



## **IMPACTO NO CUSTO DE UM EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL NÃO ARMADA CONSIDERANDO DIFERENTES TIPOS DE BLOCO E DE HIPÓTESES DE DISTRIBUIÇÃO DO CARREGAMENTO**

**Salvador Noboa Filho (1); Sydney Furlan Junior (2)**

(1) Mestrando, Departamento de Engenharia Civil, UFSCar – Universidade Federal de São Carlos.

email: [snf@terra.com.br](mailto:snf@terra.com.br)

(2) Professor Doutor, Pós-Graduação em Sistemas Construtivos de Edificações, Departamento de Engenharia Civil, UFSCar – Universidade federal de São Carlos – Departamento de Engenharia Civil, Via Washington Luis, km 235 – CEP 13565-095 – São Carlos – SP – Brasil.

email: [sydney@power.ufscar.br](mailto:sydney@power.ufscar.br)

### **RESUMO**

O custo de uma obra depende diretamente da especificação do sistema construtivo e de seus materiais. No caso dos materiais, além do custo direto, pode haver reflexos em outros componentes, decorrentes de características diferentes, tais como o peso próprio (com influência na fundação, comportamento estrutural, etc). Em edifícios de alvenaria estrutural, a escolha entre bloco cerâmico ou de concreto deve contemplar a análise de custo, disponibilidade e desempenho. Do ponto de vista do comportamento estrutural, a hipótese considerada para a distribuição do carregamento vertical e o tipo de laje empregado (maciça, pré-moldada uni e bidirecional) são parâmetros importantes na definição das solicitações nas paredes, que definem a resistência requerida para os blocos.

O modo de considerar a interação entre as paredes frente ao carregamento vertical no dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural ainda é tema controverso. Na prática empregam-se vários modelos simplificados: consideração de paredes isoladas ou de grupo de paredes (normalmente delimitados pela direção das paredes e pelas aberturas). Neste segundo caso, podem-se considerar as paredes do grupo com carregamentos iguais ou calculados segundo diferentes formas de interação entre elas. Também se pode considerar a interação entre paredes de grupos distintos, pela região das aberturas.

Neste trabalho, a partir da arquitetura de um edifício de alvenaria estrutural de múltiplos pavimentos, se analisa a influência que a hipótese adotada para o carregamento vertical tem em relação ao custo do edifício. Analisa-se um exemplo de edifício de oito pavimentos, típico da alvenaria estrutural não armada no Brasil. Outras variáveis consideradas nas simulações são o tipo de laje (maciça ou com nervuras pré-fabricadas) e o tipo de bloco (concreto e cerâmico).

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural, Processo de Cálculo, Normas, Custo.

### **ABSTRACT**

The construction costs depends of constructive system and materials. In materials case, besides direct cost, costs should be reflected by other components originated from different characteristic, that have their own weight (influence at foundation, structural behave, etc). On uppers buildings made of by structural masonry, if chosen goes to ceramic bricks or solid blocks, should take in count costs studies, availability and performance. Seeing from structural masonry components, we should consider

distribution load vertically and type of framework applied (solid, pre-defined unit and bi directional), are important parameter on walls definition requests, that define resistance applied for blocks.

The way we consider interaction among front walls, facing a vertical load dimension of a building made of structural masonry is still controversy. Normally simplified models are applied: taken in count isolated walls, groups of walls (normally delimited by walls directions and spaces). At second case, we might consider groups walls loaded equally or calculated as per different interaction ways between them. We can also consider interaction between walls from distinctive groups by space region.

This job, as from a architectonics building project based on structural masonry of several floors, shows up hypothetic influence in case adopted of vertical load costs has related at building costs. We can analyze an example, with eight floors, typically made of structural unreinforced masonry made in Brazil. Others alternatives might be considered on simulations are type floor slab (solid or precast) and type blocks (solid or concrete).

Keywords: Structural Masonry, Calculation Process, Rules, Cost.

## 1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de um projeto em alvenaria estrutural, entre as decisões importantes a definir inicialmente está a escolha do tipo de bloco (concreto, cerâmico, e outros), pois isso influí diretamente no peso próprio e na resistência da alvenaria. Outra questão importante é a forma de distribuição do carregamento entre as paredes até a sua base (fundação ou pilotis). Encontrar aquela que represente o fluxo real dos carregamentos significa dimensionar com economia e segurança. No entanto, as particularidades de um projeto (espessura e comprimento das paredes, forma e quantidade das aberturas, tipo de ligação entre paredes, tipo de laje, etc.) são muitas e ainda persistem dúvidas sobre qual o melhor procedimento para considerar tal distribuição entre as paredes.

