

COMPARATIVO TÉCNICO ENTRE LAJE MACIÇA E NERVURADA COM VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA EM ALVENARIA OU *DRYWALL*

TECHNICAL COMPARATIVE BETWEEN SOLID AND RIBBED SLABS WITH INTERNAL VERTICAL SEALING IN MASONRY OR *DRYWALL*

Priscila de Souza Bertoncello¹, Cristian Mallmann Dullius², Maurício Guerra³, Marcelo Fabiano Costella⁴,
Sílvia Edmundo Pilz⁵

¹Graduado em Engenharia Civil. E-mail: pbertoncello@unochapeco.edu.br

²Graduado em Engenharia Civil. E-mail: cristiandullius@unochapeco.edu.br

³Especialista em Engenharia Civil, Professor de Engenharia Civil da Universidade Comunitária da Região de Chapecó.
E-mail: mauricio.engcivil@gmail.com

⁴Doutor em Engenharia Civil, PPGTI -Universidade Comunitária da Região de Chapecó e PPGE - Faculdade Meridional
IMED. E-mail: costella@unochapeco.edu.br

⁵ Mestre em Engenharia Civil, PPGTI - Universidade Comunitária da Região de Chapecó.
E-mail: silvio@unochapeco.edu.br

RESUMO

A crescente demanda por economia, qualidade e sustentabilidade no mercado da construção civil tem possibilitado a utilização de novos materiais e métodos construtivos. Quando se trata de vedações verticais internas, a substituição da alvenaria convencional em blocos cerâmicos por divisórias em *drywall* representa uma boa alternativa, pois possibilita maior qualidade e produtividade gerando economia, além de proporcionar maior organização e redução de resíduos gerados no processo. O presente trabalho busca identificar a mudança em relação à espessura e custo que essa substituição gera no elemento estrutural laje. No desenvolvimento desse trabalho foram realizadas simulações, considerando a menor espessura necessária, em cinco dimensões de lajes com relação entre vãos menor ou igual a dois e em nove condições de contorno diferentes, com sistema de lajes maciças e nervuradas e considerando carga de alvenaria ou *drywall*, totalizando uma análise de 180 lajes. Os resultados mostraram que, tanto para lajes maciças, quanto nervuradas, a substituição da alvenaria por *drywall* é viável economicamente, considerando o custo dos materiais necessários para construção das lajes, e ainda houve situações em que ambas tornam-se viáveis.

Palavras-chave: Laje maciça. Laje nervurada. Alvenaria. *Drywall*.

ABSTRACT

The increasing demand for the economy, quality, and sustainability in the construction market have permitted the utilization of new materials and construction methods. When it comes to internal vertical partitions, the substitution of conventional masonry in ceramic blocks by drywall represents a good alternative, since it allows higher quality and productivity generating savings, besides providing more significant organization and reduction of waste generated in the process. The paper seeks to identify the change, concerning thickness and cost, that this substitution produces on the slabs. In the research method, simulations were performed, considering the lowest thickness required, in five dimensions of slabs with the relation between spans less or equal to two and nine different contour conditions, with solid and ribbed slabs system and considering masonry or drywall load, totaling data for 180 slabs. The results showed that for both solid and ribbed slabs, the replacement of masonry with drywall is economically viable, considering the cost of materials needed to build the slabs, and also showed the situations in which the solid and ribbed slabs become viable.

Keywords: Solid slab. Ribbed slab. Masonry. Drywall.

1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil brasileiro está cada vez mais buscando por qualidade e economia na execução de edificações, em todos os padrões, abrindo caminho para a aceitação de novos materiais.

No caso de vedações verticais internas, a substituição da alvenaria de bloco cerâmico por divisórias *drywall* torna-se uma boa alternativa visto que possibilita maior controle do processo

executivo, ótimo desempenho acústico com uso de mantas, redução do trabalho para embutimento de instalações, aumento de área útil devido à menor espessura, flexibilidade para mudanças nas divisões internas dos apartamentos, diminuição de resíduos e, segundo Teixeira (2012), o tempo necessário para execução equivale a um quarto quando comparado a alvenaria convencional. Além disso, devido ao menor peso, o *drywall* proporciona redução das cargas transmitidas aos elementos estruturais e consequente redução de deslocamentos.

A diminuição de cargas totais nos edifícios gerada com a substituição da alvenaria convencional por divisórias de gesso acartonado (*drywall*) foi tema de diversas pesquisas acadêmicas (Aranguiz, 2016; Luiz; Feriã, 2016; Tapparo et al., 2016; Anjos; Teixeira, 2017).

Com a utilização de divisórias leves, a NBR 6118 (ABNT, 2014) possibilita aumentar do valor limite de deslocamentos em lajes, quando comparado com o uso de paredes de alvenaria. Neste sentido é possível a verificação de redução da espessura, bem como a redução dos materiais e, consequentemente, dos custos desta laje.

O objetivo deste estudo é identificar o impacto (espessura e custo) que a mudança das vedações verticais internas de alvenaria de blocos cerâmicos por divisórias *drywall* causa no elemento estrutural laje, simulando com o software TQS diferentes geometrias com relação entre vãos menor ou igual a dois e situações de engastamento em sistemas de lajes distintos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Bastos (2015) e Carvalho e Figueiredo Filho (2014), as lajes, também chamadas de elementos de superfície ou placas, são classificadas como elementos planos bidimensionais, onde as dimensões de comprimento e largura são de mesma ordem de grandeza, e muito maiores que a dimensão da espessura. Recebem a maior parte das ações aplicadas na edificação e os diversos tipos de carga que existem dependendo da utilização do espaço que a laje faz parte. Essas ações são, na maioria dos casos, perpendiculares ao plano, e são distribuídas na área, distribuídas linearmente ou em forças concentradas. Para Cesar (2016), podem ser classificadas de acordo com seu sistema construtivo em maciças, nervuradas ou lisas e podem também diferir pelos apoios em simplesmente apoiadas, engastadas, isoladas ou em balanço.

