

STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN WALLS GROUPS ON VERTICAL LOADS DISTRIBUTION OF STRUCTURAL MANSORY BUILDINGS

Matheus P. Barbosa

Joel A. N. Neto

matheusbarbosa@ufrn.edu.br

joelneto@ct.ufrn.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Av. Sen. Salgado Filho, CEP 59078-970, Rio Grande do Norte/Natal, Brasil

Adryano J. M. Souza

adrianomafaldo_12@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Av. Sen. Salgado Filho, CEP 59078-970, Rio Grande do Norte/Natal, Brasil

Abstract. The walls behavior intersections has been studied by many researchers, the structural engineers usually incorporate this aspect in the design procedures defining the model of walls group action. In this specific cases, many researchers have been studied the walls intersections in order to verify the connections strength. In most cases, the group action of interconnected walls is delimited by doors and window openings. Despite of that, masonry lintels under openings can affect this behavior spreading the vertical loads through the openings and inducing a group interaction. This aspect isn't enough explored by researchers. Therefore, the study presented herein developed a systematic analysis to take into account the lintels masonry in the panels modeling, in order to evaluate it's influence on vertical loads distribution. Numerical simulations were performed using the equivalent frame model developed by Nascimento Neto et al [1] and also using models based on shell finite elements. The analyses conducted to evaluate the vertical stress redistribution on wall groups and to verify the internal forces induced on lintels. The results showed that the reduction of stresses intensities must be take into account carefully because it's influenced by many factors and not just by incorporating the lintel in the modeling.

Keywords: structural masonry; computational modeling; group of walls; lintel; vertical load.

1 Introdução

A distribuição das cargas verticais entre as paredes estruturais dos edifícios de alvenaria tem sido estudada por vários pesquisadores, podendo-se citar: Capuzzo Neto [2]; Paes [3]; Medeiros et al [4]; Quim [5]; Medeiros [6]; e Lopes [7].

Uma questão ainda pouco estudada é a interação que acontece entre paredes de edifícios em alvenaria estrutural. A grande questão é: de que maneira considerar o efeito de um carregamento atuante em uma parede do edifício nas paredes adjacentes? Segundo Parsekian e Franco [8] vários pesquisadores e projetistas consideram essa questão como uma das principais a serem respondidas sobre o comportamento da alvenaria estrutural.

No projeto de edifícios de alvenaria estrutural são empregados, usualmente, dois modelos de cálculo para determinação das cargas verticais nas paredes: o modelo de paredes isoladas, onde se considera que não há interação entre as paredes que se interceptam; e o modelo de grupo isolado de paredes, no qual se considera que há interação entre as paredes que se interceptam. É importante destacar que no caso do modelo de paredes isoladas se faz necessário adotar juntas à prumo na interseção entre paredes, enquanto que no de grupo isolado de paredes deve-se proceder a amarração por meio do intertravamento entre os blocos.

Já é consagrado no meio técnico-científico que a consideração de grupos isolados de paredes conduz a intensidades mais baixas de tensões normais verticais, sendo, portanto, o modelo usualmente adotado pelos projetistas estruturais. Na maioria dos casos, os grupos de paredes são determinados pelas aberturas de portas e de janelas e, dessa forma, os estudos se restringem a distribuição de cargas verticais em cada grupo de maneira isolada. Embora esse procedimento seja amplamente difundido, a existência de elementos de alvenaria entre as aberturas (lintéis), especialmente as de janela, podem produzir alterações nesse comportamento por meio da denominada interação entre grupo de paredes.

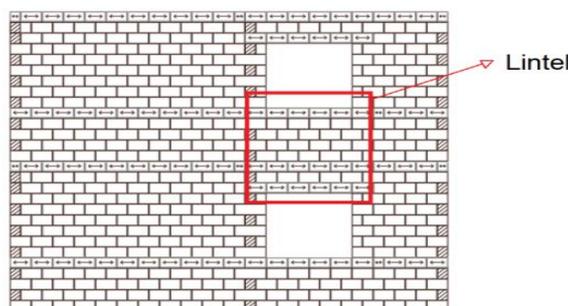


Figura 1. Ilustração de um lintel de alvenaria

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma análise sistemática da consideração da interação entre grupos isolados de paredes por meio de simulações numéricas dos painéis, discretizados em elementos de barra e também em elementos finitos de casca. Desta maneira, o estudo ora apresentado objetiva analisar e a quantificar a carga transferida de um grupo ao outro por meio dos lintéis, além de avaliar a precisão dos modelos discretizados em barras em comparação aos modelos discretizados em cascas.

2 Modelos computacionais de análise

Para a modelagem computacional dos painéis foi utilizado o modelo de pórtico equivalente desenvolvido por Nascimento Neto et al [1], que consiste na discretização da alvenaria estrutural por meio de um pórtico representativo da rigidez do painel. Esse modelo vem sendo constantemente avaliado pelos autores para simular, inclusive, vários aspectos da interação entre paredes de alvenaria e estrutura de suporte em concreto armado. Os resultados dessas análises podem ser encontrados em

Medeiros et al [4], Medeiros [6], Quim [5] e Lopes [7]. Além do modelo de pórtico equivalente, também foram realizadas modelagens utilizando elementos finitos de casca.

As análises desenvolvidas consistiram na discretização de três painéis típicos de alvenaria, representativos de um edifício com 21 pavimentos tipo. Cada um dos painéis faz parte de distintos grupos de paredes delimitados por aberturas de janela, conforme ilustrado pela Figura 2. As análises foram conduzidas considerando comportamento elástico-linear para a alvenaria.

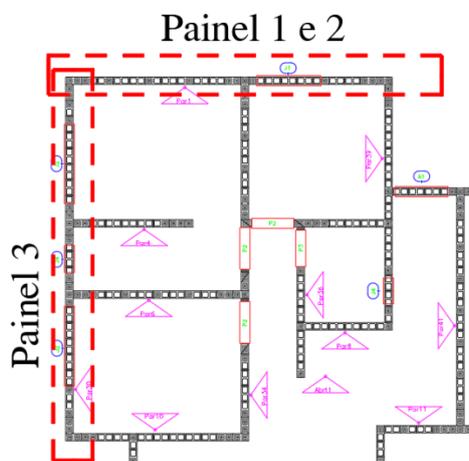


Figura 2. Planta dos painéis analisados

A Figura 3 ilustra em elevação os painéis avaliados, sendo possível observar o carregamento correspondente a um pavimento considerado em cada trecho e a presença das aberturas de janela. Apesar dos painéis apresentarem 21 pavimentos, a discretização foi realizada até o 10º pavimento, sendo que do 1º ao 9º foi aplicado o carregamento indicado na Figura 3, e no 10º carregamento vertical com intensidade equivalente aos 11 pavimentos superiores. A Tabela 1 contém as intensidades das cargas aplicadas ao modelo assim descrito. Tal aspecto da modelagem foi definido em função do estudo desenvolvido por Parsekian e Franco [8], que verificaram a redistribuição total das cargas verticais através dos lintéis já nos pavimentos mais elevados da edificação.

Tabela 1. Carregamento aplicado em cada pavimento

Pavimentos	Carregamento aplicado (kN/m)				
	Grupo				
	1, 3 e	2 e 4	6	7	8
1º ao 9º	16,78	14,57	19,33	18,21	19,94
10º	201,36	174,84	231,96	218,52	239,28

A Figura 3 ilustra também a geometria dos painéis, destacando-se a variação das dimensões das aberturas e a distribuição do grauteamento vertical. As cargas verticais atuantes em cada grupo foram determinadas a partir do modelo simplificado de grupo isolado de paredes apresentado por Ramalho e Corrêa [9], e correspondem a diferenças percentuais iguais a 15,2%, dos grupos 1 e 3 em relação aos grupos 2 e 4, e 15,2% e 9,5%, dos grupos 6 e 8 em relação aos grupos 5 e 7.

