-se mais uma vez que o procedimento subestima os valores de reação apresentados no ensaio. Os apoios 2, 3, 7, 8, 9, 10 e 12 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45°, sendo os demais pontos com ângulos de 30°/60°. Portanto, os resultados mais próximos foram novamente com divisão a 45°.

Considerando os apoios como pilares, os resultados sempre foram menores, em relação ao experimental, nos apoios 2, 3, 4, 5, 7 e 11, e maiores nos outros. Verifica-se, mais uma vez, que os resultados são melhores quando a área carregada atua sobre uma quantidade maior de apoios.

7.2 Grupos de Paredes (GP)

Agora, considera-se que as paredes interagem entre si formando grupos, mas que não interagem com outros. A nomenclatura e comprimento das paredes seguem o estabelecido anteriormente na Figura 65. Na Figura 89 é apresentada a numeração destes grupos, sendo que sua escolha se baseou nas intersecções entre as paredes, e seus comprimentos foram limitados por uma abertura ou mudança de direção.

Os comprimentos das paredes foram adotados considerando as medidas de eixo a eixo das mesmas. A divisão da área de influência das lajes foi feita analogamente ao procedimento de paredes isoladas, sendo possível observar seus valores na sequência.

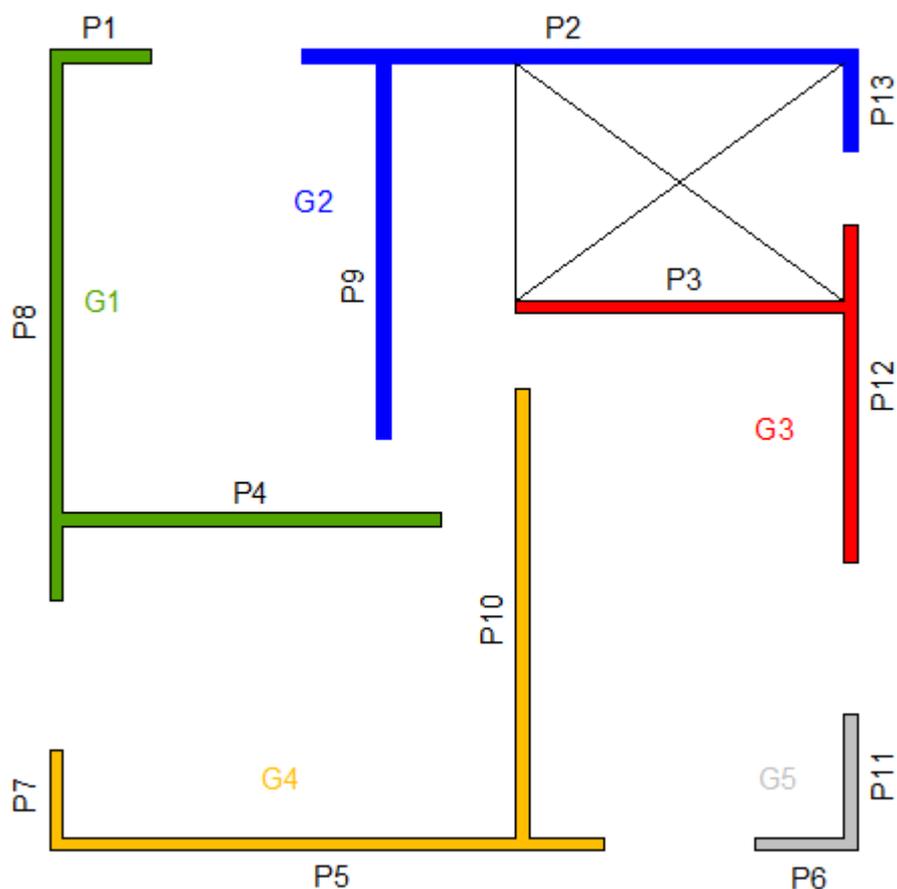


Figura 89 - Designação dos cinco grupos de paredes.

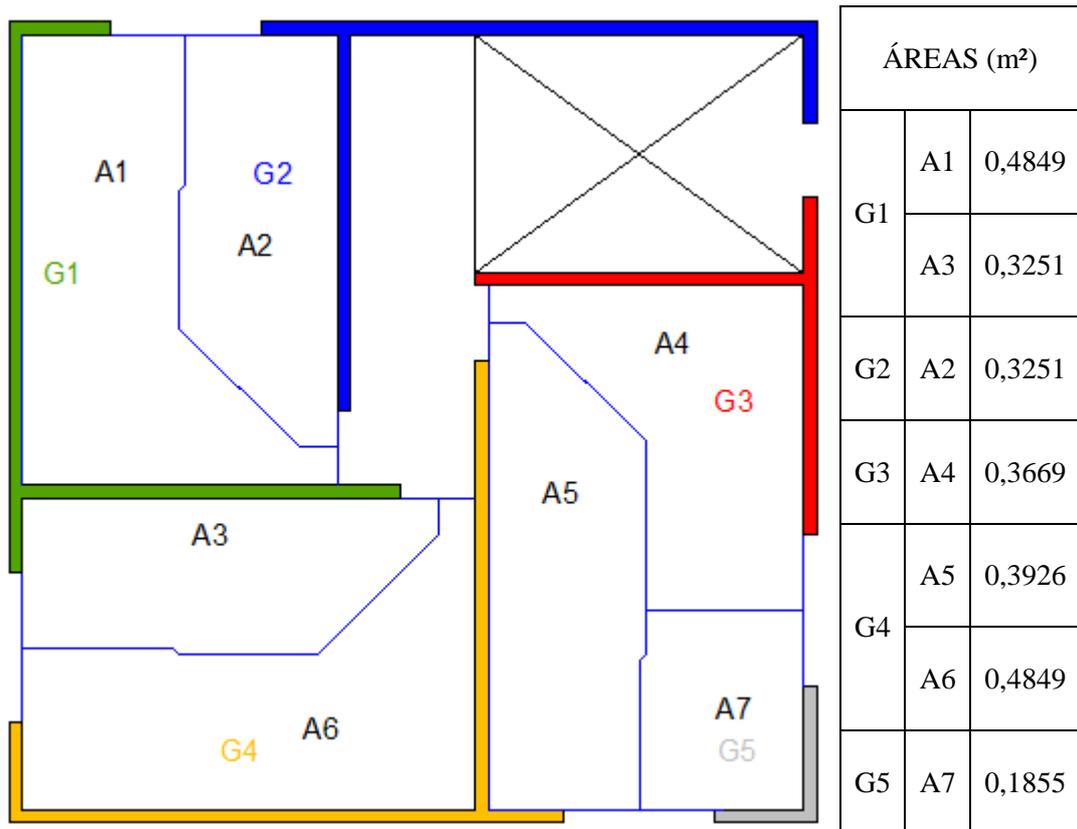


Figura 90 - Áreas de influência considerando 45° para o pavimento tipo - (GP).

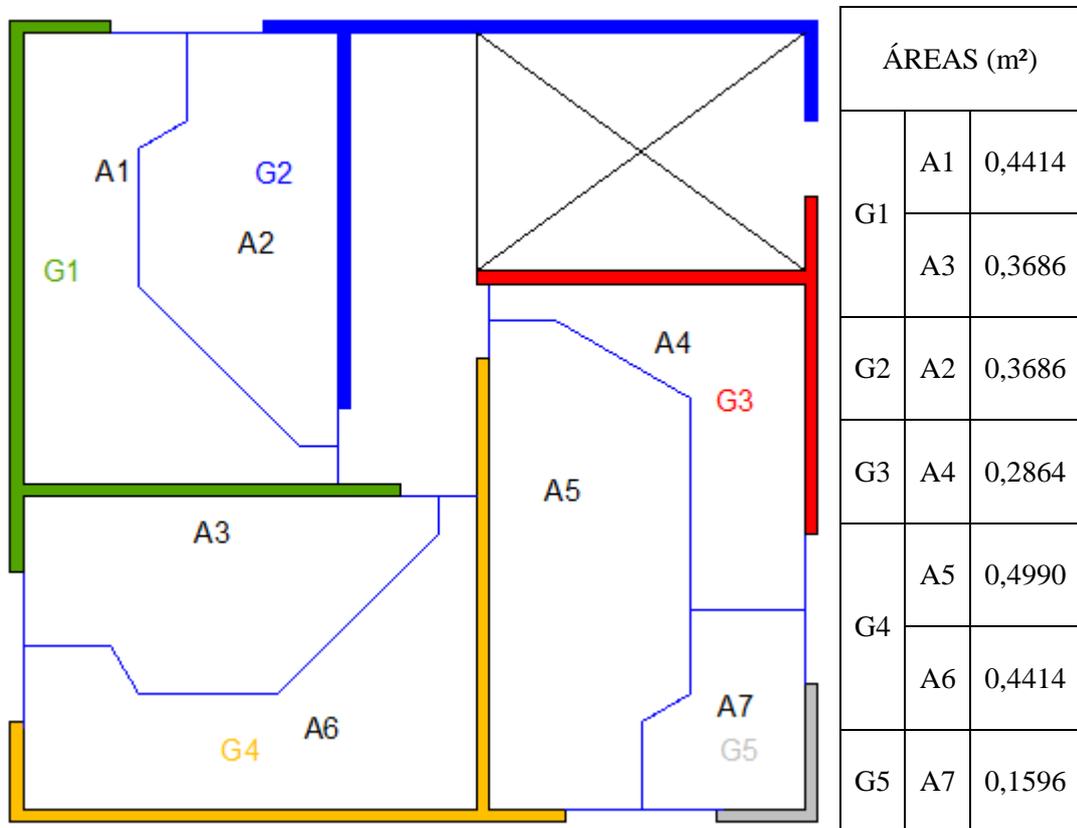


Figura 91 - Áreas de influência considerando 30°/60° para o pavimento tipo - (GP).

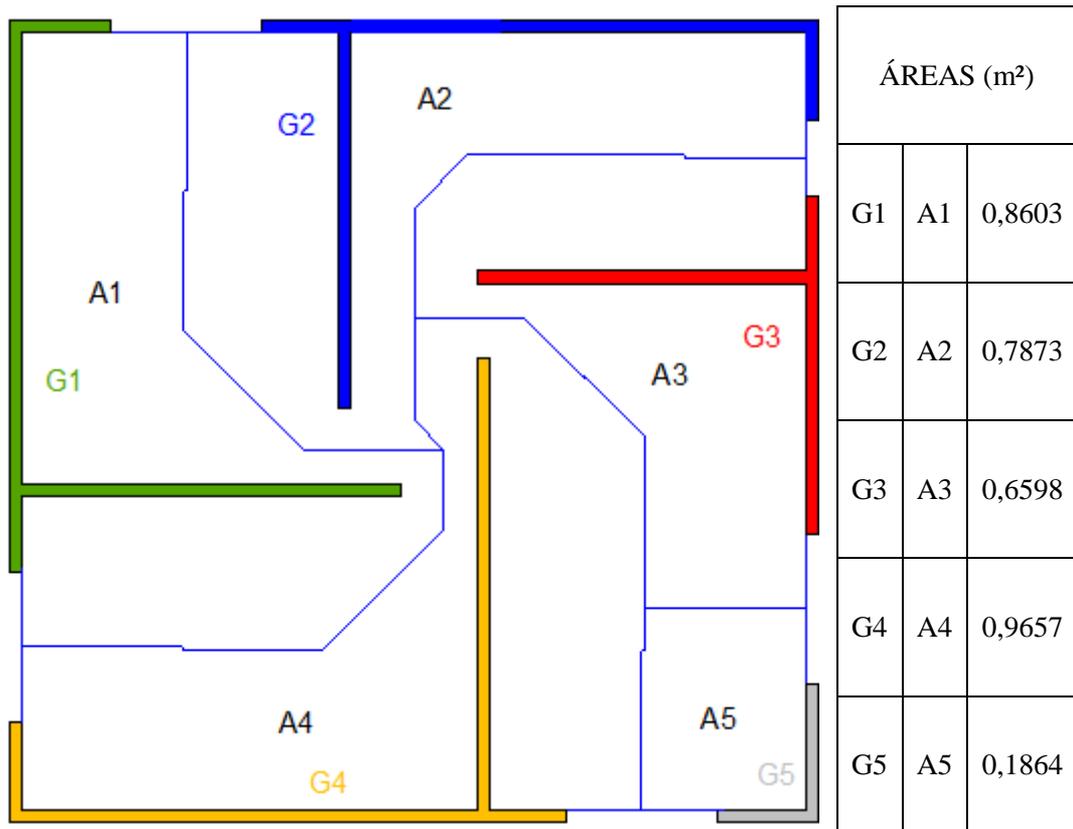


Figura 92 - Áreas de influência considerando 45° para a cobertura - (GP).

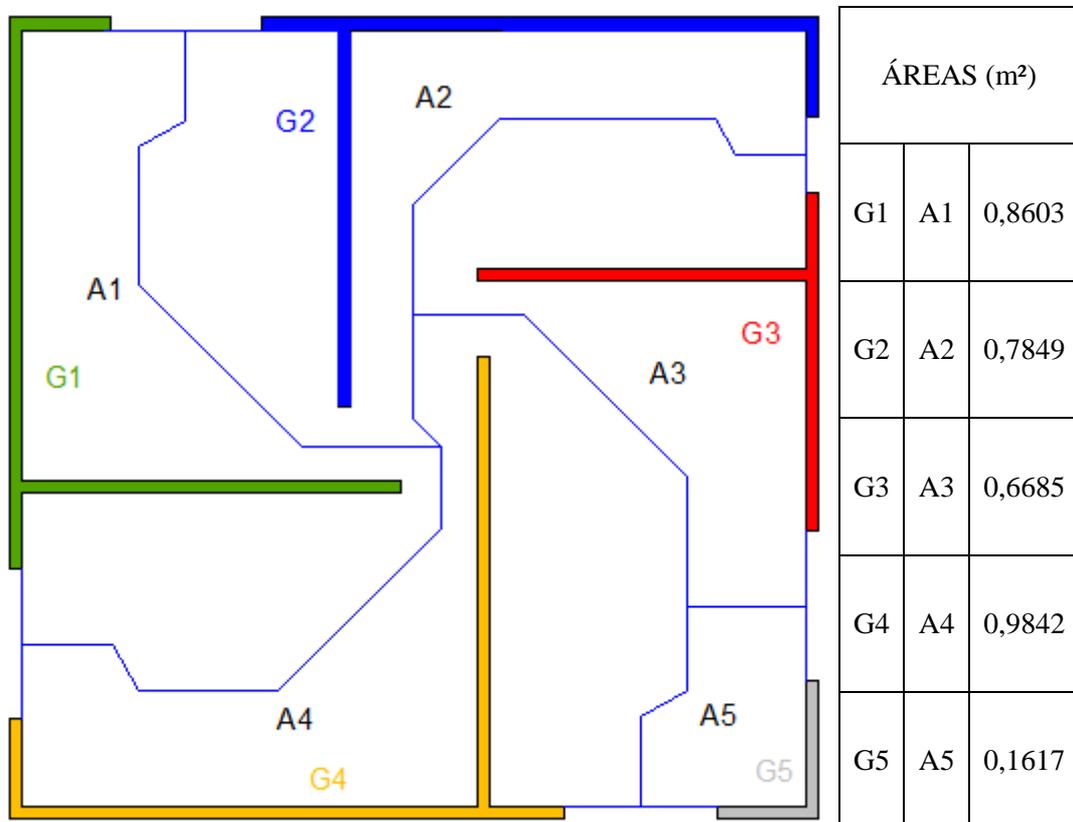


Figura 93 - Áreas de influência considerando 30°/60° para a cobertura - (GP).

Possuindo estas informações foram criadas planilhas para obtenção das ações uniformemente distribuídas sobre as paredes, como feito no procedimento anterior, considerando as diferentes formas de divisão das áreas de influência e ainda para os vários casos de carregamento já relatados. Na Tabela 11 tem-se os valores das ações uniformemente distribuídas nas paredes, para o caso de carregamento atuando na laje L1.

Consoante ao que foi dito anteriormente, como se trata de resultados teóricos estes valores independem da posição em relação à altura de aplicação de carregamento, ou seja, os resultados de carregamento nas lajes L1.1, L1.2 e L1.3 serão iguais, pois as ações nas paredes serão as mesmas. Semelhantemente para os Casos 2, 3 e 4. Informações completas sobre os carregamentos atuando nas paredes são apresentadas em anexo.

Tabela 11 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------|---------------------|---|---------------------------|--------------------------|---------|------------------------------|
| | | | A _i | A (m ²) | A _{TOTAL} (m ²) | | Cargas nos grupos (N) | | Cargas distribuídas (N/m) |
| G1 | P1 | 0,225 | A1 | 0,485 | 0,485 | 2,445 | X | 628,535 | 257,070 |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,325 | 0,325 | 2,445 | X | 421,452 | 172,373 |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A5 | 0,393 | 0,393 | 1,605 | | | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A4 | 0,367 | 0,367 | 2,625 | | | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A7 | 0,186 | 0,186 | 0,540 | | | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 45° | COMBINAÇÕES | | | L1 | | |

Como feito para as paredes isoladas, aqui as ações atuantes nas paredes também foram consideradas atuando nas vigas baldrame, assim, de posse das ações nas paredes as mesmas foram lançadas no sistema de grelha, sendo posteriormente obtidas as reações de apoio pelo programa SAP2000®.

Na Figura 94 são apresentados os valores das ações uniformemente distribuídas nas paredes do edifício e consequentemente as ações atuantes nas vigas baldrame da fundação. Novamente, salienta-se que a figura é esquemática, indicando, exclusivamente, que existe uma ação distribuída e que a mesma possui sentido vertical para baixo, independente do sentido apresentado na figura. Os valores de carregamento são apresentados em (N/m), sendo que aqueles decorrentes da consideração da divisão de áreas de influência em 30°/60° estão em vermelho, já os valores em preto são originados da divisão a 45°.

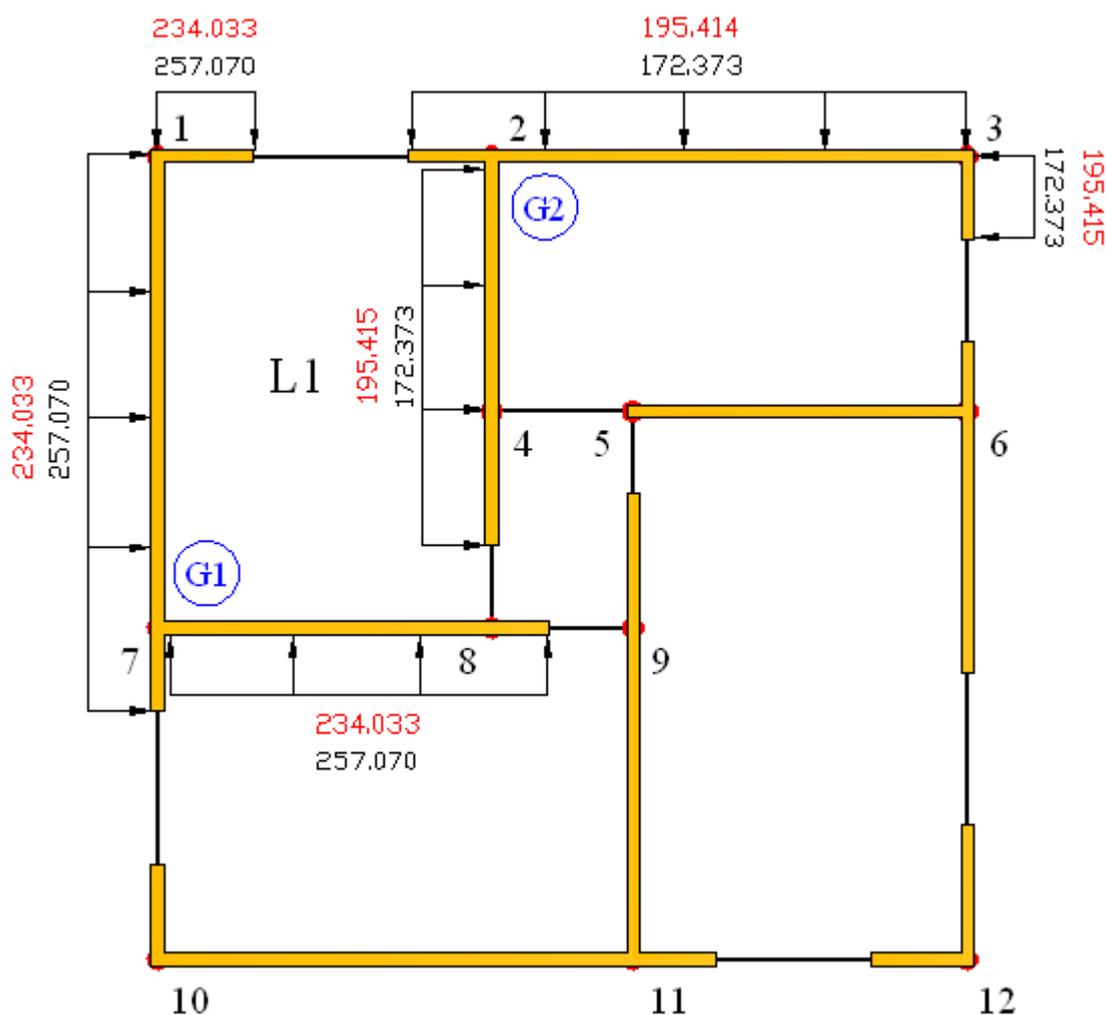


Figura 94 - Ações verticais uniformemente distribuídas nas vigas, laje L1 - (GP).

7.2.1 Resultados e Comparações - Caso 1

A metodologia adotada na apresentação dos resultados foi a mesma do procedimento de distribuição anterior. Por causa da consideração das paredes trabalhando como grupos existe uma maior uniformização das ações com melhor distribuição, como se observa na Figura 94, fazendo com que o carregamento distribuído chegue mais próximo de alguns apoios.

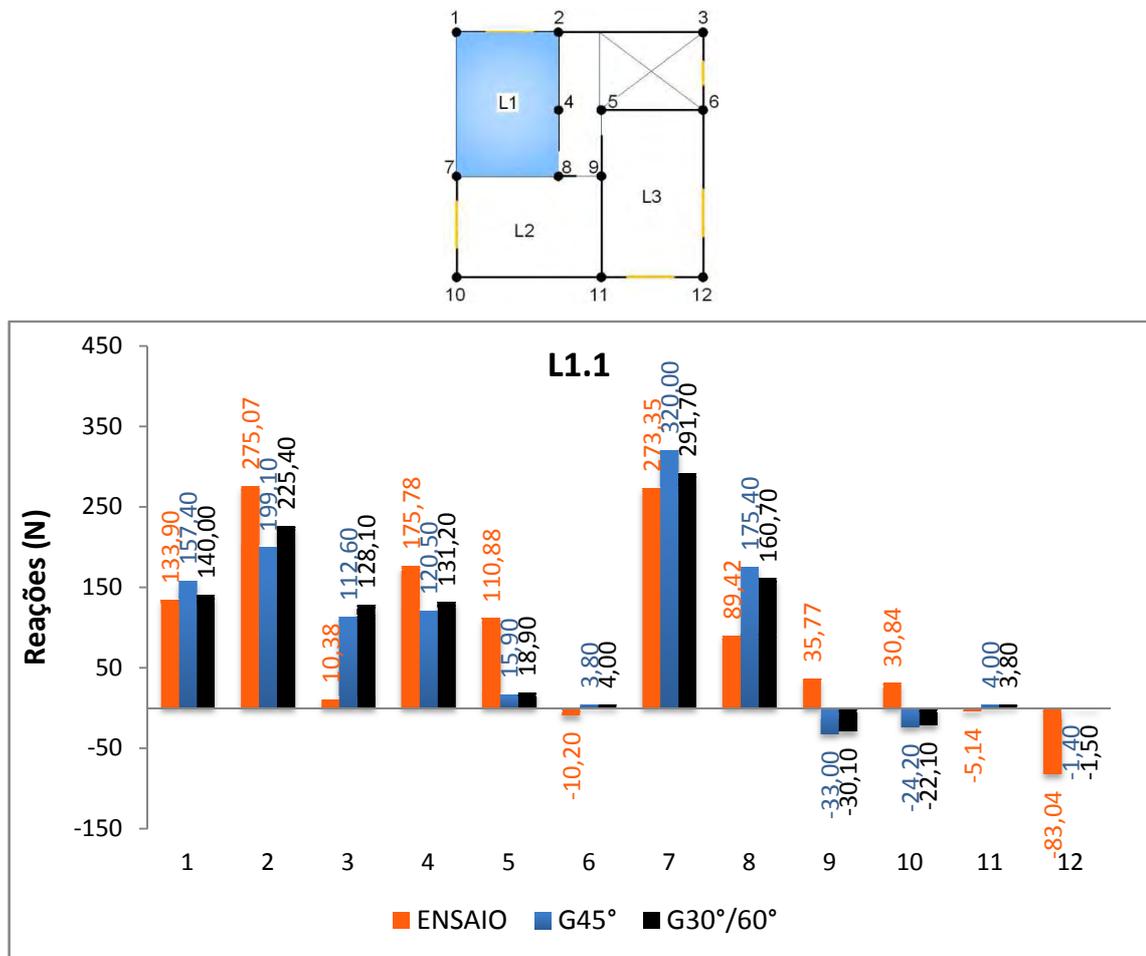


Figura 95 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (GP).

Considerando a ação atuando na L1.1, L1.2 e L1.3, conforme Figuras 99 a 101, os maiores valores teóricos de reação não estão somente nos apoios sob a área carregada, como se constatou no procedimento das paredes isoladas, mas também em pontos próximos a área carregada. Os pontos 1, 2, 4, 7 e 8, pertencentes ao contorno da área carregada, apresentaram resultados teóricos próximos do experimental, fato não constatado para os demais pontos.

Interessante observar que, nos pontos fora da região carregada, como se observa no apoio 3, a resposta experimental da estrutura foi bem menor que a obtida pelo procedimento teórico, pois o mesmo considerou que a ação na laje L1.1 se distribuiu pela parede entre os apoios 2 e 3 chegando até a sua extremidade, resultante em uma reação teórica elevada, o que não ocorreu. Para este apoio os resultados foram melhores quando se carregou os pavimentos superiores, como a laje L1.3. Portanto, o que se entende é que a ação certamente se distribuiu pela parede entre os pontos 2 e 3, mas não a ponto de produzir uma reação de apoio elevada em 3, sustentando a hipótese do carregamento ter chegado à viga baldrame um pouco antes do apoio 3.

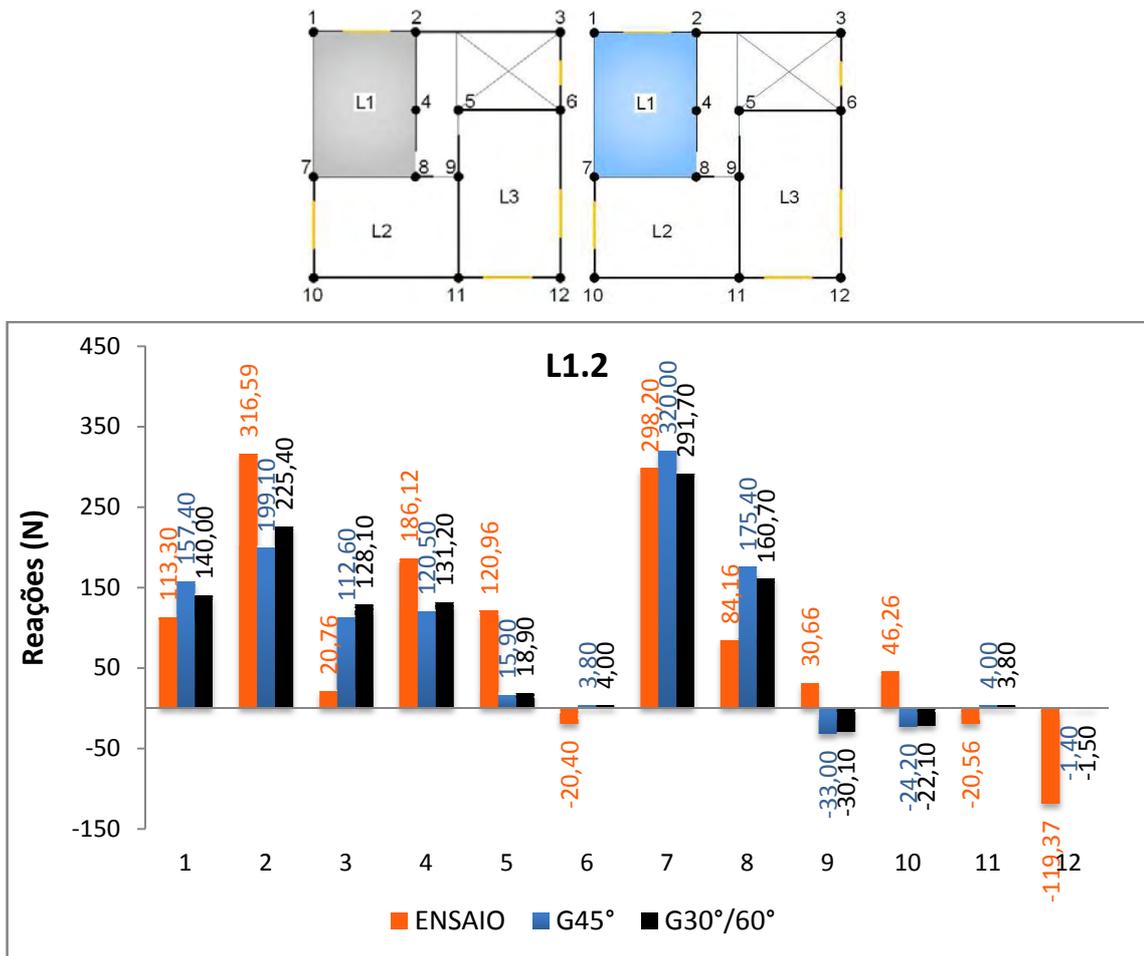


Figura 96 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (GP).

O apoio 5 também apresentou resultados teóricos bem diferentes do experimental, pois neste certamente ocorreu transferência de ações verticais em virtude da presença da laje, já que, como se sabe, entre os apoios 4 e 5 não existe alvenaria que possa favorecer a transferência de

esforços, mas somente a laje do pavimento superior. Assim neste caso, este procedimento não consegue computar o efeito desta laje. A situação do parágrafo anterior e deste é observada nos carregamento atuando da L1.1 até a L1.3, como se observa nas Figuras 99 a 101.

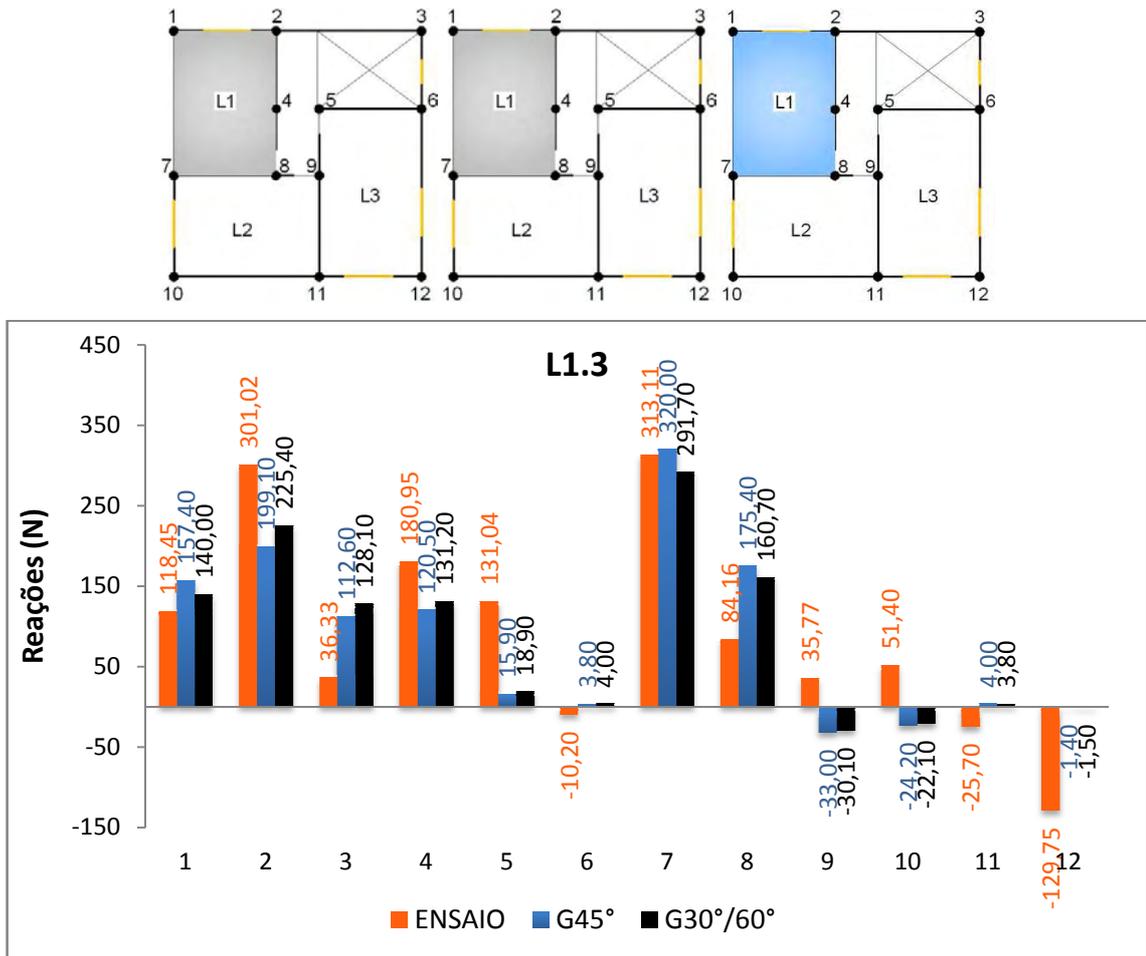


Figura 97 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (GP).

Observando os resultados obtidos com a laje L1.1, L1.2 e L1.3 carregada, os apoios 2, 4, 5, 9 e 10 sempre foram menores que os resultados obtidos experimentalmente, sendo que os outros pontos foram maiores. Mesmo assim, estes resultados se mostraram mais próximos do experimental quando comparado ao procedimento das paredes isoladas. Para as divisões de área de influência adotadas, os resultados mais próximos do experimental foram obtidos com ângulo de 30°/60° para todos os carregamentos atuando na L1.1 e L1.2, como se observa nos pontos 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, a L1.3 teve estes mesmos resultados, porém o apoio 7 esteve mais próximo considerando ângulos de 45°.

Para o carregamento aplicado na cobertura, segundo a Figura 98, os resultados teóricos apresentados se mostraram mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, e ainda a diferença entre as respostas obtidas com as duas divisões de área de influência foram mínimas. Numericamente os resultados mais próximos do experimental foram obtidos com divisão a 45° nos apoios 2, 3, 6, 9, 10 e 11. Observa-se que quando se carrega uma área que engloba todos os apoios os resultados teóricos obtidos são mais satisfatórios, fato não constatado quando se carregou as lajes L1.1, L1.2 e L1.3.