A situação ideal de maior economia no dimensionamento de uma edificação em alvenaria estrutural é aquela em que os carregamentos são distribuídos uniformemente nas paredes. No entanto, isso não ocorre na prática, já que nem sempre é possível a uniformização. Desta forma, o dimensionamento contempla a especificação dos blocos pelas paredes com maior solicitação, considerando ainda a possibilidade de acréscimo de resistência decorrente do grauteamento. Entre os recursos para obter-se um carregamento final nas paredes próximo a um carregamento distribuído médio citam-se a forma de distribuição do carregamento das lajes nas paredes e a consideração da interação entre as paredes.

## 2. REAÇÃO DAS LAJES NAS PAREDES

A forma de apoio da laje (distribuição do carregamento sobre as paredes) é função do tipo de laje e da forma de dimensionamento (detalhamento da armadura) da laje. Ao comparar as reações de uma laje maciça e de uma laje pré-fabricada sobre as paredes é possível verificar diferenças significativas nos carregamentos aplicados sobre cada parede.

A escolha do tipo de laje é função das características da edificação (localização, altura, vãos, etc...) e de custos. Entre as opções mais utilizadas estão a laje maciça moldada in loco e a laje pré fabricada (trilho ou treliça) com elemento de enchimento cerâmico ou de EPS. No dimensionamento da alvenaria estrutural, cada tipo de laje, dimensionada e armada de forma específica, tem, além das diferenças de peso próprio, uma distribuição de carregamento diferenciado sobre as paredes, que resulta em solicitações diferentes para as paredes.

No caso da laje unidirecional, a laje se apóia em apenas uma direção (perpendicular à direção da nervura principal), sendo dimensionada como viga bi-apoiada ou contínua conforme restrição dos apoios. Neste grupo encontram-se as lajes maciças retangulares com razão entre os lados maior que 2 e

as lajes pré-fabricadas unidireccionais. No caso da laje bidirecional, ela se apóia em todas as bordas de seu contorno, sendo dimensionada como placa. Neste grupo encontram-se as lajes maciças com razão entre os lados menor que 2 e as lajes nervuradas armadas em duas direções.

O apoio da laje pode ser simples ou contínuo. A consideração ou não da continuidade resulta em uma distribuição de carga da laje diferente nas paredes. ou seja, com a consideração da continuidade a parede central entre duas lajes recebe maior parcela de carga das lajes que as paredes das periferias opostas, conforme o nível de engastamento considerado.

A laje nervurada pré-fabricada (trilho ou treliça) é freqüentemente considerada como laje unidirecional com apoio simples, devido principalmente à forma como são dimensionadas (como vigas e não como lajes) e ao posicionamento das armaduras. Quanto à continuidade, existe dúvida quanto à eficiência da continuidade (transferência de momentos fletores entre as lajes), principalmente pela pequena área de concreto na face inferior da laje na região dos apoios (região comprimida). É comum a consideração de um engaste parcial que contemple o detalhamento executado na região de apoio das lajes contíguas.

Face ao exposto, é possível perceber que a especificação de determinado tipo de laje, além do impacto no custo direto do sistema de laje, implica em possíveis diferenças de custo na alvenaria estrutural, visto que cargas diferentes podem resultar em especificação diferente para as paredes.

### **3. DISTRIBUIÇÃO DO CARREGAMENTO VERTICAL ENTRE AS PAREDES**

A NBR 10387 (1989) não aborda explicitamente a transferência de carregamento entre paredes interligadas, mas registra que a distribuição de uma carga concentrada ou parcialmente distribuída pode ser repartida uniformemente em seções horizontais limitadas por dois planos inclinados de 45° com a vertical, passando pelo ponto de aplicação da carga ou pelas extremidades da faixa de aplicação.

Ensaios realizados em paredes H confirmam a interação entre as paredes adjacentes. SILVA (2003, p.107-110) verifica este fato tanto em paredes com amarração direta como indireta. CAPUZZO (2000, p.101-103) estabelece que há uniformização dos deslocamentos verticais no trecho inferior do painel de alvenaria valores de cargas até cerca de 75% da ruptura. Outros autores também confirmam que a interação entre paredes adjacentes resulta numa tendência de homogeneização do carregamento para este nível de carregamento, segundo uma distribuição próxima a 45°. E que isso diminui para cargas próximas da ruptura, quando as paredes tendem a se comportar de forma isolada.

Uma das formas de se considerar a interação entre as paredes é pelo o enrijecimento de uma parede por outras que a interceptam perpendicularmente. A NBR 10387 e as normas internacionais BS 5628 (1992) e EUROCODE 6 (1997) consideram este enrijecimento através de uma espessura efetiva da parede, conforme as características das paredes enrijecedoras, ou através do aumento na inércia da parede (conceito de flanges), quando da análise dos esforços horizontais. Outra forma mais explícita de se considerar a interação entre as paredes é através da distribuição do carregamento vertical, segundo diferentes critérios: paredes isoladas, grupos isolados de paredes, grupos de paredes com interação (dentro do grupo e/ou entre grupos, segundo várias hipóteses de interação), entre outros, conforme se discute a seguir.