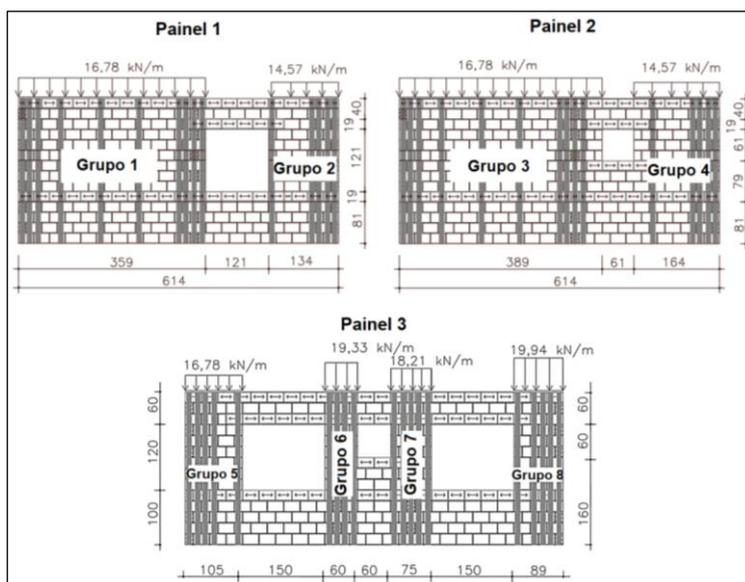


Figura 3. Detalhamento dos painéis

O modelo de pórtico equivalente utilizado seguiu as recomendações de Medeiros [4] com os ajustes propostos por Lopes [7], no qual as barras verticais são posicionadas no centro de gravidade dos furos dos blocos e dispostas a cada 15 cm, e as barras horizontais na junta de argamassa e dispostas a cada 20 cm. As barras verticais possuem seção transversal 14x15 cm e as horizontais 14x20 cm. As propriedades elásticas utilizadas estão indicadas na Tabela 2. Os módulos de deformação foram determinados de acordo com as prescrições da NBR 19561-1 [10], sendo utilizado o coeficiente de Poisson para determinação do módulo de deformação transversal considerando material isotrópico.

Tabela 2. Módulos de deformação adotados em cada pavimento

Pavimentos	Módulos de deformação utilizados (MPa)			
	Alvenaria não-grauteada		Alvenaria grauteada	
	Longitudinal (E)	Transversal (G)	Longitudinal (E)	Transversal (G)
1° ao 3°	11,2	4,667	19,6	8,167
4° ao 6°	10,08	4,2	17,64	7,35
7° ao 9°	8,96	3,733	15,68	6,533
10°	7,84	3,267	13,72	5,717

Os modelos de análise desenvolvidos foram denominados modelos 1, 2 e 3, referentes ao painel 1, painel 2 e painel 3, respectivamente. Para o caso de discretização com pórtico equivalente, cada modelo foi ainda classificado de acordo com a aplicação do carregamento vertical conforme descrição a seguir:

- Modelo 1A, painel 1 com carregamento apenas no grupo 1;
- Modelo 1B, painel 1 com carregamento apenas no grupo 2;
- Modelo 1C, painel 1 com carregamento nos grupos 1 e 2 (Figura 4a);
- Modelo 2A, painel 2 com carregamento apenas no grupo 3;
- Modelo 2B, painel 2 com carregamento apenas no grupo 4;
- Modelo 2C, painel 2 com carregamento nos grupos 3 e 4 (Figura 4b);
- Modelo 3A, painel 3 com carregamento apenas no grupo 5;
- Modelo 3B, painel 3 com carregamento apenas no grupo 6;
- Modelo 3C, painel 3 com carregamento nos grupos 5, 6, 7 e 8 (Figura 4c).

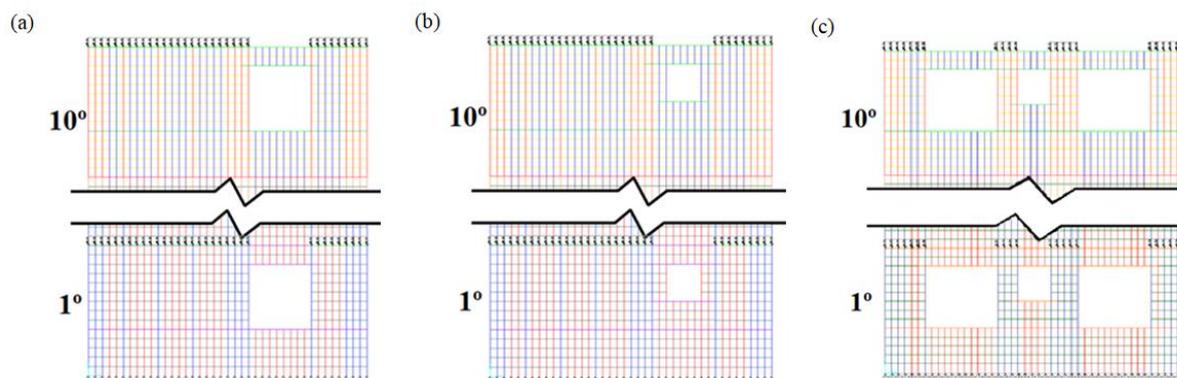


Figura 4. Detalhamento dos painéis Discretização em elementos de barra:
(a) Modelo 1C; (b) Modelo 2C e (c) Modelo 3C

Além da modelagem com pórtico equivalente, foram elaborados modelos com elementos finitos de casca. A geração da malha dos painéis foi realizada de modo a fazer coincidir o centro de gravidade dos elementos finitos com o posicionamento das barras verticais no modelo de pórtico equivalente, o que foi obtido adotando-se elementos medindo 15x20cm. Nestes modelos, a variação da resistência de prisma e a presença do grauteamento também foram consideradas a partir das propriedades elásticas da alvenaria que constam na Tabela 2.

Os modelos de análise utilizando elementos finitos de casca foram denominados: 1A', 1B', 1C', 2A', 2B', 2C', 3A', 3B' e 3C'. As características de cada um desses modelos segue a descrição daqueles que utilizam o pórtico equivalente.

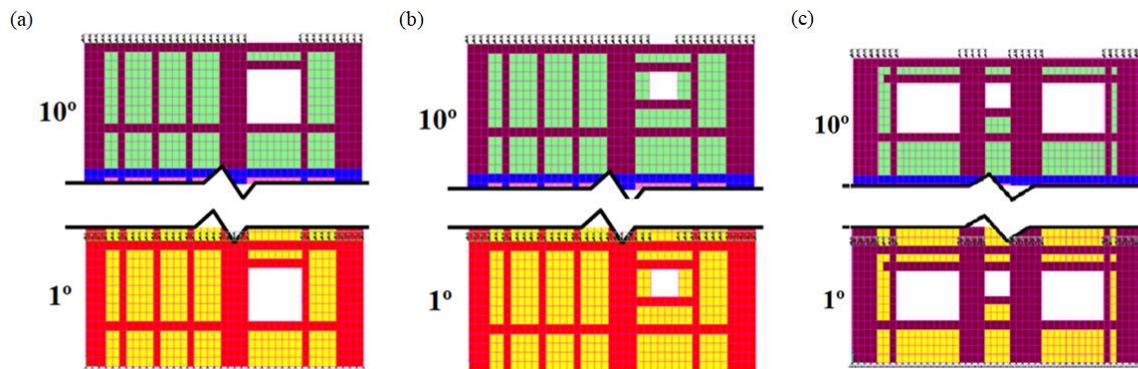


Figura 5. Discretização em elementos finitos de casca:
(a) Modelo 1C'; (b) Modelo 2C' e (c) Modelo 3C'

3 Análises e discussões

As análises consistiram na avaliação da redistribuição da tensão normal vertical que ocorre nos grupos de parede considerando a interação entre os mesmos, em comparação à tensão normal caso fossem considerados como grupos isolados de paredes. Além disso, também foi realizada a comparação entre modelagem com pórtico equivalente e com elementos finitos de casca.

Em cada modelo anteriormente descrito foram montados gráficos da tensão normal no 10°, no 5° e no 1° pavimento, na seção transversal horizontal disposta na metade da altura das aberturas. A escolha de uma seção na metade da altura da abertura deveu-se à constatação de que essa é a seção mais solicitada quando considerada a interação entre os grupos, visto que, em regiões acima e abaixo

das aberturas, os esforços se distribuem para o interior do lintel, conduzindo a menores intensidades de tensão. Os resultados obtidos a partir das modelagens foram comparados àqueles obtidos considerando o modelo simplificado de grupo isolado de paredes, cujos valores foram determinados pelo simples quociente entre o carregamento acumulado no correspondente pavimento e a espessura da parede (14 cm). A Tabela 3 sintetiza os resultados da modelagem simplificada de grupo isolado de paredes.