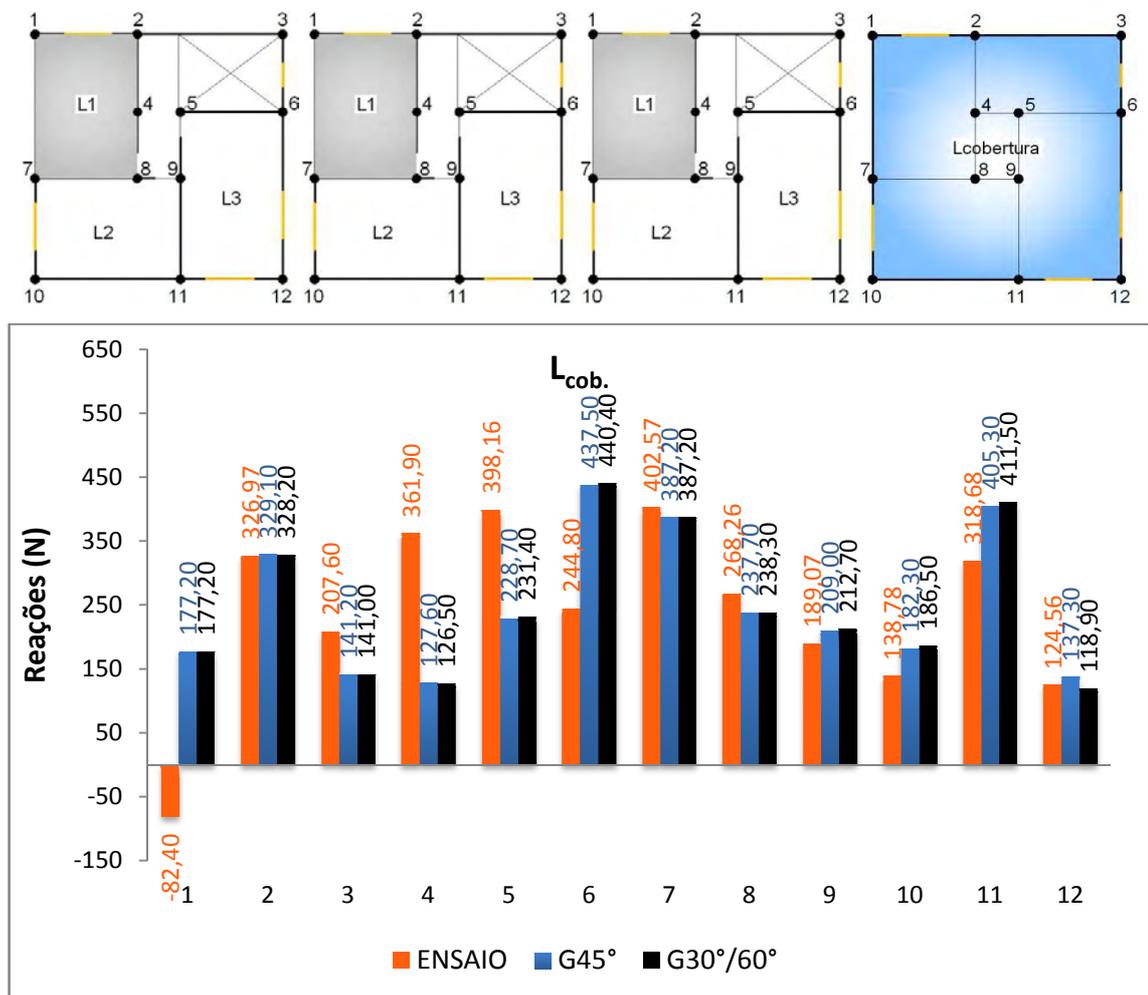


Figura 98 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (GP).

7.2.2 Resultados e Comparações - Caso 2

Considerando a ação atuando na L2.1, L2.2 e L2.3, conforme Figuras 103 a 105, os maiores valores teóricos de reação de apoio também não se restringem somente nos apoios sob a área

carregada, como se constatou no procedimento das paredes isoladas, mas também em pontos próximos a área carregada. Os pontos 7, 8, 9, 10 e 11 pertencentes ao contorno da área carregada, apresentaram resultados teóricos próximos do experimental, fato não constatado para os demais pontos.

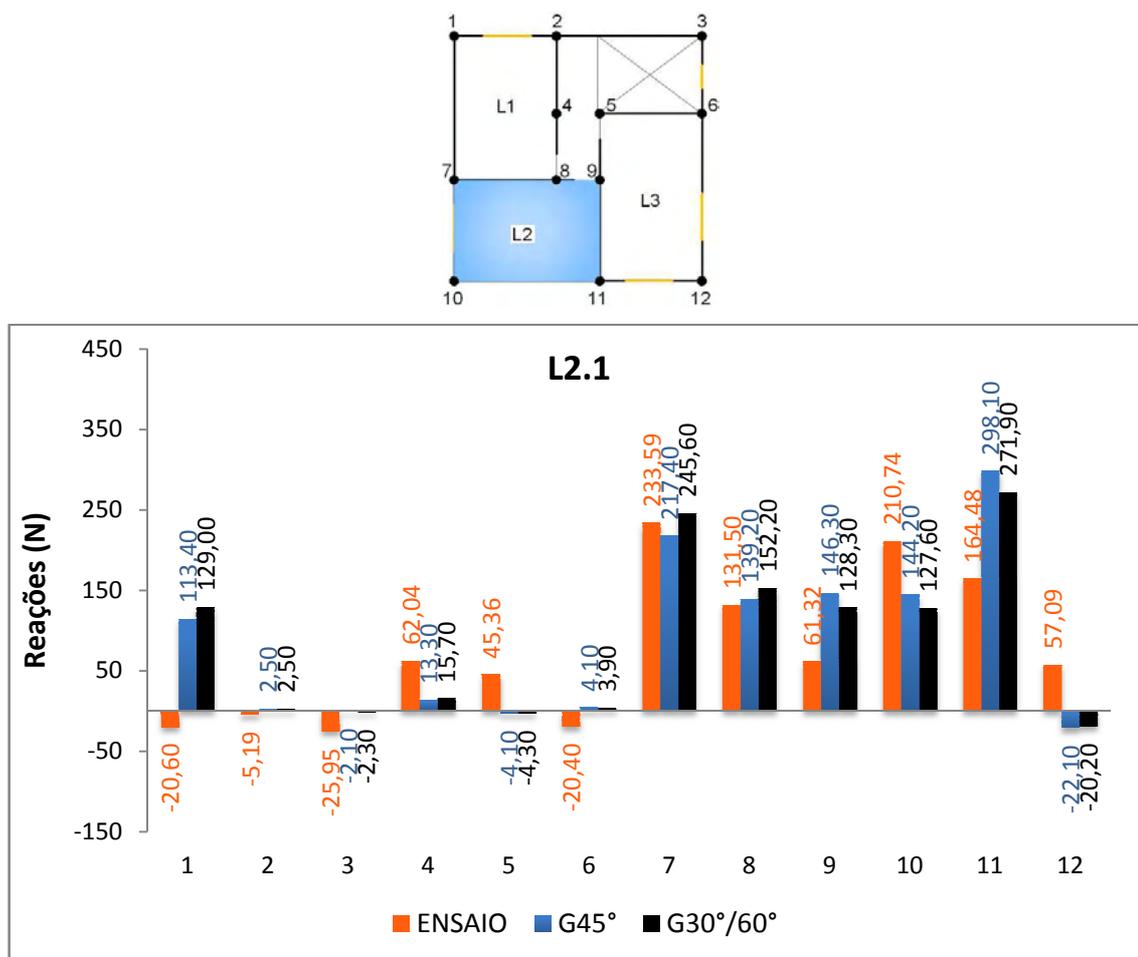


Figura 99 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (GP).

Os valores teóricos encontrados, em relação ao experimental, foram de maneira geral: menores nos apoios 3, 4, 5, 10 e 12, para ação atuando na laje L2.1 e L2.3, para a L2.2 os pontos 6 e 7 também foram menores, além dos anteriores, os demais apresentaram resultados maiores.

Fora da região carregada, como se observa nos apoios 4 e 5, a resposta experimental da estrutura foi bem maior que a obtida pelo procedimento teórico, pois o mesmo não considerou que a ação na laje L2.1 se distribuiu pela parede entre os apoios 4 e 8 ou 5 e 9, já que as

paredes sobre os apoios 4 e 5 pertencem a grupos distintos que não são carregados por esta laje, resultando em uma reação teórica pequena, o que não ocorreu. Portanto, entende-se que a ação certamente se distribuiu pelas aberturas de portas entre os pontos 4 e 8 ou 5 e 9, já que existe alvenaria entre estas. Isto foi observado nos carregamento atuando da L2.1 a L2.3, como se vê nas Figuras 103 a 105.

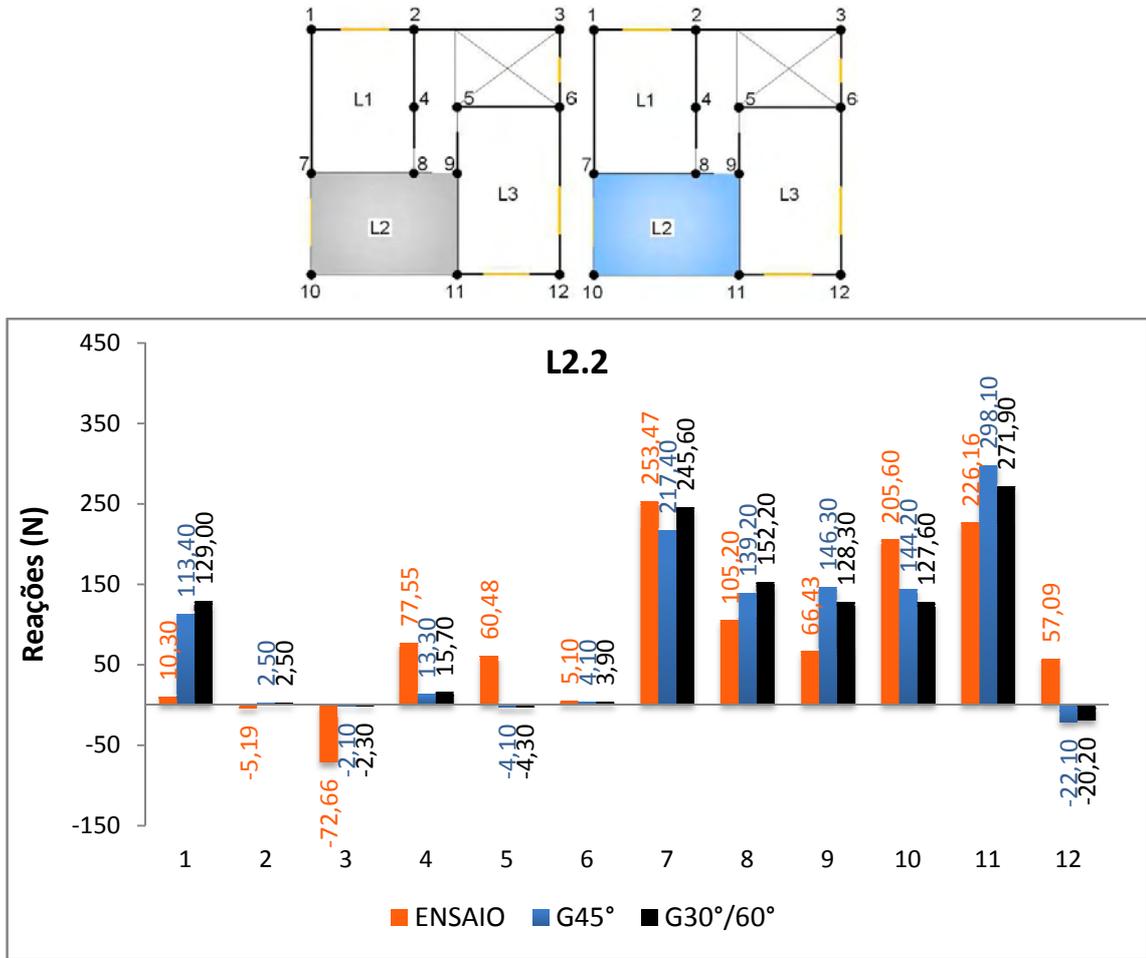


Figura 100 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (GP).

Para as divisões de área de influência adotadas, os resultados mais próximos do experimental foram nos apoios da região de carregamento, considerando todos os apoios as respostas mais próximas foram obtidas com ângulos de 30°/60° para os carregamentos atuando na L2.1 e L2.3, como se observa nos pontos 3, 4, 6, 7, 9, 11 e 12, a laje L2.2 teve estes mesmos resultados, porém o apoio 6 esteve mais próximo considerando ângulos de 45°.

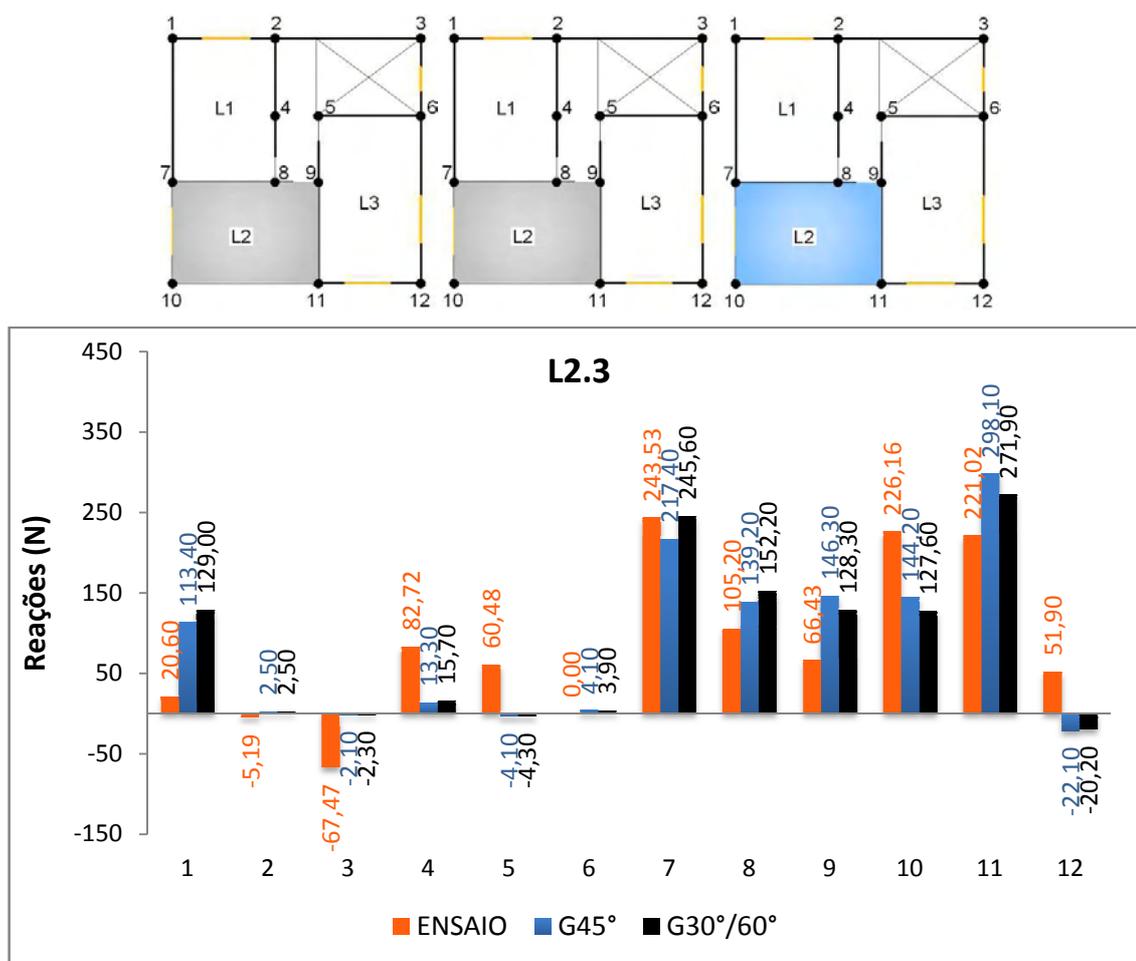


Figura 101 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (GP).

Na cobertura, segundo a Figura 102, os resultados teóricos apresentados se mostraram novamente mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, com pouca diferença entre as respostas obtidas com as duas diferentes divisões de área de influência. Numericamente os resultados mais próximos do experimental foram obtidos com divisão a 45°, como no Caso 1, nos apoios 2, 3, 6, 8, 9, 11 e 12. Constata-se que os resultados teóricos apresentados para este procedimento foram melhores que os obtidos pelas paredes tratadas como isoladas.

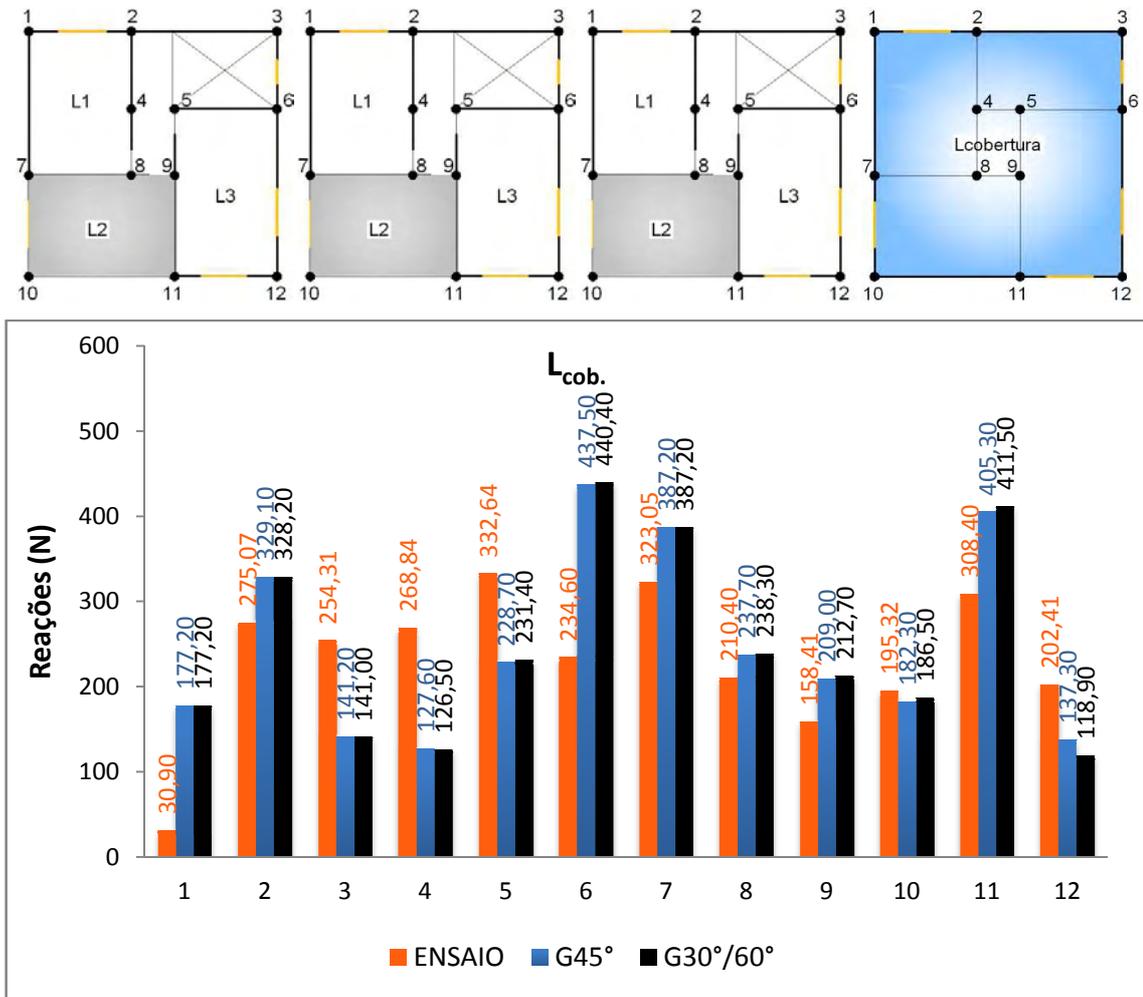


Figura 102 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (GP).

7.2.3 Resultados e Comparações - Caso 3

Similarmente aos casos anteriores, nas Figuras 103 a 106 são apresentados os resultados individuais tanto teóricos quanto experimentais de reações de apoio para o Caso 3 de carregamento, ou seja, carregando de baixo para cima até a cobertura pelo ambiente 3.

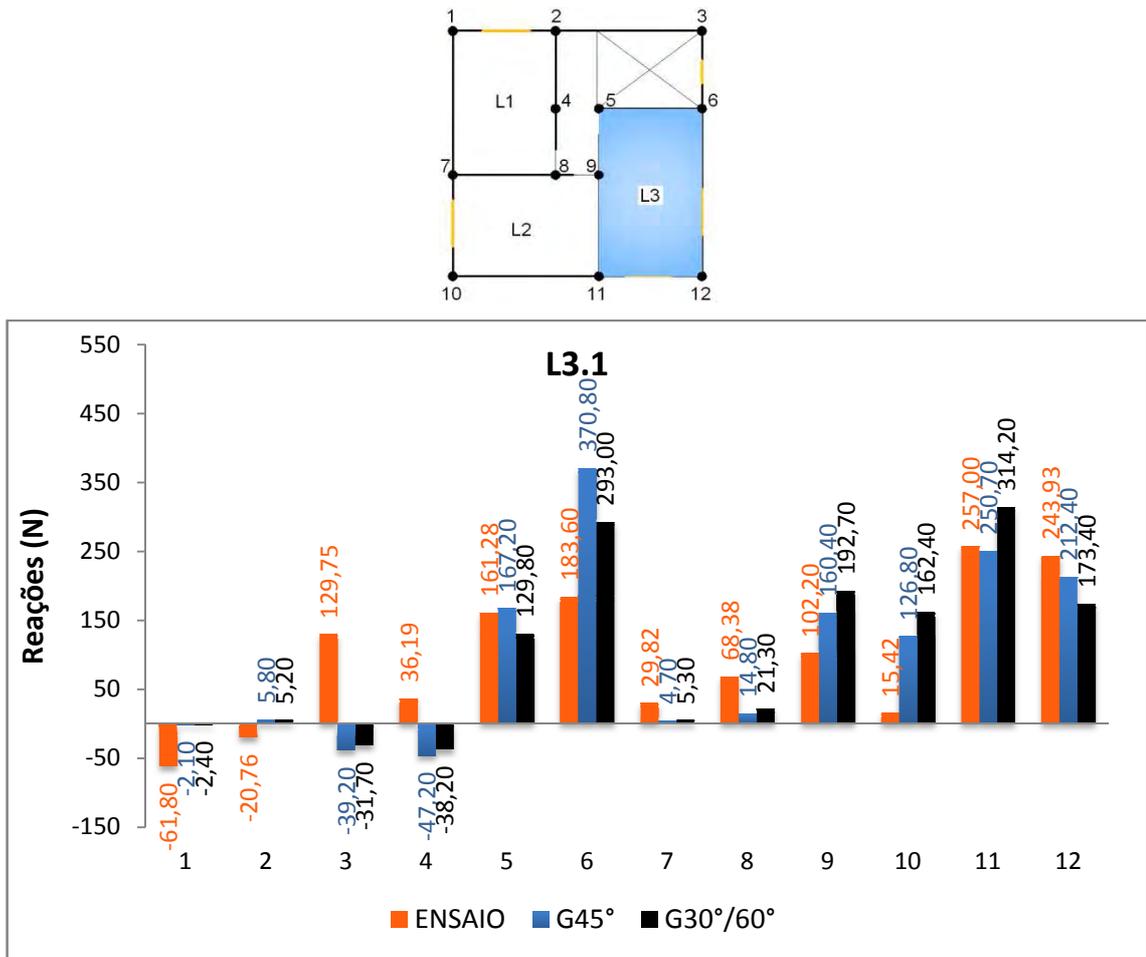


Figura 103 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (GP).

Considerando a ação atuando na L3.1, L3.2 e L3.3, os maiores valores teóricos de reação de apoio também não se restringem somente nos apoios sob a área carregada, como se constatou no procedimento das paredes isoladas, mas também em pontos próximos a área carregada.

Os valores teóricos encontrados, em relação ao experimental, foram de maneira geral: menores nos apoios 1, 3, 4, 8 e 12, para ação atuando na laje L3.2 e L3.3, para a L3.1 o ponto 7 também foi menor, além dos anteriores, os demais apresentaram resultados maiores.

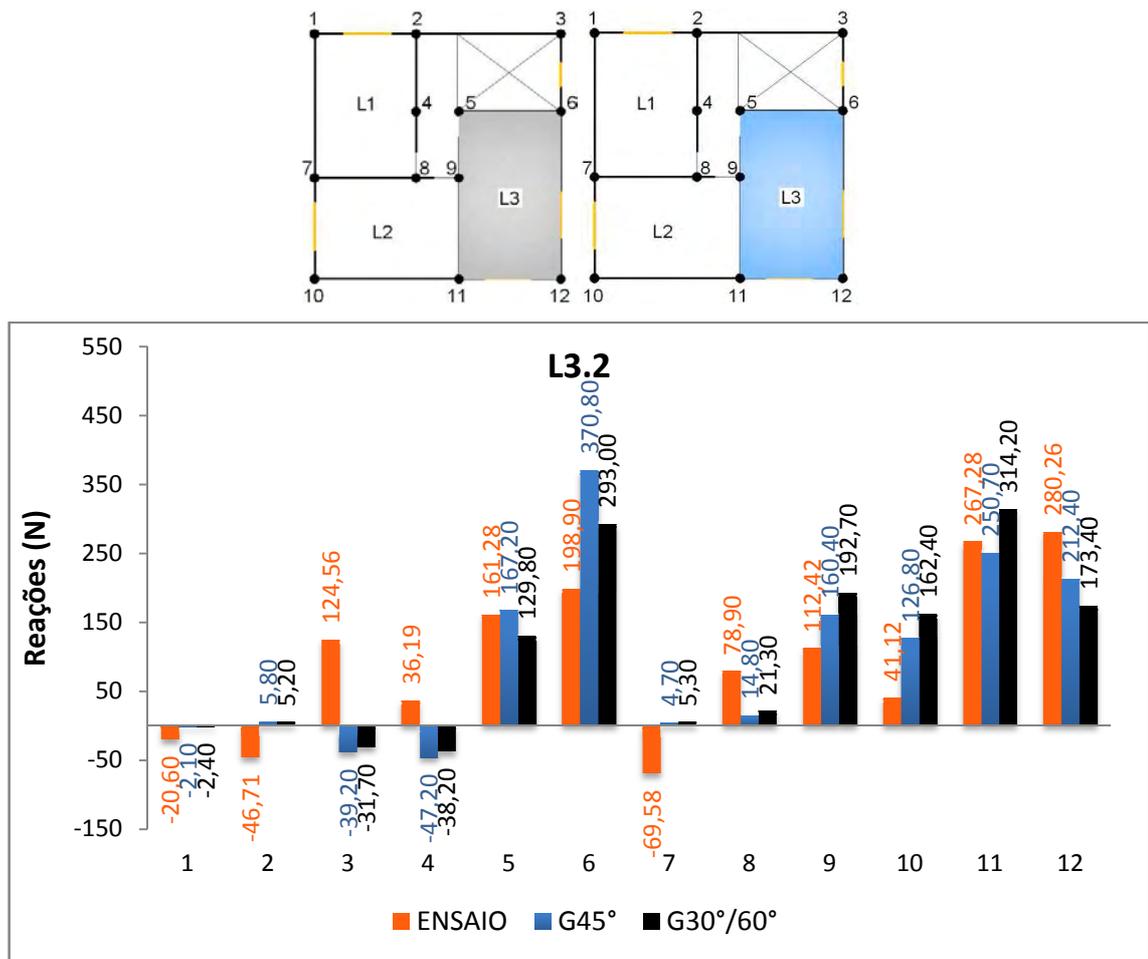


Figura 104 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (GP).

Também fora da região carregada, como se observa no apoio 10, a resposta experimental da estrutura foi bem menor que a obtida pelo procedimento teórico, pois o mesmo considerou que a ação na laje L3.1 se distribuiu pela parede entre os apoios 10 e 11 chegando até a sua extremidade, acarretando em uma reação teórica elevada, fato que não ocorreu. Por isso, presumi-se que a ação se distribuiu pela parede entre os pontos 10 e 11, contudo não a ponto de produzir uma reação de apoio elevada em 10, mostrando que o carregamento deve, por exemplo, ter chegado à viga baldrame um pouco antes do apoio 10, semelhantemente ao ocorrido no Caso 1 com o ponto 3. Esta situação se verifica nos carregamento atuando da L3.1 até a L3.3, como se observa nas Figuras 103 a 105.

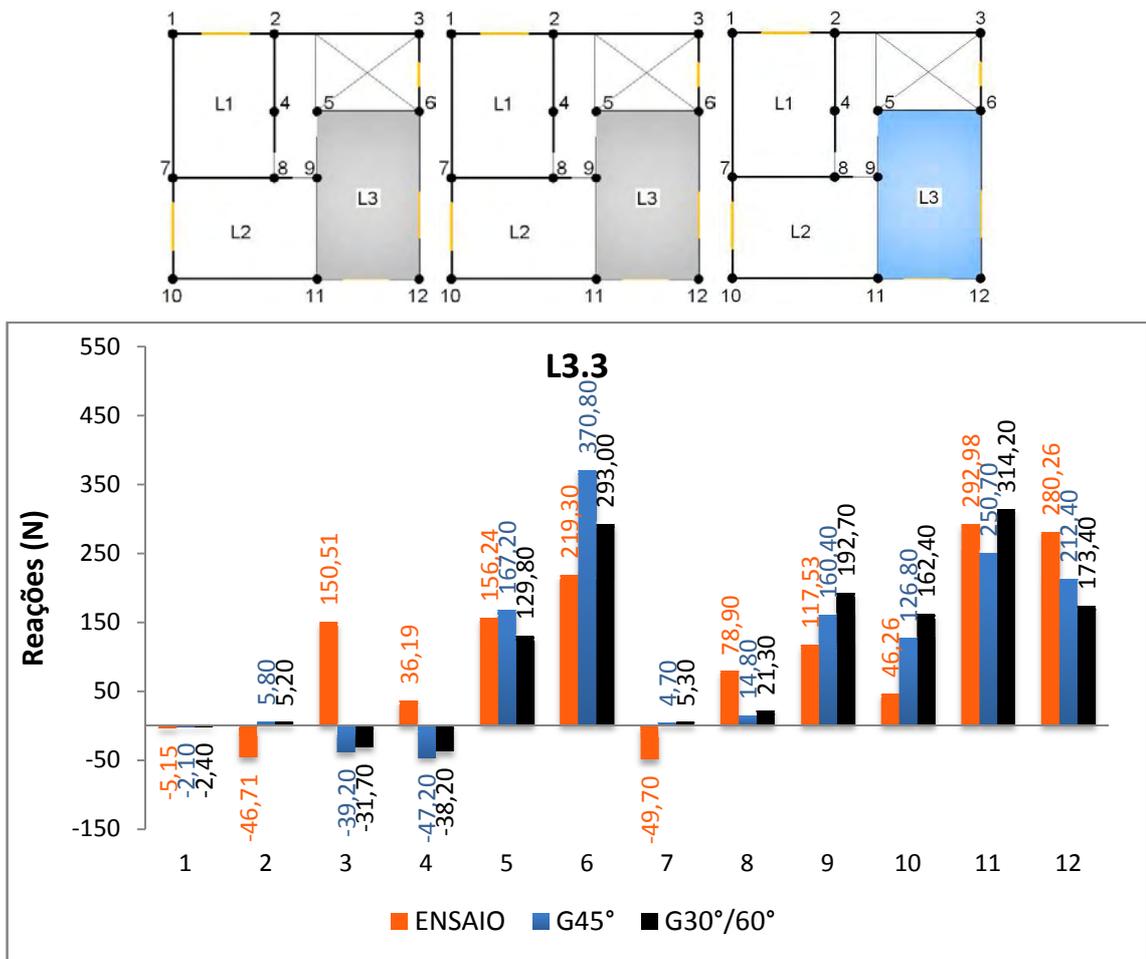


Figura 105 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (GP).

Em relação as divisões de área de influência, os resultados mais próximos do experimental foram obtidos com ângulos de 30°/60° para todos os carregamentos atuando na L3.1 a L3.3.

Na Figura 106 os resultados teóricos apresentados para o carregamento sobre a cobertura se mostraram novamente mais próximos dos valores para a maioria dos apoios, com diferença mínima entre as respostas obtidas com as duas diferentes divisões de área de influência. Numericamente os resultados mais próximos do experimental foram obtidos com divisão a 30°/60°, diferentemente dos casos anteriores, nos apoios 2, 5, 8, 9, 11 e 12. Este procedimento apresentou novamente resultados mais satisfatórios que o método das paredes isoladas.

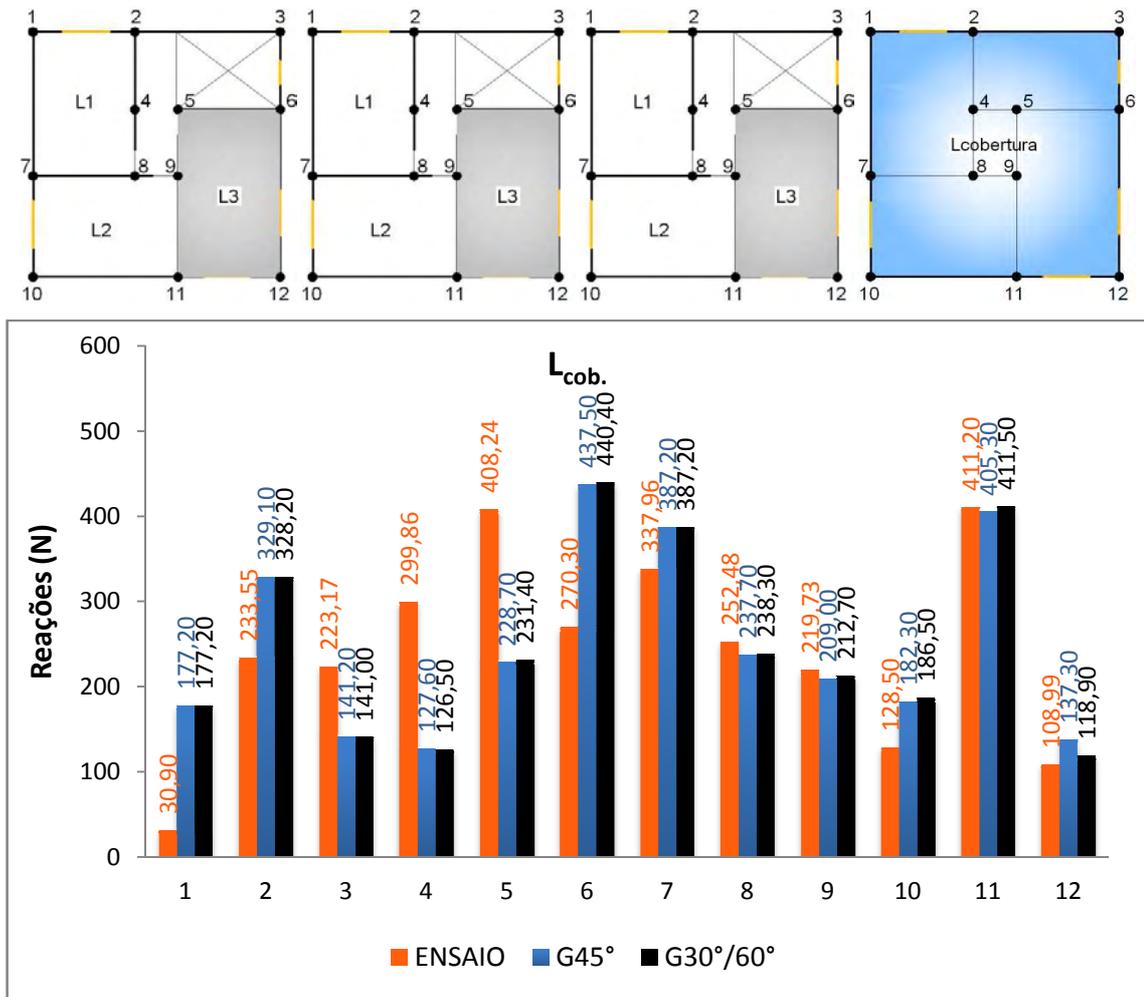


Figura 106 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (GP).

7.2.4 Resultados e Comparações - Caso 4

Carregando juntamente os ambientes 1, 2 e 3, são apresentados os resultados teóricos e experimentais das reações de apoio para o carregamento atuando do 1º pavimento até a cobertura. Novamente deve-se notar que os resultados teóricos apresentados para os carregamentos atuando no 1º ao 3º pavimento são iguais, pois o carregamento resultante sobre as vigas baldrame independe da altura de aplicação sobre as lajes, e o carregamento da cobertura é o mesmo apresentado nos Casos 1, 2 e 3.