#### **3.1 Paredes Isoladas**

Neste caso não se considera a interação entre as paredes. O carregamento aplicado sobre a parede caminha para a base sem nenhuma mudança de direção. Consideram-se as paredes limitadas pelas aberturas e pela mudança de direção. Esta hipótese se aproxima da realidade para cargas próximas da ruptura. O cálculo é muito simples, mas pode resultar em dimensionamento anti-econômico, já que a amplitude de variação da solicitação nas paredes é elevada, e a resistência do bloco é escolhida para atender a parede mais solicitada. Recomenda-se este processo em edificações onde a amarração (ligação) entre as paredes é deficiente ou inexistente, ou para edifícios baixos, situações em que a

interação entre as paredes é menor. No entanto, é um processo muito utilizado em outras ocasiões, dado sua grande simplicidade.

### 3.2 Grupos Isolados de Paredes

Nesta hipótese considera-se que as paredes interagem entre si dentro de um determinado grupo, resultando num carregamento igualmente distribuído entre as paredes do grupo. Limita-se o grupo de paredes pelas aberturas. O procedimento também é simples e é aceito internacionalmente, segundo RAMALHO E CORRÊA (2003, p.32). A distribuição do carregamento entre as paredes de um grupo é obtida conforme as equações 1 e 2.

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

$$q_i' = q_m \quad (\text{eq. 2})$$

Onde,  $n$  número de componentes que interagem entre si

$q_i$  carregamento atuante no topo do elemento  $i$

$l_i$  comprimento do elemento  $i$

$q_i'$  carregamento interagido atuante na base do elemento  $i$

$q_m$  carregamento médio atuante no grupo

Uma variação do método é fazer uma distribuição ponderada (pelo comprimento) entre as paredes do grupo. A distribuição do carregamento entre as paredes do grupo é realizada distribuindo o carregamento, duas a duas. Desta forma, enquanto no primeiro caso (distribuição uniforme) o carregamento distribuído de todas as paredes de um determinado grupo tem o mesmo valor, no segundo caso o carregamento final de cada parede é diferente, segundo uma média ponderada pelo comprimento. O equacionamento deste método é apresentado pelas equações 3, 4 e 5.

$$q_1' = \frac{q_1 \cdot l_1 + \frac{q_2 \cdot l_2}{2}}{l_1 + l_2} \quad (\text{eq. 3})$$

$$q_2' = \frac{q_1 \cdot l_1 + \frac{q_2 \cdot l_2}{2}}{l_1 + l_2} + \frac{q_3 \cdot l_3 + \frac{q_2 \cdot l_2}{2}}{l_3 + l_2} \quad (\text{eq. 4})$$

$$q_3' = \frac{q_3 \cdot l_3 + \frac{q_2 \cdot l_2}{2}}{l_3 + l_2} \quad (\text{eq. 5})$$

Onde,  $n$  número de componentes que interagem entre si

$q_i$  carregamento atuante no topo do elemento  $i$

$l_i$  comprimento do elemento  $i$

$q_i'$  carregamento interagido na base do elemento  $i$

### 3.3 Distribuição a 45°

Pelo método de distribuição a 45° as paredes interagem com as paredes vizinhas conforme um espalhamento do carregamento a um ângulo de 45° (PARSEKIAN e FRANCO 2002, p.48 a 53). O processo de cálculo é mais trabalhoso. Este método também pode ser adaptado para a consideração de outros ângulos na distribuição do carregamento. Uma variação do método é considerar a transferência de cargas através das aberturas (vãos). A figura 1 exemplifica a forma do caminhamento da carga vertical pelo processo de distribuição a 45°.

A distribuição do carregamento entre duas paredes é realizada conforme a equação 6. Quando uma parede interage com outras duas, a distribuição é realizada conforme a equação 7. A equação 8 representa a distribuição de uma parede que interage com  $n$  paredes.

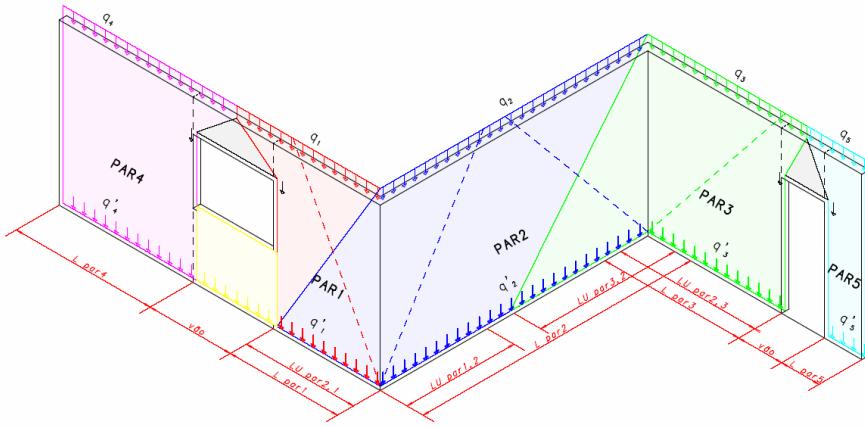


Figura 1 – Distribuição do carregamento a 45° (sem considerar aberturas)

$$q_i' = \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_j}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,j}}{l_i} \quad (\text{eq. 6})$$

$$q_i' = \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_j}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,j}}{l_i} + \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_k}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,k}}{l_i} \quad (\text{eq. 7})$$

$$q_i' = \sum_i^n \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_n}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,n}}{l_i} \quad (\text{eq. 8})$$