Tabela 3. Tensão normal média no grupo de paredes correspondente à carga vertical acumulada

Grupo de paredes	Tensão normal média acumulada (kN/m ²)		
	Pavimento		
	10º	5º	1º
1	1.438	2.038	2.517
2	1.249	1.769	2.185
3	1.438	2.030	2.517
4	1.249	1.769	2.185
5	1.438	2.038	2.517
6	1.657	2.347	2.899
7	1.561	2.211	2.731
8	1709	2.421	2.991

Vale ressaltar que as tensões de compressão foram consideradas com sinal positivo e, portanto, as de tração com sinal negativo.

3.1 Painel 1

O painel 1 é composto por dois grupos de parede com comprimentos bem distintos, sendo separados por uma abertura de janela com dimensões 151cm x 151cm. Inicialmente apresentam-se os resultados para os modelos que analisam apenas a carga que migra do grupo 1 para o grupo 2. A Figura 6 ilustra a distribuição da tensão normal para os modelos 1A e 1A', a partir da qual se percebe a atuação de tensão normal no grupo sem carregamento (grupo 2), o que indica que houve transferência de carga através do lintel. Ainda sob o ponto de vista qualitativo, percebe-se variação na intensidade das tensões ao longo do comprimento no grupo 1, o que pode ser atribuído à migração das cargas verticais nas proximidades da abertura, ocorrendo mais intensamente nos pavimentos inferiores. Podem-se observar também regiões de pico de tensão que correspondem aos trechos grauteados da parede.

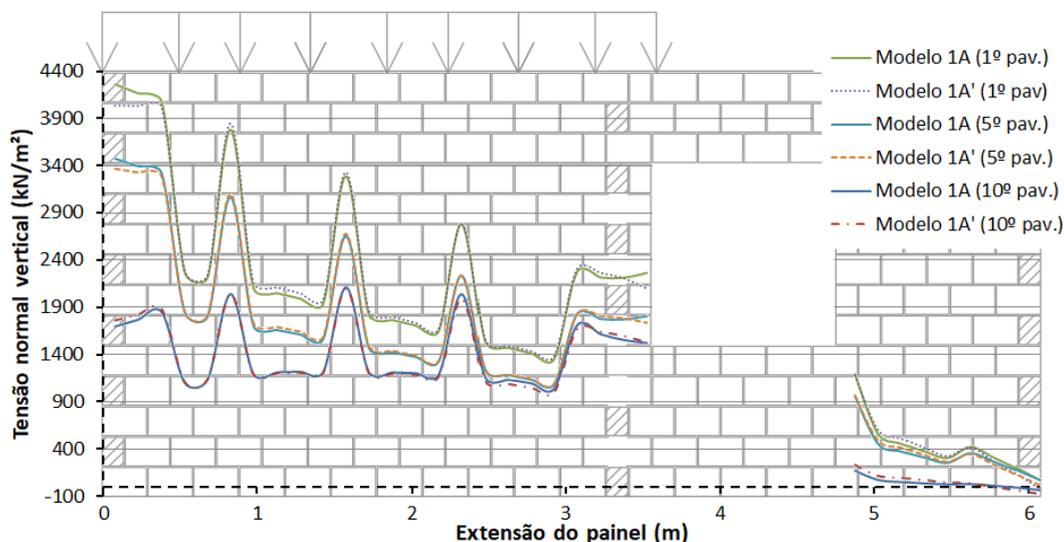


Figura 6. Tensão normal vertical no painel 1, modelos 1A e 1A'

Apesar da variação de tensões observada ao longo do comprimento do grupo 1, conforme ilustrado pela Figura 6, para efeito de avaliação global é possível utilizar os correspondentes valores médios, constantes na Tabela 4, pois, como será visto mais adiante, verifica-se tendência de uniformização ao se considerar a atuação simultânea do carregamento no grupo 2. Analisando a tensão nos grupos do 10º pavimento e considerando o valor médio da Tabela 4, percebe-se que o grupo 1 apresentou intensidade igual a 1.421 kN/m², segundo o modelo 1A, e 1.420 kN/m², segundo o modelo 1A', correspondendo a diferença de 0,08% entre os modelos de pórtico e de casca. No caso do 5º pavimento, obtiveram-se tensões médias iguais a 1.910 kN/m² e 1.906 kN/m², correspondente à diferença de 0,18% entre os modelos 1A e 1A', enquanto que no 1º pavimento as intensidades foram iguais a 2.362 kN/m² e 2.360 kN/m², indicando diferença de 0,07% entre os dois tipos de modelagem. A partir desses resultados e daqueles constantes na Tabela 4, obtém-se valores para as taxas de transferência de carregamento iguais a 1,18%, 6,25% e 6,15%, para o 10º, 5º e 1º pavimentos, respectivamente, segundo o modelo 1A, e iguais a 1,26%, 6,41% e 6,21%, para o 10º, 5º e 1º pavimentos, respectivamente, segundo o modelo 1A'.

No caso do grupo 2, os valores médios para as tensões normais foram iguais a 38,7 kN/m² e 52,9 kN/m², correspondentes aos modelos 1A e 1A', respectivamente, indicando diferença de 26,90% do modelo 1A em relação ao modelo 1A'. Ressalta-se que, apesar da diferença percentual ser relativamente elevada, as intensidades de tensão são muito baixas, da ordem de 3% daquelas atuantes no grupo que está submetido ao carregamento vertical. Para os resultados no 5º pavimento, as tensões médias foram iguais a 357 kN/m² e 355 kN/m² respectivamente para os modelos 1A e 1A', representando uma diferença de 0,73%. Relativamente ao 1º pavimento, as tensões obtidas a partir dos modelos 1A e 1A' foram iguais a 431 kN/m² e 425 kN/m², respectivamente, correspondentes à diferença de 1,58%.

Tabela 4. Resultados das análises do painel 1, modelos 1A e 1A'

	Modelos	Grupo 1 de paredes (carregado)		Grupo 2 de paredes (sem carga)
		Tensão (kN/m ²)	Alívio*	Tensão (kN/m ²)
10º pav.	Grupo Isolado:	1438		0
	1A (Pórtico):	1421	1,18 %	38,7
	1A' (Casca):	1420	1,26 %	52,9
	Diferença:	0,08 %		-26,9 %
5º pav.	Grupo Isolado:	2038		0
	1A (Pórtico):	1910	6,25 %	358
	1A' (Casca):	1907	6,41 %	355
	Diferença:	0,18 %		0,73 %
1º pav.	Grupo Isolado:	2517		0
	1A (Pórtico):	2362	6,15 %	432
	1A' (Casca):	2361	6,21 %	425
	Diferença:	0,07 %		1,58 %

Na sequência, foram avaliados os resultados para os modelos que analisam apenas a transferência de carga do grupo 2 para o grupo 1. A Figura 7 ilustra a distribuição da tensão normal segundo os modelos 1B e 1B'.

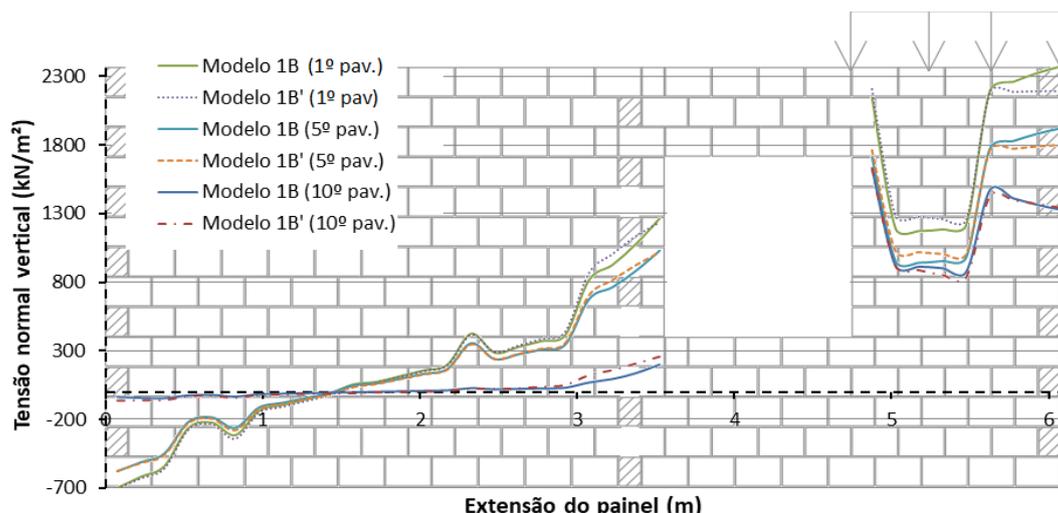


Figura 7. Tensão normal vertical no painel 1, modelos 1B e 1B'