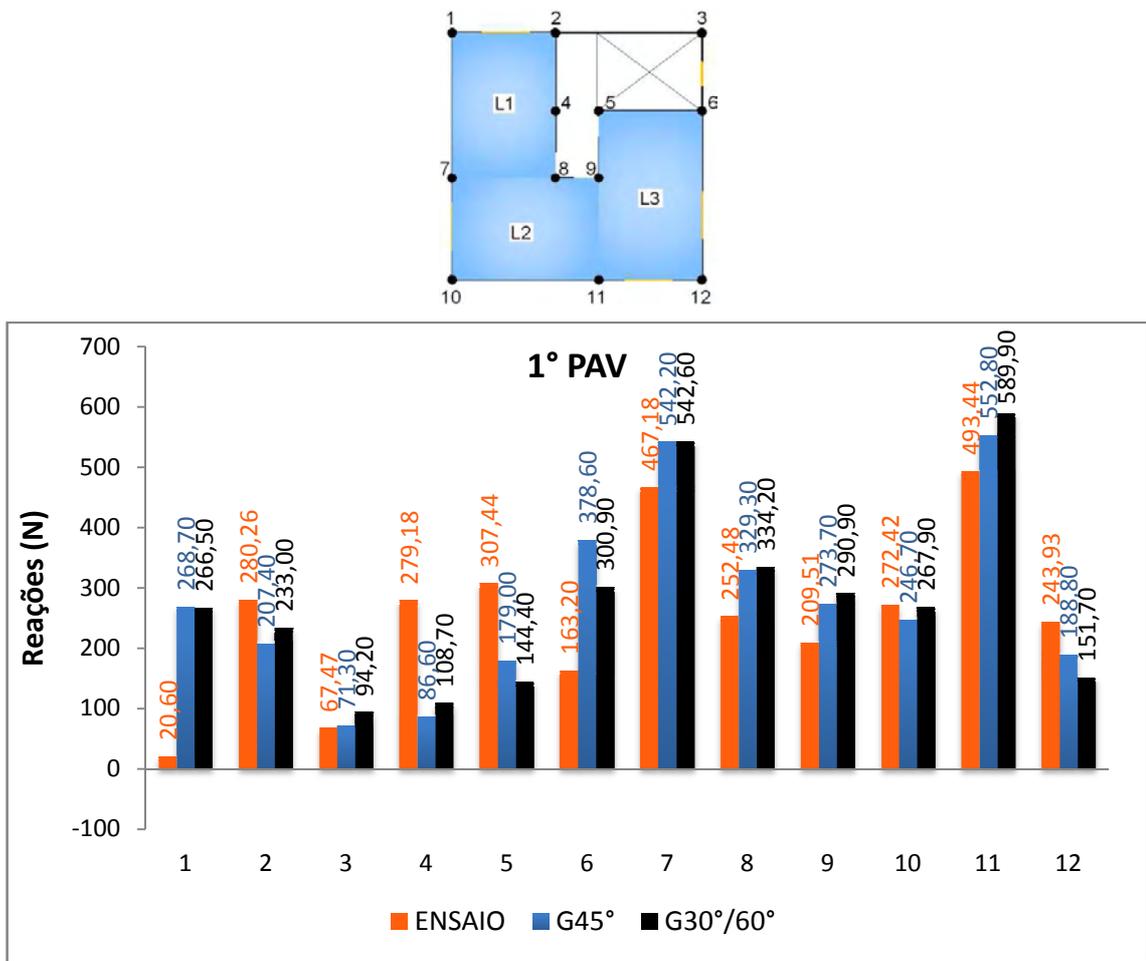


Figura 107 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1° pavimento - (GP).

Os resultados teóricos apresentados, em relação ao experimental, sempre foram menores nos apoios 2, 4, 5, 10 e 12, e maiores nos demais pontos, para a ação atuando no 1° e 2° pavimentos. Para a ação no 3° pavimento, os resultados sempre foram menores nos apoios 3, 4, 5 e 10, e maiores nos outros. Diante disto, verifica-se que o procedimento, na maioria das vezes, superestimou os valores de reação apresentados no ensaio.

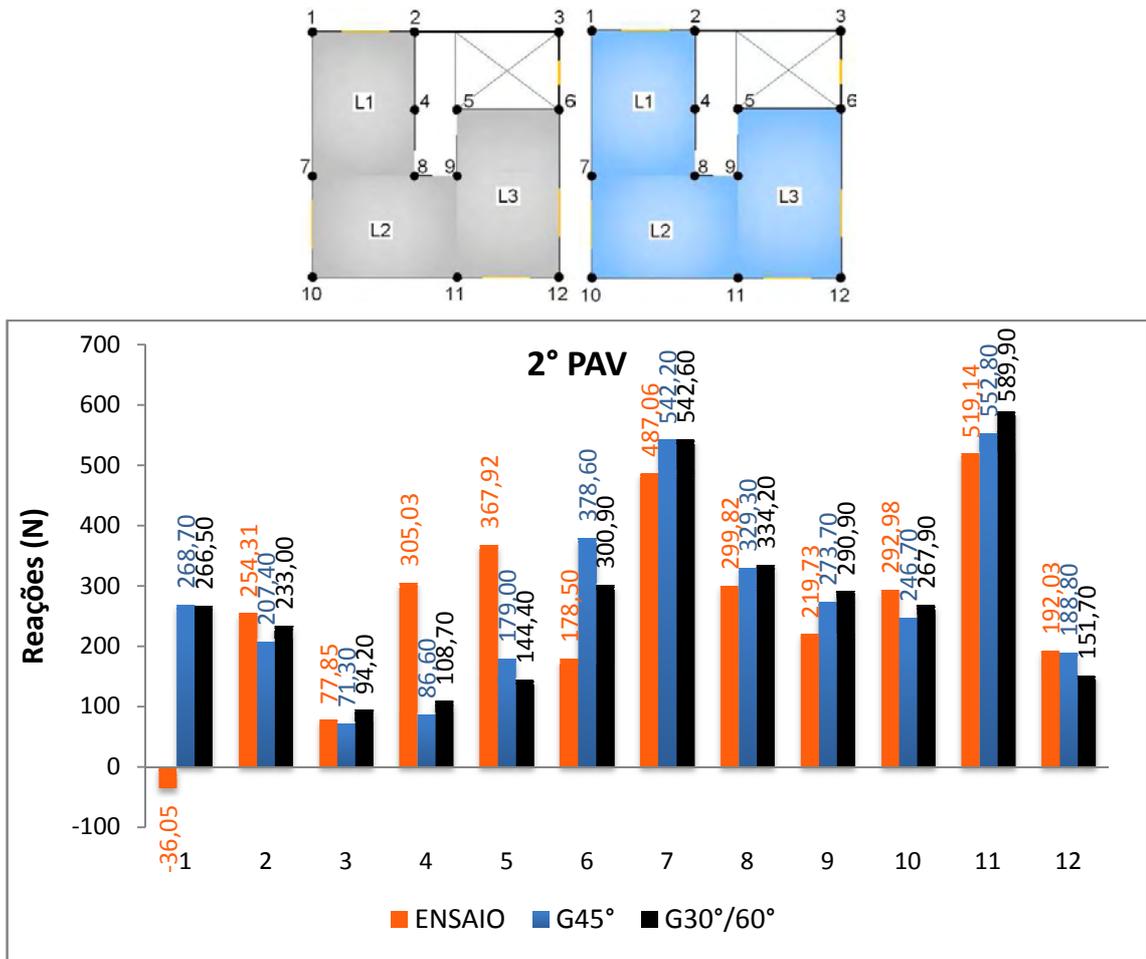


Figura 108 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (GP).

Observou-se que para o 1º e 2º pavimentos carregados os pontos 3, 5, 7, 8, 9, 11 e 12 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45°, para o 3º pavimento carregado foram os apoios 2, 5, 7, 8, 9 e 11. Todos os apoios restantes apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental com divisão de 30°/60°. Assim, os resultados mais próximos foram novamente com divisão a 45°, fato também observado no mesmo caso para o procedimento das paredes isoladas.

Os resultados teóricos apresentados por este procedimento se mostraram muito próximo entre si, considerando as duas divisões de área de influência, como se observa nas Figuras 107 a 110, isto não ocorreu quando se utilizou do procedimento das paredes isoladas, pois existe maior variação, identificada visualmente.

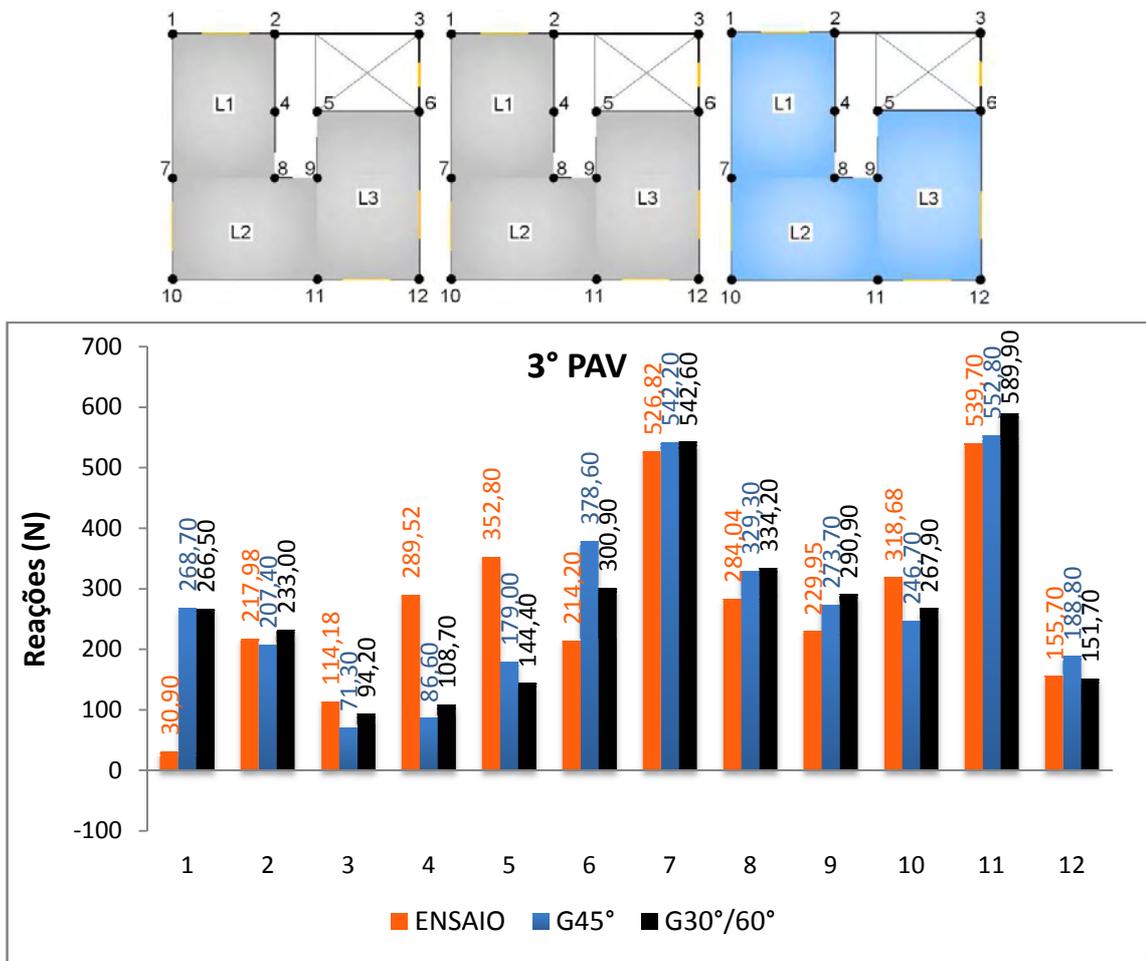


Figura 109 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (GP).

Na Figura 110 a ação atua na cobertura, percebe-se que as ações se distribuem melhor entre todos os apoios, em relação às ações aplicadas anteriormente, não existindo picos de reação de apoio, como se observou nos apoios 7 e 11 nos casos anteriores.

Os resultados teóricos apresentados, em relação ao experimental, sempre foram menores nos apoios 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 12, e maiores nos demais. Verifica-se que o procedimento, na maioria das vezes, subestimou os valores de reação apresentados no ensaio, análogo ao ocorrido no procedimento anterior.

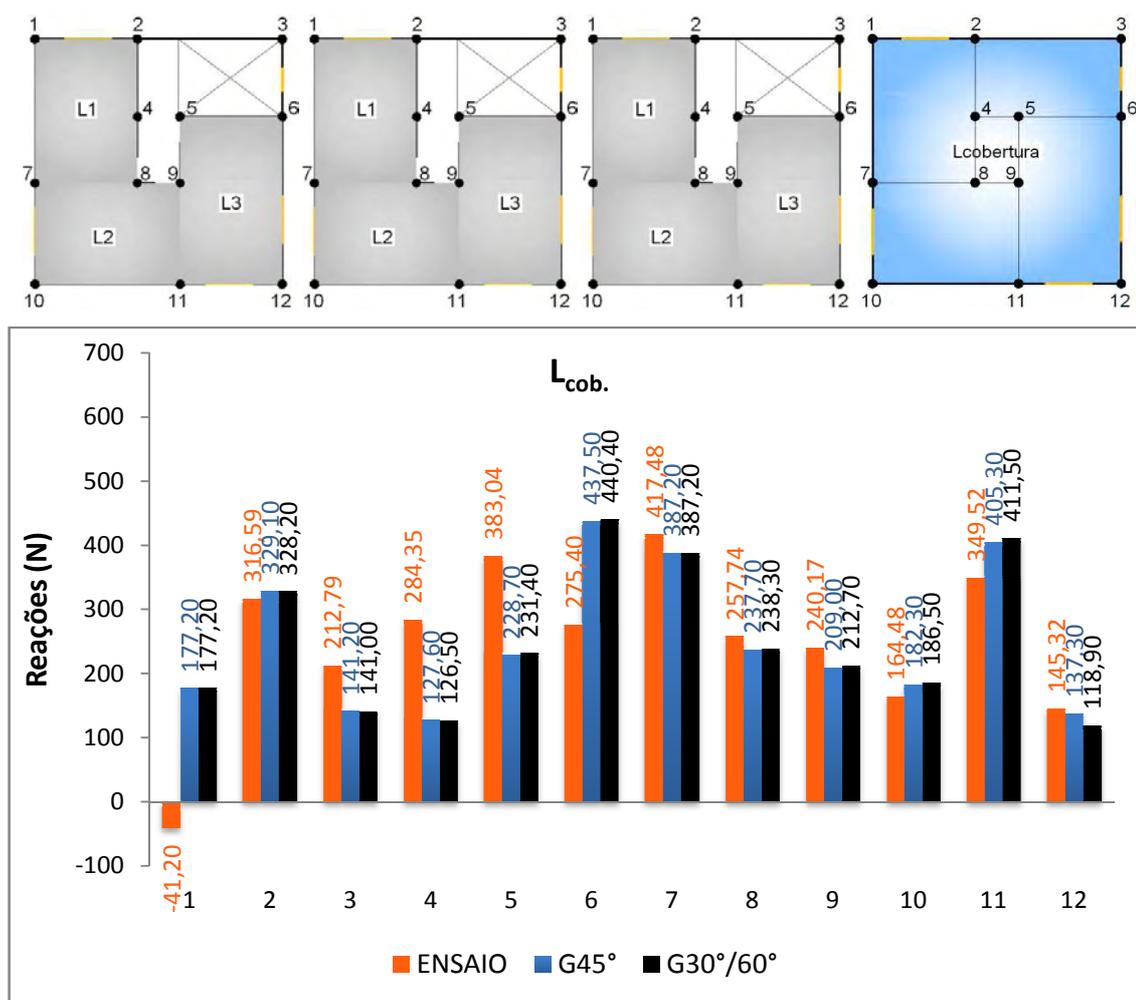


Figura 110 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (GP).

Os pontos 3, 4, 6, 10, 11 e 12 apresentaram resultados teóricos mais próximos do experimental considerando a divisão das áreas de influência com ângulos de 45°, já para os pontos 2, 5, 8 e 9 foi com ângulos de 30°/60°, o apoio 7 apresentou resultados idênticos. Assim, os resultados mais próximos foram novamente com divisão a 45°, em conformidade ao apresentado pelas paredes isoladas.

7.3 Novos Grupos de Paredes (NGP)

Considerando ainda o procedimento dos grupos de paredes foram adotadas novas divisões dos mesmos, diminuindo o comprimento de alguns grupos considerados anteriormente, sendo que agora existem oito grupos. O grupo G1 anterior teve sua parede de maior comprimento dividida exatamente no meio, surgindo então o grupo G5, analogamente para os grupos G2 e G4 anteriores. As escolhas foram feitas se baseando no comprimento das paredes pertencentes aos grupos, neste caso estas paredes apresentavam os maiores comprimentos entre todas pertencentes ao grupo.

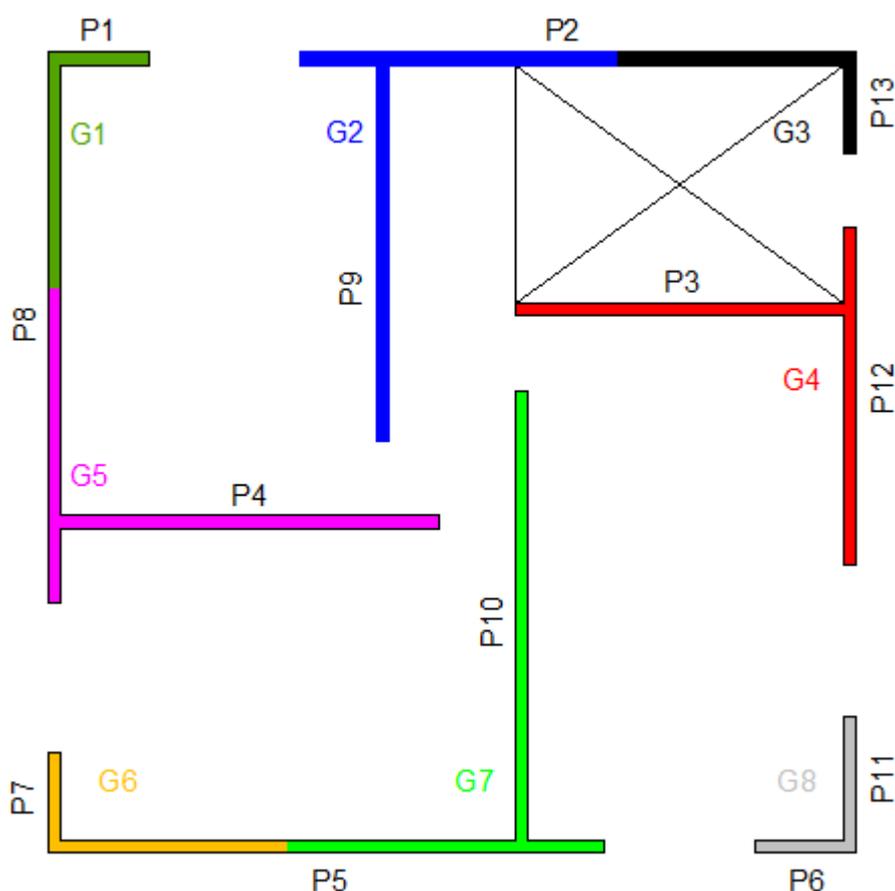


Figura 111 - Designação dos novos grupos de paredes.

A divisão da área de influência das lajes foi feita de maneira análoga aos procedimentos anteriores, sendo possível observar seus valores na sequência.

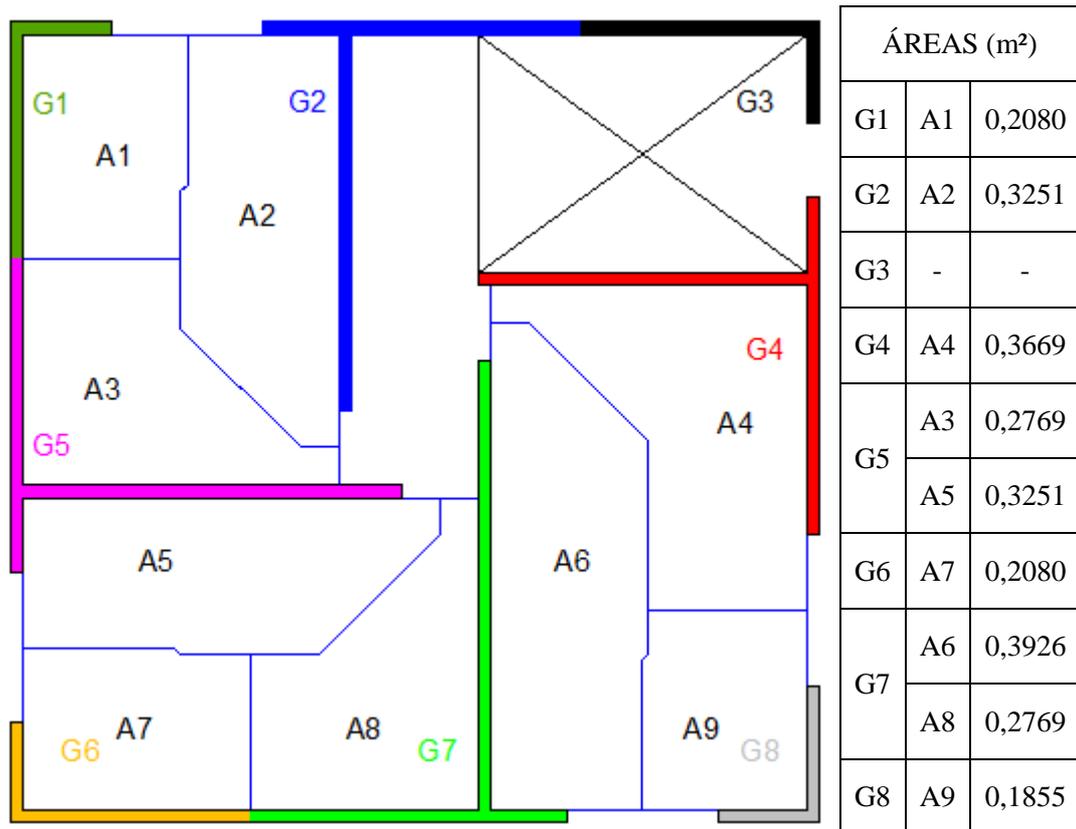


Figura 112 - Áreas de influência considerando 45° para o pavimento tipo - (NGP).

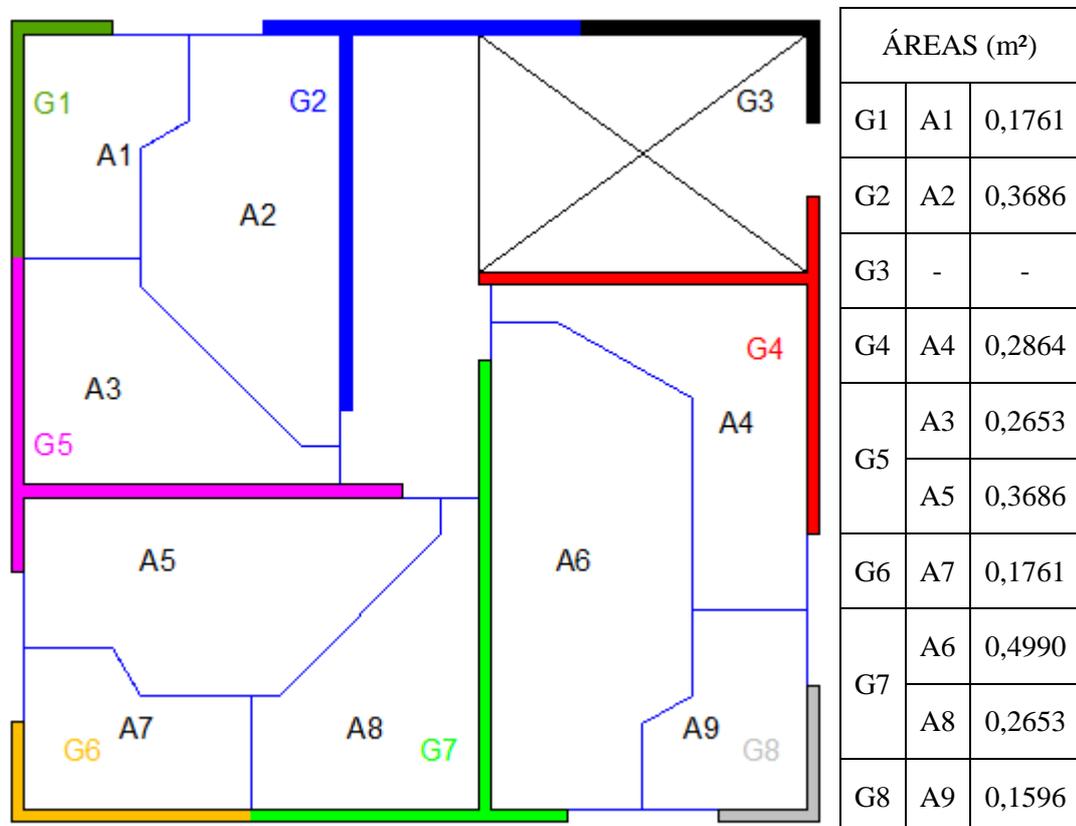


Figura 113 - Áreas de influência considerando 30°/60° para o pavimento tipo - (NGP).

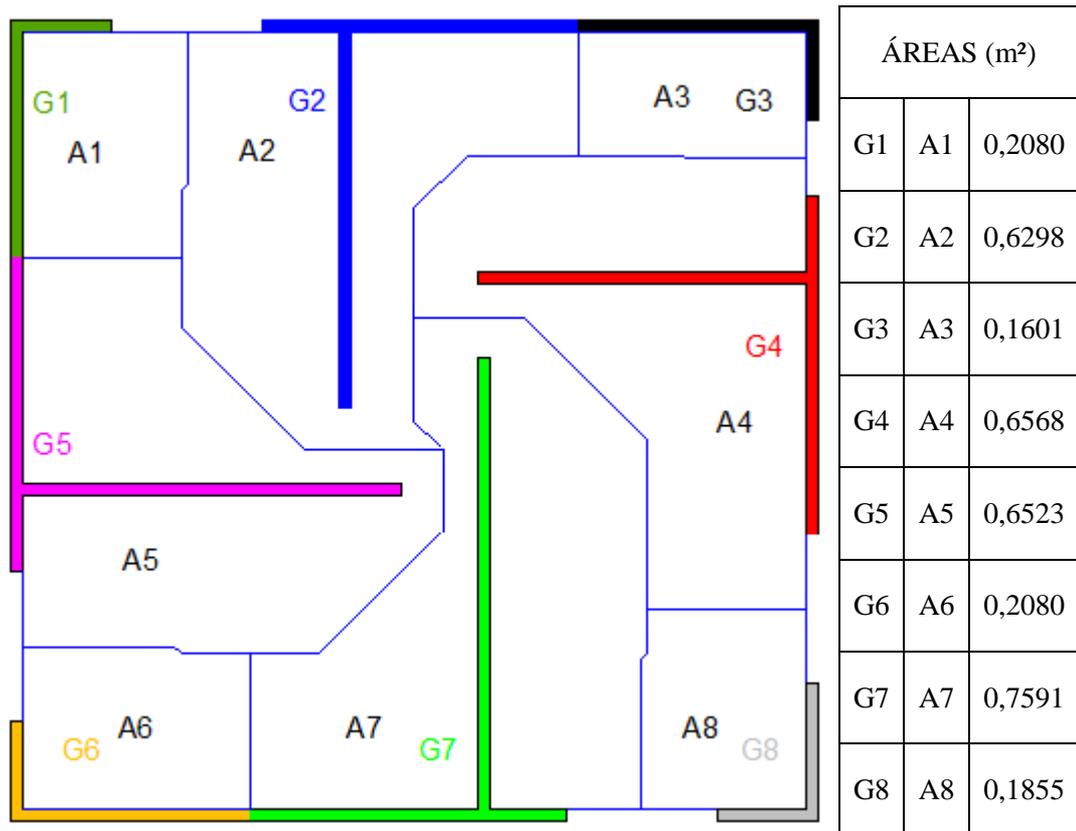


Figura 114 - Áreas de influência considerando 45° para a cobertura - (NGP).

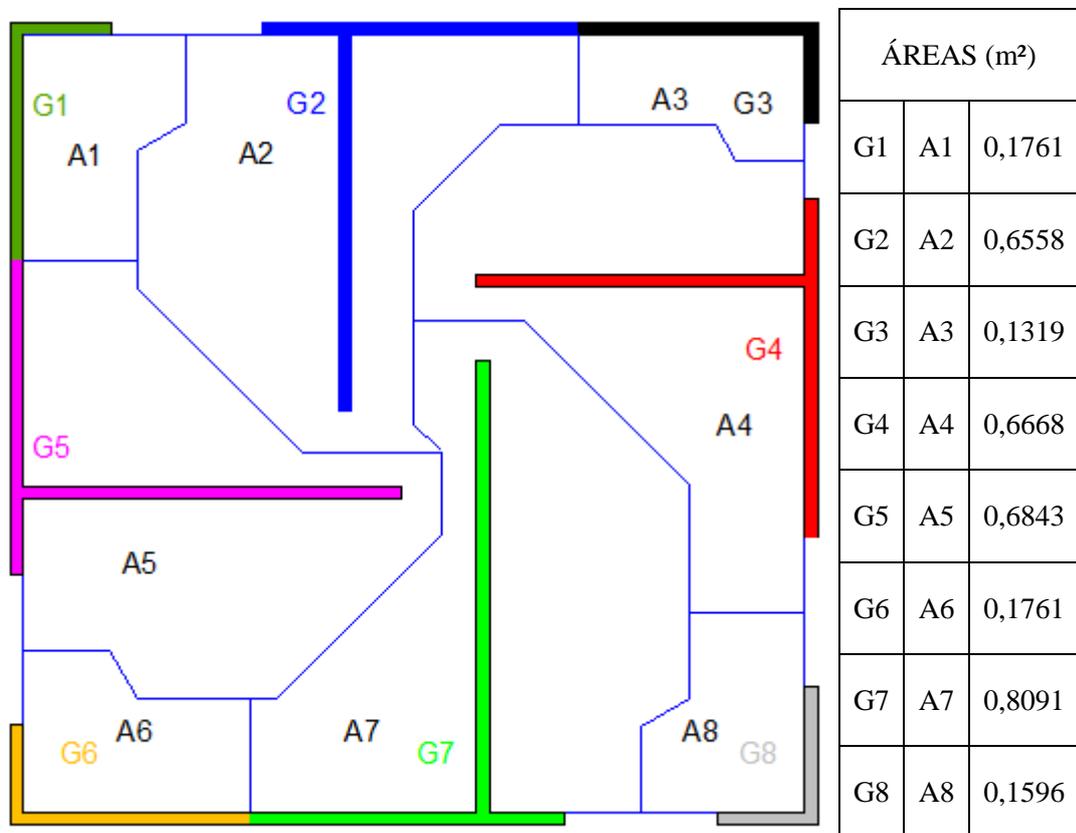


Figura 115 - Áreas de influência considerando 30°/60° para a cobertura - (NGP).

Como feito anteriormente foram criadas planilhas para obtenção das ações uniformemente distribuídas sobre as paredes. A Tabela 12 mostra os valores das ações nas paredes, para o caso de carregamento atuando na laje L1. Novamente são apresentados somente alguns dados, sendo que informações completas sobre os carregamentos atuando nas paredes são apresentadas em anexo.

Tabela 12 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | X | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,208 | 0,208 | 0,780 | X | 269,643 | 345,696 |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | A2 | 0,325 | 0,325 | 1,665 | X | 421,452 | 253,124 |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | | | | | | | |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A3 | 0,277 | 0,277 | 1,665 | X | 358,893 | 215,551 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | L1 | | |

Na Figura 116 são apresentados os valores das ações uniformemente distribuídas nas paredes do edifício e conseqüentemente as ações atuantes nas vigas baldrame da fundação. Os valores de carregamento são apresentados em (N/m), sendo que aqueles em vermelho são decorrentes da consideração da divisão de áreas de influência em 30°/60°, já as ações em preto são originadas da divisão a 45°. Na seqüência são apresentados os resultados, salienta-se que as figuras que complementam os gráficos, indicando a posição de aplicação do carregamento, foram aqui suprimidas.

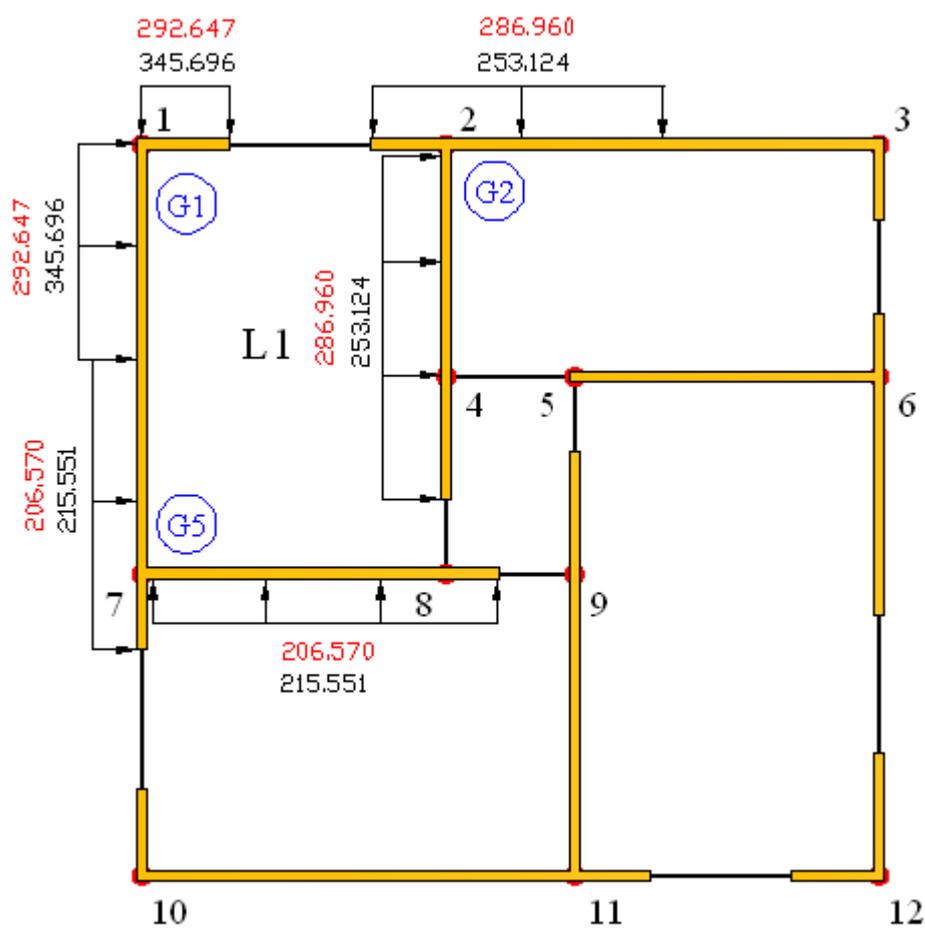


Figura 116 - Ações verticais uniformemente distribuídas nas vigas, laje L1 - (NGP).

7.3.1 Resultados e Comparações - Caso 1 ao Caso 4

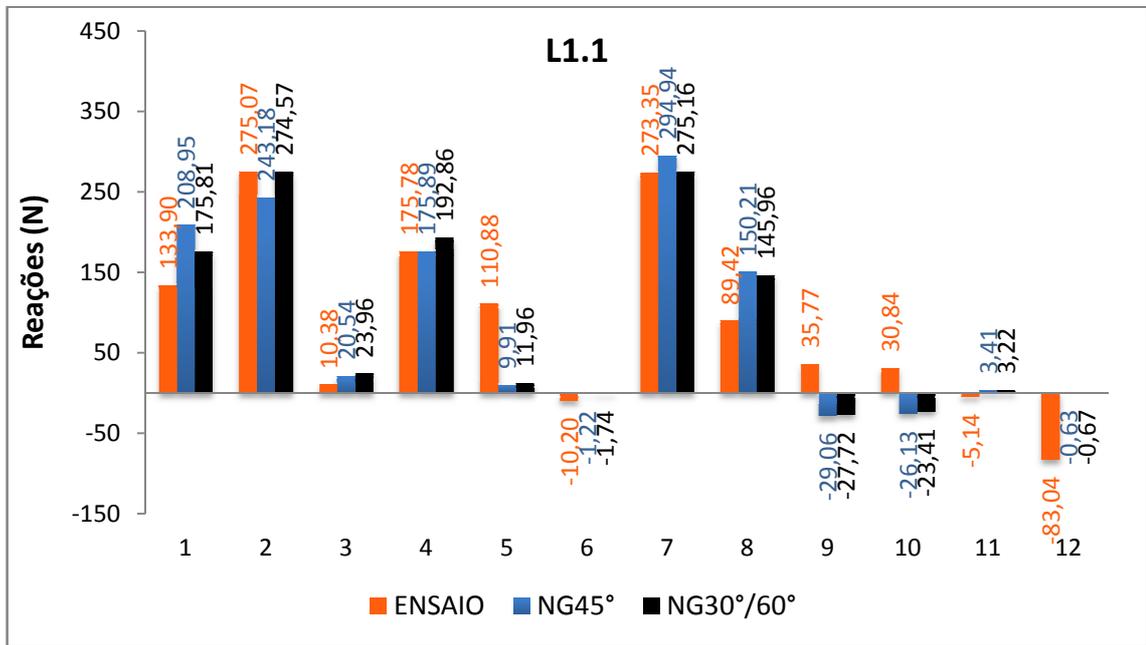


Figura 117 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (NGP).