Onde,  $q_i$  carregamento atuante no topo do elemento  $i$   
 $l_i$  comprimento do elemento  $i$   
 $q_i'$  carregamento interagido atuante na base do elemento  $i$   
 $l_{u,i,n}$  comprimento de influência da parede  $i$  na parede  $n$ .  
 $l_u$  é menor ou igual a um dos seguintes valores:  
 ao comprimento da parede  $i$ ;  
 ao comprimento da parede  $n$ ;  
 da altura das paredes (H).

Quando  $l_i > \sum l_{u,i,n}$ , ou seja, quando o comprimento da parede é maior que a soma dos comprimentos de influência nas demais paredes, é necessário acrescentar à formulação acima a parcela  $[q_i \cdot (l_i - \sum l_{u,i,n})] / (l_i)$ , que corresponde ao trecho de carga que não participou da distribuição do carregamento através da interação. Neste caso, as equações 6, 7 e 8 são substituídas pelas equações 9, 10 e 11.

$$q_i' = \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_j}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,j}}{l_i} + \left( \frac{q_i \cdot (l_i - \sum l_{u,i,n})}{l_i} \right) \quad (\text{eq. 9})$$

$$q_i' = \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_j}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,j}}{l_i} + \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_k}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,k}}{l_i} + \left( \frac{q_i \cdot (l_i - \sum l_{u,i,n})}{l_i} \right) \quad (\text{eq. 10})$$

$$q_i' = \sum_i^n \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_n}{2} \right) \cdot \frac{l_{u,i,n}}{l_i} + \left( \frac{q_i \cdot (l_i - \sum l_{u,i,n})}{l_i} \right) \quad (\text{eq. 11})$$

Quando  $l_i < \sum l_{u,i,n}$ , ou seja, quando o comprimento da parede é menor que a soma dos comprimentos de influência nas demais paredes, toda a carga da parede interage com as paredes vizinhas. Neste caso, a parcela  $(q_i / 2)$  da parede em questão deve ser substituída por  $(q_i \cdot l_i) / (l_i + \sum l_{u,i,n})$ . As paredes que interagem com esta parede também têm sua formulação alterada. As equações 12 e 13 apresentam a formulação da distribuição dos carregamentos para as paredes que interagem com uma parede  $j$  para os

casos das paredes que interagem com uma ou duas paredes, respectivamente, sendo  $l_j < \sum lu_{j,n}$ . A equação 14 apresenta a formulação da distribuição dos carregamentos para a parede  $j$  que interage com outras duas, sendo  $l_j < \sum lu_{j,n}$ .

$$q'_i = \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_j \cdot l_j}{l_j + \sum lu_{i,j}} \right) \frac{lu_{i,j}}{l_i} \quad (\text{eq. 12})$$

$$q'_i = \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_j \cdot l_j}{l_j + \sum lu_{i,j}} \right) \frac{lu_{i,j}}{l_i} + \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_k}{2} \right) \frac{lu_{i,k}}{l_i} \quad (\text{eq. 13})$$

$$q'_i = \left( \frac{q_i}{2} \right) \frac{lu_{j,i}}{l_j} + \left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_k}{2} \right) \frac{lu_{j,k}}{l_j} + \frac{q_j \cdot l_j}{l_j + \sum lu_{i,j}} \quad (\text{eq. 14})$$

Para se considerar a interação entre as paredes através das aberturas, a distribuição do carregamento entre as paredes é obtida conforme o equacionamento anterior (equações 6 a 14), com a diferença no cálculo da largura de influência ( $lu$ ). Nestes casos, a largura de influência é limitada pelos comprimentos das paredes analisadas, e também pela altura da parede menos a soma entre a metade da largura e a altura do vão entre elas.

Desta forma, temos que,

$lu_{n,m}$  comprimento de influência da parede  $n$  na parede  $m$ .

$lu$  é menor ou igual a um dos seguintes valores:

ao comprimento da parede  $n$ ;

ao comprimento da parede  $m$ ;

equação:  $H - L_a/2 - H_a$ .