A partir desses resultados percebe-se uma redistribuição de tensões mais acentuada do que a verificada para os modelos 1A e 1A'. Tal tendência pode ser atribuída ao pequeno comprimento do grupo que está submetido ao carregamento vertical, considerando que, cargas mais afastadas do lintel não tendem a migrar através do mesmo se redistribuindo nos demais grupos. Pode-se observar ainda nestes modelos que ocorreu tração em uma das extremidades do grupo isento de carregamento vertical, o que tende a desaparecer quando houver a atuação simultânea de carregamento vertical nesse grupo. No grupo 2, é possível observar trechos com diferentes intensidades de tensões, e não apenas picos de tensões, conforme verificado no grupo 1, o que pode ser atribuído à redistribuição interna de rigidez ocasionada pela presença do grauteamento vertical.

A Tabela 5 contém os resultados numéricos mais importantes para análise, na qual estão indicados, pelas mesmas razões expostas no caso da análise do grupo 1, os valores médios de tensão em cada grupo. A partir desses resultados, se observam as mesmas tendências da análise realizada anteriormente para o grupo 1, na qual se verificou proximidade entre os resultados obtidos com os modelos de pórtico equivalente e de elementos de casca, com diferenças percentuais iguais a 1,43%, 0,06% e 0,17% para as tensões médias atuantes no grupo 2. Da mesma forma, essas diferenças foram aumentadas para os resultados associados ao grupo 1 por ocasião da migração de cargas através do lintel. Sobre isto, destaca-se que, além das baixas intensidades dessas tensões (sempre inferiores a 10% do trecho submetido ao carregamento), a migração está ocorrendo de um grupo de comprimento pequeno para outro de comprimento mais extenso com considerável variação de rigidez por ocasião do grauteamento vertical. Relativamente à taxa de transferência de carregamento, verificaram-se valores iguais a 3,79%, 18,67% e 18,32% correspondentes ao 10º, 5º e 1º pavimentos, respectivamente, obtidos com o modelo 1B, muito próximos daqueles obtidos com o modelo 1B'. Comparando-se esses resultados com aqueles que constam na Tabela 4, verificam-se valores de transferência de carregamento praticamente 3 vezes maiores. Tal tendência pode ser explicada pela diferença entre comprimento dos grupos, ocorrendo maiores taxas de transferência de um grupo com menor comprimento para outro de maior comprimento. É importante comentar também que o grupo 2, mais curto, também apresenta metade de sua extensão grauteada, o que, em princípio, pode reduzir o valor da taxa de transferência devido a sua maior rigidez. Dessa forma, é esperado que essas taxas fossem ainda maiores caso o grupo de menor comprimento tivesse seu grauteamento reduzido.

Tabela 5. Resultados das análises do painel 1, modelos 1B e 1B'

	Modelos	Grupo 1 de paredes (sem carga)	Grupo 2 de paredes (carregado)	
		Tensão (kN/m ²)	Tensão (kN/m ²)	Alívio
10 ^o pav.	Grupo Isolado:	0	1249	
	1B (Pórtico):	8,6	1201	3,79 %
	1B' (Casca):	22,9	1185	5,15 %
	Diferença:	-62,41 %	1,43 %	
5 ^o pav.	Grupo Isolado:	0	1769	
	1B (Pórtico):	82,7	1439	18,67 %
	1B' (Casca):	123	1438	18,73 %
	Diferença:	-32,50 %	0,06 %	
1 ^o pav.	Grupo Isolado:	0	2186	
	1B (Pórtico):	99,5	1785	18,32 %
	1B' (Casca):	149	1782	18,46 %
	Diferença:	-33,30 %	0,17 %	

Por fim, apresentam-se os resultados dos modelos que analisam a real situação do edifício, na qual há a atuação simultânea de carregamento nos grupos 1 e 2. A Figura 8 ilustra a distribuição da tensão normal para os modelos 1C e 1C' correspondentes a tal situação.

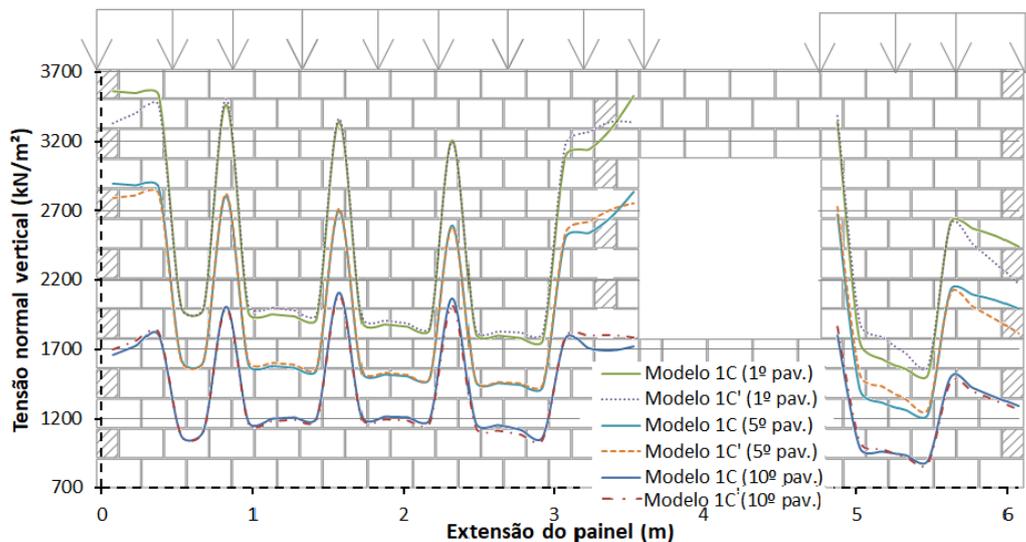


Figura 8. Tensão normal vertical no painel 1, modelos 1C e 1C'

A partir dos resultados ilustrados pela Figura 8 e contidos na Tabela 6, percebe-se que a redistribuição das tensões normais verticais e, por conseguinte, a transferência de carga através do lintel, ocorre de forma bem mais tênue quando comparados aos resultados dos modelos A e B, eliminando, inclusive, as tensões de tração observadas no grupo 1. Tal comportamento resultou na ocorrência de baixos alívios de tensão no grupo 1, submetido a maior intensidade de tensão conforme o modelo de grupo isolado, com conseqüentes acréscimos de tensões no grupo 2. Esse comportamento é atribuído ao fato do lintel ser menos mobilizado nesta situação, em virtude de sua mobilização depender do deslocamento relativo entre os grupos de parede. Na situação em que ambos os grupos estão submetidos a carregamento com pequena diferença na intensidade (igual a 15,2% neste caso), as correspondentes deformações tendem a ser bastante próximas, resultando em pequeno deslocamento relativo e conseqüente redução nas taxas de transferência de carregamento entre os grupos. Além

desse aspecto, é importante destacar a possibilidade de se realizar a simples superposição dos efeitos isoladamente. Considerando as intensidades médias de tensões apresentadas nas Tabelas 4 e 5 e procedendo-se as correspondentes somas, obtém-se exatamente as intensidades médias de tensões contidas na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados das análises do painel 1, modelos 1C e 1C'

	Modelos	Grupo 1 de paredes (carregado)		Grupo 2 de paredes (carregado)	
		Tensão (kN/m ²)	Alívio*	Tensão (kN/m ²)	Alívio*
10º pav.	Grupo Isolado:	1438		1249	
	1C (Pórtico):	1440	-0,11 %	1240	0,70 %
	1C' (Casca):	1443	-0,33 %	1238	0,91 %
	Diferença:	-0,22 %		0,21 %	
5º pav.	Grupo Isolado:	2038		1769	
	1C (Pórtico):	1993	2,19 %	1796	-1,54 %
	1C' (Casca):	2029	0,40 %	1793	-1,34 %
	Diferença:	-1,80 %		0,20 %	
1º pav.	Grupo Isolado:	2517		2186	
	1C (Pórtico):	2462	2,19 %	2217	-1,43 %
	1C' (Casca):	2510	0,28 %	2207	-0,98 %
	Diferença:	-1,92 %		0,44 %	
* valores negativos indicam acréscimo de tensões e positivos redução.					