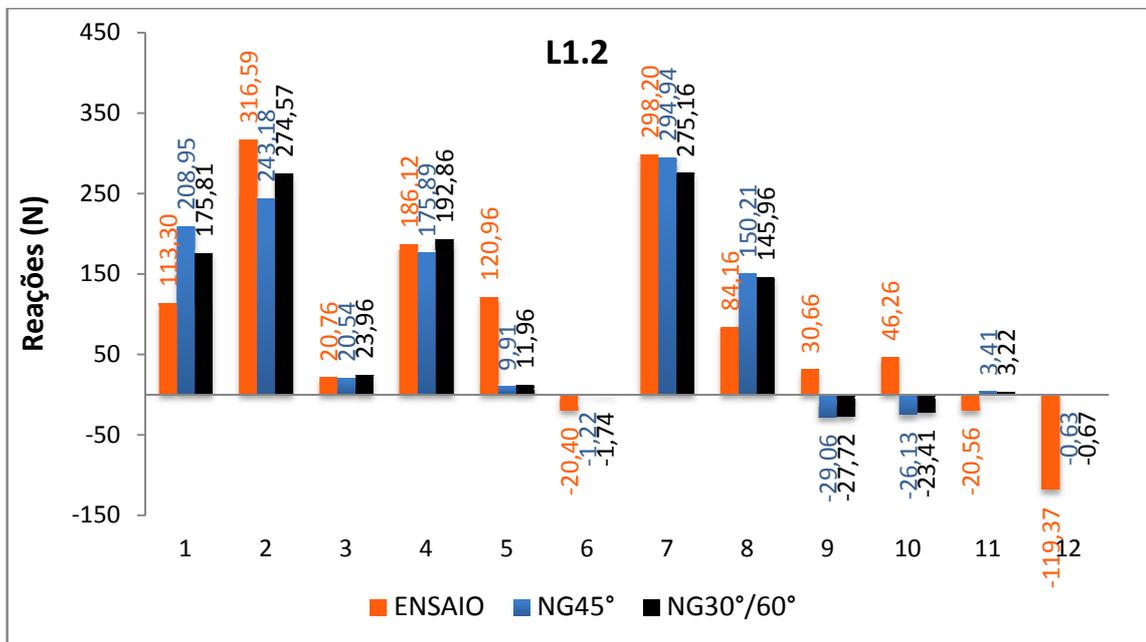


Figura 118 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (NGP).

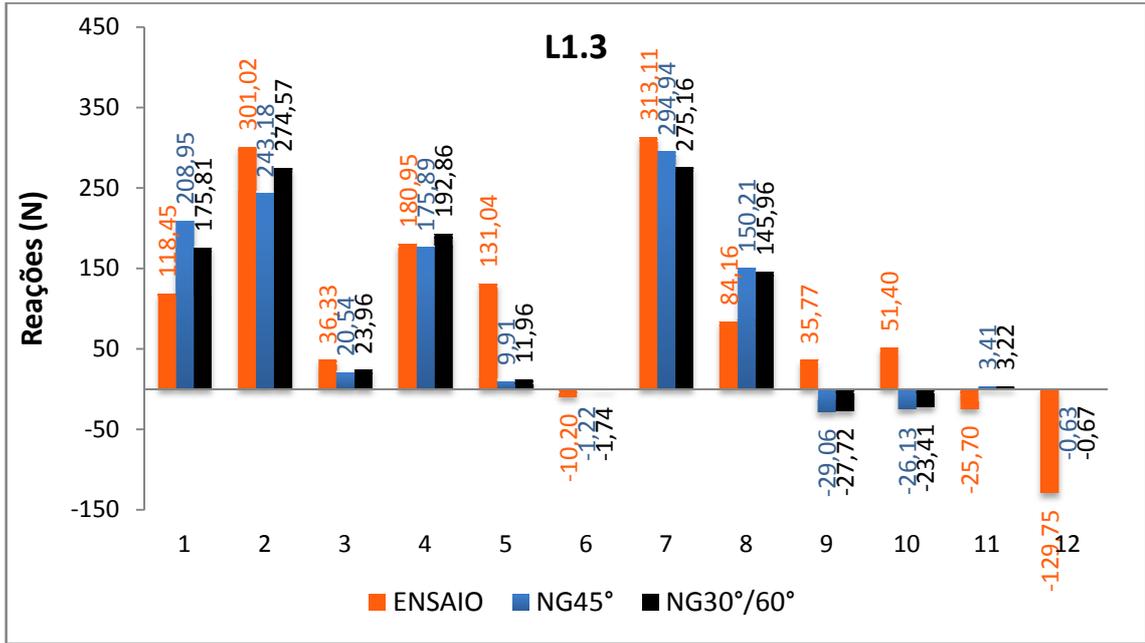


Figura 119 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (NGP).

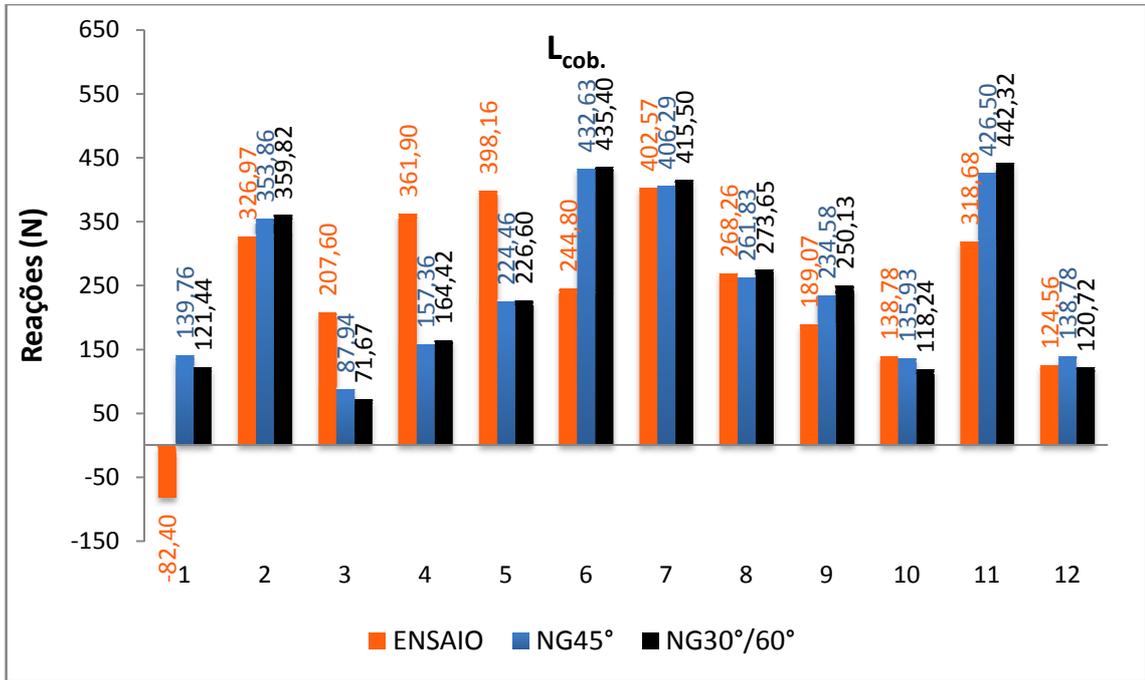


Figura 120 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (NGP).

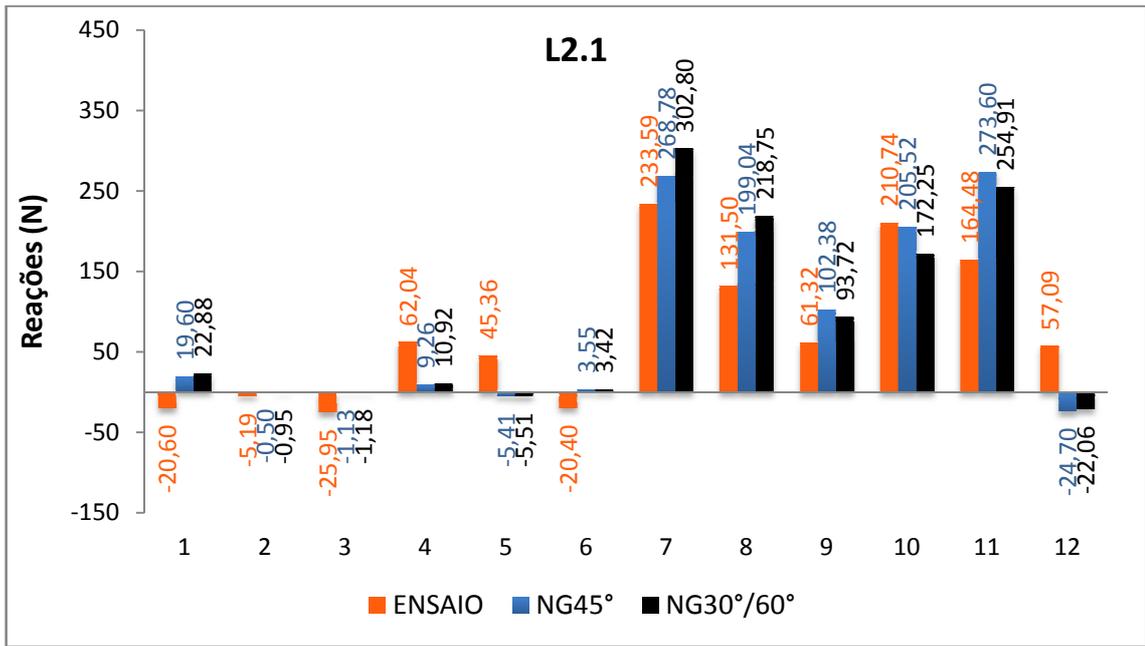


Figura 121 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (NGP).

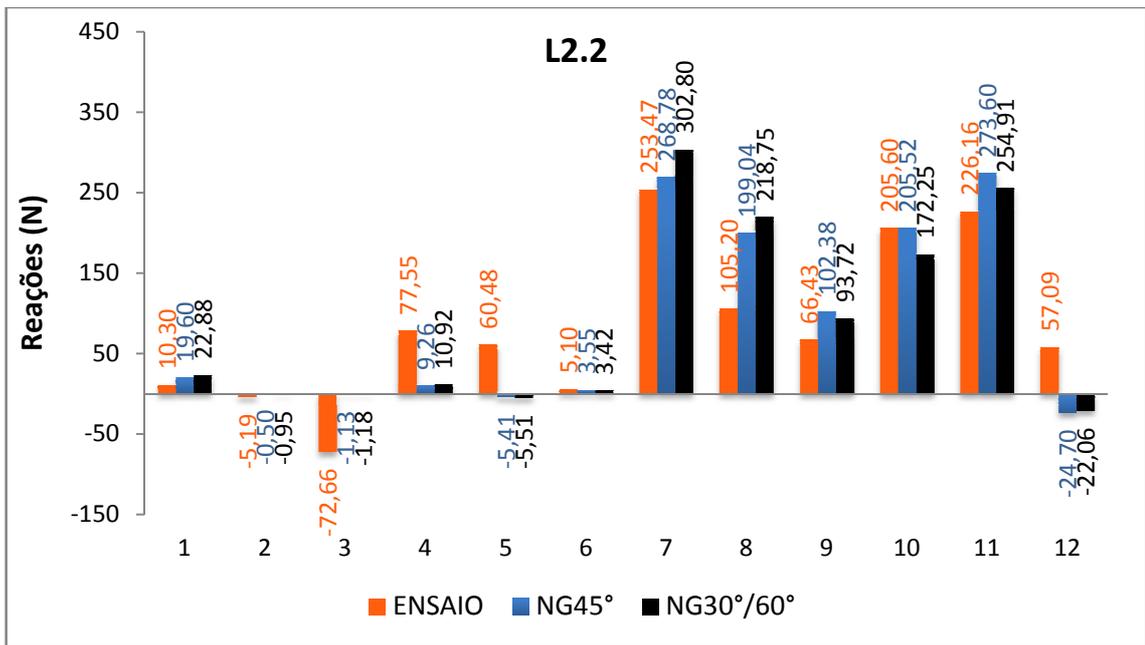


Figura 122 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (NGP).

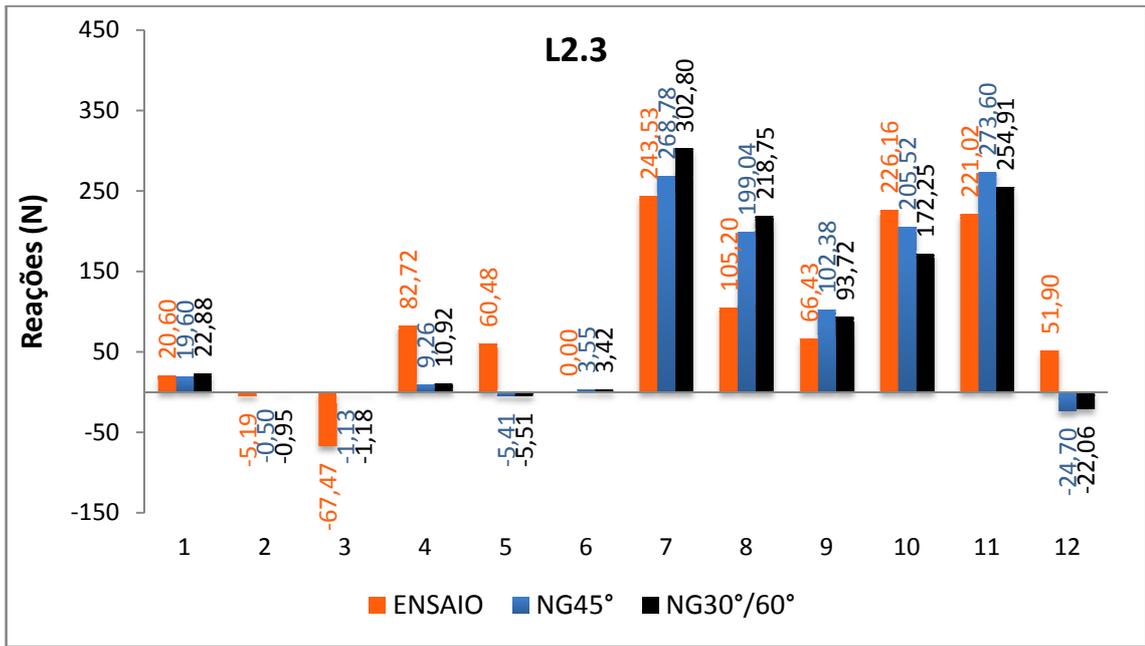


Figura 123 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (NGP).

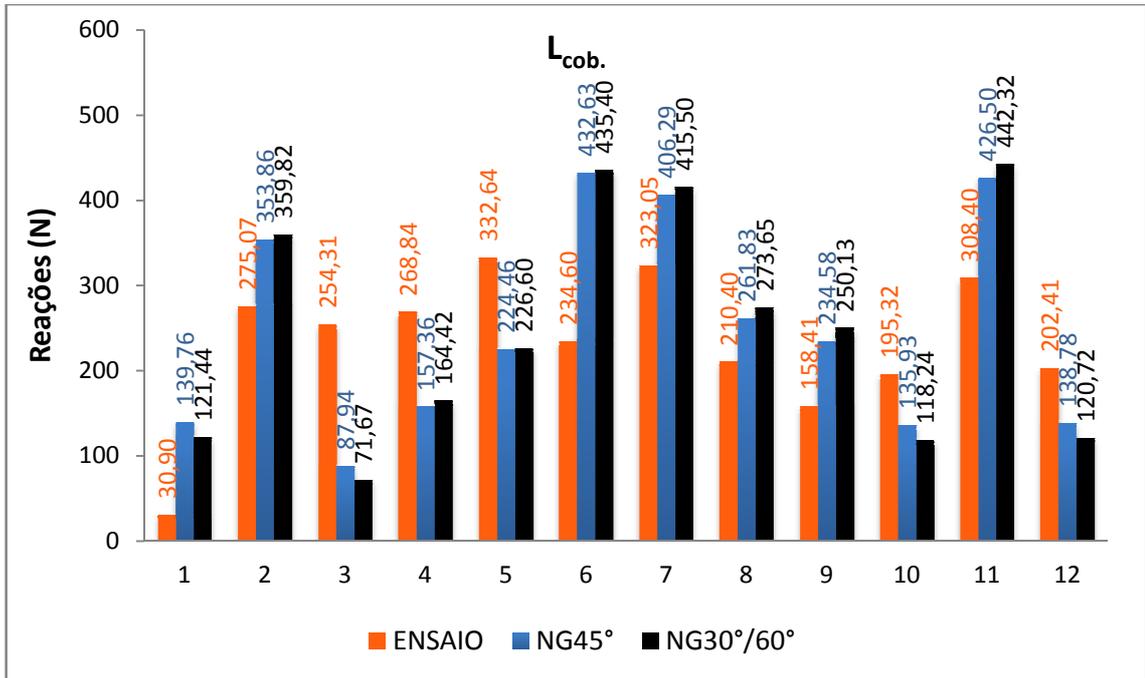


Figura 124 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (NGP).

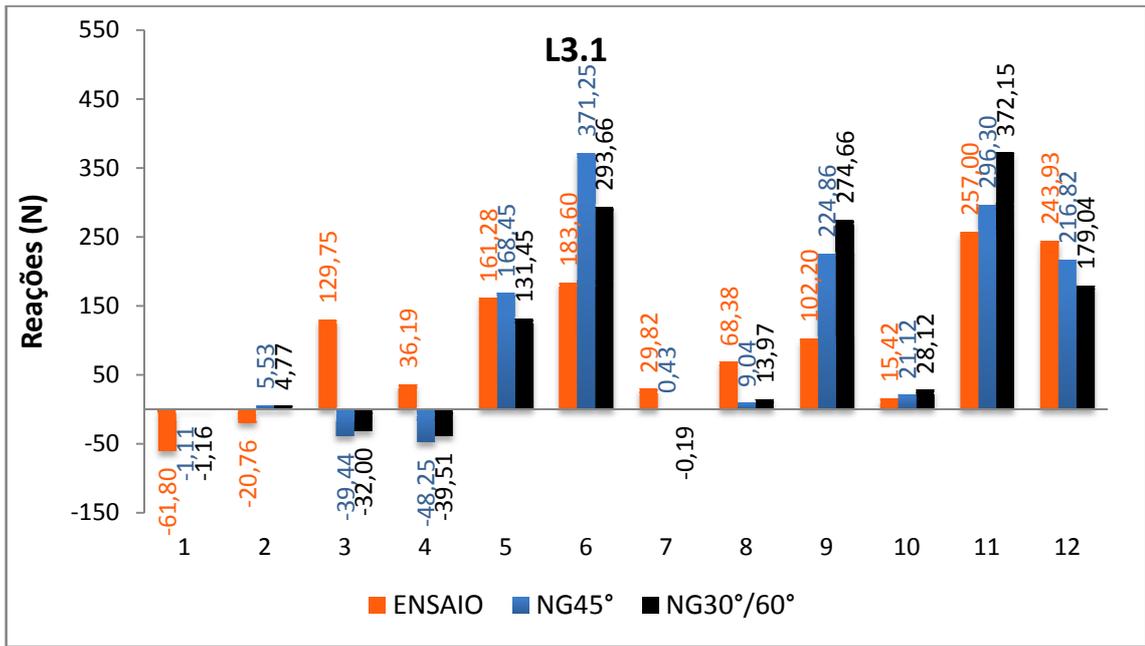


Figura 125 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (NGP).

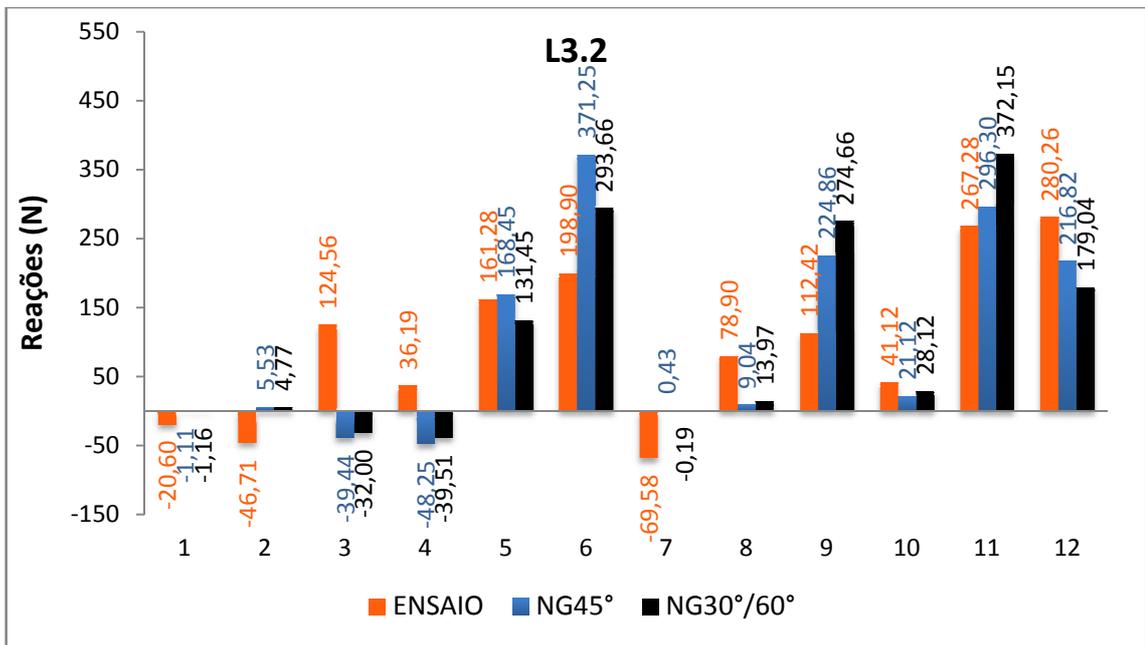


Figura 126 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (NGP).

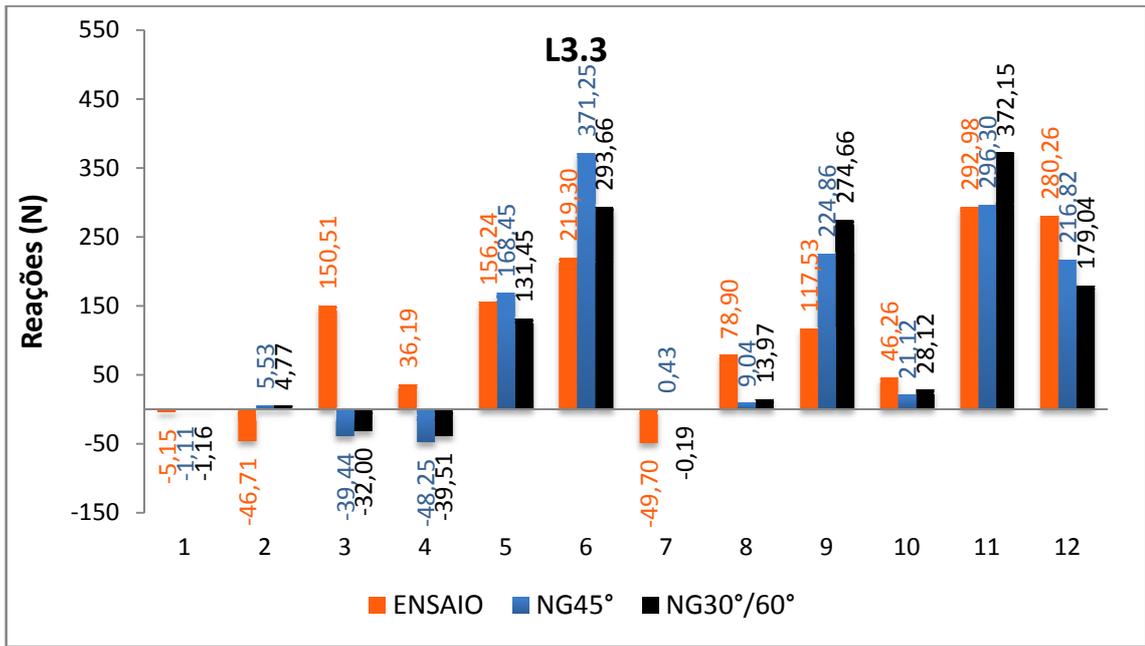


Figura 127 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (NGP).

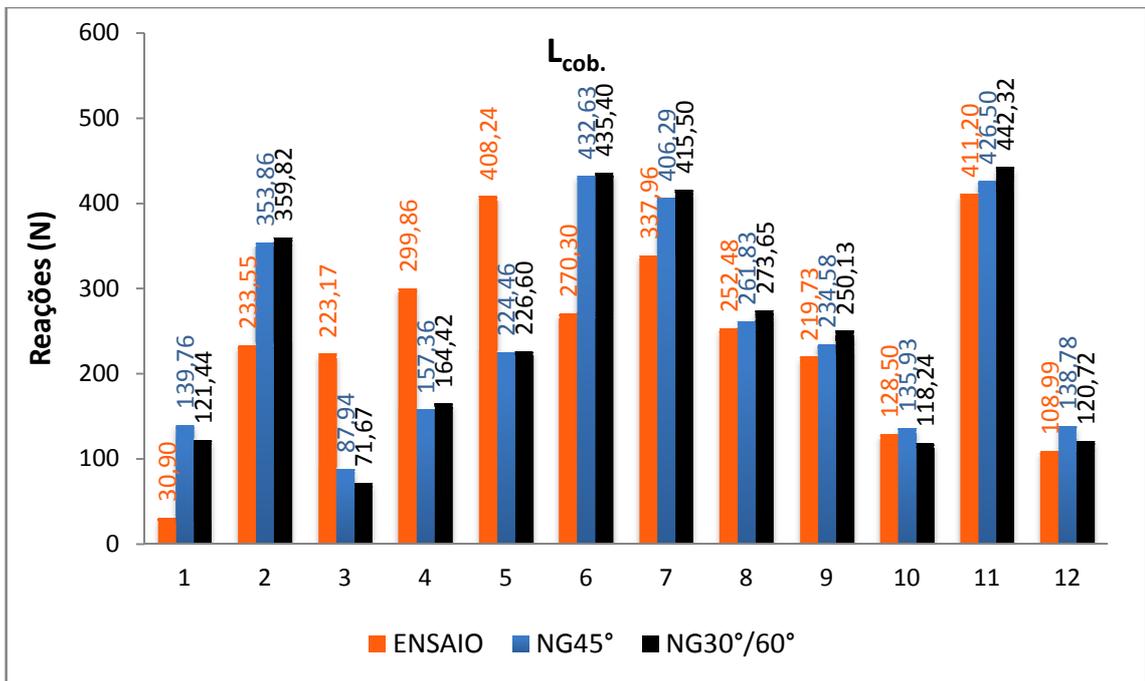


Figura 128 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (NGP).

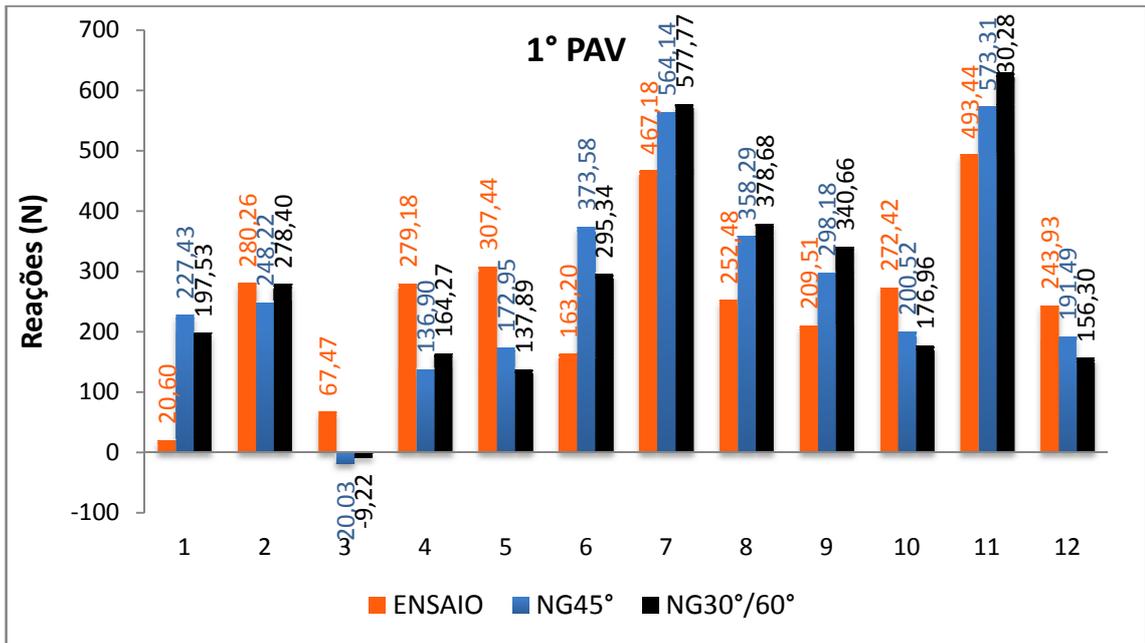


Figura 129 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (NGP).

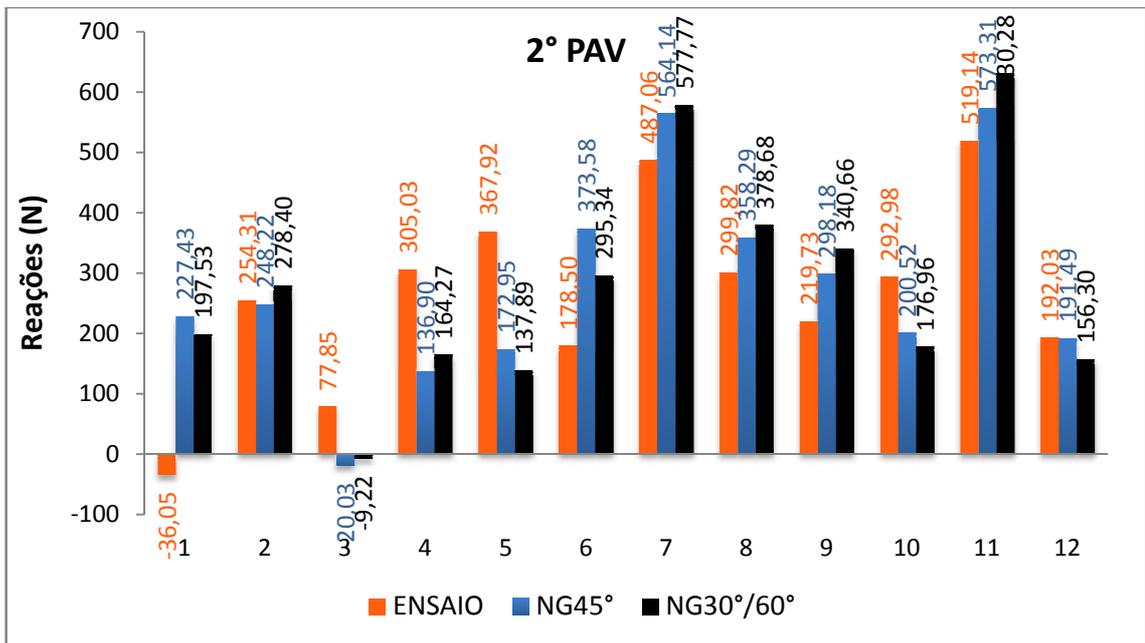


Figura 130 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (NGP).

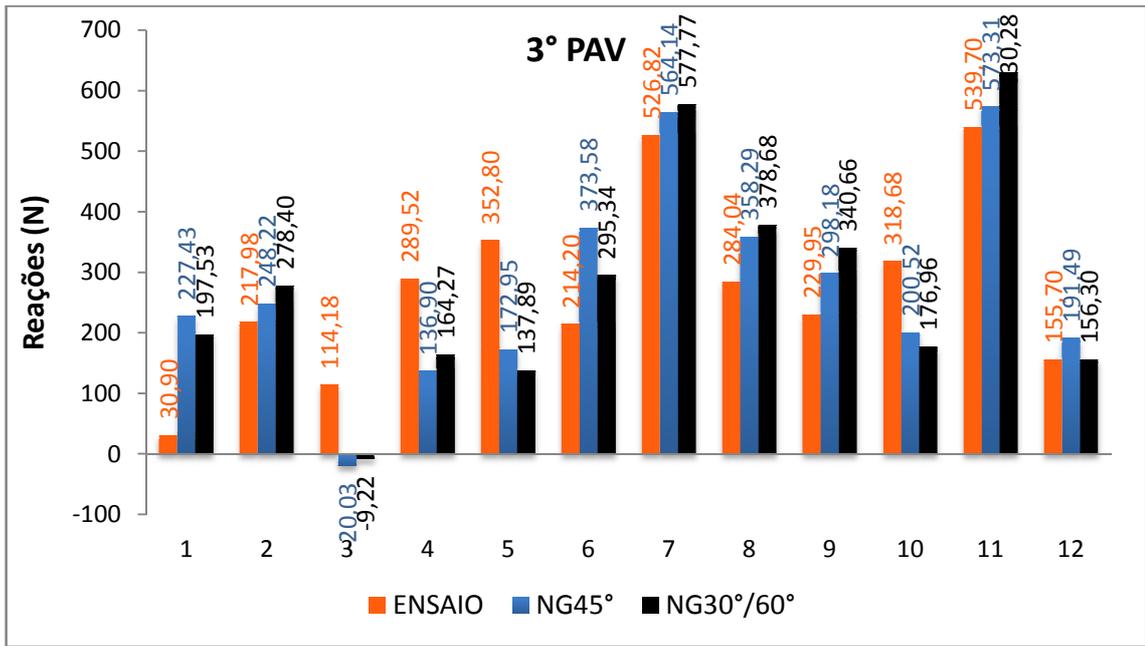


Figura 131 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (NGP).

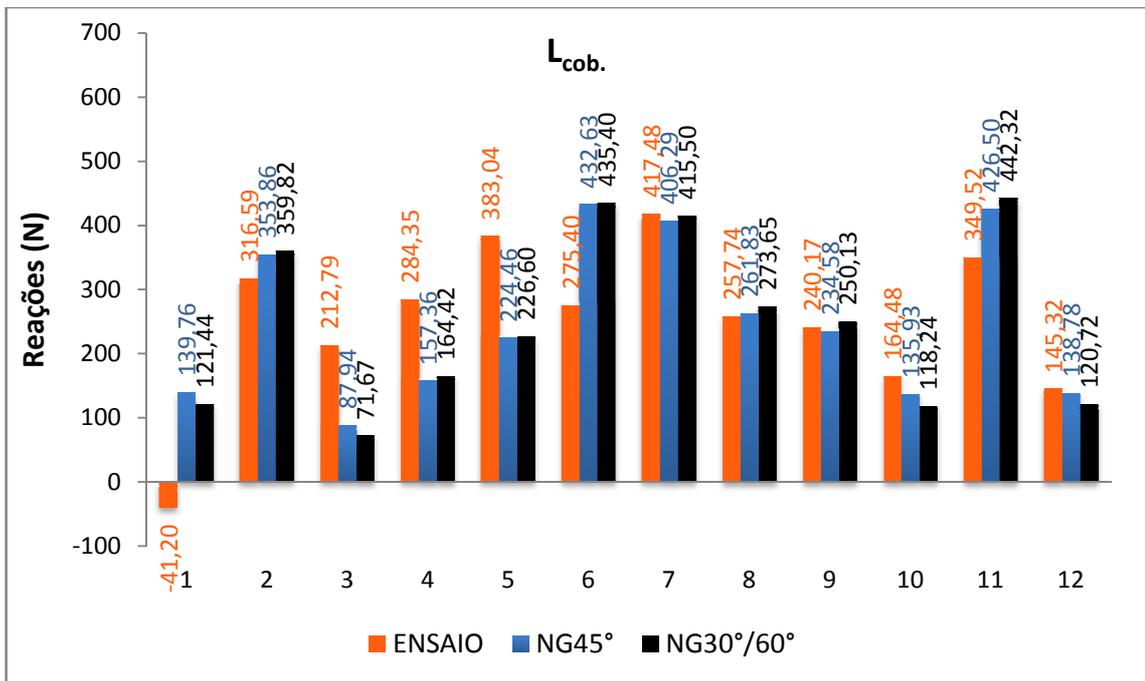


Figura 132 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (NGP).

A nova consideração de grupos foi feita a fim de verificar sua influência nos resultados. Paredes de maior comprimento nos grupos anteriores foram divididas ao meio formando grupos adicionais, diminuindo o comprimento total de alguns grupos. Com os resultados em mãos se

constatou que alguns valores se aproximaram do experimental para vários pontos, sendo que o inverso também ocorreu, em relação aos grupos definidos anteriormente. O Caso 1 foi o que apresentou melhora significativa de resultados para a maioria dos apoios, para os demais casos ocorreu alternância, ou seja, alguns pontos se aproximaram outros afastaram.