$H$  altura da parede

$H_a$  altura do vão

$L_a$  largura do vão

### 3.4 Taxa de Interação

Considera-se que as paredes interajam com as demais através de uma taxa de interação previamente atribuída no pavimento (RAMALHO E CORRÊA 2003, p.34). O processo de cálculo é simples, podendo-se aplicá-lo para paredes dentro de um mesmo grupo ou entre grupos distintos (pelas aberturas). A taxa de interação representa o quanto da diferença de carga entre as paredes deve ser uniformizada. Assim, para uma taxa de 0% não é considerada a interação entre as paredes (paredes isoladas) e para uma taxa de 100% o carregamento é totalmente distribuído entre as paredes (grupo único de paredes).

Este método permite a liberdade de utilizar a taxa de interação de acordo com o tipo de ligação entre as paredes, com a geometria das paredes, com as características das aberturas e com a quantidade de pavimentos. No entanto, a definição dos grupos ou paredes a interagir e a taxa a adotar para cada caso exige bastante experiência do projetista. Resumidamente, a implementação do método é obtida através das equações 15, 16 e 17.

$$q_m = \frac{q_1 \cdot l_1 + q_2 \cdot l_2 + \dots + q_n \cdot l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \quad (\text{eq. 15})$$

$$d_i = (q_i \cdot q_m) \cdot (1-t) \quad (\text{eq. 16})$$

$$q'_i = q_m + d_i \quad (\text{eq. 17})$$

Onde,  $n$  número de componentes que interagem entre si

$q_i$  carga distribuída atuante no elemento  $i$

$l_i$  comprimento do elemento  $i$

$q_m$  carga média uniformemente distribuída entre os elementos

$d_i$  diferença de carga interagida do elemento em relação à média

$$\begin{aligned}
 t & \quad \text{taxa interação} \\
 q_i & \quad \text{carga distribuída atuante na base do elemento } i
 \end{aligned}$$

#### 4. EXEMPLO NUMÉRICO

Para comparação entre os diferentes procedimentos apresentados, estuda-se o exemplo de um edifício residencial constituído de um andar térreo, 7 pavimentos tipo e 1 pavimento destinado de cobertura. A modulação proposta na figura 2a tem como base o bloco de 14x19x29. Para o dimensionamento, a alvenaria é subdividida em trechos de paredes, conforme figura 2b. A tabela 1 apresenta os carregamentos aplicados sobre cada parede para dois casos: bloco de concreto com laje maciça (laje apoiada em todas as faces e consideração do engastamento de lajes contínuas) e bloco de concreto com laje pré (unidirecional, sem considerar a continuidade dos painéis de laje). Também se estudou o uso de bloco cerâmico, um pouco mais leve, mas com menor fator de eficiência.

Para comparar os resultados foram tabelados os carregamento finais nas paredes do primeiro pavimento para os 4 métodos de interação, com suas respectivas variações, totalizando 7 casos de distribuição do carregamento, a saber.

- (1) Paredes isoladas;
- (2) Grupo isolado com distribuição uniforme;
- (3) Grupo isolado com distribuição ponderada;
- (4) Distribuição a 45° - sem considerar as aberturas;
- (5) Distribuição a 45° - considerando a interação através das aberturas;
- (6) Distribuição por taxa de interação, com base na carga nas paredes obtida pelas paredes isoladas;
- (7) Distribuição por taxa de interação, com base na carga nas paredes obtida pela distribuição ponderada

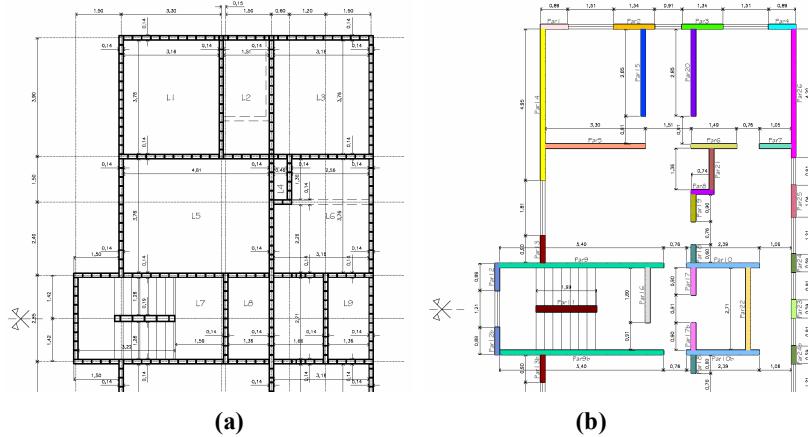


Figura 2 – (a) Modulação das paredes e esquema de lajes; (b) Nomenclatura das paredes

Para distribuição por taxa de interação foram adotadas as seguintes taxas por pavimento: 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, relativas respectivamente ao 8º, 7º, 6º, 5º, 4º, 3º, 2º e 1º pavimentos.

A tabela 1 apresenta os carregamentos finais para todas as paredes, obtidos em um dos estudos para os 7 casos de interação estudados. Para auxiliar a análise, as duas últimas linhas da tabela mostram respectivamente o percentual de paredes com carregamento acima de 20% do valor médio dos carregamentos e o percentual de paredes onde seria necessário uso de graute (foi considerado um aumento na resistência da ordem de 60% para um trecho totalmente grauteado). No primeiro caso, o objetivo é analisar a uniformização do carregamento em torno de um valor médio e, no segundo, ilustrar a viabilidade da solução adotada para os blocos.