3.2 Painel 2

Com o intuito de verificar o efeito da rigidez do lintel na interação entre os grupos de parede, o painel 2 foi idealizado com dimensões menores para a abertura de janela, passando de 151x151cm no painel 1, para 61x61cm no painel 2, conforme ilustrado pela Figura 3. Foram apresentados, inicialmente, os resultados dos modelos que analisam a redistribuição que ocorre quando o carregamento é aplicado apenas no grupo 3. A Figura 9 ilustra a distribuição de tensões normais na seção horizontal disposta na metade da altura da abertura, e a Tabela 7 contém os principais valores numéricos dessas tensões, ambos relativos aos modelos 2A e 2A'.

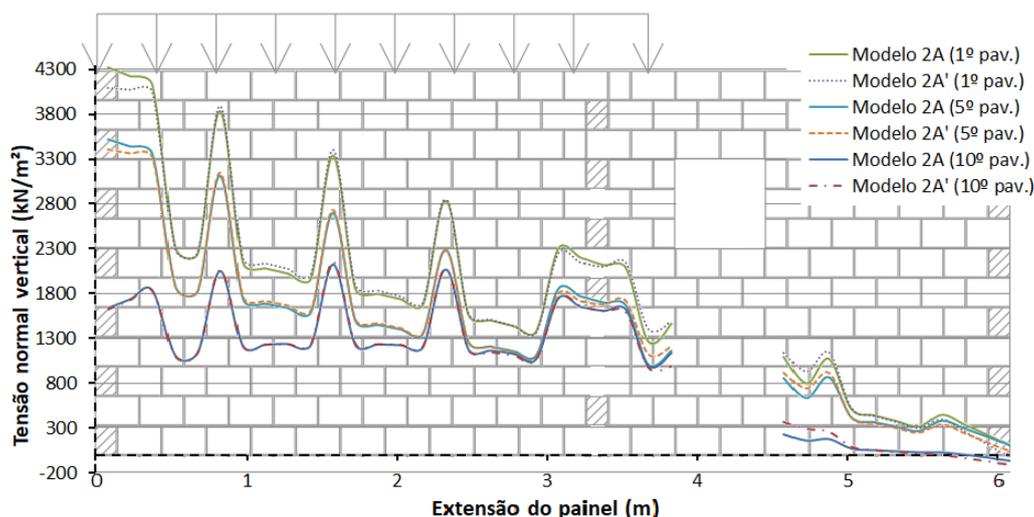


Figura 9. Tensão normal vertical no painel 2, modelos 2A e 2A'

A partir da Figura 9 percebe-se, como era de se esperar, a mesma tendência de comportamento com variação das tensões ao longo do comprimento do grupo 3 e ocorrência de tensões, também variáveis, no grupo 4, indicando ter havido transferência de carga através do lintel. Considerando os resultados da Tabela 7, verifica-se que a transferência de cargas se deu de forma mais intensa que o ocorrido nos modelos 1, com taxas iguais 7,39% e 7,29% para o 5º e o 1º pavimento, segundo o modelo 2A. É importante comentar que o lintel associado aos modelos 1 apresenta altura da seção igual a 159 cm, correspondente a 8 fiadas de alvenaria, enquanto nos modelos 2 a altura da seção se iguala a 219 cm, correspondente a 11 fiadas. Considerando uma análise simplificada, verifica-se acréscimo de 161% no produto EI da seção, que resultou na modificação nas taxas de transferência, iguais a 6,25% e 6,15% no 5º e 1º pavimentos, respectivamente, conforme consta na Tabela 4, para os valores que constam na Tabela 7 e que correspondem a acréscimos de apenas 18%. É importante comentar que o acréscimo de rigidez do lintel é maior ainda, pois o correspondente vão é menor nos modelos 2.

Tabela 7. Resultados das análises do painel 2, modelos 2A e 2A'

	Modelos	Grupo 3 de paredes (carregado)		Grupo 4 de paredes (sem carga)
		Tensão (kN/m ²)	Alívio	Tensão (kN/m ²)
10º pav.	Grupo Isolado:	1438		0
	2A (Pórtico):	1425	0,92 %	61,7
	2A' (Casca):	1406	2,22 %	79,5
	Diferença:	1,33 %		-22,4 %
5º pav.	Grupo Isolado:	2038		0
	2A (Pórtico):	1887	7,39 %	427
	2A' (Casca):	1867	8,35 %	422
	Diferença:	1,05 %		1,26 %
1º pav.	Grupo Isolado:	2517		0
	2A (Pórtico):	2334	7,29 %	520
	2A' (Casca):	2305	8,41 %	507
	Diferença:	1,23 %		2,43 %

Prosseguindo as análises, a Figura 10 ilustra a distribuição das tensões normais para o caso dos modelos 2B e 2B', caracterizado pelo grupo com menor extensão/comprimento estar submetido ao

carregamento vertical.

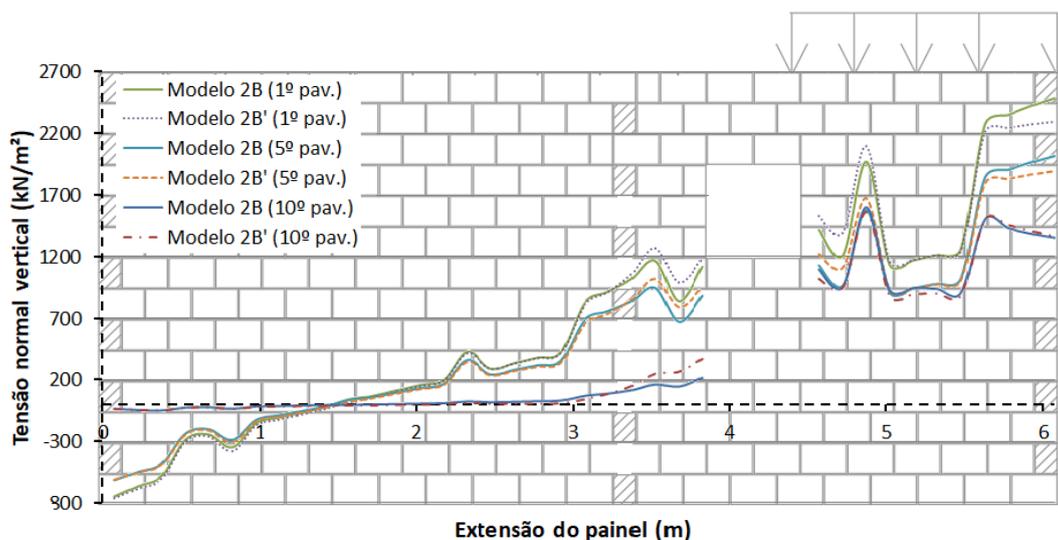


Figura 10. Tensão normal vertical no painel 2, modelos 2B e 2B'

Para os resultados desse modelo, ilustrados pela Figura 10 e Tabela 8, também se percebe a mesma tendência de comportamento daquele associado aos modelos 2A e 2A'. Comparando-se as taxas de transferência de carga do grupo 4 para o grupo 3, iguais a 21,63% e 21,39% no 5º e 1º pavimentos, respectivamente, com os correspondentes valores na Tabela 5, iguais a 18,67% e 18,32%, verifica-se acréscimo da ordem de 14,5%. Considerando-se o acréscimo de 161% no produto EI, conforme mencionado anteriormente, o correspondente ganho em termos de taxas de transferência de carga não ocorreu na mesma proporção.