Considerando a divisão das áreas de influência para os Casos 1, 2 e 3, e ação atuando abaixo da cobertura os resultados mais próximos foram com divisão em $30^{\circ}/60^{\circ}$. Para o Caso 4 e quando se carregou a cobertura em todos os casos, os melhores resultados foram com divisão a 45° .

Desse modo, verifica-se a importância da escolha das paredes que compõem o grupo, bem como seus comprimentos e conseqüentemente a quantidade de grupos, sendo que esta decisão influenciará, positivamente, nos resultados, de maneira benéfica, ou seja, estando estes próximos do real, ou não.

7.4 Modelagem por Elementos Finitos (MEF)

Segundo Silva (2005, p. 7) a configuração do arco que se forma nas paredes do térreo de edifícios em alvenaria estrutural não se altera a partir de uma determinada relação entre a altura da parede e o vão da viga de apoio. Wood¹¹ (1952) apud Silva (2005, p. 7) relata que o arco se forma a partir de uma relação entre a altura da parede e o comprimento da viga, maior ou igual a 0,60. Tomazela (1995) demonstrou que o efeito arco é formado para uma altura da parede de 70% do comprimento do vão de apoio. Por isso, segundo esses pesquisadores, para computar a existência do efeito arco nas paredes seria necessário discretizar somente um pavimento do edifício, já que normalmente as relações entre o pé-direito e os vãos dos edifícios usualmente construídos estão dentro dos valores já citados.

Considerando este procedimento, foi realizada a discretização em elementos finitos de somente um pavimento do edifício, sem a presença das lajes, sendo modeladas somente as paredes do térreo com suas aberturas. Deve-se atentar para o fato de que alguns vãos externos do edifício fazem com que a relação entre pé-direito e vão seja inferior a relatada no parágrafo anterior, porém mesmo assim optou-se em realizar tal discretização com intuito de comparar os resultados.

Foram adotadas as ações provenientes do procedimento de grupos de paredes inicial, pois este procedimento apresentou resultados mais próximos do experimental do que as paredes isoladas, não necessitando serem apresentadas novamente as áreas de influência e os carregamentos resultantes nas paredes. Assim, independente da altura de aplicação do carregamento nas lajes, as porções de carga que se transferiram as paredes foram alocadas no topo das paredes do térreo. A discretização da alvenaria se deu pela chamada “macro-modelagem” ou “homogeneização” em comportamento elástico linear, ou seja, foi discretizado o elemento “alvenaria” com suas propriedades, não sendo adotada a discretização dos componentes individuais chamada de micro-modelagem, como bloco, argamassa, etc. Utilizou-se para isto de um programa computacional SAP2000®.

¹¹ WOOD, R. H. **Studies in composite construction. Part 1:** the composite action of brick panel walls supported on reinforced concrete beams. National Building Studies, Research Paper n.13, London, Her Majesty's Stationery Office, 1952. 25p.

A alvenaria foi discretizada como elementos quadriláteros do tipo “Shell”, que simulam comportamento de membrana e flexão de placa, sendo que o elemento “alvenaria” foi discretizado segundo as dimensões do meio bloco e considerando as distâncias de eixo a eixo de paredes. Também se considerou na modelagem a viga baldrame, discretizada como elementos “Shell” segundo as dimensões do meio bloco, sobre apoios fixos, sendo estes apoios representativos das próprias células de carga. Assim, foi comparado o resultado destas reações com as obtidas experimentalmente para os diferentes casos de carregamento.

A Figura 133 mostra as cotas em planta de aberturas e das paredes utilizadas para lançamento da estrutura no programa. Na Figura 134 e Figura 135 é possível observar a estrutura de alvenaria discretizada com suas aberturas.

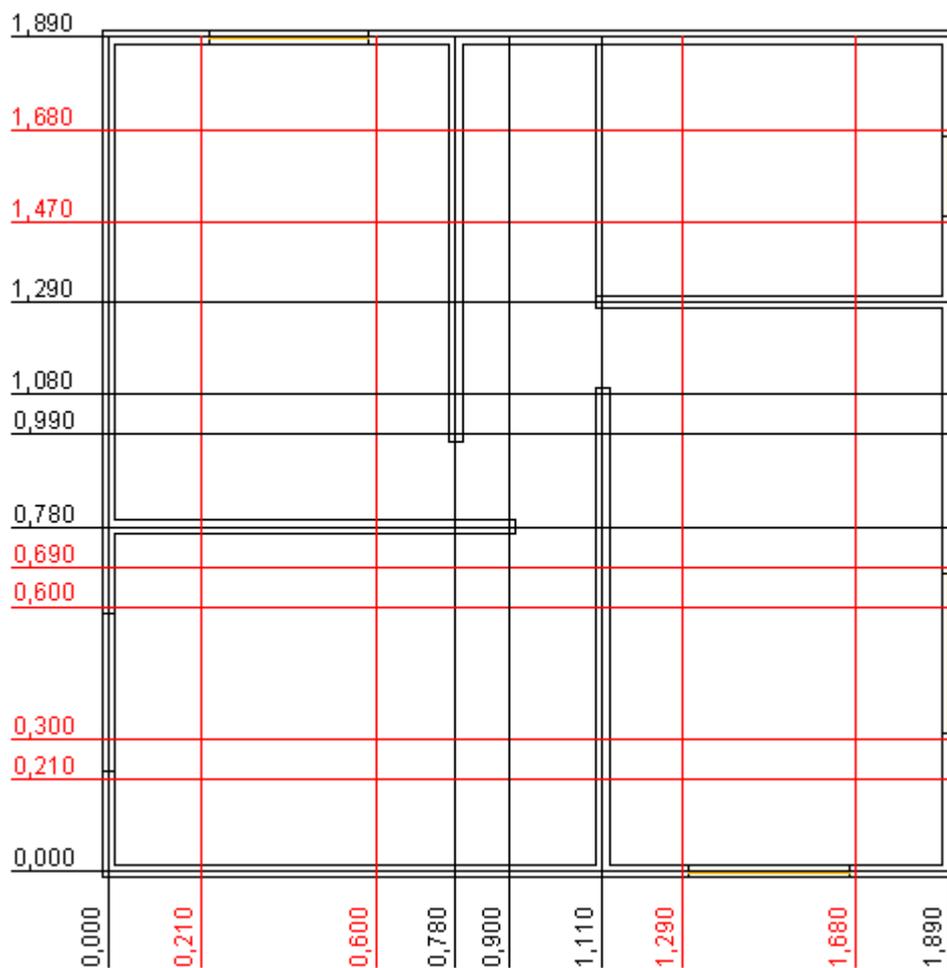


Figura 133 - Cotas (metro) em planta das paredes do edifício, em vermelho referente às aberturas de janelas e em preto aberturas de portas e distância entre paredes.

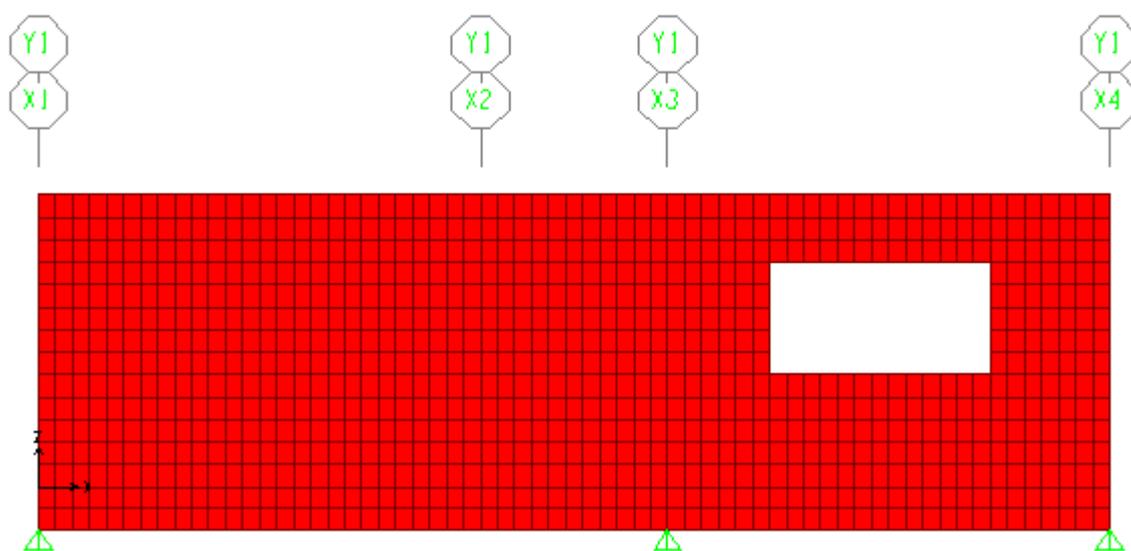


Figura 134 - Parede do térreo de um dos lados do edifício discretizada.

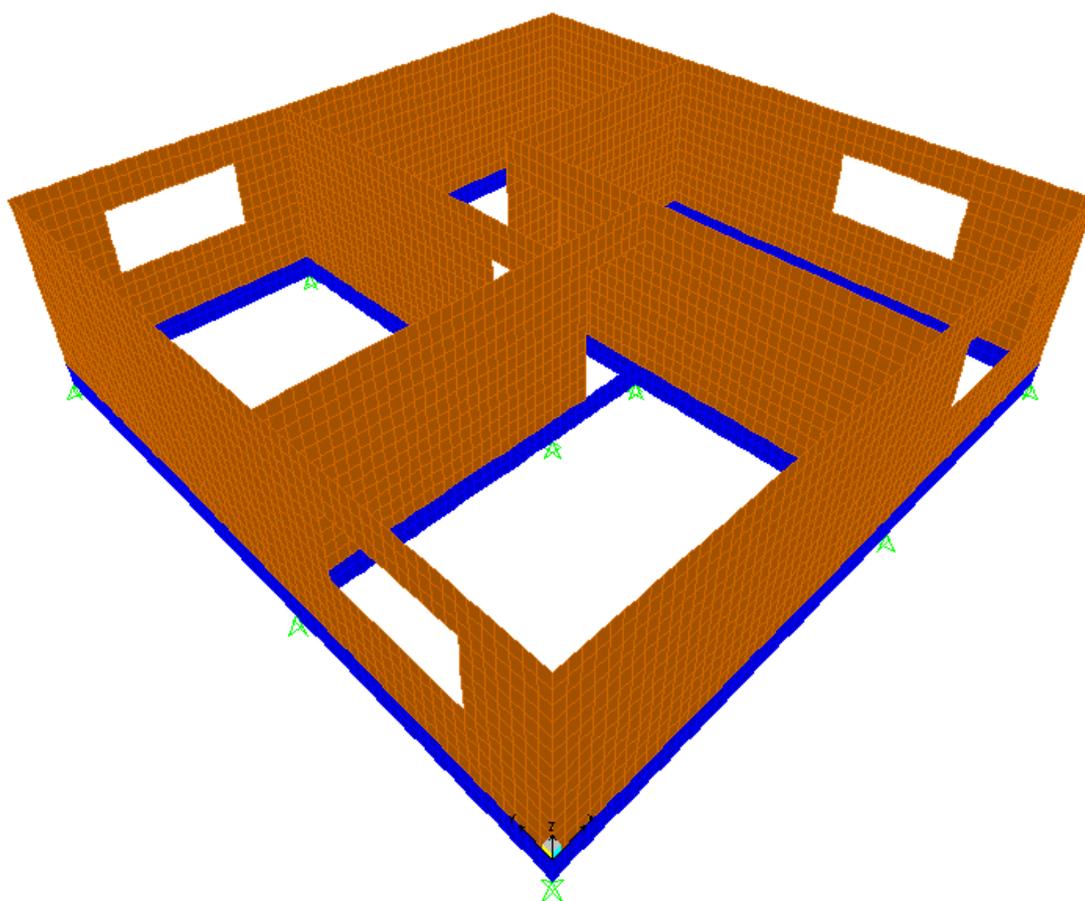


Figura 135 - Paredes do térreo discretizadas, vigas baldrame representadas em azul.

Conforme já informado, foram utilizadas as ações nas paredes provenientes do procedimento dos Grupos de Paredes. Como exemplo, na Figura 136 é apresentado as ações uniformemente distribuídas nas paredes do edifício, para a condição de carregamento atuando na cobertura do edifício, e aqui lançado sobre as paredes do térreo. A figura é somente esquemática, indicando que existe uma ação distribuída e que a mesma possui sentido vertical para baixo. Também foram utilizadas as duas condições de divisão da área de influência das lajes.

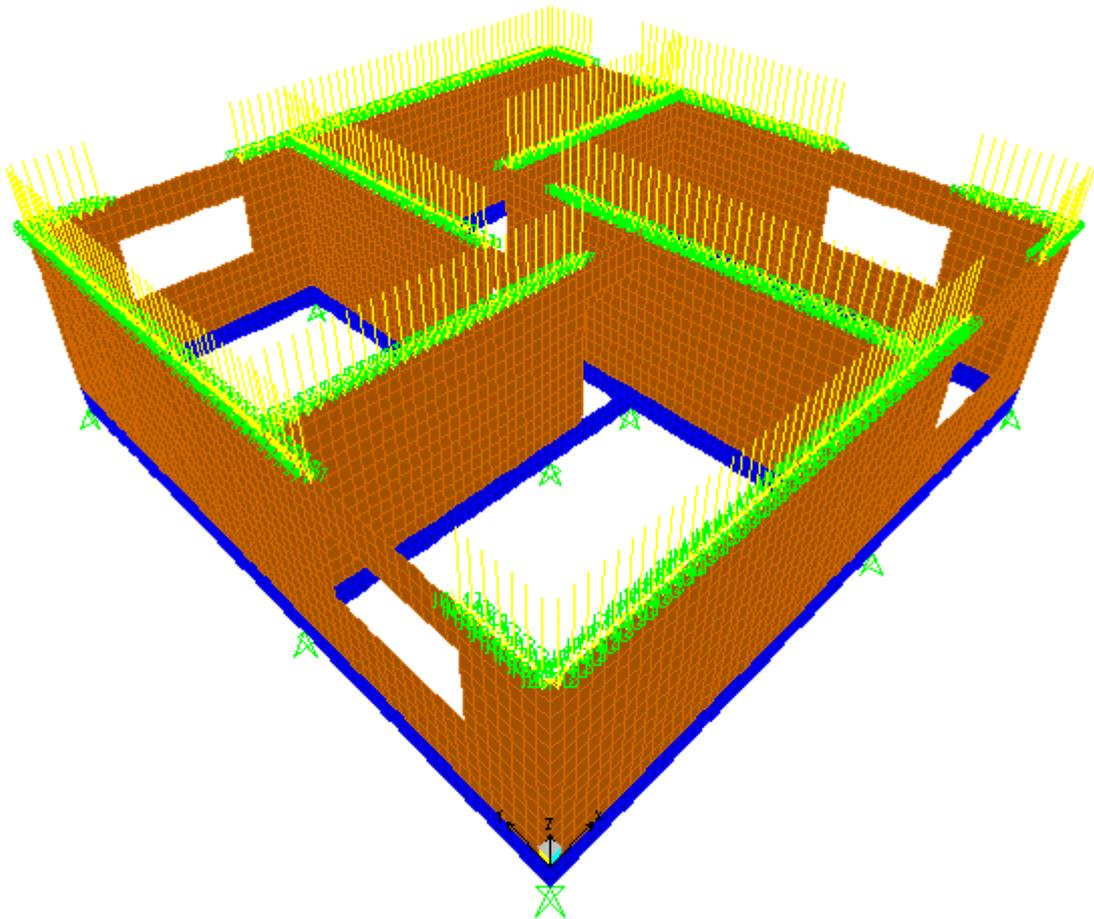


Figura 136 - Ações provenientes do carregamento atuando na cobertura, e aqui lançadas sobre as paredes do térreo.

Após carregamento das paredes do térreo, foram obtidas as reações de apoio dos 12 pontos, para cada tipo de carregamento dos Casos 1, 2, 3 e 4, sendo apresentados os resultados na sequência. O que se pode observar é que as respostas deste procedimento foram semelhantes às obtidas com o procedimentos dos grupos de paredes, e ainda se constata que as diferenças entre as duas considerações de divisão da área de influência foram menores que o procedimento anterior.

7.4.1 Resultados e Comparações - Caso 1

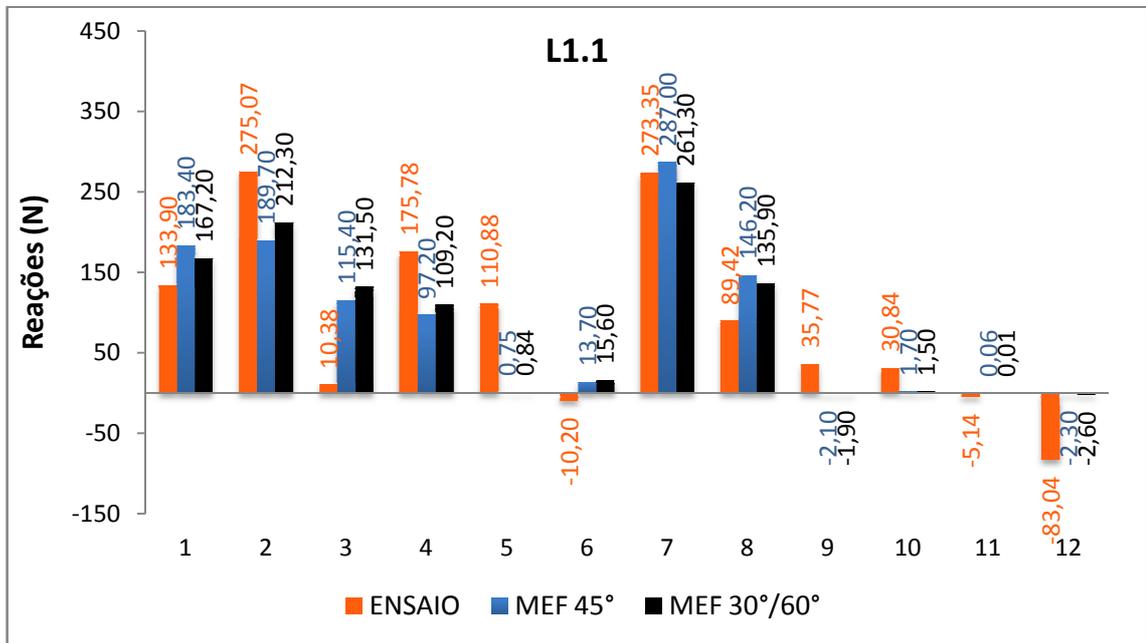


Figura 137 - Reações de apoio para ações atuando na L1.1 - (MEF).

Os apoios 2, 4, 5, 9, 10 e 12 apresentaram resultados teóricos menores que o experimental para a L1.1, L1.2 e L1.3. Da laje L1.1 até a L1.3, os resultados mais próximos foram com divisão de 30°/60°.

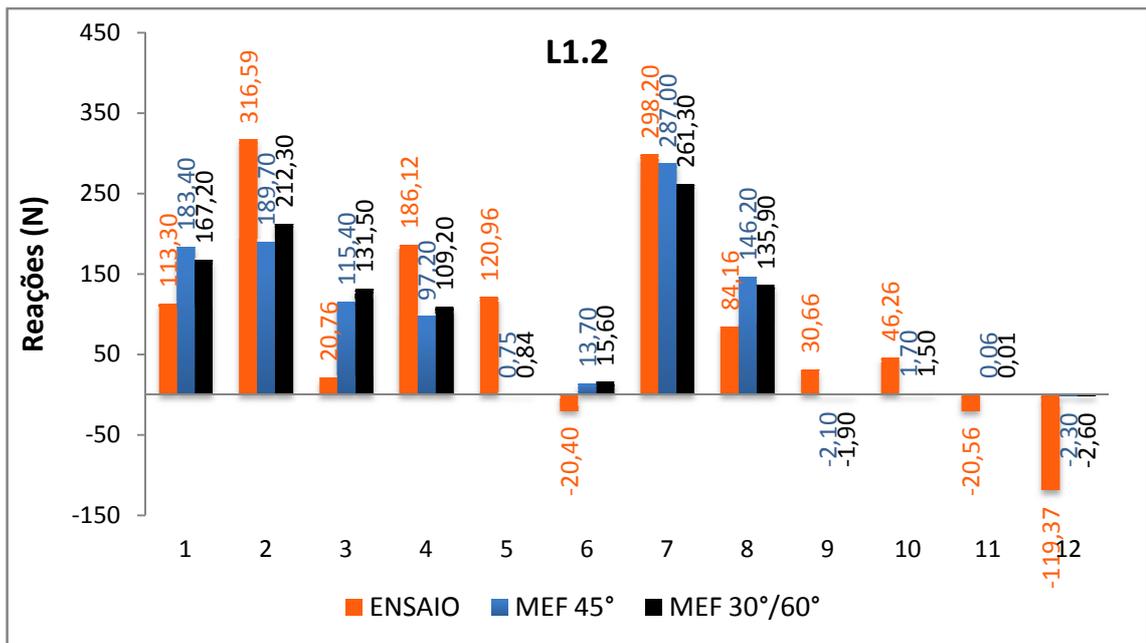


Figura 138 - Reações de apoio para ações atuando na L1.2 - (MEF).

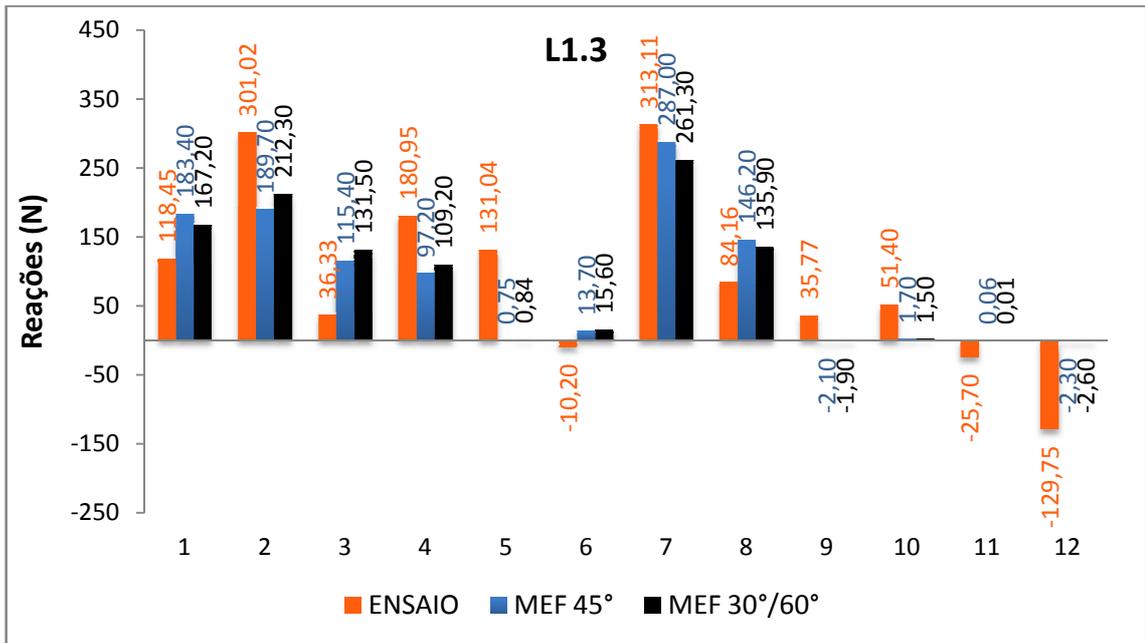


Figura 139 - Reações de apoio para ações atuando na L1.3 - (MEF).

Quando se carregou a cobertura os resultados teóricos foram praticamente iguais e se aproximaram do experimental em vários pontos, fato também observado nos outros casos. A maioria dos valores teóricos foi menor que o experimental, e a divisão a 45° apresentou melhores resultados.

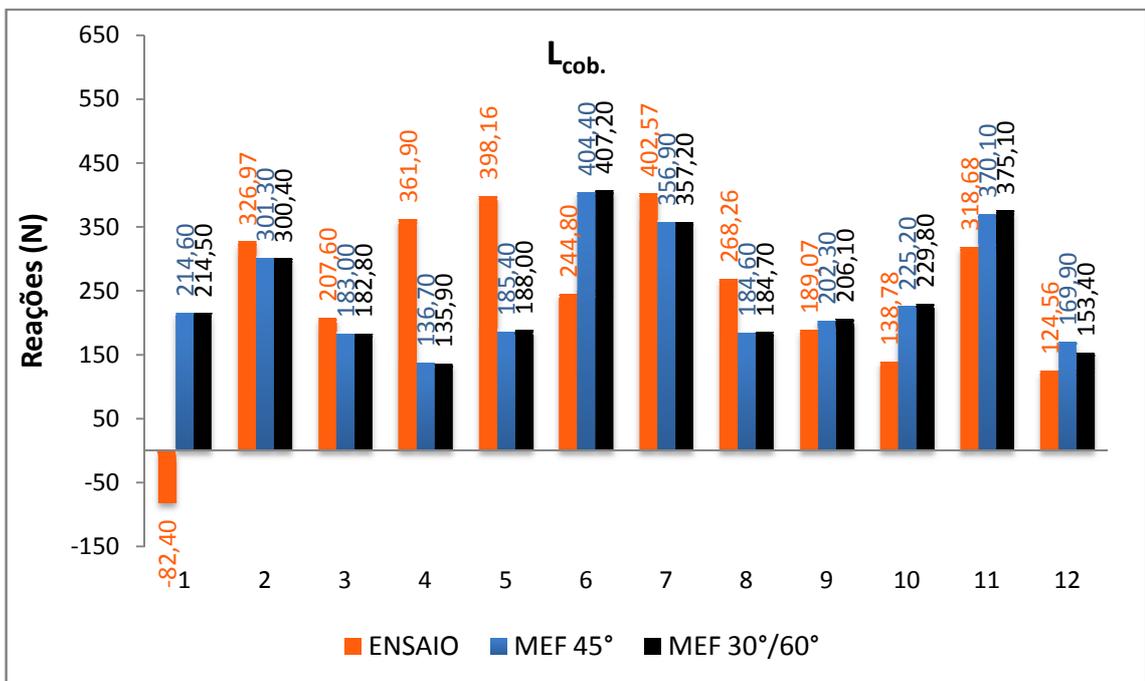


Figura 140 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L1 - (MEF).

7.4.2 Resultados e Comparações - Caso 2

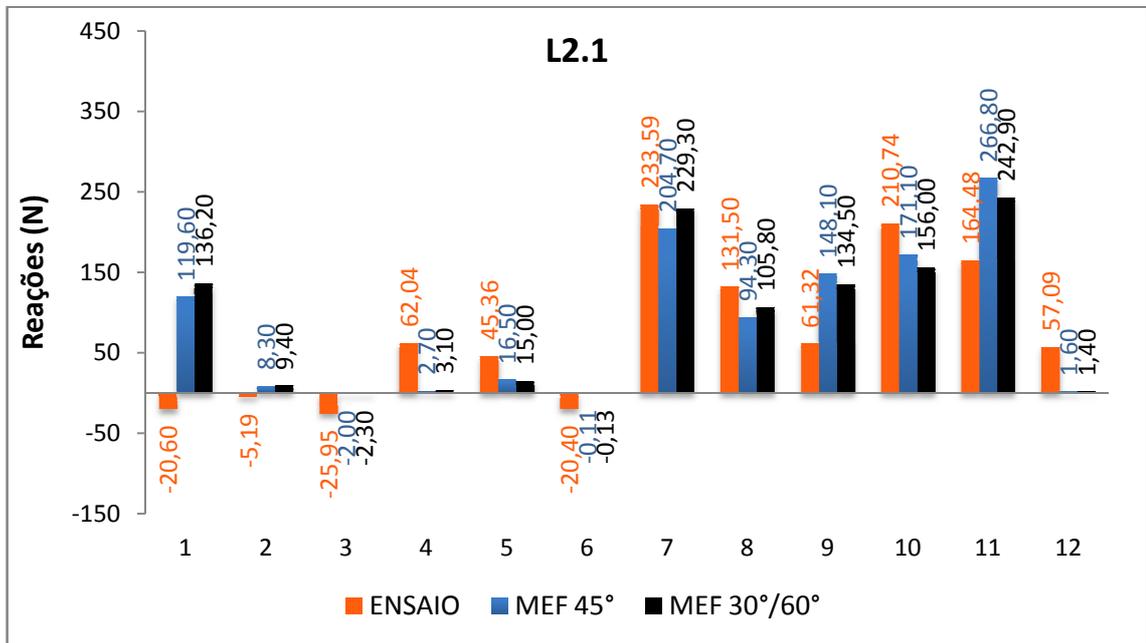


Figura 141 - Reações de apoio para ações atuando na L2.1 - (MEF).

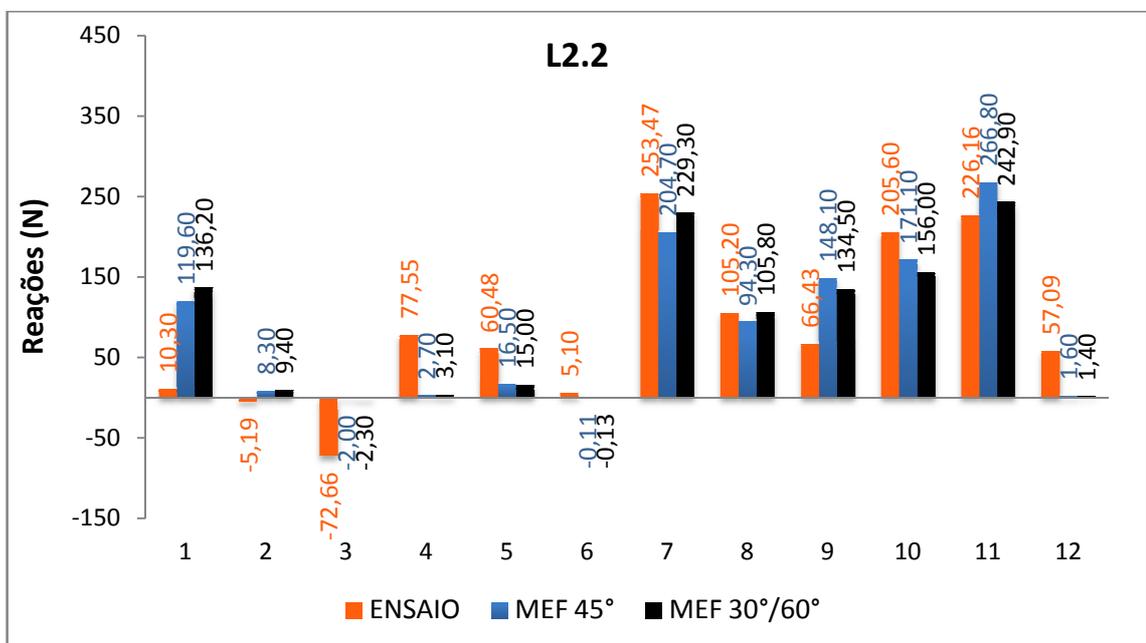


Figura 142 - Reações de apoio para ações atuando na L2.2 - (MEF).

Os apoios 3, 4, 5, 6, 7, 10 e 12 apresentaram resultados teóricos menores que o experimental para a L2.1, L2.2 e L2.3. Nos pontos abaixo da área carregada, 7, 8, 9, 10 e 11, os resultados

se mostraram mais próximos do experimental que o caso anterior. Da laje L2.1 até a L2.3, novamente os melhores resultados foram com divisão de 30°/60°.

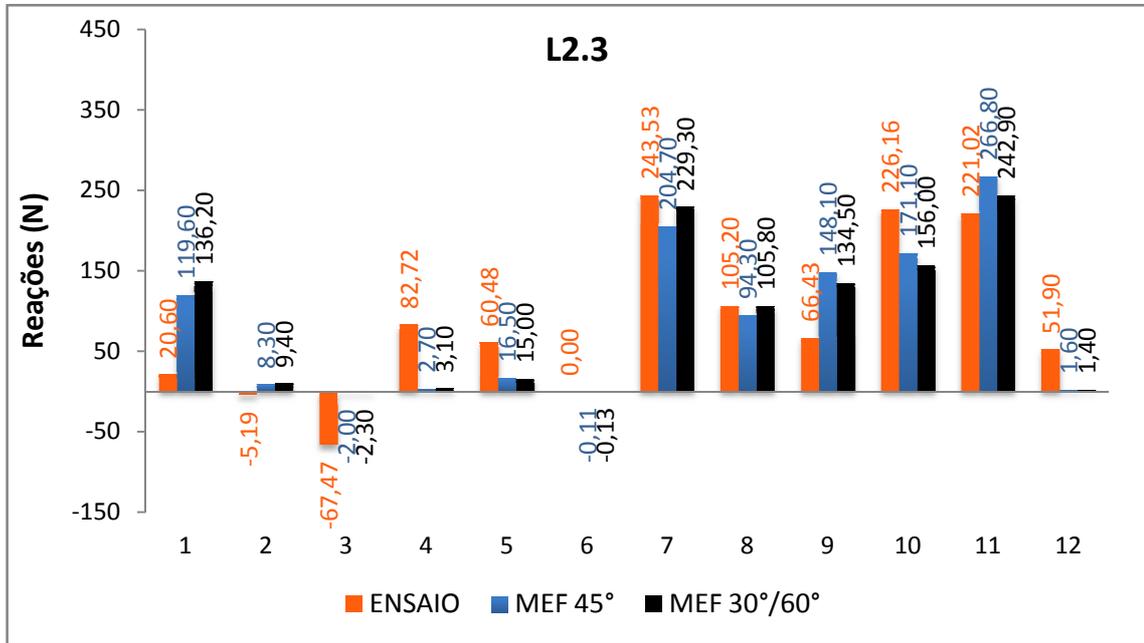


Figura 143 - Reações de apoio para ações atuando na L2.3 - (MEF).

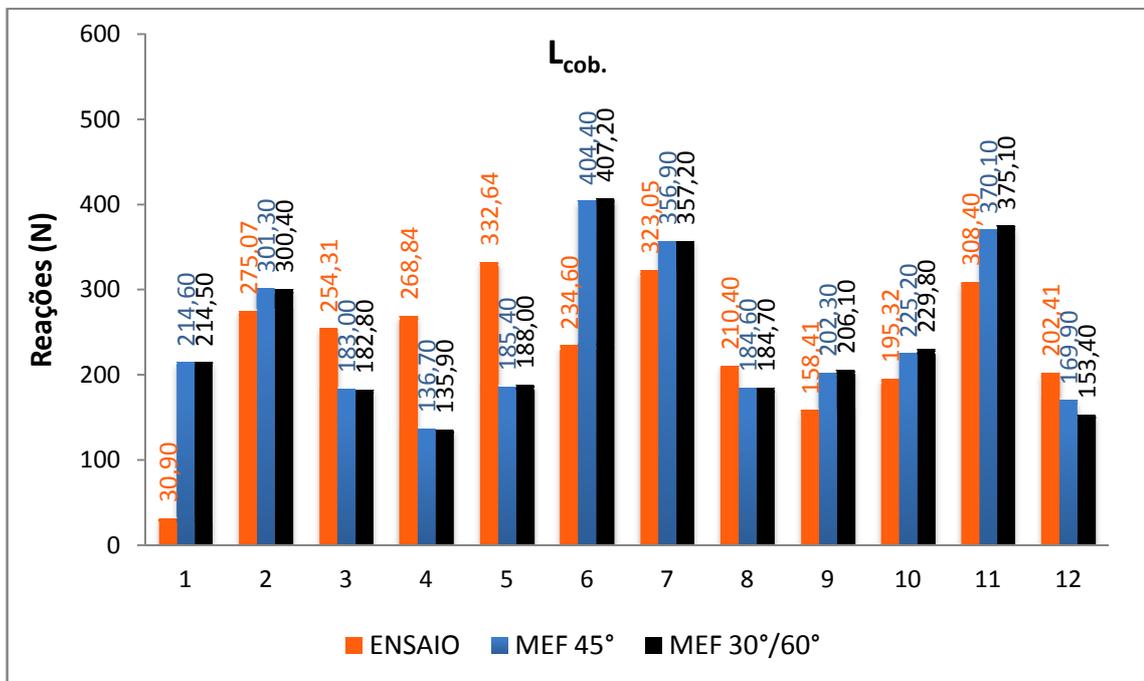


Figura 144 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L2 - (MEF).