No caso da laje maciça, a hipótese 4 apresentou uma aproximação maior dos valores em relação ao carregamento médio. Para o estudo com laje pré fabricada, os casos 1, 2, 3 e 4 apresentaram uma aproximação semelhante em relação ao carregamento médio.

**TABELA 1 – Cargas finais para as diferentes hipóteses – Bloco de concreto e laje maciça**

P a r e d e s	L (cm)	G R U P O	Método de distribuição – cargas no 1º pavimento								
			(1) Paredes Isoladas	(2) GRUPO Uni- forme	(3) GRUPO Pondera- do	(4) 45o.	(5) 45o. (Abertu- ras)	(6) Interação Paredes	(7) Interação Grupo	Carga Máxima	Carga Mínima
			kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
PAR 1=1b	0,89	G1	147,42	146,80	90,35	146,25	78,74	155,89	155,49	155,89	78,74
PAR 2=2b	1,34	G2	134,29	159,63	159,63	153,93	69,30	151,71	159,72	159,72	69,30
PAR 3=3b	1,34	G3	134,29	165,82	165,82	164,39	73,10	151,71	161,81	165,82	73,10
PAR 4=4b	0,89	G4	147,42	124,70	73,04	123,64	94,58	155,89	148,36	155,89	73,04
PAR 5=5b	3,30	G1	207,45	146,80	98,69	151,20	271,60	175,07	155,49	271,60	98,69
PAR 6=6b	1,49	G5	185,14	190,52	125,70	181,56	443,62	167,78	169,60	443,62	125,70
PAR 7=7b	1,05	G4	199,80	124,70	75,03	130,12	224,68	172,59	148,36	224,68	75,03
PAR 8=8b	0,74	G5	140,42	190,52	269,27	199,51	64,46	153,38	169,60	269,27	64,46
PAR 9=9b	5,40	G6	171,20	181,98	247,82	181,67	187,50	158,40	162,06	247,82	158,40
PAR 10=10b	2,39	G7	143,81	141,14	171,06	140,23	242,94	151,24	150,29	242,94	140,23
PAR 11	1,99		115,50	115,50	115,50	115,50	115,50	145,90	145,90	145,90	115,50
PAR 12=12b	0,89	G6	196,56	181,98	81,62	180,78	56,85	165,57	162,06	196,56	56,85
PAR 13=13b	0,90	G6	173,37	181,98	82,22	184,05	80,10	164,34	162,06	184,05	80,10
PAR 14=14b	4,95	G1	106,26	146,80	189,03	146,42	87,40	142,37	155,49	189,03	87,40
PAR 15=15b	2,85	G2	171,55	159,63	159,63	158,07	190,15	163,49	159,72	190,15	158,07
PAR 16	1,80	G6	211,45	181,98	83,98	182,50	220,88	170,19	162,06	220,88	83,98
PAR 17=17b	0,90	G7	134,23	141,14	120,25	144,67	150,73	146,77	150,29	150,73	120,25
PAR 18=18b	0,60	G7	193,41	141,14	121,29	141,58	149,46	170,51	150,29	193,41	121,29
PAR 19=19b	0,90	G5	274,75	190,52	148,44	207,04	245,05	196,82	169,60	274,75	148,44
PAR 20=20b	2,85	G3	180,64	165,82	165,82	166,49	198,91	166,56	161,81	198,91	161,81
PAR 21=21b	1,36	G5	167,92	190,52	246,53	184,51	33,06	162,42	169,60	246,53	33,06
PAR 22	2,71	G7	117,88	141,14	111,04	140,21	7,95	141,98	150,29	150,29	7,95
PAR 23	0,59		181,49	181,49	181,49	181,49	189,16	167,12	167,12	189,16	167,12
PAR 24=24b	0,59		207,84	207,84	207,84	207,84	183,44	175,67	175,67	207,84	175,67
PAR 25=25b	1,04		193,44	193,44	193,44	193,44	138,82	171,08	171,08	193,44	138,82
PAR 26=26b	4,20	G4	101,11	124,70	148,07	123,57	98,07	140,70	148,36	148,36	98,07
Máxima			274,75	207,84	269,27	207,84	443,62	196,82	175,67		
Mínima			101,11	115,50	73,04	115,50	7,95	140,70	145,90		
% das paredes com carregamento 20% acima da média			20,9%	13,8%	20,6%	7,4%	41,5%	2,0%	0,0%		
% das paredes grauteadas			39,4%	32,7%	32,4%	32,7%	49,6%	13,2%	1,3%		

Os casos 1 e 5 foram os que apresentaram menor aproximação dos carregamentos a um valor médio, o que era esperado para o caso 1 e inesperado para o caso 5. Em princípio, imaginava-se que as solicitações nas paredes se aproximassesem entre si no caso 5. Na verdade, a formulação proposta prevê uma interação entre paredes adjacentes, e não uma distribuição do carregamento, sendo possível que a carga passe de uma parede menos carregada para outra mais carregada. Por exemplo, a PAR22 trabalha “apoia” nas demais.