Tabela 8. Resultados das análises do painel 2, modelos 2B e 2B'

	Modelos	Grupo 3 de paredes (sem carga)	Grupo 4 de paredes (carregado)	
		Tensão (kN/m ²)	Tensão (kN/m ²)	Alívio
10º pav.	Grupo Isolado:	0	1249	
	2B (Pórtico):	18,0	1185	5,10 %
	2B' (Casca):	34	1165	6,69 %
	Diferença:	-49,94 %	1,70 %	
5º pav.	Grupo Isolado:	0	1769	
	2B (Pórtico):	131	1386	21,63 %
	2B' (Casca):	161	1438	21,71 %
	Diferença:	-18,34 %	0,10 %	
1º pav.	Grupo Isolado:	0	2186	
	2B (Pórtico):	159	1718	21,39 %
	2B' (Casca):	198	1712	21,67 %
	Diferença:	-19,94 %	0,36 %	

Para concluir a análise dos painéis do tipo 2, são apresentados os resultados dos modelos 2C e 2C' correspondentes à situação de atuação simultânea da carga vertical nos grupos 3 e 4.

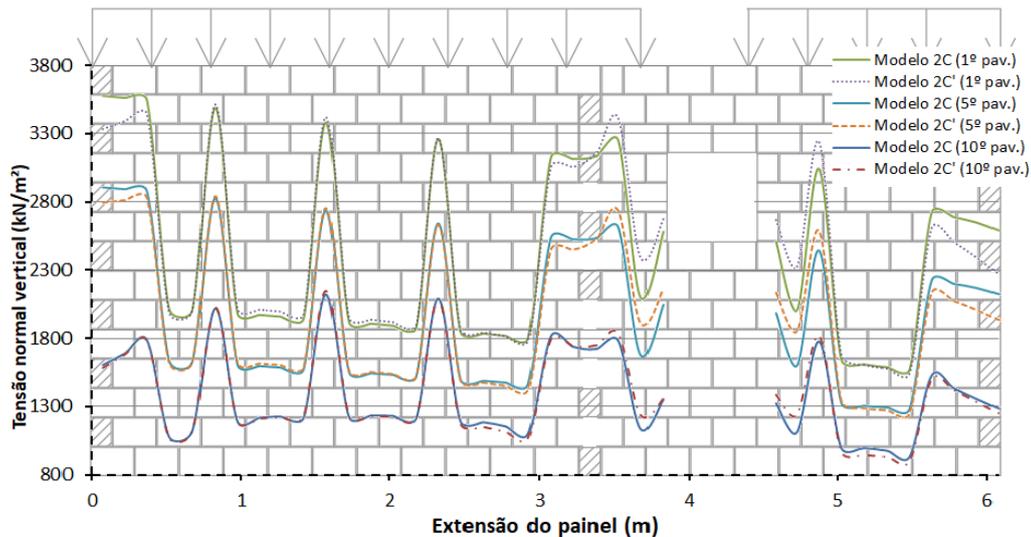


Figura 11. Tensão normal vertical no painel 2, modelos 2C e 2C'

Observando a Figura 11 percebe-se que o grupo 3 sempre apresentou tensões com maiores intensidades que as do grupo 4, com tendência de redução nas proximidades do lintel, enquanto que no grupo 4 há a tendência de acréscimo das tensões nas proximidades do lintel. Tal aspecto caracteriza, como era de se esperar, a migração da carga do grupo submetido à maior intensidade de carga vertical para aquele submetido à menor intensidade. Apesar disso, os valores contidos na Tabela 9, quando comparados àqueles da Tabela 6, indicam que a redistribuição ocorreu de forma bem menos acentuada, representada pelas taxas de transferência iguais a 0,95% e 0,99%, no 5º e 1º pavimentos respectivamente. Tal comportamento é bastante semelhante ao observado no modelo 1, de modo que os mesmos comentários realizados para aquele modelo podem ser aqui considerados.

Tabela 9. Resultados das análises do painel 2, modelos 2C e 2C'

	Modelos	Grupo 3 de paredes (carregado)		Grupo 4 de paredes (carregado)	
		Tensão (kN/m ²)	Alívio*	Tensão (kN/m ²)	Alívio*
10º pav.	Grupo Isolado:	1438		1249	
	2C (Pórtico):	1443	-0,33 %	1247	0,16 %
	2C' (Casca):	1440	-0,14 %	1245	0,32 %
	Diferença:	0,19 %		0,16 %	
5º pav.	Grupo Isolado:	2038		1769	
	2C (Pórtico):	2018	0,95 %	1814	-2,52 %
	2C' (Casca):	2022	0,76 %	1807	-2,14 %
	Diferença:	-0,19 %		0,37 %	
1º pav.	Grupo Isolado:	2517		2186	
	2C (Pórtico):	2492	0,99 %	2238	-2,40 %
	2C' (Casca):	2503	0,54 %	2219	-1,55 %
	Diferença:	-0,45 %		0,83 %	

*valores negativos indicam acréscimo de tensões.

3.3 Painel 3

Com o intuito de avaliar a interação em mais que dois grupos de parede, da planta do edifício foi escolhida a configuração do painel 3, ilustrada pela Figura 3, cujos resultados estão apresentados na sequência. A Figura 12 ilustra a distribuição de tensões normais na seção horizontal posicionada na altura média da menor abertura do painel, para a situação dos modelos 3A e 3A' em que apenas o grupo 5 está submetido ao carregamento vertical. A partir dessa figura se observa que há transferência de carga para os demais grupos, ocorrendo redução dessa carga nos grupos mais distantes, com o grupo 8 apresentando, inclusive, tensões de tração ao longo de toda sua extensão. Também é possível verificar, assim como ocorreu nos modelos 1 e 2, que a transferência de carga vai se tornando mais intensa nos pavimentos inferiores, entretanto, com acréscimos de tensões cada vez menores.

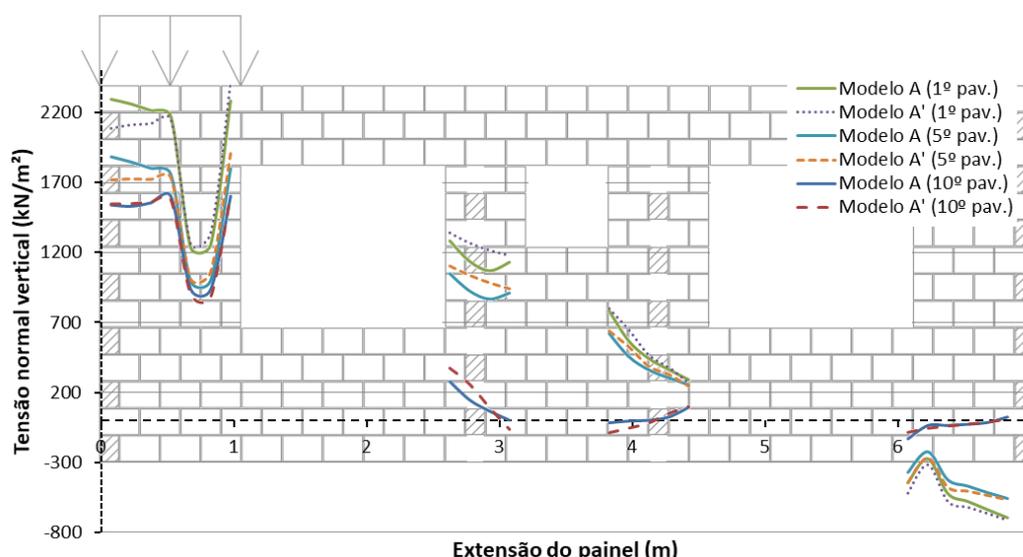


Figura 12. Tensão normal vertical no painel 3, modelos 3A e 3A'

Considerando os valores que constam na Tabela 10, novamente se percebe a proximidade entre os resultados obtidos com o modelo de pórtico equivalente e com o modelo em elementos finitos de casca. Da mesma forma, pode-se constatar que o alívio de tensões no grupo 5, provocado pela transferência de carga através do lintel, foi significativamente maior nos pavimentos inferiores, podendo-se considerar constante e da ordem de 20% entre o 1º e o 5º pavimento.