7.4.3 Resultados e Comparações - Caso 3

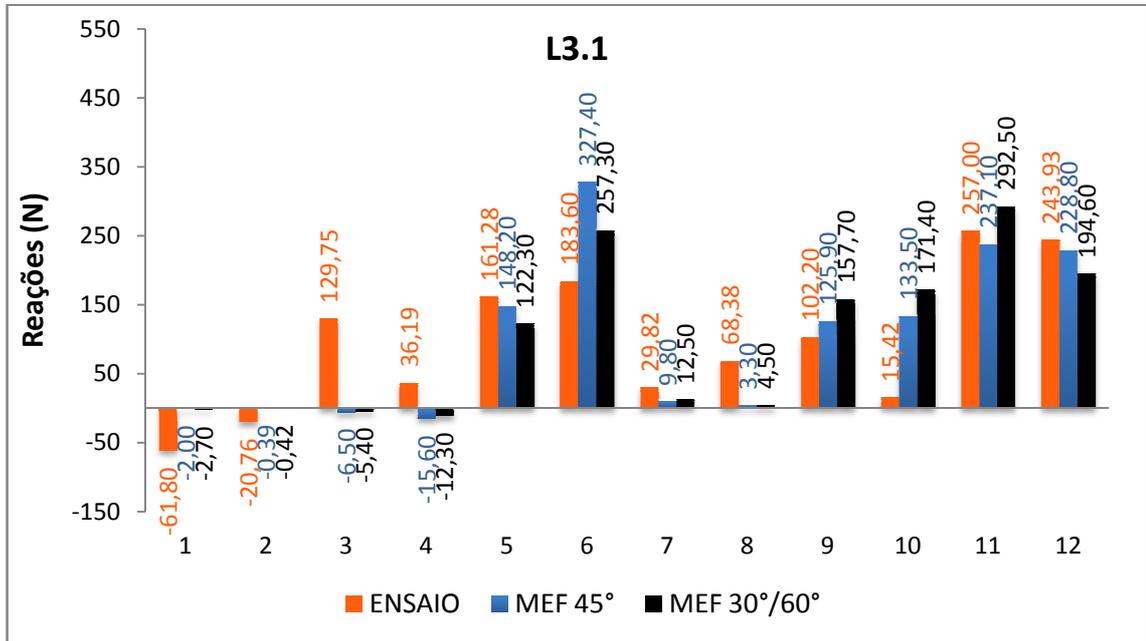


Figura 145 - Reações de apoio para ações atuando na L3.1 - (MEF).

Estes resultados foram melhores que o obtido no Caso 1, sendo que a maioria dos valores foram inferiores ao experimental e a divisão com ângulos de 30°/60° também apresentou resultados mais próximos, para carregamento atuando da L3.1 até a L3.3.

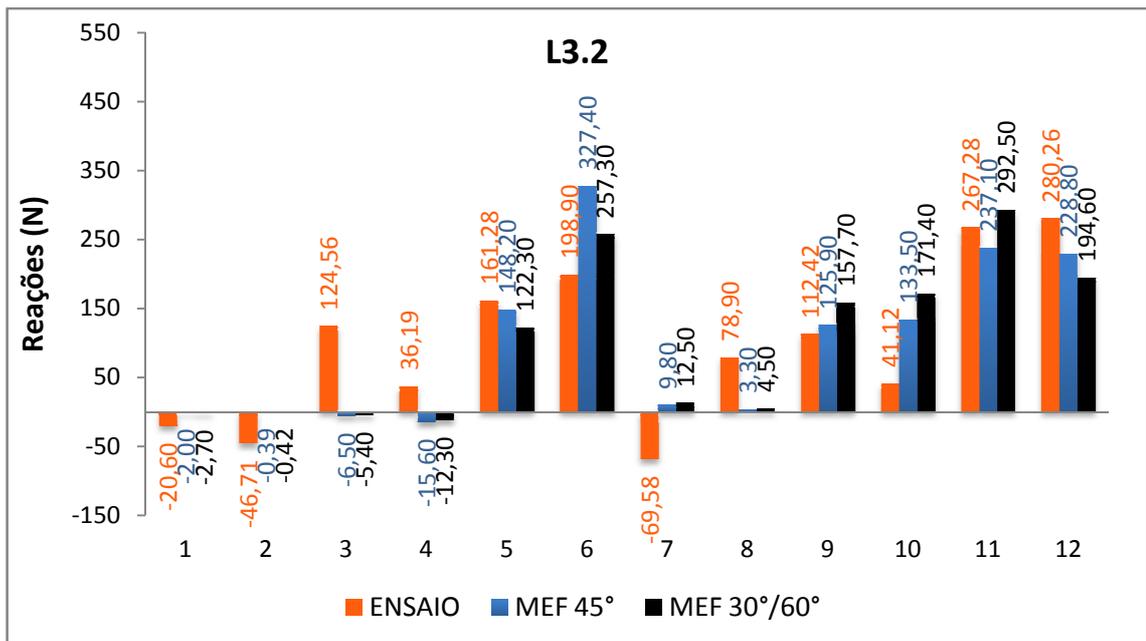


Figura 146 - Reações de apoio para ações atuando na L3.2 - (MEF).

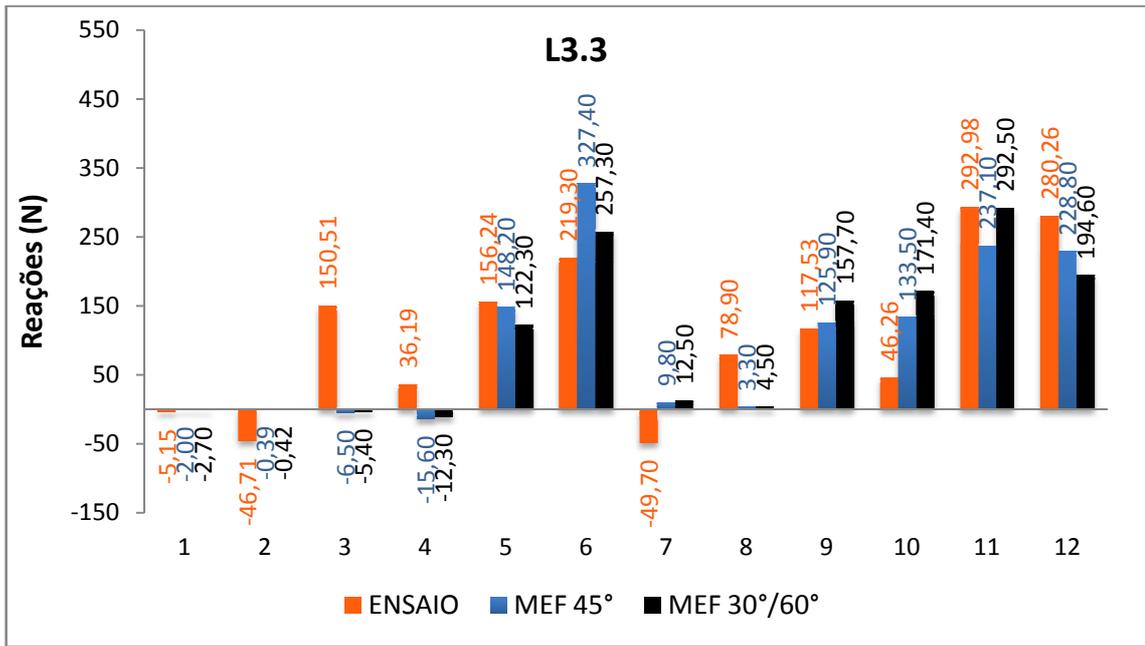


Figura 147 - Reações de apoio para ações atuando na L3.3 - (MEF).

Na cobertura os resultados observados foram análogos ao exposto no Caso 1 e 2 para este tipo de carregamento, mas os resultados mais próximos foram com divisão de 30°/60°.

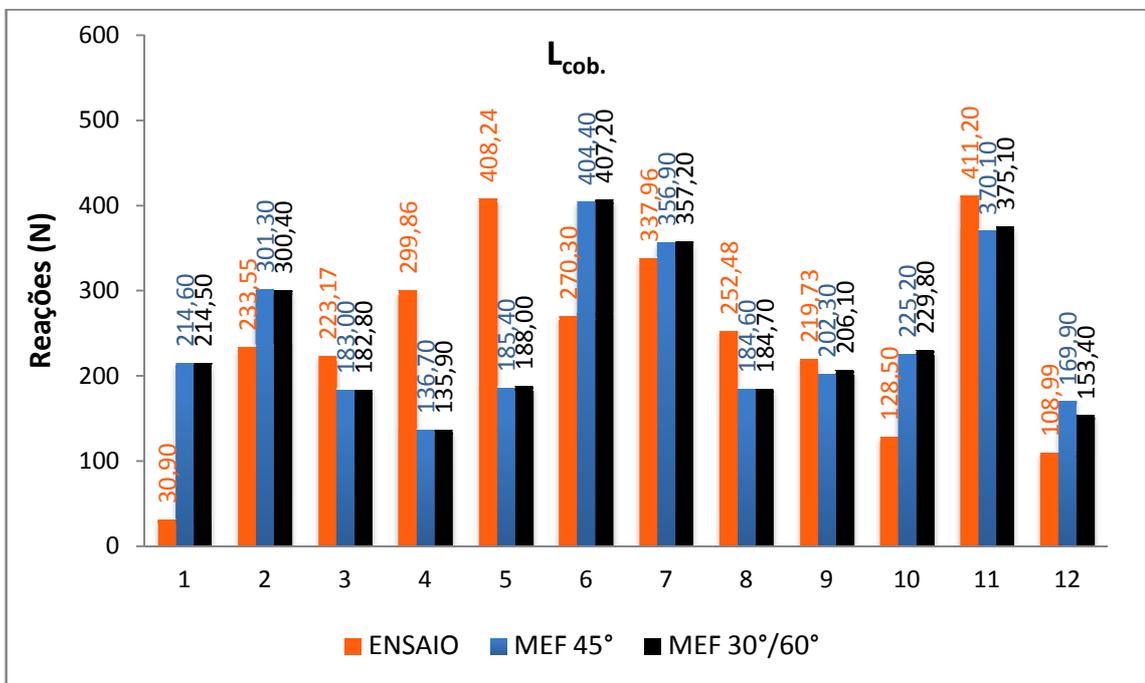


Figura 148 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - L3 - (MEF).

7.4.4 Resultados e Comparações - Caso 4

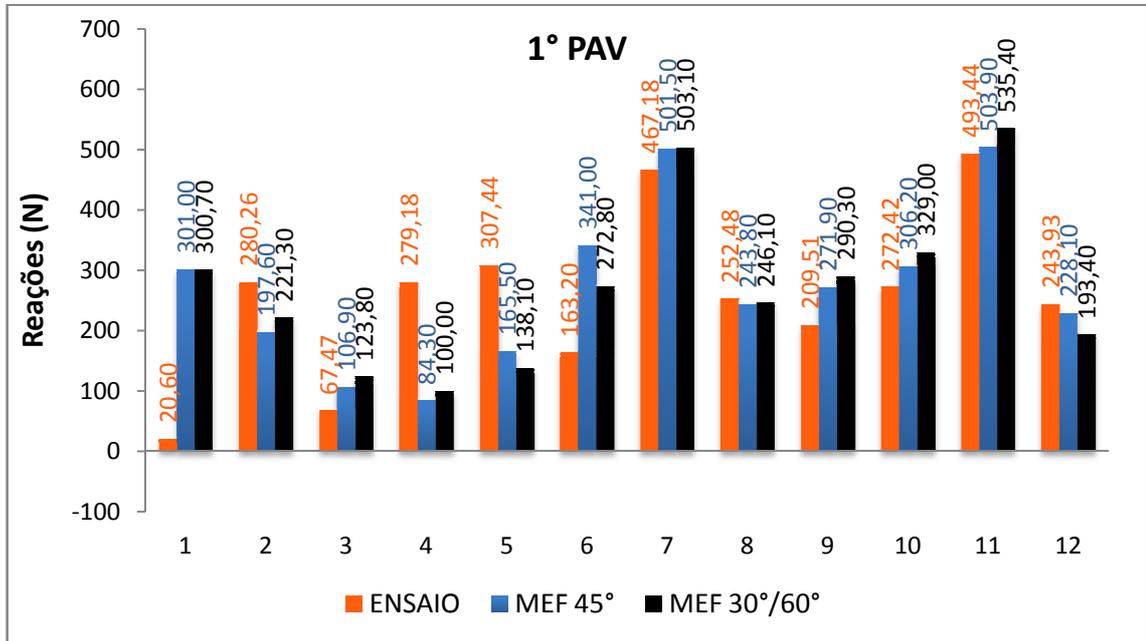


Figura 149 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 1º pavimento - (MEF).

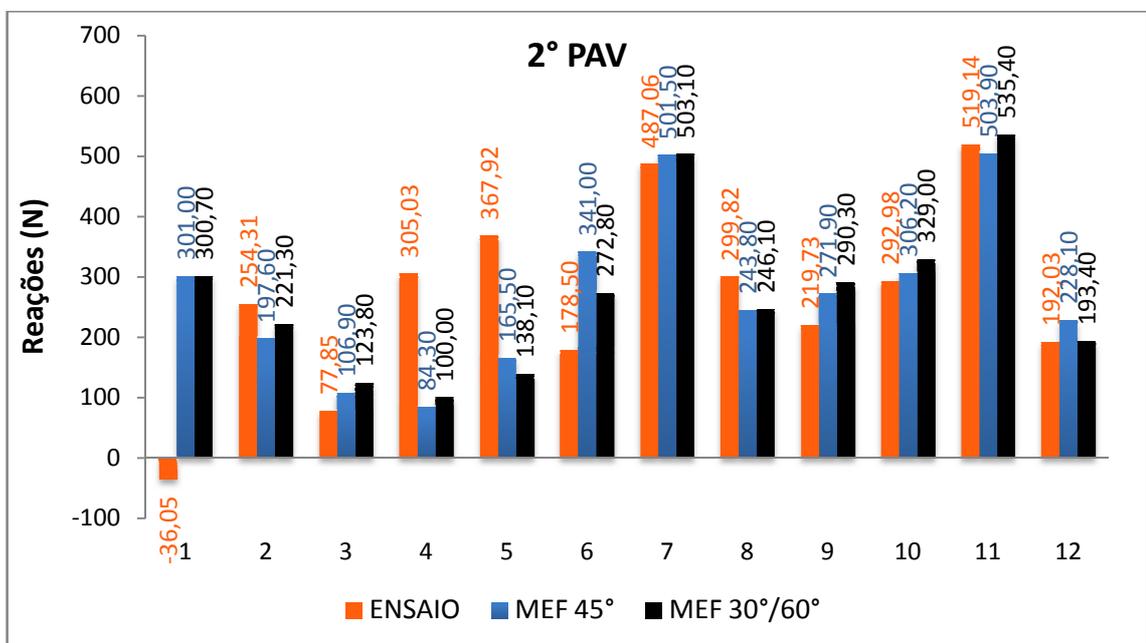


Figura 150 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 2º pavimento - (MEF).

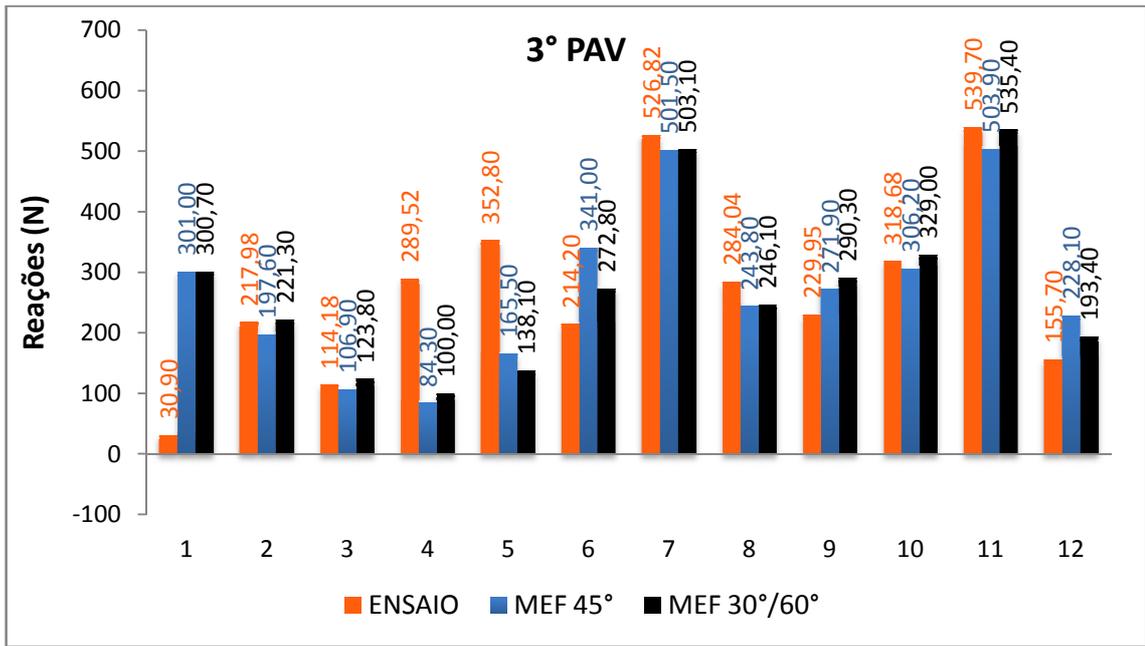


Figura 151 - Reações de apoio para ações atuando nas lajes do 3º pavimento - (MEF).

Os valores teóricos obtidos foram na maioria das vezes menores. Do 1º e 2º pavimentos e na cobertura, a consideração da divisão com ângulos de 30°/60° teve melhores resultados, já o 3º pavimento foi com ângulos de 45°. Assim na maioria das vezes os resultados com divisão a 30°/60° foram melhores.

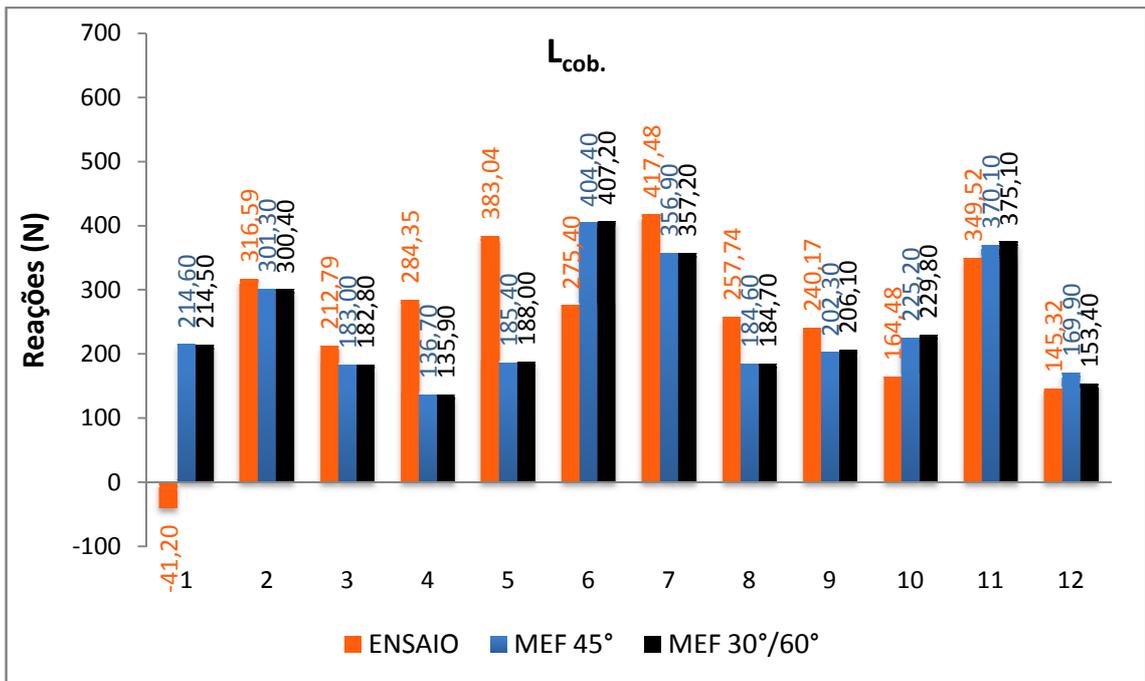


Figura 152 - Reações de apoio para ações atuando na cobertura - Caso 4 - (MEF).

7.5 Propostas de Procedimento de Distribuição das Ações Verticais

Diante dos resultados obtidos através das comparações entre as respostas experimentais e teóricas, propõe-se que as paredes nos edifícios de alvenaria estrutural, considerando os procedimentos manuais, sejam adotadas como pertencentes a determinado grupo, pois os resultados obtidos usando grupos de paredes foram melhores do que a consideração de paredes isoladas, em relação aos experimentais, atentando para o fato de que a amarração entre paredes que se interceptam seja direta.

Corrêa (2003, p. 143) propõe um procedimento para distribuição das ações verticais, atentando para o fato de que o princípio de Saint Venant governa o processo de homogeneização das ações. Com isso, o pesquisador relata que a distância vertical necessária para atingir a homogeneização deve ser maior que o diâmetro da circunferência que circunscribe em planta a seção transversal de determinado grupo de paredes. A Figura 153 mostra os grupos de paredes delimitados pelos diâmetros, sendo que estes devem ser comparados com o pé-direito h para definir o número mínimo de pavimentos necessários para uniformização das tensões verticais.

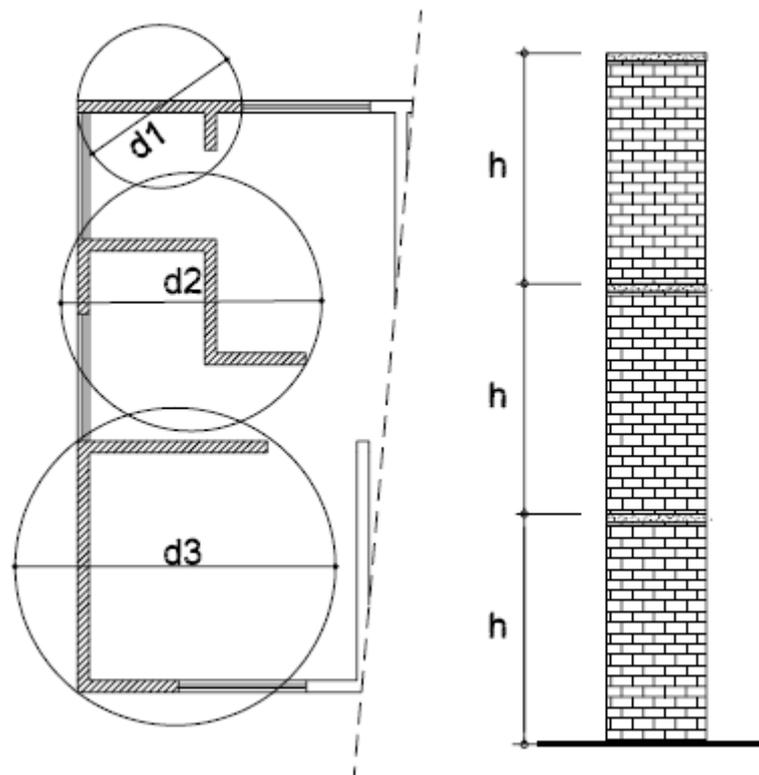


Figura 153 - Planta baixa e elevação, (CORRÊA, 2003, p. 144).

Assim, foram propostos dois procedimentos de distribuição das ações verticais inspirados no procedimento de Corrêa (2003), com algumas modificações, como apresentado adiante.

7.5.1 Proposta 1: Processo dos Centros de Cargas (CC)

1. De posse das ações verticais uniformemente distribuídas atuantes sobre as lajes da estrutura prossegue-se para a escolha dos grupos de paredes que suportarão os esforços verticais;
2. As aberturas de portas e janelas são elementos principais para a definição dos grupos. Dessa forma, inicialmente para o projeto estudado, seriam definidos os grupos da Figura 154;

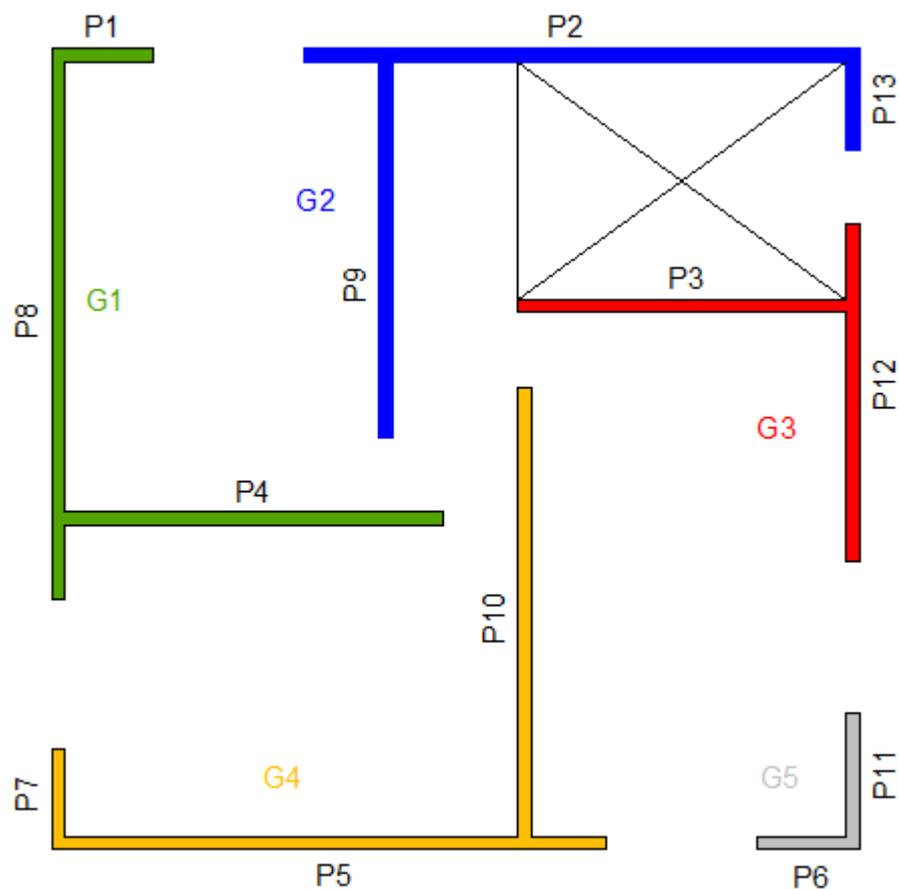


Figura 154 - Escolha inicial dos grupos.

3. O comprimento das paredes pode ser determinado através de seus eixos, ou seja, medindo-se de eixo a eixo em planta, considerando a fiada onde existem aberturas, como a Figura 155;

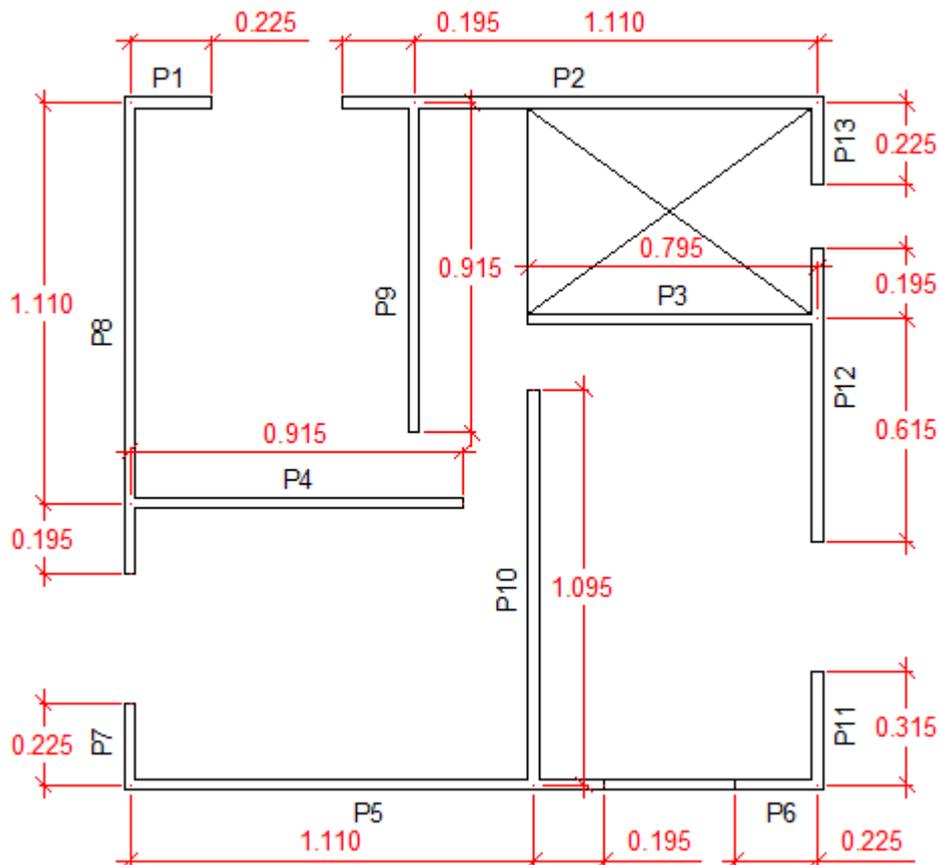


Figura 155 - Comprimento das paredes.

4. Após definição dos grupos iniciais, deve-se proceder com a determinação das áreas de influência das ações verticais uniformemente distribuídas, para isso as áreas devem ser divididas considerando ângulos de 45° , pois os resultados teóricos obtidos com esta divisão foram melhores do que $30^\circ/60^\circ$, como na Figura 156. Localizar o Centro de Carga (CC) das áreas carregadas, neste caso este ponto coincide com o centro geométrico da figura em planta que representa a área carregada, como a Figura 157;

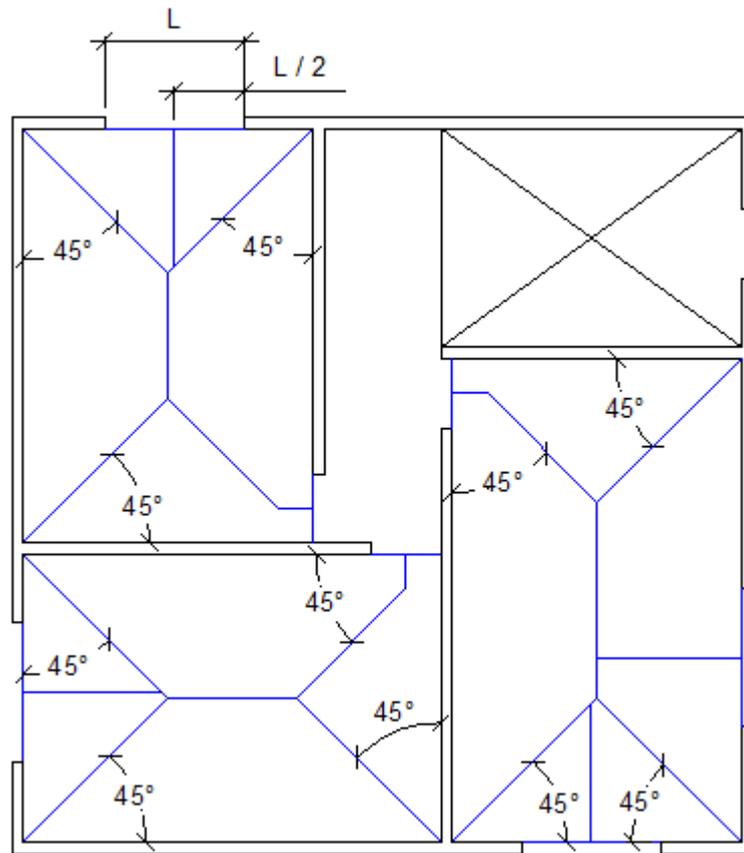


Figura 156 - Determinação das áreas de influência.

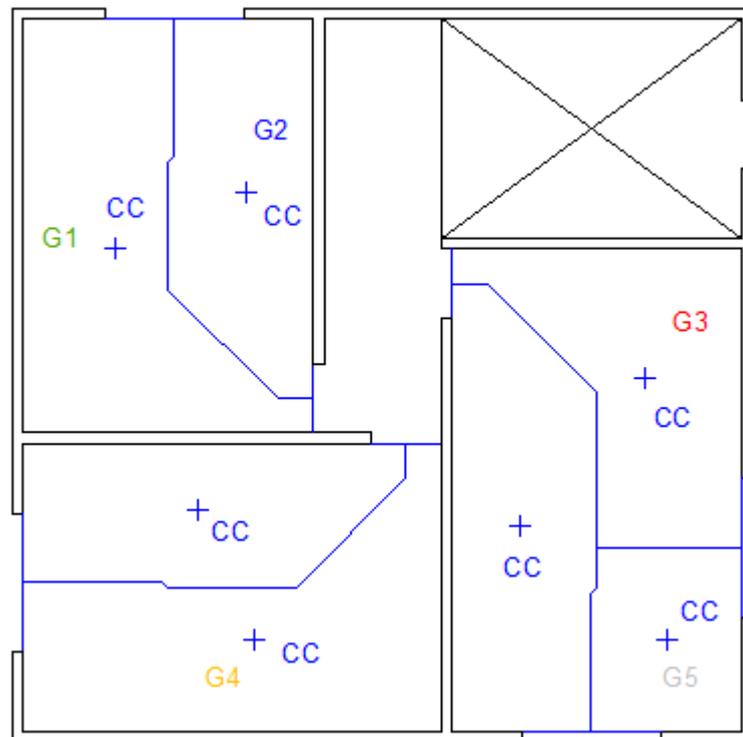


Figura 157 - Localização dos CC das áreas carregadas.

5. Para os grupos estabelecidos criar alguns nós, sendo estes nós exatamente no encontro de paredes concorrentes. O comprimento de uma parede limitado entre dois destes nós é denominado de L_n , já quando uma parede está entre um nó e uma abertura seu comprimento é denominado de L , conforme Figura 158;

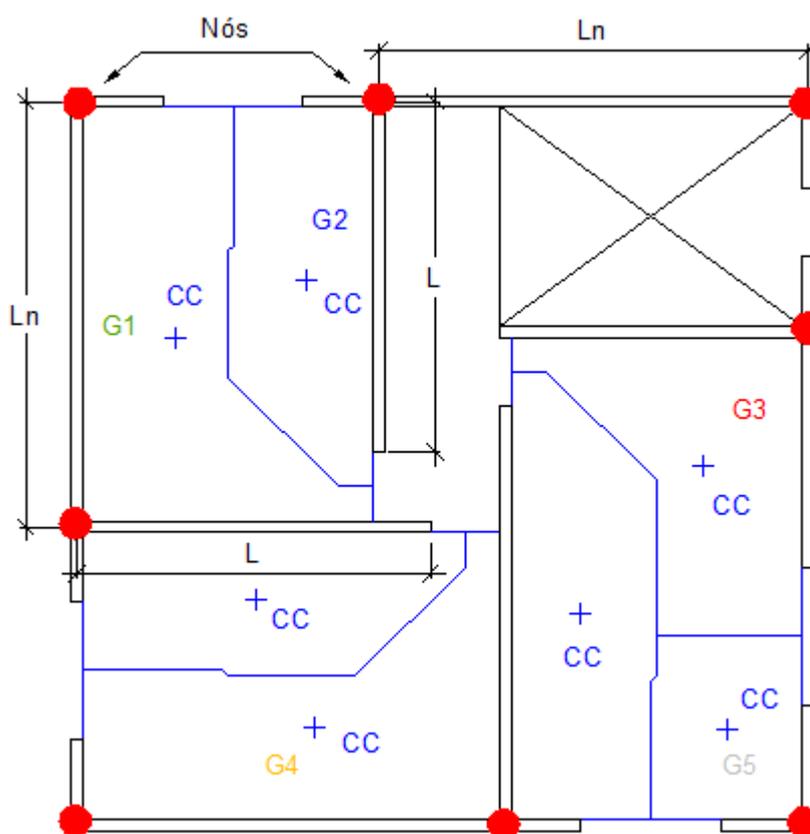


Figura 158 - Definição dos nós.