Para analisar as mudanças resultantes destas diferenças no detalhamento final da parede (resistência do bloco e uso de graute), apresenta-se na tabela 2 a resistência necessária do bloco ( $f_{bk}$ ) para cada pavimento. O dimensionamento foi realizado segundo a NBR 10837:1989, adotando-se velocidade básica do vento ( $V_0$ ) de 38 m/s.

Na escolha da resistência dos blocos ( $f_{bk}$ ) foi adotada resistência inicial de 4,5 MPa, com intervalos hipotéticos de 0,5 MPa. O fator de eficiência adotado para o bloco de concreto foi 0,70 e para o bloco

cerâmico 0,45. O critério para escolha da resistência do bloco no pavimento foi de que pelo menos 80% das paredes não necessitassem de graute.

**TABELA 2 – Comparativo na especificação final –  $F_{bk}$ . Segundo NBR 10837:1989 para cada método**

Estudo	Pavimento	Método de distribuição						
		(1) Paredes Isoladas	(2) GRUPO Uniforme	(3) GRUPO Ponderado	(4) 45º	(5) 45º. (Aberturas)	(6) Interação Paredes	(7) Interação Grupo
Bloco de concreto; Laje maciça; Com vento	8º	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	7º	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	6º	4,5	4,5	5,0	5,0	6,0	4,5	4,5
	5º	6,0	6,0	6,0	6,5	7,0	6,0	5,5
	4º	7,5	7,0	7,0	7,5	9,0	7,0	7,0
	3º	8,5	8,5	8,5	8,5	11,0	8,0	8,0
	2º	10,0	10,0	10,0	9,5	13,5	9,0	9,0
	1º	11,5	11,0	11,5	11,0	16,5	10,0	9,5
Bloco de concreto; Laje pré-fabricada; Com vento	8º	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	7º	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	6º	5,0	5,5	5,0	5,0	6,5	5,0	5,0
	5º	6,0	7,0	6,0	6,5	7,5	6,0	6,5
	4º	7,5	8,0	7,5	7,5	9,0	7,0	7,0
	3º	9,0	9,0	9,0	9,0	11,0	8,0	8,0
	2º	10,5	10,0	10,5	10,0	13,5	9,0	9,0
	1º	12,0	11,5	12,0	11,5	16,0	10,0	10,0
Bloco cerâmico; Laje maciça; Com vento	8º	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	7º	5,0	4,5	4,5	5,0	6,0	5,0	4,5
	6º	6,5	6,0	7,0	6,5	8,0	6,0	5,5
	5º	8,5	7,5	8,0	8,5	10,0	7,5	7,5
	4º	10,0	9,5	9,5	10,0	12,5	8,5	9,0
	3º	11,5	11,5	11,0	11,5	15,0	10,0	10,0
	2º	13,0	13,5	13,0	13,0	18,5	11,5	11,0
	1º	15,0	15,0	15,0	14,5	22,0	13,0	12,5

Observa-se que neste exemplo a influência do vento foi pequena, alterando em 0,5 MPa a resistência do bloco em alguns casos com bloco cerâmico (peso menor).

Para o bloco de concreto, excluindo a distribuição a 45º pelas aberturas (caso 5), observa-se uma variação pequena na especificação da resistência do bloco. Comercialmente, poderia ser especificada uma resistência de 12 MPa no primeiro pavimento (casos 1, 2, 3 ou 4) ou de 10 MPa (casos 6 e 7), para ambos os tipos de lajes.

Num hipotético edifício de 4 pavimentos (correspondente à especificação do 5º pavimento), poderia ser especificado uma resistência de 6 MPa (casos 1, 2, 3, 4, 6 ou 7) e de 8 MPa (caso 5). No estudo com laje pré, a resistência seria de 6 MPa (casos 1, 3 ou 6) ou 8 MPa (demais casos).

Para o bloco cerâmico, apesar de apresentar eficiência menor, há diminuição no peso do material. Excluindo a distribuição a 45º pelas aberturas (caso 5), comercialmente poderia ser especificada uma resistência de 16 MPa (casos 1, 2, 3 ou 4) ou de 14 MPa (casos 6 e 7). Para um edifício de 4 pavimentos, a resistência seria de 10 MPa (casos 1, 4 ou 5) ou de 8 MPa (casos 1, 3, 6 e 7).