Tabela 10. Resultados das análises do painel 3, modelos 3A e 3A'

	Modelos	Grupo 5 de paredes (carregado)		G.6 de paredes (sem carga)	G.7 de paredes (sem carga)	G.8 de paredes (sem carga)
		Tensão(kN/m ²)	Alívio	Tensão(kN/m ²)	Tensão(kN/m ²)	Tensão(kN/m ²)
10º pav.	G. Isolado:	1438		0	0	0
	3A:	1387	3,60 %	123	20,0	-36,6
	3A':	1377	4,28 %	165	16,0	-35,0
	Diferença:	0,71 %		-25,33 %	25,30 %	4,49 %
5º pav.	G. Isolado:	2038		0	0	0
	3A:	1585	22,23 %	939	399	-427
	3A':	1555	23,68 %	1017	425	-466
	Diferença:	1,89 %		-7,70 %	-6,03 %	-8,40 %

1º pav.	G. Isolado:	2517		0	0	0
	3A:	1961	22,10 %	1156	489	-526
	3A':	1927	23,43 %	1251	512	-569
	Diferença:	1,74 %		-7,62 %	-4,39 %	-7,60 %

A Figura 13 ilustra as tensões normais para o caso de apenas o grupo 6 estar submetido ao carregamento vertical (modelos 3B e 3B'). É perceptível a transferência do carregamento para os grupos 5, 7 e 8. Além disso, a variação das tensões observada no grupo 6 sugere que essa transferência foi mais intensa para o grupo 5, que ficou submetido à intensidades de tensões da mesma ordem de grandeza do grupo 6.

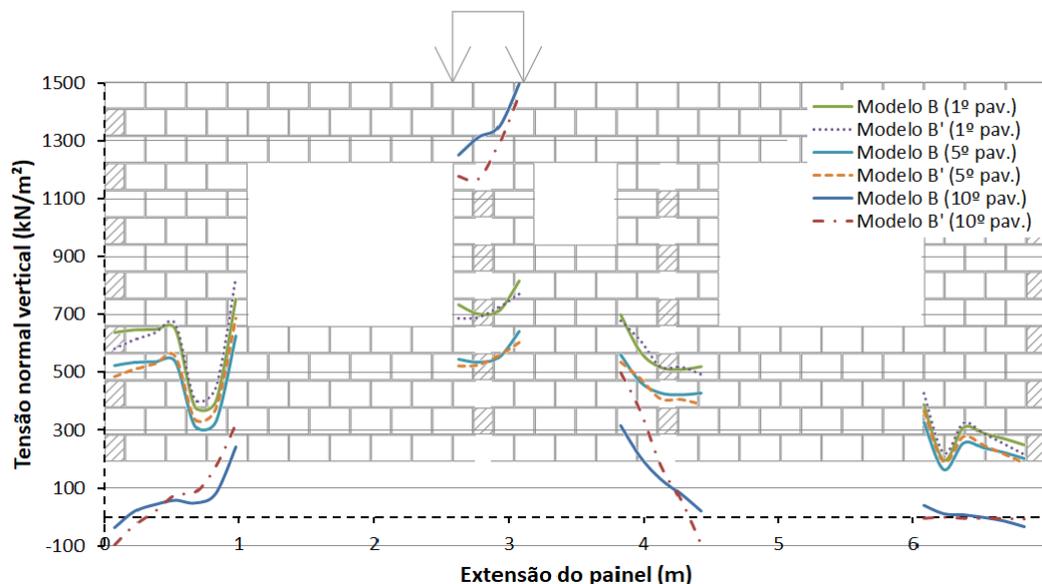


Figura 13. Tensão normal vertical no painel 3, modelos 3B e 3B'

Considerando o modelo sem interação entre os grupos, como era de se esperar, devido ao acúmulo das cargas verticais ocorreu nesta, e em todas as análises anteriores, acréscimo na intensidade das tensões normais nos pavimentos inferiores. No caso específico do grupo 6, essas tensões foram iguais a 1.656 kN/m², 2.347 kN/m² e 2.899 kN/m², no 10º, 5º e 1º pavimentos, respectivamente, conforme consta na Tabela 11. Entretanto, ao considerar a interação entre os grupos, no grupo 6 atuaram tensões de intensidade 1.352 kN/m², 568 kN/m² e 741 kN/m², no 10º, 5º e 1º pavimento, respectivamente, caracterizando a redução na intensidade das tensões normais nos pavimentos inferiores. Tal comportamento pode ser atribuído ao posicionamento do grupo 6 que está situado entre dois outros grupos, fazendo com que a transferência de carregamento em cada pavimento ocorra em dois sentidos. Além disso, outra característica que pode ter contribuído com esse comportamento é o reduzido comprimento do grupo 6. Tais aspectos levaram à reduções consideráveis nas tensões normais do grupo 6, iguais a 18,35%, 75,78% e 74,43%, no 10º, 5º e 1º pavimentos, respectivamente.

Tabela 11. Resultados das análises do painel 3, modelos 3B e 3B'

	Modelos	G. 5 de paredes (sem carga)	Grupo 6 de paredes (carregado)		G. 7 de paredes (sem carga)	G. 8 de paredes (sem carga)
		Tensão (kN/m ²)	Tensão (kN/m ²)	Alívio	Tensão (kN/m ²)	Tensão (kN/m ²)
10° pav.	G. Isolado:	0	1657		0	0
	3B:	65,1	1353	18,35 %	151	1,4
	3B':	79,1	1274	23,12 %	201	-4,6
	Diferença:	-17,73 %	6,20 %		-25,19 %	-130,76 %
5° pav.	G. Isolado:	0	2347		0	0
	3B:	486	568	75,78 %	461	235
	3B':	497	552	76,47 %	444	247
	Diferença:	-2,29 %	2,95 %		4,01 %	-5,02 %
1° pav.	G. Isolado:	0	2899		0	0
	3B:	588	741	74,43 %	563	284
	3B':	597	718	75,23 %	564	288
	Diferença:	-1,52 %	3,22 %		-0,06 %	-1,59 %

Para finalizar o estudo, são apresentados a seguir os resultados obtidos com os modelos 3C e 3C' correspondentes à situação em que todos os grupos de parede estão submetidos ao carregamento vertical. Observando a distribuição de tensões normais, ilustrada pela Figura 14, devido à simultaneidade de solicitação do painel, não se torna tão simples a tarefa de identificar a migração de carregamento ocorrida, tal como se verificou nos modelos anteriormente avaliados. O que pode ser observado no comportamento desse painel é a identificação de dois tipos de subgrupos (intermediário e extremo) caracterizados pela proximidade na intensidade das tensões atuantes. No caso específico da configuração do painel avaliado, verifica-se que o subgrupo intermediário ficou submetido a tensões normais de maior intensidade do que o subgrupo extremo. Conforme avaliado nos modelos anteriores, especialmente os modelos 3A e 3B, há o surgimento de tensões de tração em parte ou em toda a extensão de um grupo que não esteja submetido à carga vertical. No caso específico dos modelos 3, quando um dos componentes do subgrupo extremo foi submetido ao carregamento vertical, no outro componente desse subgrupo ocorreram tensões de tração ao longo de toda sua extensão. Além disso, para essa mesma configuração de carregamento vertical, os componentes do subgrupo intermediário sempre apresentaram tensões de compressão. Dessa forma, tal particularidade verificada para esse painel contribui para a compreensão do comportamento ilustrado pela Figura 14.

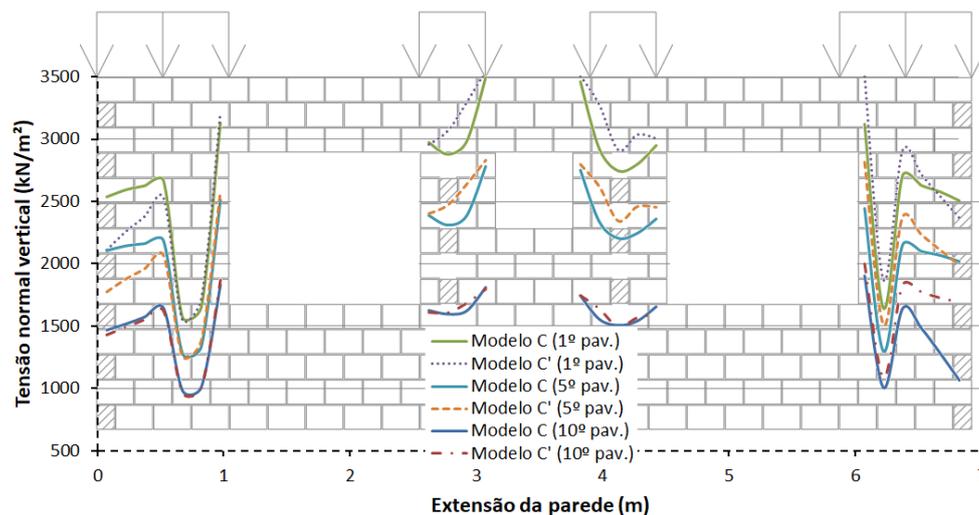


Figura 14. Tensão normal vertical no painel 3, modelos 3C e 3C'