6. Determinar o Centro de Carga Resultante (CCR), Figura 159, para os casos em que existam mais de uma área carregada que contribua para o Grupo, com o intuito de determinar o ponto que será o centro da circunferência. Para o caso de somente existir uma área carregada o centro da circunferência será o CC desta área;

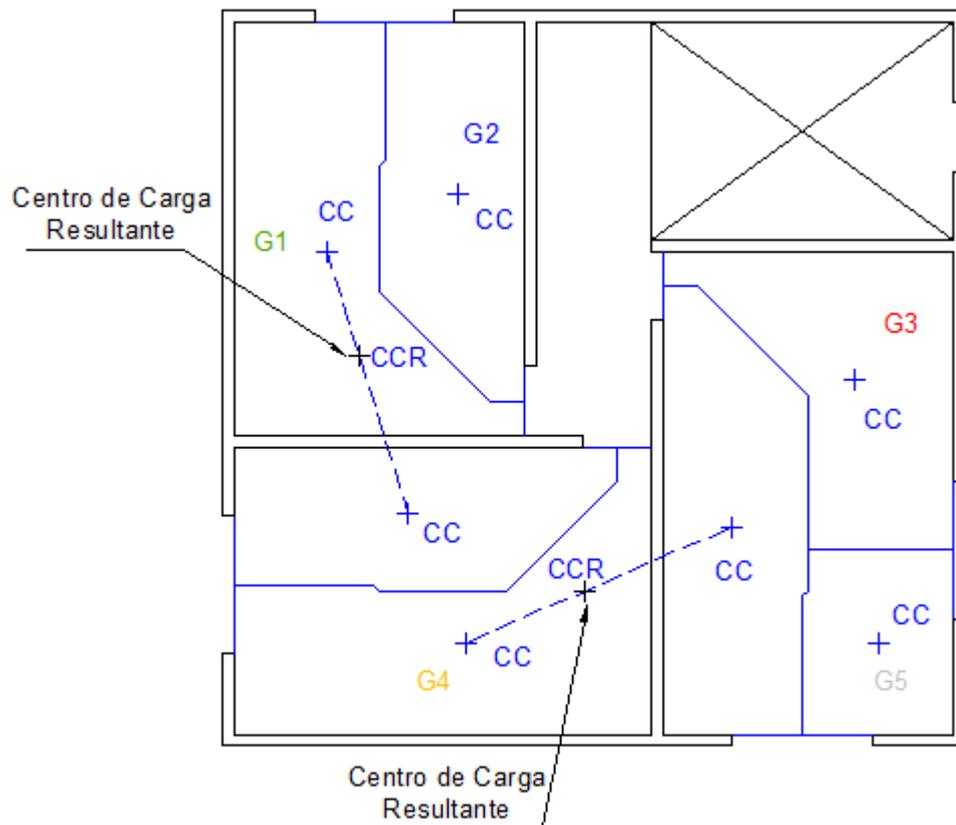


Figura 159 - Localização dos Centros de Carga resultantes que coincidirão com centro da circunferência para limitação do comprimento das paredes do grupo.

7. Desenhar a circunferência de raio igual ao pé-direito do edifício, com centro no CC da área carregada contribuinte. O comprimento das paredes pertencentes ao grupo será determinado pelo comprimento das mesmas que estiver circunscrito a circunferência, sendo este comprimento denominado de L_g , adotando-se o seguinte:

- Paredes compreendidas entre dois nós:
 - i. Se $L_n \leq 2 \times \text{pé-direito}$: $L_g = L_n/2$;
 - ii. Se $L_n > 2 \times \text{pé-direito}$ deve-se observar duas situações:
 - a) A circunferência circunscreve pelo menos um nó: $L_g = L_g$;
 - b) Nenhum nó está circunscrito: $L_g = L_g - \text{pé-direito}$

Observar que o comprimento denominado “ L_g ” deve ter sua origem no nó circunscrito à circunferência ou no nó mais próximo, no caso em que a circunferência somente delimita uma parede continua, não conectada a outra.

- Paredes compreendidas entre um nó e uma abertura:
- i. Se $L \leq 2 \times \text{pé-direito}$: $L_g = L$;
 - iii. Se $L > 2 \times \text{pé-direito}$ deve-se observar duas situações:
 - a) A circunferência circunscreve pelo menos um nó: $L_g = L_g$;
 - b) Nenhum nó está circunscrito: $L_g = L_g - \text{pé-direito}$.

As Figuras 160 a 164 mostram a aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos das paredes pertencentes a um determinado grupo.

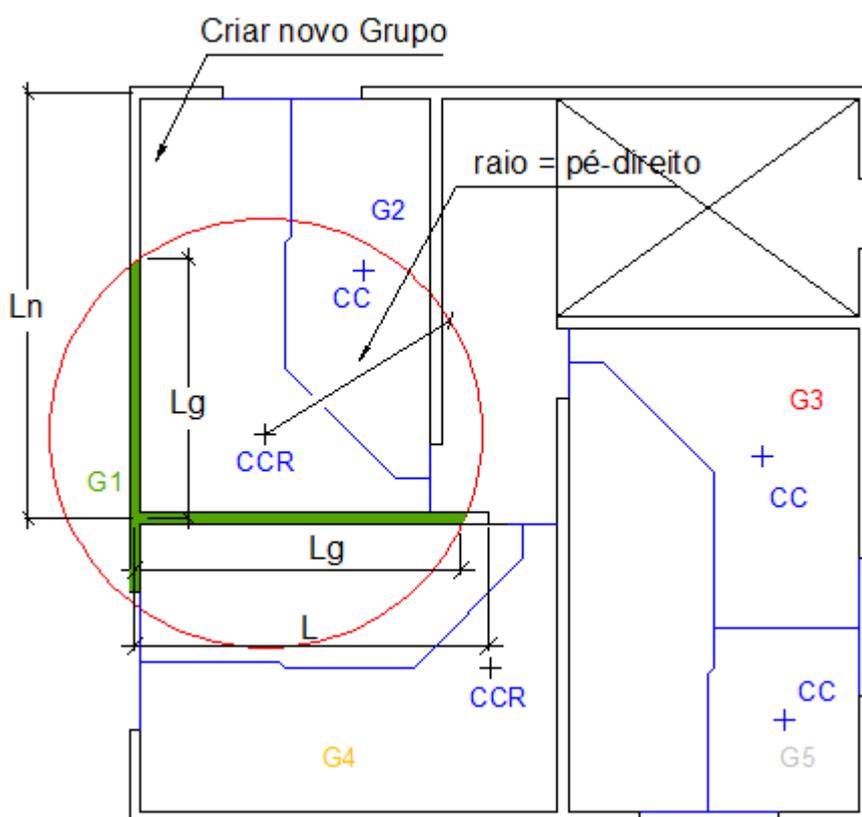


Figura 160 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G1.

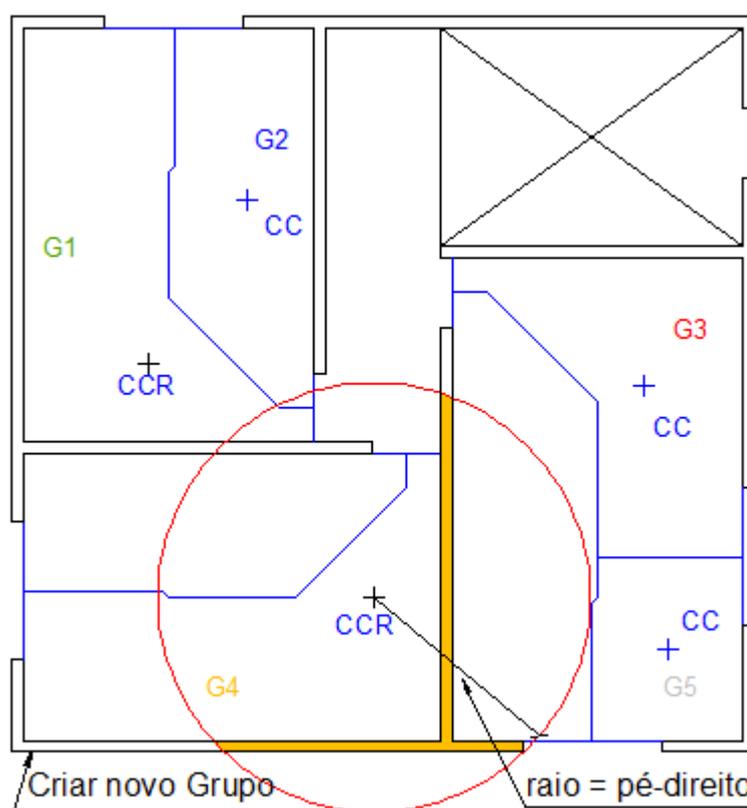


Figura 163 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G4.

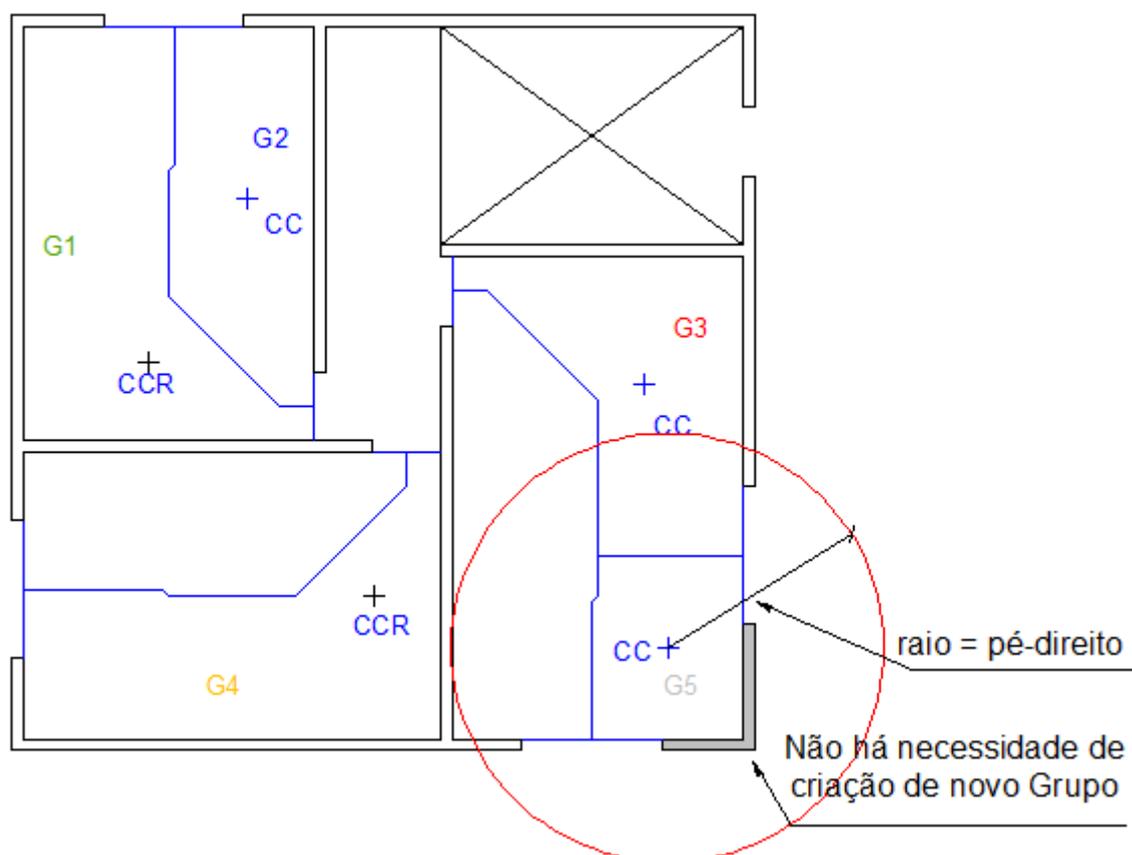


Figura 164 - Aplicação do procedimento para verificação dos comprimentos para o G5.

Dessa forma serão criados novos grupos de paredes contíguos aos grupos iniciais, e a estrutura será dimensionada em relação aos esforços verticais considerando os oito grupos mostrados na Figura 165.

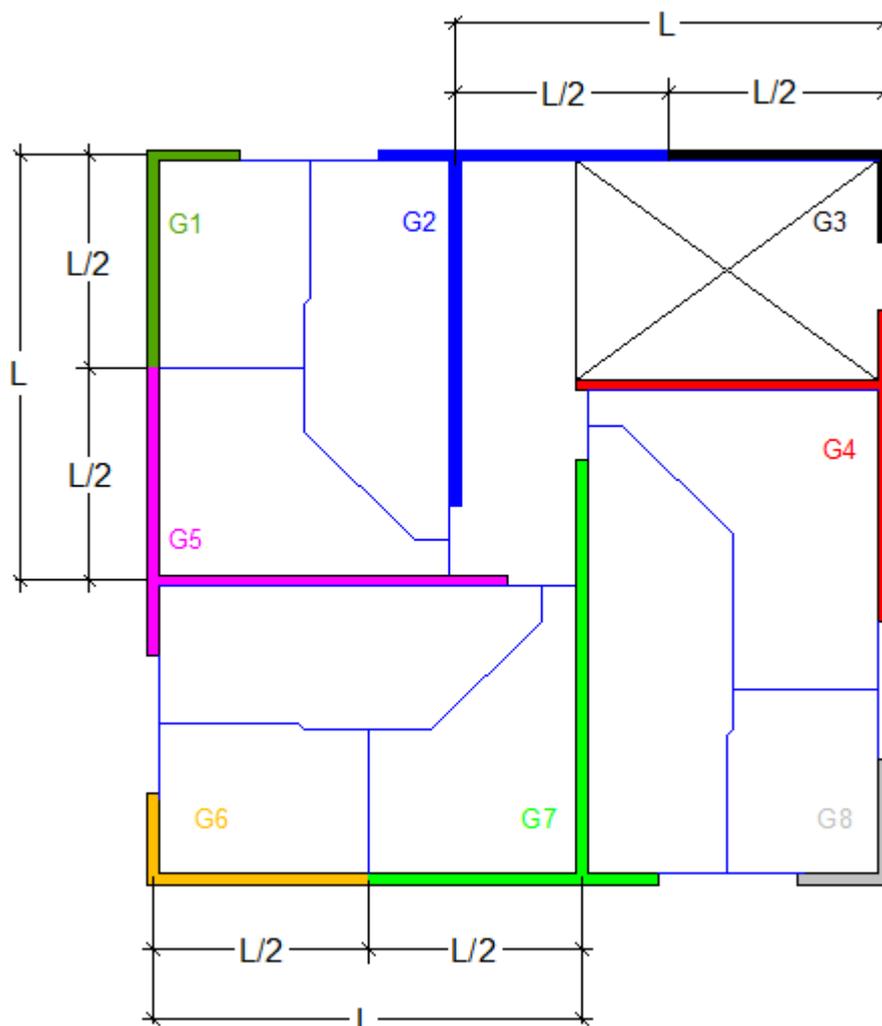


Figura 165 - Grupos de paredes definidos para análise da distribuição das ações verticais.

8. Através disto é possível calcular as tensões normais na base do edifício para cada grupo, considerando o somatório dos carregamentos em razão da quantidade de pavimentos da edificação.

Como exemplo de aplicação no edifício ensaiado é mostrado os resultados teóricos obtidos e comparados com os resultados experimentais, considerando a ação atuando em todos os três primeiros pavimentos simultaneamente, sem a cobertura carregada. Vale lembrar que estes

resultados na realidade são os mesmos obtidos para a divisão de grupos anteriormente realizada e denominada (NGP), pois os grupos resultantes com a aplicação do procedimento aqui proposto são idênticos aos NGP apresentados anteriormente. Por isso a Figura 166 é a soma dos resultados experimentais e teóricos das Figuras 129, 130 e 131 do Capítulo 7.3.1.

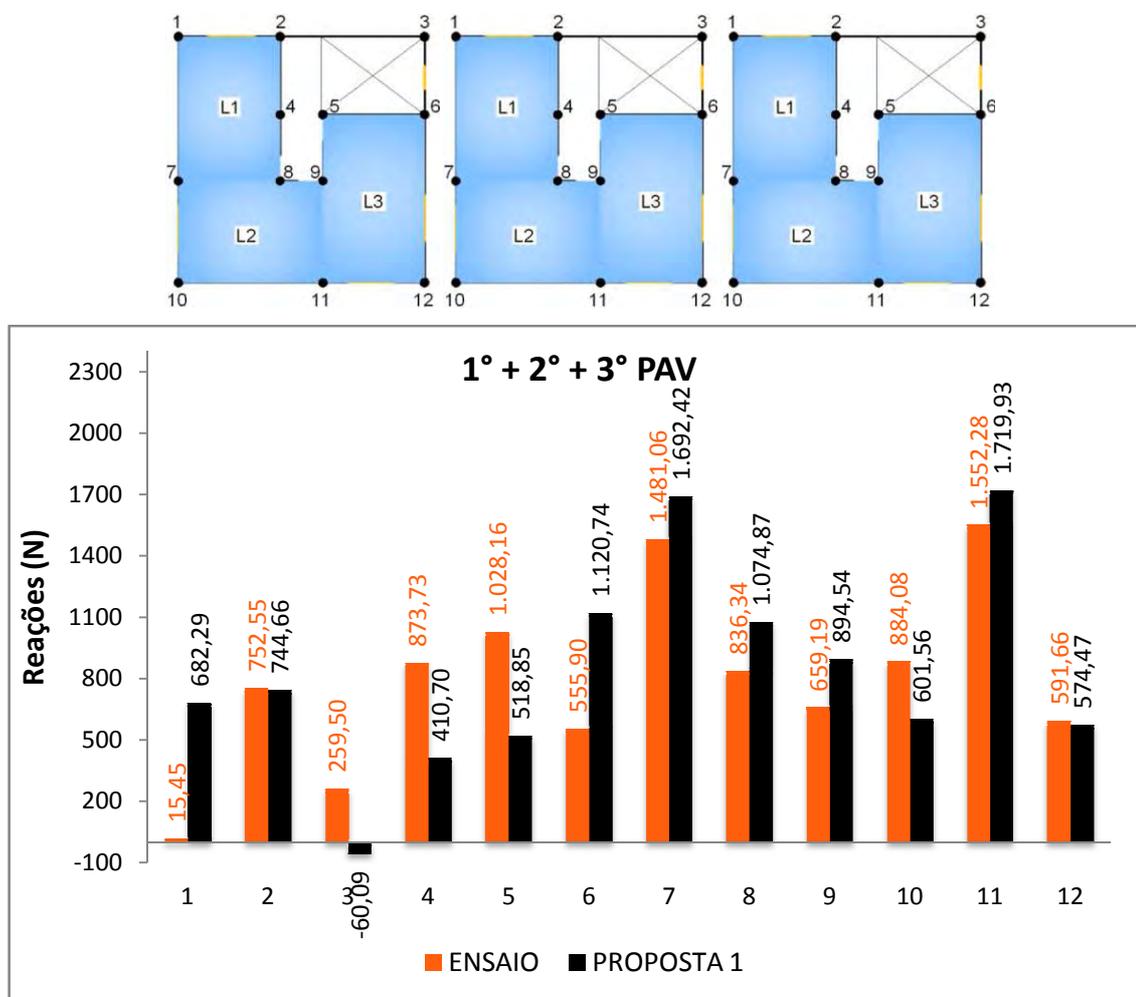


Figura 166 - Resultados teóricos obtidos com o primeiro procedimento proposto.

7.5.2 Proposta 2: Processo dos Nós Principais

1. De posse das ações verticais uniformemente distribuídas atuantes sobre as lajes da estrutura prossegue-se para a escolha dos grupos de paredes que suportarão os esforços verticais;

2. As aberturas de portas e janelas são elementos principais para a definição dos grupos. Dessa forma, inicialmente para o projeto estudado, seriam definidos os grupos da Figura 154 anterior;
3. Para cada grupo assim estabelecido, define-se um nó chamado de principal, sendo aquele que contém o maior número de paredes concorrentes, conforme indicado na sequência:

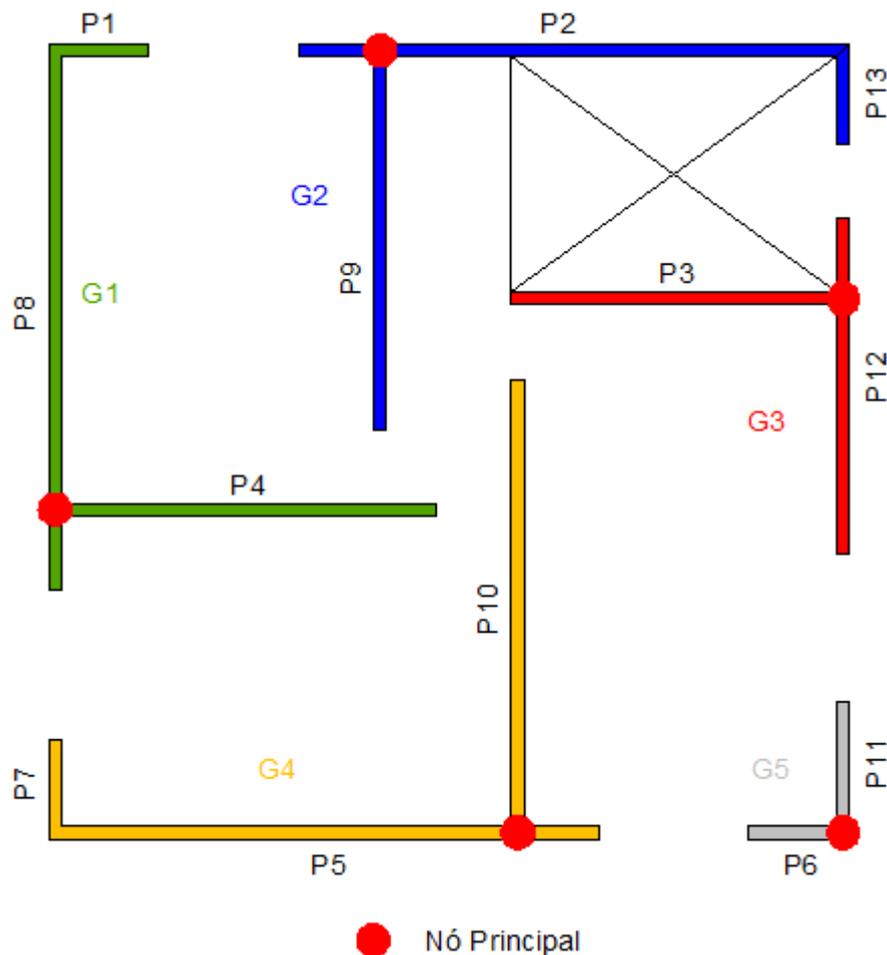


Figura 167 - Definição dos nós principais.

4. O comprimento das paredes pode ser determinado através de seus eixos, ou seja, medindo-se de eixo a eixo em planta, considerando a fiada onde existem aberturas;
5. O comprimento das paredes de cada grupo deverá ser determinado a partir do nó principal, não superando o valor do pé-direito na direção de seu nó vizinho. No caso da

parede não possuir um nó vizinho (terminar em uma abertura), esse comprimento poderá atingir até duas vezes o valor do pé-direito, a critério do projetista, considerando-se o arranjo estrutural, conforme a Figura 168;

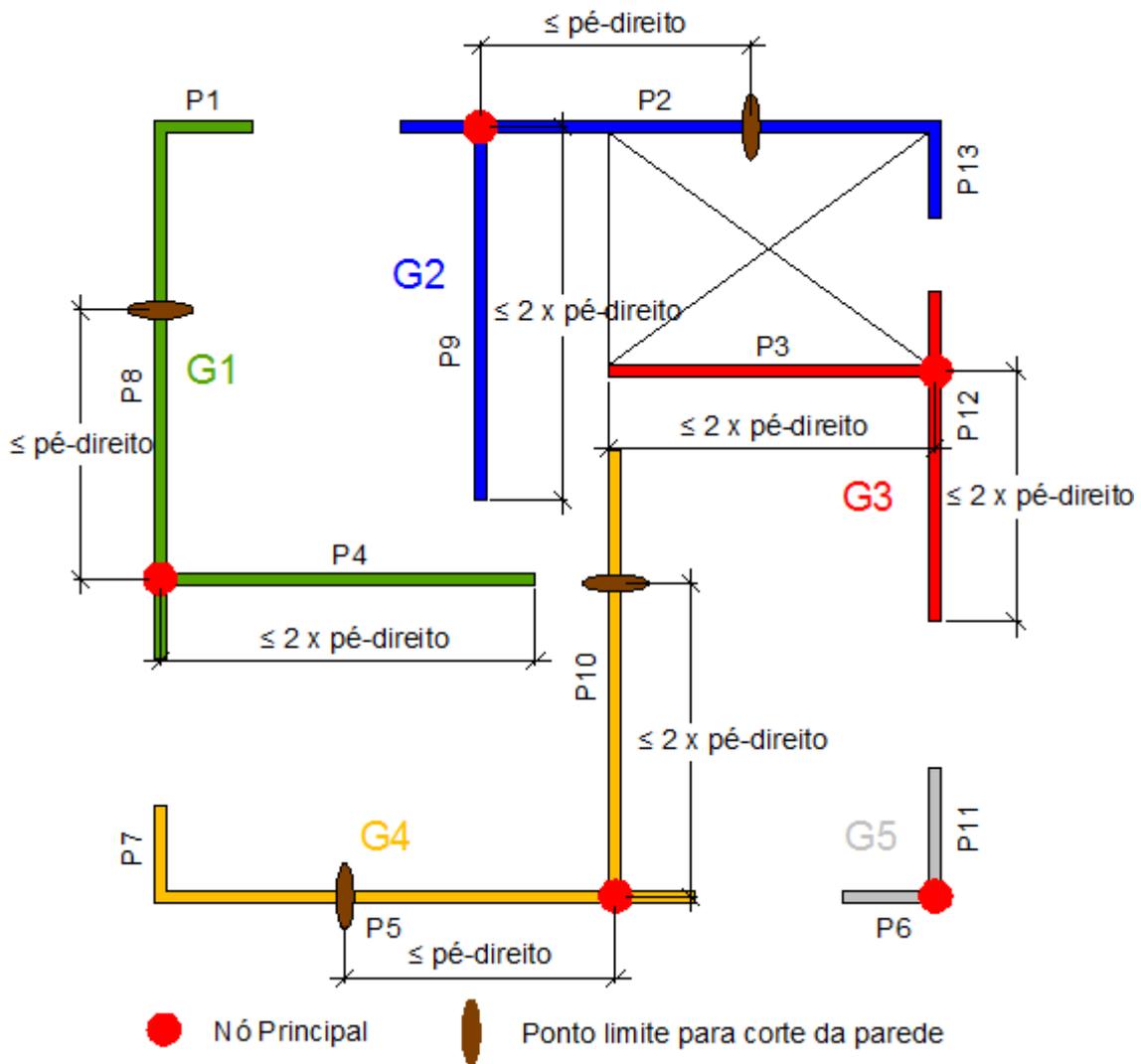


Figura 168 - Determinação dos comprimentos das paredes dos grupos.

- Se o ponto de corte assim definido estiver a uma distância do ponto seguinte do grupo menor do que o pé-direito, a parede deverá ser interrompida no seu ponto central, caso contrário usar o comprimento de parede definido pelo pé-direito. Dessa forma será criado um novo grupo de paredes contíguo ao grupo inicial. Salienta-se que o comprimento das paredes P3, P4, P9 e P12 são menores do que duas vezes o pé-direito, assim optou-se pela consideração de seus comprimentos totais, já a P10 é a que possui o maior comprimento

dentre as anteriores, por isso seu comprimento ficou limitado do nó até o eixo da parede P4, formando um novo grupo com o comprimento restante, como se observa na Figura 169;

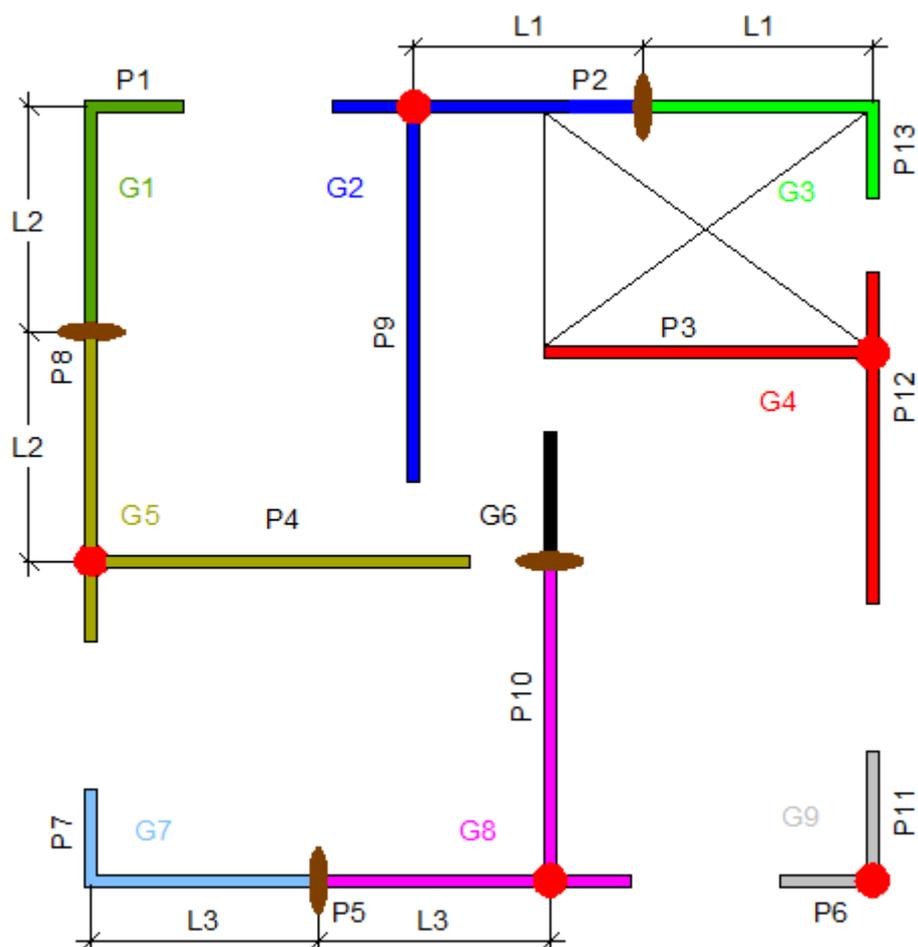


Figura 169 - Novos grupos criados pela aplicação do procedimento.

7. Para obtenção dos carregamentos uniformemente distribuídos sobre os grupos, as áreas de influência devem ser divididas considerando as bissetrizes das interseções entre paredes com ângulos de 45° ;
8. Através disto é possível calcular as tensões normais na base do edifício para cada grupo, considerando o somatório dos carregamentos em virtude da quantidade de pavimentos da edificação.

Como exemplo de aplicação no edifício ensaiado é mostrado os resultados teóricos obtidos e comparados com os resultados experimentais, considerando a ação atuando em todos os três primeiros pavimentos simultaneamente, sem a cobertura carregada. A Figura 169 mostra exatamente os nove grupos formados, posteriormente foram feitas as divisões das áreas de influência considerando ângulos de 45° e obtidos os carregamentos atuantes nas paredes, analogamente ao realizado com o procedimento das paredes isoladas e grupos de paredes no Capítulo 7. Na Figura 170 são apresentados os resultados teóricos e experimentais.

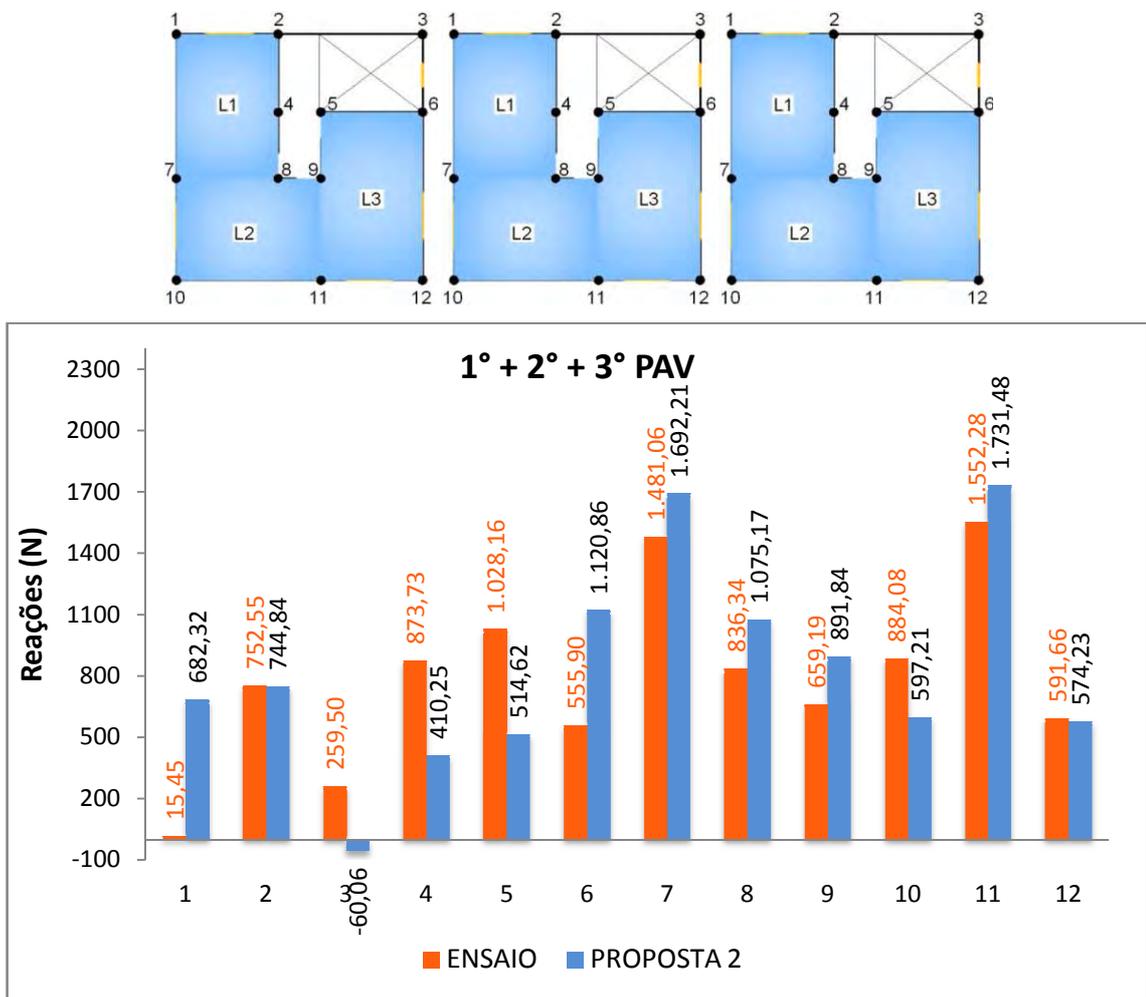


Figura 170 - Resultados teóricos obtidos com o segundo procedimento proposto.

7.5.3 Comparação entre os Procedimentos Propostos

Visando identificar as diferenças entre os resultados dos procedimentos propostos as respostas dos mesmos foram agrupadas como se observa na Figura 171. Os resultados teóricos

praticamente foram os mesmos, com pouca diferença, por isso os dois procedimentos são indicados para determinação da distribuição das ações verticais, sendo o procedimento denominado de “Processo dos Nós Principais” ou Proposta 2 mais prático e rápido. Para tanto, sugere-se que seja adotado o “Processo dos Centros de Cargas (CC)” ou Proposta 1 quando o usuário do procedimento não tiver certeza do comprimento de parede a adotar nos casos em que a mesma estiver compreendida entre uma intersecção de paredes e uma abertura, como apresentado na Proposta 2 em que o comprimento da parede pode ser até duas vezes o pé direito.