A tabela 3 apresenta um comparativo de custo (apenas das alvenarias) adotando como base o custo referente ao estudo com bloco de concreto, laje maciça e distribuição a 45º. As diferenças de custo

devido à utilização dos métodos de distribuição são da ordem de 2%, tendo como extremos a distribuição a 45° considerando as aberturas (9,7%) e a interação por grupos (-3,6%). A simulação com laje pré-fabricada apresentou custo em torno de 2% maior. A utilização do bloco cerâmico apresentou redução no custo acima de 5%, apesar da necessidade de resistência maior para os blocos cerâmicos. Para a simulação com 4 pavimentos as diferenças entre as simulações são mantidas, com percentuais proporcionalmente menores.

**TABELA 3 – Comparativo no custo final – 8 pavimentos**

Estudo	Quant. Pavimento	Método de distribuição						
		(1) Paredes Isoladas	(2) GRUPO Uniforme	(3) GRUPO Ponderado	(4) 45o.	(5) 45o. (Aberturas)	(6) Interação Paredes	(7) Interação Grupo
Bloco de concreto; Laje maciça; Com vento	8	100,0%	100,0%	100,0%	99,4%	109,7%	98,2%	96,4%
Bloco de concreto; Laje pré-fabricada; Com vento	8	101,8%	102,4%	101,8%	101,2%	110,9%	98,2%	99,4%
Bloco cerâmico; Laje maciça; Com vento	8	94,4%	93,4%	94,4%	94,4%	99,9%	91,2%	91,2%
Bloco de concreto; Laje maciça; Com vento	4	100,0%	100,0%	100,0%	102,7%	102,7%	100,0%	100,0%
Bloco de concreto; Laje pré-fabricada; Com vento	4	100,0%	102,7%	100,0%	102,7%	105,5%	100,0%	102,7%
Bloco cerâmico; Laje maciça; Com vento	4	98,9%	96,7%	98,9%	98,9%	101,1%	96,7%	96,7%

## 5. CONCLUSÕES

Próximo da ruptura, a interação entre as paredes torna-se menos efetiva, o que sugere a utilização do método de paredes isoladas na distribuição do carregamento. No entanto, para cargas até 70% da carga de ruptura, a interação efetivamente ocorre, o que estimula o uso de outros procedimentos de cálculo que considerem este fato. Entre os métodos apresentados, os mais simples e mais utilizados, quais sejam, paredes isoladas ou grupos de paredes, forneceram, neste exemplo, valores distintos de solicitações, mas o detalhamento final foi muito parecido. A consideração de distribuição a 45° pelas aberturas apresentou maior discrepância nos resultados. A utilização de taxas de interação, mesmo considerando valores de distribuição teoricamente pequenos (35% de distribuição no 1º pavimento), promoveu maior economia no detalhamento final e deve ser mais estudada.

As maiores diferenças entre os métodos estariam no detalhamento dos pontos de graute (quantidade e localização), o que traz grandes implicações na execução, assim como no dimensionamento da estrutura suporte das paredes (pilotis ou fundação). Na verdade, deve-se utilizar o procedimento que mais se aproxime do comportamento real da estrutura. Pelo exposto neste trabalho, limitado pela sua pequena representatividade, parece razoável que, para edifícios de pequena altura e geometria usual,

os procedimentos mais simples podem ser empregados. Dentre aqueles um pouco mais elaborados, o que considera uma taxa de interação parece ser o mais interessante, já que preserva a simplicidade com bons resultados. Mas deve ser mais estudado para escolher de forma consistente as taxas de interação.

Conforme a especificação do tipo de laje (e consequente forma de distribuir o carregamento nas paredes) pode-se otimizar os resultados com a consideração da distribuição dos carregamentos entre as paredes, visto que as diferenças geradas por uma distribuição não uniforme (devido às características das lajes) podem ser minimizadas pela consideração da interação entre as paredes. Cuidados maiores devem ser observados nos trechos de paredes isolados, visto que poucos métodos contemplam a distribuição de esforços através das aberturas. No exemplo os trechos isolados foram determinantes na especificação dos blocos. Assim, deve-se ter evitar, quando possível, esta situação no projeto.

Apesar de apresentar um fator de eficiência menor (exigindo especificação de um bloco mais resistente), o bloco cerâmico teria custo similar na execução da parede, comparado com o de concreto.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR10837**. Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION - **BSI. BS-5628:part 1**.Code of practice for structural use of masonry part 1, structural use of unreinforced masonry. London, 1992.
- EUROCODE 6. **EuroCode 6**. Design of masonry structures part 1-1: General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry. Madrid, Espanha, 1997.
- SILVA, Wilson José da. **Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos sujeitas a ações verticais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira. 2003, pp 107-110.
- CAPUZZO, Valentim, Neto. **Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000, pp 101-103.
- RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R.S.. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Editora PINI. São Paulo, 2003.
- PARSEKIAN, Guilherme Aris; FRANCO, Luiz Sérgio: **Alvenaria:Método para distribuição de esforços verticais entre paredes de edifícios de alvenaria estrutural**. Revista Téchne nº 61. Editora PINI. São Paulo. 2002.