Na Tabela 12 é possível observar alguns resultados numéricos mais representativos dos modelos 3C e 3C'. Verifica-se que no caso do modelo de grupo isolado de paredes, o grupo 8 é o mais solicitado entre todos, seguido dos grupos 6, 7 e 5. Sendo o grupo 6 o segundo mais solicitado, seria esperado que a tensão atuante sofresse uma redução, entretanto ocorreu um pequeno acréscimo, igual a 6,34%, segundo o modelo de pórtico. De modo análogo, seria esperado que no grupo 5, por estar submetido a menor intensidade de tensão, ocorresse um acréscimo na tensão normal, contudo verifica-se que ocorreu um pequeno decréscimo, igual a 4,76%, segundo o modelo de pórtico. Esse resultado que, em princípio, poderia ser considerado inesperado, pode ter sua justificativa fundamentada na ocorrência das tensões de tração no subgrupo extremo, conforme avaliado nos modelos 3A. Além disso, o comprimento e o grauteamento de cada grupo têm reflexo na distribuição interna de rigidez do painel, afetando a interação entre eles e, por conseguinte, a transferência de carregamento. Como resultado dessa multi-interação, verifica-se, em todos os pavimentos avaliados, que nos subgrupos extremos ocorreu redução na tensão atuante, quando comparada ao resultado do modelo sem interação, resultando na atuação da menor intensidade de tensão do conjunto. Essa redução foi mais significativa no grupo 8, que é o mais solicitado para os resultados do modelo sem interação. Semelhantemente, nos subgrupos intermediários ocorreu acréscimo na tensão atuante, relativamente ao modelo sem interação, o que resultou na atuação da maior intensidade de tensão do conjunto. Esse acréscimo foi mais significativo no grupo 7, situado ao lado do grupo 8, no qual ocorreu a redução de tensão mais significativa.

Tais aspectos permitem concluir que, no caso de painéis com interação entre mais que dois grupos, não é possível se estabelecer tendências de comportamento para que sejam realizadas análises simplificadas. Dessa forma, pode-se considerar como essencial a elaboração de modelagem computacional para avaliar adequadamente o comportamento do conjunto.

Tabela 12. Resultados das análises do painel 3, modelos 3C e 3C'

	Modelos	Grupo 5 de paredes (carregado)		Grupo 6 de paredes (carregado)		Grupo 7 de paredes (carregado)		Grupo 8 de paredes (carregado)	
		Tensão kN/m ²	Alívio*						
10º pav.	G. Isolado:	1438		1657		1561		1709	
	3C:	1433	0,35 %	1665	-0,50 %	1601	-2,60 %	1397	18,27 %
	3C':	1420	1,30 %	1675	-1,13 %	1608	-3,05 %	1485	13,08 %

	Dif.:	0,96 %		-0,63 %		-0,44 %		-5,97 %	
5º pav.	G. Isolado:	2038		2347		2211		2421	
	3C:	1961	3,76 %	2467	-5,13 %	2380	-7,64 %	2013	16,83 %
	3C':	1843	9,53 %	2586	-10,20 %	2535	-14,66 %	2173	10,25 %
	Dif.:	6,37 %		-4,60 %		-6,12 %		-7,33 %	
1º pav.	G. Isolado:	2517		2899		2731		2991	
	3C:	2397	4,76 %	3083	-6,34 %	2976	-8,94 %	2531	15,38 %
	3C':	2253	10,48 %	3218	-10,99 %	3148	-15,26 %	2652	11,32 %
	Dif.:	6,38 %		-4,19 %		-5,48 %		-4,57 %	
* valores negativos indicam acréscimo de tensões e positivos redução.									

Já no painel 3, quando somente o grupo 5 (da extremidade) está carregado a tendência de comportamento é a mesma dos painéis 1 e 2. Porém quando analisado o grupo 6, que fica entre outros dois grupos está carregado, a taxa de transferência mostra-se muito superior, da ordem de 18,35%, 75,78% e 74,43% nos pavimentos analisados nos modelos 3B. Esse comportamento é atribuído, conforme anteriormente explicado, ao fato do grupo 6 transmitir esforços diretamente à dois outros grupos que se ligam a ele por meio dos lintéis.

4 Conclusões

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a interação entre grupos de parede de edifícios de alvenaria estrutural quando submetidos a atuação de carregamento vertical. A partir das análises realizadas, pode-se concluir que:

- Não é adequado avaliar a interação considerando carregamento atuando isoladamente nos grupos que interagem. É necessário considerar a simultaneidade de atuação do carregamento, pois foram verificadas taxas de transferência muito menores para esta situação;
- Nos exemplos avaliados, a consideração de lintéis mais rígidos não resultou em acréscimos significativos nas taxas de transferência de carregamento;
- Ocorreu aumento da taxa de transferência em pavimentos inferiores, tendo se tornado constante entre o 1º e o 5º pavimento;
- Grupos dispostos entre outros dois tenderam a apresentar maiores taxas de transferência.

Adicionalmente a esse aspecto, a diferença entre os carregamentos aplicados em cada grupo é pequena, da ordem de 15%, de modo que se espera que os valores das taxas de transferência sejam tanto maiores quanto maior for a diferença entre os carregamentos atuantes nos grupos. Apesar disso, os valores para essas taxas não podem ser maiores que aqueles obtidos a partir dos modelos A e B, que representam a maior diferença possível entre os carregamentos atuantes considerados. Diante de todos esses aspectos, recomenda-se fortemente que seja realizado, cuidadosamente, o dimensionamento do lintel, assegurando adequada capacidade resistente e a possibilidade de ocorrência da interação entre os grupos.

Por fim, destaca-se a proximidade entre os resultados obtidos com o modelo de pórtico equivalente e com o de elementos finitos de casca, concordantemente com o observado por Nascimento Neto et al [1], Medeiros et al [4,] Medeiros [5] e Lopes [7].

Agradecimentos

Os autores agradecem a UFRN e ao DEC (Departamento de Engenharia Civil) pelo constante apoio e incentivo a pesquisa e iniciação científica.

Referências

- [1] Nascimento Neto, J. A., Medeiros, K. A. S., Quim, F. *Nova modelagem para análise da interação entre painéis de alvenaria e estrutura de suporte*. Caderno Técnico Sistemas Industrializados de Concreto – Revista Prisma, No. 52, Maio, 2014.
- [2] Capuzzo Neto, V. *Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais*. 162p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.
- [3] Paes, M. S. *Interação entre edifícios de alvenaria estrutural e pavimento em concreto armado considerando-se o efeito arco com atuação de cargas verticais e ações horizontais*. 163p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.
- [4] Medeiros, K. A. S.; Nascimento Neto, J. A.; Quim, F. *Influência das condições de apoio na nova modelagem da interação entre painéis de alvenaria e estrutura de suporte*. In: Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Natal, 2014.
- [5] Quim, F.; Nascimento Neto, J. A.; Medeiros, K. A. S. *Análise sistemática da interação em painéis de alvenaria e estrutura de suporte*. In: XXXV Iberian Latin American Congress on Computational Method in Engineering (CILAMCE). Fortaleza, 2014.
- [6] Medeiros, K. A. S. *Modelagem computacional para avaliação da interação entre painéis de alvenaria e estrutura de suporte em concreto armado*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, 2015.
- [7] Lopes, A. C. S. *Aperfeiçoamento de modelagem computacional para análise da interação entre painéis de alvenaria e estrutura de suporte em concreto armado*. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- [8] Parsekian, G. A., Franco, L. S. *Método para distribuição de esforços verticais entre paredes de edifícios de alvenaria estrutural*. Revista Techne n.61, Abril, 2002.
- [9] Ramalho M. A., Corrêa M. R. S. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 2003. 188 p.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15961-1: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto - Parte 1: Projeto*. Rio de Janeiro, 2011.