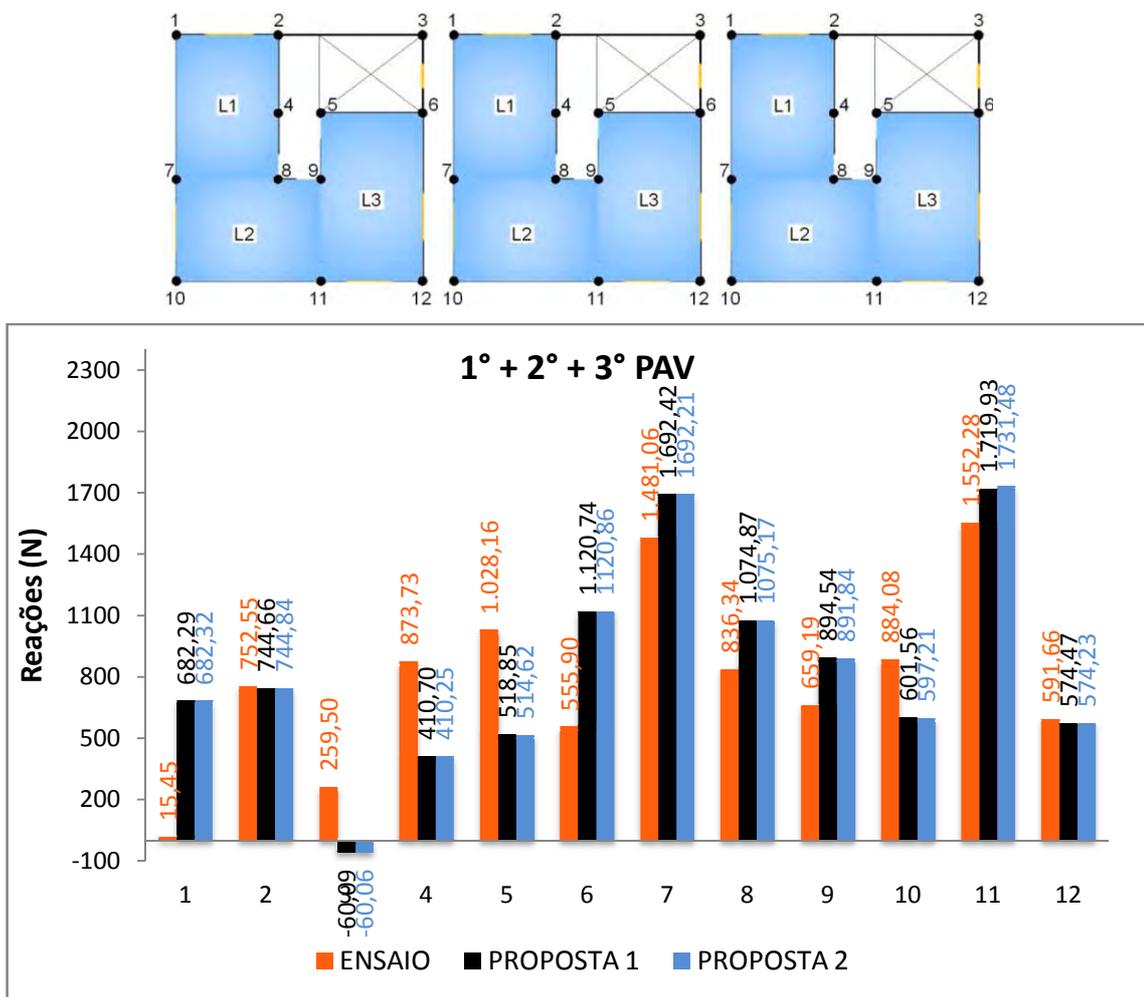


Figura 171 - Comparações entre procedimentos propostos.

8 CONCLUSÕES

Com relação aos ensaios experimentais realizados, verificou-se que:

- ✓ Para os casos de carregamentos 1, 2 e 3, as reações de apoio se concentram sob a área carregada, mesmo quando se aumentou a distância na vertical de aplicação das ações em relação a base do edifício;
- ✓ A maioria dos apoios pertencentes ao contorno da área carregada sempre tiveram aumento de reação conforme se carregava as lajes superiores em relação às inferiores, para os Casos 1, 2 e 3;
- ✓ A transferência de ações é mais eficiente em uma parede sem a presença de aberturas. Mesmo para apoios mais próximos da área carregada, em virtude da abertura existente de porta ou janela, a transferência de ações foi prejudicada;
- ✓ Para a menor das aberturas, de dimensões 12x18cm, como as pertencentes à parede entre os apoios 3 e 6, a distribuição das ações verticais nas paredes tende a não ser influenciada a medida que o carregamento é aplicado em lajes de pavimentos superiores, sendo constatado que essas aberturas não impediram a ação se distribuir;
- ✓ A laje pode transferir esforços para paredes adjacentes, porém tal transferência é bem inferior à ocorrida em paredes sem aberturas ou ainda em paredes que possuem aberturas de portas e janelas;
- ✓ Apoios sob paredes distantes da área carregada apresentaram reações de tração, mesmo com aumento da altura de aplicação do carregamento. Quando se carregou a cobertura os mesmos foram comprimidos, em consequência do fluxo de tensões e deformações das células de cargas e vigas baldrame;
- ✓ Aplicando o carregamento em mais de um ambiente para um mesmo pavimento, percebeu-se que as reações tenderam para valores mais uniformes, diminuindo picos de reação, graças à uniformização das ações.

Com relação aos resultados teóricos obtidos, constatou-se que:

- Para o procedimento das Paredes Isoladas (PI):
 - ✓ Para os Casos 1, 2 e 3 de carregamento e ações atuando nos pavimentos abaixo da cobertura os maiores valores de reações foram obtidos nos apoios pertencentes ao contorno da área carregada. Na maioria das vezes as respostas teóricas obtidas foram superiores as experimentais, evidenciando que o procedimento é conservador. A divisão das áreas de influência com ângulos de 45° foi a que possibilitou resultados mais próximos do experimental para a maioria dos apoios;
 - ✓ Com a ação na cobertura para os Casos anteriores e o Caso 4, os resultados se mostraram próximos para a maioria dos apoios, mais uniformes, mesmo não considerando a interação entre paredes, evidenciando a ocorrência da uniformização das ações. De maneira geral, os resultados oscilaram entre valores menores e maiores que os obtidos experimentalmente para os apoios analisados;
 - ✓ O procedimento apresentou poucos resultados próximos do experimental, sendo estes obtidos com divisão das áreas de influência a 45° .

- Para o procedimento dos Grupos de Paredes (GP) e (NGP):
 - ✓ As ações não se concentraram somente nos apoios abaixo da área carregada, porém somente nos apoios sob esta área que os resultados foram próximos do experimental, para os Casos 1, 2 e 3 de carregamento e ações atuando nos pavimentos abaixo da cobertura.
 - ✓ De maneira geral os resultados obtidos com este procedimento foram melhores que os das Paredes Isoladas. Os melhores resultados foram com divisão das áreas de influência em ângulos de $30^\circ/60^\circ$.
 - ✓ Melhores resultados foram encontrados para a ação atuando na cobertura nos Casos 1, 2 e 3, verificando que se o carregamento atua numa maior área, englobando todas as paredes, os resultados são mais satisfatórios. As diferenças entre as duas considerações de áreas de influência foram mínimas, fato não observado no procedimento anterior, sendo que numericamente os valores mais próximos para o Caso 1 e 2 foram obtidos com divisão a 45° , e no Caso 3 com ângulos de $30^\circ/60^\circ$.

- ✓ Com o Caso 4 o procedimento superestimou os valores de reação, na maioria das vezes, para ações aplicadas abaixo da cobertura, na cobertura ocorreu o inverso. As diferenças entre as duas considerações de áreas de influência foram mínimas, mas os valores mais próximos encontrados foram com divisão a 45° .
 - ✓ Com a nova divisão de grupos de paredes ocorreu melhora em vários apoios, se aproximando dos resultados experimentais, sendo que o contrário também se verificou. Por isso, salienta-se a importância da escolha das paredes que formaram o grupo, pois certamente influenciará nos resultados obtidos.
 - ✓ A consideração de grupos de paredes apresentou melhores resultados quando comparado ao procedimento das paredes tratadas como isoladas, sendo que em geral os melhores resultados, quando se carregam ambientes individualmente, foram obtidos com divisão de áreas de influência em ângulos de $30^\circ/60^\circ$, quando o carregamento atuou em vários ambientes de um mesmo pavimento a divisão com ângulos de 45° apresentou melhores resultados.
- Para o procedimento utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF):
- ✓ Constatou-se que as respostas obtidas com este procedimento foram, de maneira geral, semelhantes as do procedimento do Grupo de Paredes, ainda as diferenças entre as duas divisões de áreas de influência foram menores que aquele procedimento, e bem menores que o das paredes isoladas.

Em suma, dos procedimentos usuais aqui adotados o que apresentou melhores resultados foi o dos Grupos de Paredes e Novos Grupos de Paredes. Visto que o procedimento das paredes isoladas aponta para resultados diferentes do observado experimentalmente, mesmo para ações que atuem próximas a base do edifício, como a ação sobre as lajes do primeiro pavimento do edifício analisado. Assim, dentre os métodos manuais de distribuição de ações verticais, as paredes devem ser tratadas, não isoladamente, mas como pertencentes a determinado grupo, em virtude da existência comprovada de interação entre elas, sendo que estes grupos podem ser definidos em função de intersecções existentes, aberturas e comprimentos de paredes.

Com relação às áreas de influência, os resultados indicam que quando se tratar de ambientes isolados, carregados em determinado pavimento, a divisão deve ser feita em ângulos de $30^{\circ}/60^{\circ}$, como feito para estruturas de concreto, caso o carregamento atue em todo o pavimento recomenda-se a divisão a 45° .

O uso de grupos de paredes se mostrou eficiente em todos os casos de carregamento estudados, principalmente quando se carregou todos os ambientes de um mesmo pavimento, sendo este caso o que realmente ocorre nos edifícios de alvenaria, pois o peso próprio das paredes e lajes atua em toda a estrutura.

Cabe ressaltar que os procedimentos aqui utilizados são os usualmente adotados para avaliar a distribuição das ações verticais, melhores resultados poderiam ser obtidos através da utilização de modelos mais complexos que contemplem, por exemplo, a existência do efeito arco que ocorre nas paredes do térreo, ou ainda a transferência de esforços pela laje, como se constatou nos ensaios.

REFERÊNCIAS

ABBOUD, B. E.; HAMID, A. A.; HARRIS, H. G. Small-scale modeling of concrete block masonry structures. **ACI Structural Journal**, Detroit, v. 87, n. 2, p. 145-155, mar.-apr. 1990.

ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria**. 1998. 247 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ANDOLFATO, R. P. **Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4)**. 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

ANDOLFATO, R. P. **Estudo teórico e experimental da interação de paredes em edifícios de alvenaria estrutural**. 2006. 203 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ARAÚJO, F. E. **Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto**. 2001. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837**: cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos - parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: componentes cerâmicos - parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-1**: alvenaria estrutural - blocos cerâmicos - parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2010. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-2**: alvenaria estrutural - blocos cerâmicos - parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010. 28 p.

BARRETO, A. S. P. **Análise numérica de painéis de alvenaria estrutural utilizando técnica de homogeneização**. 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria estrutural não armada - parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. 1986. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

CAMACHO, J. S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. 1995. 157 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CAMACHO, J. S.; ANDOLFATO, R. P. Técnicas de produção de blocos estruturais de concreto em escala reduzida. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA

ESTRUCTURAL - JUBILEO PROF. JULIO RICALDONI, 29., 2000, Punta Del Este - Uruguay. **Proceedings**... Punta Del Este: Uruguay, 2000. p. 1-9.

CAPUZZO NETO, V. **Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetida a ações verticais**. 2000. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CAPUZZO NETO, V. **Interação de paredes em alvenaria estrutural cerâmica sob ações verticais**. 2005. 322 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CHOWDHURY, A. H.; WHITE, R. N. Materials and modeling techniques for reinforced concrete frames. **ACI Journal**, Detroit, v.74, n. 11, p. 546-551, nov. 1977.

CORRÊA, M. R. S. **Fluxo de forças em edifícios de alvenaria estrutural**. 2003. 156 f. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CORRÊA, M. R. S.; PAGE, A. W. **The interaction of load bearing masonry walls subjected to vertical loads**. Newcastle: The University of Newcastle, 2001. 61 p. (Research Report, 218.12.2001).

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Efeitos de aberturas em painéis de alvenaria estrutural. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994a, Florianópolis. **Proceedings**... Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994a. p. 359-367.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Procedimento para análise de edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações verticais. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994b, Florianópolis. **Proceedings**... Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994b. p. 305-314.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Procedure for the analysis of masonry buildings under vertical loads. In: AUSTRALASIAN MASONRY CONFERENCE, 5., 1998, Gladstone. **Proceedings...** Gladstone: CQU Publishing Unit, 1998. p. 57-66.

CURTIN, W. G. et al. **Structural masonry designers' manual**. 3rd. ed. Oxford: Blackwell Science, 2006. 352 p.

FUSCO, P. B.; CAMACHO, J. S. Contribuição ao estudo do efeito de cargas lentas aplicadas em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos em diferentes escalas. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p. 137-145.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GOMES, I. R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface**. 2001. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 1974. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1974.

GRAMA, A. S. **Implementação computacional para projeto e cálculo de alvenaria estrutural**. 2005. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

HAMID, A. A.; ABOUD, B. E. Direct modeling of concrete block masonry under shear and in-plane tension. **Journal of Testing and Evaluation**, Philadelphia, v. 14, n. 2, p. 112-121, mar. 1986.

HAMID, A. A.; ABBOUD, B. E.; HARRIS, H. G. Direct modeling of concrete block masonry under axial compression. **Masonry: Research, Application and Problems**, STP-871, ASTM, Philadelphia, p. 151-166, 1985.

HARRIS, H. G.; SABNIS, G. M. **Structural modeling and experimental techniques**. 2nd. ed. Florida: Boca Raton, 1999. 789 p.

HENDRY, A. W. **Structural brickwork**. London: MacMillan, 1981. 211 p.

HENDRY, A. W. **Structural masonry**. 2nd. ed. Englewood Cliffs: MacMillan, 1998. 296 p.

HENDRY, A. W.; SINHA, B. P.; DAVIES, S. R. **An introduction to load bearing brickwork design**. Chichester: Ellis Horwood, 1981. 184 p.

HOLANDA JUNIOR, O. G. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. 2000. 224 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LINDENBERG NETO, H. **Concepção, projeto e realização das estruturas: aspectos históricos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Notas de aula da disciplina: "PEF-5707 - Concepção, projeto e realização das estruturas: aspectos históricos".

LINDNER, G. **Uso de modelo reduzido para pesquisa e desenvolvimento de blocos cerâmicos estruturais**. 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LITTLE, W. A.; PAPARONI, M. Size effect in small-scale models of reinforced concrete beams. **ACI Journal**, Detroit, v. 63, n. 11, p. 1191-1204, nov. 1966.

LOURENÇO, P. B. **Historical structures: models and modelling**. Azurém: Universidade do Minho, 1999a. 10 p.

LOURENÇO, P. B. **Dimensionamento de alvenarias estruturais**. Azurém: Universidade do Minho, 1999b. 76 p. (Relatório, 99-DEC/E-7).

MAURÍCIO, R. M. **Estudo teórico e experimental das ligações diretas contrafiadas entre paredes de blocos de concreto em escala real e reduzida 1:4**. 2005. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos**. 1998. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOON, F. L. et al. Testing of a full-scale unreinforced masonry building following seismic strengthening. **Journal of Structural Engineering**, New York, v. 133, n. 9, p. 1215-1226, sep. 2007.

MOREIRA, E. M. S. **Análise experimental em escala reduzida de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos submetidas a ações verticais**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

NASCIMENTO NETO, J. A. **Estudo de painéis com abertura constituídos por alvenaria estrutural de blocos**. 2003. 320 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

OLIVEIRA, L. M. F. **Cisalhamento nas interfaces verticais de paredes de edifícios de alvenaria estrutural**. 2009. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, V. **Recomendações para o projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. 1992. 266 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

OLIVEIRA JUNIOR, V.; PINHEIRO, L. M. Método prático para distribuição das ações verticais em paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL

MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p. 315-322.

PARSEKIAN, G. A.; FRANCO, L. S. Método para distribuição de esforços verticais entre paredes de edifícios de alvenaria estrutural. **Téchne: Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 61, p. 48-53, 2002.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PIMENTA, M. P. **Estruturas de cascas cilíndricas em material cerâmico**. 2007. 285 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes**. 1986. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

RAMALHO, M. A. **Alvenaria estrutural**. 2001. 155 f. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003. 174 p.

RAMOS, J. L. F. S. **Análise experimental e numérica de estruturas históricas de alvenaria**. 2002. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Azurém, 2002.

ROMAN, H. R. Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenarias de vedação e estrutural. In: **SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL**, 3., 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1991. p. 101-108.

ROMAN, H. R. **Determinação das características físicas e análise estatística da capacidade resistente de tijolos cerâmicos maciços**. 1983. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983.

ROQUE, J. A. **O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação com função auto-portante: o caso da habitação de interesse social**. 2009. 223 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

SABNIS, G. M.; ROLL, F. Significance of scaled compression cylinders in shear studies of model reinforced concrete slabs. **ACI Journal**, v. 68, n. 3, p. 218-221, mar. 1971.

SÁNCHEZ, E. Histórico sobre pesquisas e elaboração de novas normas no Brasil sobre alvenaria estrutural. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p. 368-374.

SANTOS, F. A. **Efeito do não-preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural**. 2001. 154 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SAP2000®. **Analysis reference manual**. Berkeley: Computers and Structures, 2008. 454 p.

SAP2000®. **Introductory tutorial for SAP2000®**. Berkeley: Computers and Structures, 2008. 52 p.

SIGNOR, R.; ROMAN, H. R. Ensaio de transferência de cargas verticais entre grupos de paredes ortogonais. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. **Proceedings...** Belo Horizonte: CEFET-MG, 2002. p. 209-218.

SILVA, T. F. T. **Estudo da interação entre edifícios de alvenaria estrutural e pavimentos em concreto armado**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, W. J. **Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos sujeitas a ações verticais**. 2003. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000. 31 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/252).

TOMAZELA, C. A. **Ação conjunta parede-viga na alvenaria estrutural**. 1995. 249 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

ANEXOS

Tabela A.1 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 30°/60° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | |
|---------------------------|----------------------------------|--|----------------|---------------------|----------------|--------|---------------------|--------------------------|----------|----------|--|----------------|
| | | Área por trecho [A] | | | Carregadas (N) | | | Trecho i | Trecho f | Trecho i | Trecho f | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | | | | | Carregadas (N) |
| P1 | 0,225 | A1 | 0,0655 | | | | X | 84,946 | | | 377,539 | |
| P2 | 1,305 | A2 | 0,0374 | | | | X | 48,494 | | | 248,689 | |
| P3 | 0,795 | A16 | 0,1100 | | | | | | | | | |
| P4 | 0,915 | A5 | 0,1824 | 0,915 | A6 | 0,3312 | X | 236,393 | | | 303,067 | |
| P5 | 1,305 | A10 | 0,1935 | 0,195 | A11 | 0,0374 | | | | | | |
| P6 | 0,225 | A12 | 0,0655 | | | | | | | | | |
| P7 | 0,225 | A9 | 0,0655 | | | | | | | | | |
| P8 | 1,305 | A7 | 0,0374 | 1,110 | A3 | 0,1935 | | | X | 250,885 | | 226,023 |
| P9 | 0,915 | A4 | 0,3312 | | | | X | 429,281 | | | 469,160 | |
| P10 | 1,095 | A8 | 0,1824 | 1,095 | A14 | 0,4616 | | | | | | |
| P11 | 0,315 | A13 | 0,0941 | | | | | | | | | |
| P12 | 0,810 | A15 | 0,1764 | | | | | | | | | |
| P13 | 0,225 | S/ÁREA | 0,0000 | | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 30°/60° | COMBINAÇÕES | | | L1 | | | | | |

Tabela A.2 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L2 45° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------------------|---------------------|-------|-----|---------------------|--------------------------------------|---------|--|----------|
| | | Área por trecho [A] | | | | | | Cargas nas Paredes Carregadas (N) | | Trecho i | Trecho f |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | | | | |
| P1 | 0,225 | | A1 | 0,0758 | | | | | | | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0648 | | | | | | | |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A16 | 0,1447 | | | | | | | |
| P4 | 0,915 | 0,780 | A5 | 0,1447 | 0,915 | A6 | 0,2603 | X | 337,426 | | 368,772 |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A10 | 0,2644 | 0,195 | A11 | 0,0648 | X | 342,741 | 308,775 | |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A12 | 0,0758 | | | | | | | |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,0758 | | | | X | 98,259 | 436,708 | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A7 | 0,0648 | 1,110 | A3 | 0,2644 | X | 84,000 | 430,769 | |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A4 | 0,2603 | | | | | | | |
| P10 | 1,095 | 0,780 | A8 | 0,1447 | 1,095 | A14 | 0,3278 | X | 187,574 | 240,480 | |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A13 | 0,1097 | | | | | | | |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A15 | 0,2222 | | | | | | | |
| P13 | 0,225 | 0,000 | S/ÁREA | 0,0000 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 45° | COMBINAÇÕES | | | | L2 | | | | |

Tabela A.3 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L2 30°/60° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|-------|-----|---------------------|--------------------------------------|----------|--|---------|
| | | Área por trecho [A] | | | | | | Cargas nas Paredes Carregadas (N) | Trecho i | Trecho f | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | | | | |
| P1 | 0,225 | | A1 | 0,0655 | | | | | | | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0374 | | | | | | | |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A16 | 0,1100 | | | | | | | |
| P4 | 0,915 | 0,780 | A5 | 0,1824 | 0,915 | A6 | 0,3312 | X | 429,281 | | 469,160 |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A10 | 0,1935 | 0,195 | A11 | 0,0374 | X | 250,885 | 226,023 | |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A12 | 0,0655 | | | | | | | |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,0655 | | | | X | 84,946 | 377,539 | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A7 | 0,0374 | 1,110 | A3 | 0,1935 | X | 48,494 | 248,689 | |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A4 | 0,3312 | | | | | | | |
| P10 | 1,095 | 0,780 | A8 | 0,1824 | 1,095 | A14 | 0,4616 | X | 236,393 | 303,067 | |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A13 | 0,0941 | | | | | | | |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A15 | 0,1764 | | | | | | | |
| P13 | 0,225 | 0,000 | S/ÁREA | 0,0000 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | | L2 | | | |

Tabela A.4 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L3 45° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------------------|---------------------|----------------|-----------|---------------------|--------------------------|----------|-------------------------------------|----------|
| | | Área por trecho [A] | | | Carregadas (N) | | | Trecho i | Trecho f | | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | | | Trecho i | Trecho f |
| P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,0758 | | | | | | | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0648 | | | | | | | |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A16 | 0,1447 | | | X | 187,574 | | 235,942 | |
| P4 | 0,915 | 0,780 | A5 | 0,1447 | 0,915 | A6 | 0,2603 | | | | |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A10 | 0,2644 | 0,195 | A11 | 0,0648 | | X | 84,000 | 430,769 |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A12 | 0,0758 | | | | X | 98,259 | | 436,708 |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,0758 | | | | | | | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A7 | 0,0648 | 1,110 | A3 | 0,2644 | | | | |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A4 | 0,2603 | | | | | | | |
| P10 | 1,095 | 0,780 | A8 | 0,1447 | 1,095 | A14 | 0,3278 | | X | 424,926 | 388,060 |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A13 | 0,1097 | | | | X | 142,204 | | 451,440 |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A15 | 0,2222 | | | | X | 288,037 | | 468,353 |
| P13 | 0,225 | 0,000 | S/ÁREA | 0,0000 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 45° | COMBINAÇÕES | | | L3 | | | | | |

Tabela A.5 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L3 30°/60° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|-------|-----|---------------------|--------------------------|----------|--|---------|
| | | Área por trecho [A] | | | | | | Carregadas (N) | Trecho i | Trecho f | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | | | | |
| P1 | 0,225 | | A1 | 0,0655 | | | | | | | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0374 | | | | | | | |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A16 | 0,1100 | | | X | 142,541 | | 179,297 | |
| P4 | 0,915 | 0,780 | A5 | 0,1824 | 0,915 | A6 | 0,3312 | | | | |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A10 | 0,1935 | 0,195 | A11 | 0,0374 | | X | 48,494 | 248,689 |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A12 | 0,0655 | | | | X | 84,946 | | 377,539 |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,0655 | | | | | | | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A7 | 0,0374 | 1,110 | A3 | 0,1935 | | | | |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A4 | 0,3312 | | | | | | | |
| P10 | 1,095 | 0,780 | A8 | 0,1824 | 1,095 | A14 | 0,4616 | | X | 598,319 | 546,410 |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A13 | 0,0941 | | | | X | 121,969 | | 387,202 |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A15 | 0,1764 | | | | X | 228,719 | | 371,900 |
| P13 | 0,225 | 0,000 | S/ÁREA | 0,0000 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | | L3 | | | |

Tabela A.6 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso Lcobertura 45° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | | | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------------------|---------------------|-------|-----|---------------------|--------------------------------------|-------------------|--|----------|---------|--|
| | | Área por trecho [A] | | | | | | Cargas nas Paredes Carregadas (N) | | Trecho i | Trecho f | | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | X | | | | | |
| P1 | 0,225 | | A1 | 0,0760 | | | | X | 65,895 | | 292,866 | | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0703 | 1,110 | A3 | 0,2347 | X | 60,969 | X | 312,664 | 183,375 | |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A8 | 0,3883 | | | | X | 336,689 | | 423,508 | | |
| P4 | 0,915 | 0,915 | A9 | 0,4415 | | | | X | 382,856 | | 418,422 | | |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A14 | 0,2725 | 0,195 | A16 | 0,0703 | X | 236,325 | X | 212,905 | 312,664 | |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A17 | 0,0760 | | | | X | 65,895 | | 292,866 | | |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A13 | 0,0760 | | | | X | 65,895 | | 292,866 | | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A12 | 0,0703 | 1,110 | A6 | 0,2725 | X | 60,969 | X | 312,664 | 212,905 | |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A7 | 0,4373 | | | | X | 379,197 | | 414,423 | | |
| P10 | 1,095 | 1,095 | A11 | 0,5469 | | | | X | 474,237 | | 433,093 | | |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A15 | 0,1105 | | | | X | 95,777 | | 304,054 | | |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A10 | 0,2309 | 0,195 | A5 | 0,0406 | X | 200,251 | X | 325,612 | 180,590 | |
| P13 | 0,225 | 0,225 | A4 | 0,0449 | | | | X | 38,970 | | 173,199 | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 45° | COMBINAÇÕES | | | | | | Lcobertura | | | | |

Tabela A.7 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso Lcobertura 30°/60° - (PI).

| Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Comprimento carregado por trecho [L] | | | | | | Ações Verticais Atuantes | | Carga Total Paredes do Térreo (N/m) | | |
|---------------------------|----------------------------------|--|-----|---------------------|-------|-----|---------------------|--------------------------------------|---------|--|----------|---------|
| | | Área por trecho [A] | | | | | | Cargas nas Paredes Carregadas (N) | | Trecho i | Trecho f | |
| | | L (m) | Ai | A (m ²) | L (m) | Ai | A (m ²) | X | | | | |
| P1 | 0,225 | | A1 | 0,0665 | | | | X | 57,674 | | 256,330 | |
| P2 | 1,305 | 0,195 | A2 | 0,0406 | 1,110 | A3 | 0,1718 | X | 35,198 | X | 149,011 | 134,245 |
| P3 | 0,795 | 0,795 | A8 | 0,4904 | | | | X | 425,217 | | 534,864 | |
| P4 | 0,915 | 0,915 | A9 | 0,5537 | | | | X | 480,168 | | 524,774 | |
| P5 | 1,305 | 1,110 | A14 | 0,1995 | 0,195 | A16 | 0,0406 | X | 173,006 | X | 35,198 | 180,501 |
| P6 | 0,225 | 0,225 | A17 | 0,0665 | | | | X | 57,674 | | 256,330 | |
| P7 | 0,225 | 0,225 | A13 | 0,0665 | | | | X | 57,674 | | 256,330 | |
| P8 | 1,305 | 0,195 | A12 | 0,0406 | 1,110 | A6 | 0,1995 | X | 35,198 | X | 173,006 | 155,861 |
| P9 | 0,915 | 0,915 | A7 | 0,5332 | | | | X | 462,400 | | 505,355 | |
| P10 | 1,095 | 1,095 | A11 | 0,6776 | | | | X | 587,556 | | 536,581 | |
| P11 | 0,315 | 0,315 | A15 | 0,0952 | | | | X | 82,553 | | 262,073 | |
| P12 | 0,810 | 0,615 | A10 | 0,1547 | 0,195 | A5 | 0,0235 | X | 134,157 | X | 20,335 | 104,281 |
| P13 | 0,225 | 0,225 | A4 | 0,0392 | | | | X | 33,975 | | 151,000 | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | | Lcobertura | | | | |

Tabela A.8 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 30°/60° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------------|---|-------|--------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------|--|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) | |
| G1 | P1 | 0,225 | A1 | 0,441 | 0,441 | 2,445 | X | 572,211 | 234,033 | |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,369 | 0,369 | 2,445 | X | 477,789 | 195,415 | |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A5 | 0,499 | 0,499 | 1,605 | | | | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A4 | 0,286 | 0,728 | 2,625 | | | | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | A6 | 0,441 | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A7 | 0,160 | 0,160 | 0,540 | | | | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | L1 | | |

Tabela A.9 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L2 45° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------------|---|-------|--------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------|--|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) | |
| G1 | P1 | 0,225 | A3 | 0,325 | 0,325 | 2,445 | X | 421,465 | 172,378 | |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,325 | 0,325 | 2,445 | | | | |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A5 | 0,393 | 0,393 | 1,605 | | | | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A6 | 0,485 | 0,485 | 2,625 | X | 628,548 | 239,447 | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A7 | 0,186 | 0,186 | 0,540 | | | | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | | L2 | | |

Tabela A.10 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L2 30°/60° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------------|---|-------|--------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|--|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) | |
| G1 | P1 | 0,225 | A3 | 0,369 | 0,369 | 2,445 | X | 477,789 | 195,415 | |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,369 | 0,369 | 2,445 | | | | |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A5 | 0,499 | 0,499 | 1,605 | | | | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A6 | 0,441 | 0,441 | 2,625 | X | 572,211 | 217,985 | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A7 | 0,160 | 0,160 | 0,540 | | | | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | L2 | | |

Tabela A.11 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L3 45° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------------|---|-------|--------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|--|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) | |
| G1 | P1 | 0,225 | A3 | 0,325 | 0,325 | 2,445 | | | | |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,325 | 0,325 | 2,445 | | | | |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A4 | 0,367 | 0,367 | 1,605 | X | 475,559 | 296,299 | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A5 | 0,393 | 0,393 | 2,625 | X | 508,965 | 193,891 | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A7 | 0,186 | 0,186 | 0,540 | X | 240,476 | 445,326 | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | | L3 | | |

Tabela A.12 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L3 30°/60° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|--|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) | |
| G1 | P1 | 0,225 | A3 | 0,369 | 0,369 | 2,445 | | | | |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,369 | 0,369 | 2,445 | | | | |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A4 | 0,286 | 0,286 | 1,605 | X | 371,259 | 231,314 | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A5 | 0,499 | 0,499 | 2,625 | X | 646,813 | 246,405 | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A7 | 0,160 | 0,160 | 0,540 | X | 206,915 | 383,176 | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | L3 | | |

Tabela A.13 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso Lcobertura 45° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|--|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) | |
| G1 | P1 | 0,225 | A1 | 0,860 | 0,860 | 2,445 | X | 746,046 | 305,131 | |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,787 | 0,787 | 2,445 | X | 682,692 | 279,219 | |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A3 | 0,660 | 0,660 | 1,605 | X | 572,156 | 356,483 | |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A4 | 0,966 | 0,966 | 2,625 | X | 837,435 | 319,023 | |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A5 | 0,186 | 0,186 | 0,540 | X | 161,672 | 299,392 | |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | | Lcobertura | | |

Tabela A.14 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso Lcobertura 30°/60° - (GP).

| Grupo | Parede | Comprimento (Eixo a Eixo) (m) | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------------------------------|---|-------|--------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| | | | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| G1 | P1 | 0,225 | A1 | 0,860 | 0,860 | 2,445 | X | 746,046 | 305,131 |
| | P4 | 0,915 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | A2 | 0,785 | 0,785 | 2,445 | X | 680,584 | 278,358 |
| | P9 | 0,915 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | | | | | | | |
| G3 | P3 | 0,795 | A3 | 0,669 | 0,669 | 1,605 | X | 579,709 | 361,189 |
| | P12 | 0,810 | | | | | | | |
| G4 | P5 | 1,305 | A4 | 0,984 | 0,984 | 2,625 | X | 853,434 | 325,118 |
| | P7 | 0,225 | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | | | | | | | |
| G5 | P6 | 0,225 | A5 | 0,162 | 0,162 | 0,540 | X | 140,227 | 259,680 |
| | P11 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | Lcobertura | |

Tabela A.15 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 45° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|---|-------|--------------------|---------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,208 | 0,208 | 0,780 | X | 269,643 | 345,696 |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | A2 | 0,325 | 0,325 | 1,665 | X | 421,452 | 253,124 |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | | | | | | | |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A3 | 0,277 | 0,277 | 1,665 | X | 358,893 | 215,551 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | L1 | | |

Tabela A.16 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L1 30°/60° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | Ai | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,176 | 0,176 | 0,780 | X | 228,265 | 292,647 |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | A2 | 0,369 | 0,369 | 1,665 | X | 477,789 | 286,960 |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | | | | | | | |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A3 | 0,265 | 0,265 | 1,665 | X | 343,946 | 206,574 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | | L1 | |

Tabela A.17 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L2 45° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | Ai | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | | | | | | | |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A5 | 0,325 | 0,325 | 1,665 | X | 421,465 | 253,132 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | A7 | 0,208 | 0,208 | 0,780 | X | 269,643 | 345,696 |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | A8 | 0,277 | 0,277 | 1,845 | X | 358,893 | 194,522 |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | | L2 | |

Tabela A.18 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L2 30°/60° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | Ai | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | | | | | | | |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A5 | 0,369 | 0,369 | 1,665 | X | 477,789 | 286,960 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | A7 | 0,176 | 0,176 | 0,780 | X | 228,265 | 292,647 |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | A8 | 0,265 | 0,265 | 1,845 | X | 343,946 | 186,421 |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | L2 | | |

Tabela A.19 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L3 45° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | Ai | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | A4 | 0,367 | 0,367 | 1,605 | X | 475,559 | 296,299 |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | A6 | 0,393 | 0,393 | 1,845 | X | 508,965 | 275,862 |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,186 | 0,186 | 0,540 | X | 240,476 | 445,326 |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | L3 | | |

Tabela A.20 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso L3 30°/60° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | Ai | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | A4 | 0,286 | 0,286 | 1,605 | X | 371,259 | 231,314 |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | A6 | 0,499 | 0,499 | 1,845 | X | 646,813 | 350,576 |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | A9 | 0,160 | 0,160 | 0,540 | X | 206,915 | 383,176 |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 30°/60° | | COMBINAÇÕES | | L3 | | |

Tabela A.21 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso Lcobertura 45° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|-------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | Ai | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,208 | 0,208 | 0,780 | X | 180,376 | 231,252 |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | A2 | 0,630 | 0,630 | 1,665 | X | 546,133 | 328,008 |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | A3 | 0,160 | 0,160 | 0,780 | X | 138,848 | 178,011 |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | A4 | 0,657 | 0,657 | 1,605 | X | 569,502 | 354,830 |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A5 | 0,652 | 0,652 | 1,665 | X | 565,669 | 339,741 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | A6 | 0,208 | 0,208 | 0,780 | X | 180,376 | 231,252 |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | A7 | 0,759 | 0,759 | 1,845 | X | 658,229 | 356,764 |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | A8 | 0,186 | 0,186 | 0,540 | X | 160,865 | 297,899 |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 45° | | COMBINAÇÕES | | Lcobertura | | |

Tabela A.22 - Ações verticais distribuídas uniformemente nas paredes, caso Lcobertura 30°/60° - (NGP).

| Grupo | Parede | Comprimento | | Área de Influência (m ²) | | | L _{GRUPO} (m) | Ações Verticais Atuantes | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | | Real | Efetivo | A _i | A | A _{TOTAL} | | Cargas nos Grupos (N) | | Cargas Distribuídas (N/m) |
| | | (m) | | | | | | X | | |
| G1 | P1 | 0,225 | 0,225 | A1 | 0,176 | 0,176 | 0,780 | X | 152,697 | 195,765 |
| | P8 | 1,305 | 0,555 | | | | | | | |
| G2 | P2 | 1,305 | 0,750 | A2 | 0,656 | 0,656 | 1,665 | X | 568,635 | 341,523 |
| | P9 | 0,915 | 0,915 | | | | | | | |
| G3 | P2 | 1,305 | 0,555 | A3 | 0,132 | 0,132 | 0,780 | X | 114,369 | 146,627 |
| | P13 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G4 | P3 | 0,795 | 0,795 | A4 | 0,667 | 0,667 | 1,605 | X | 578,243 | 360,276 |
| | P12 | 0,810 | 0,810 | | | | | | | |
| G5 | P4 | 0,915 | 0,915 | A5 | 0,684 | 0,684 | 1,665 | X | 593,349 | 356,366 |
| | P8 | 1,305 | 0,750 | | | | | | | |
| G6 | P5 | 1,305 | 0,555 | A6 | 0,176 | 0,176 | 0,780 | X | 152,697 | 195,765 |
| | P7 | 0,225 | 0,225 | | | | | | | |
| G7 | P5 | 1,305 | 0,750 | A7 | 0,809 | 0,809 | 1,845 | X | 701,587 | 380,264 |
| | P10 | 1,095 | 1,095 | | | | | | | |
| G8 | P6 | 0,225 | 0,225 | A8 | 0,160 | 0,160 | 0,540 | X | 138,415 | 256,324 |
| | P11 | 0,315 | 0,315 | | | | | | | |
| ÁREA DE INFLUÊNCIA | | | | 30°/60° | COMBINAÇÕES | | | Lcobertura | | |