Existem três tipos comuns de vinculação das lajes com os apoios. No apoio simples, não há ou não é admitida a continuidade da laje com outras lajes vizinhas. O engaste perfeito ocorre nas lajes em balanço, ou nas bordas com continuidade entre duas lajes vizinhas (Carvalho; Figueiredo Filho, 2014; Bastos, 2015).

Para Araújo (2014), lajes maciças podem ser definidas como placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo de seu contorno. Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2014), uma das características dessas lajes é que suas reações são distribuídas em todas as vigas de contorno.

Segundo Schwetz, Gastal e Silva (2009), as lajes nervuradas são uma evolução das lajes maciças, pois é retirada boa parte do concreto abaixo da linha neutra, tornando a estrutura mais leve e mais econômica. Para Araújo (2014), as lajes nervuradas podem ser calculadas como uma laje maciça de espessura equivalente, pois nos casos usuais de edifícios com cargas moderadas distribuídas, as espessuras mínimas são capazes de estabelecer uma rigidez suficiente à mesa, trabalhando em conjunto com as nervuras. Segundo Flório (2004), os deslocamentos e esforços solicitantes dependem de uma estimativa da rigidez dos elementos, pois isso afeta diretamente na obtenção dos resultados. E para a verificação da flecha no Estado-limite de Serviço, devem-se levar em consideração os efeitos da fissuração.

O processo de grelha equivalente utilizado na resolução de lajes consiste em substituir uma placa (laje) por uma malha equivalente de vigas (grelha equivalente). As cargas distribuídas são divididas entre os elementos de grelha equivalente pela área de influência de cada elemento, podendo ser consideradas como uniformemente distribuídas ao longo dos elementos ou concentradas nos nós (dentro de certa aproximação). A igualdade do estado de deformação ao se carregar a estrutura real e a da grelha

equivalente ocorre apenas de maneira aproximada, já que existem diferenças nas características das duas estruturas. Porém utilizando-se malhas com espaçamentos adequados e definindo-se as rigidezes apropriadamente os valores obtidos para deslocamentos e esforços do pavimento são razoáveis (Carvalho; Figueiredo Filho, 2014)

Segundo Recalde (2014), os métodos geralmente utilizados para análise de lajes nervuradas são métodos simplificados, como a analogia de placas e a analogia de grelhas, porém para obtenção de resultados mais próximos da realidade seriam necessários métodos mais realísticos. A proposta do autor é a análise com um modelo numérico em comparação com os métodos simplificados e também comparando com uma análise experimental em caso real. A conclusão foi que é necessária a consideração de uma análise não linear, pois os resultados de deformações obtidos foram mais próximos dos ensaios realizados.

O efeito dos deslocamentos-limites utilizados na verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas em elementos não estruturais em paredes como alvenaria após a construção da parede, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), tem o deslocamento limitado por $l/500$ (o vão l na direção na qual a parede se desenvolve) e 10 mm e $\theta=0,0017$ rad (rotação os elementos que suportam paredes). Já em divisórias leves o deslocamento limite é $l/250$ (o vão l na direção na qual a divisória se desenvolve) e 25 mm.

Segundo Coimbra (2010), a deformação excessiva de lajes causa problemas nas paredes e revestimentos da mesma, sendo que em último caso podem aparecer problemas de instabilidade. Quando a laje se deforma excessivamente surge uma fissura com desenvolvimento horizontal ao longo da primeira ou segunda junta de assentamento ou na junção com o pavimento inferior. Quando a relação comprimento/espessura for grande, essa fissura horizontal pode aparecer em nível mais elevado. Essas fissuras causadas por deformação excessiva são caracterizadas por sua abertura aumentar ao longo do tempo, mesmo que o aparecimento das mesmas inicie pouco tempo depois das solicitações de serviço. A limitação das flechas é necessária para a prevenção da ocorrência dessas fissuras.

Spohr (2008) realizou uma análise comparativa entre sistemas estruturais convencionais e sistemas de lajes lisas nervuradas, sobre um edifício de escritórios, utilizando como software os sistemas Cypecad 3D e Eberick e constatou que a laje treliçada apresentou menor consumo de concreto, porém necessitou de um maior consumo de aço; nas lajes lisas nervuradas houve o menor consumo e taxa de aço entre os sistemas, com isso o custo final desse tipo de laje foi o menor entre as estudadas, apresentando uma redução de 18,1% em relação às lajes maciças, além de proporcionar uma flexibilização no layout dos pavimentos.

Carvalho (2012), em estudo comparativo estrutural e econômico entre lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica, abordou o comportamento estrutural em um edifício modelo de 10 pavimentos, analisando economicamente, com o auxílio do software Eberick concluiu que a estrutura com lajes maciças apresentou maior custo entre as alternativas, porém obteve-se uma quantidade menor de vigas se comparada às lajes pré-moldadas. A alternativa da laje nervurada com cubas plásticas ficou com um custo intermediário, sendo a opção que menos utilizou vigas, porém necessitou de uma espessura consideravelmente maior que as demais. O sistema mais econômico foi o de laje nervurada com vigotas treliçadas, tendo uma economia de 11,28% em relação à laje maciça e 6,72% em relação à nervurada com cubas plásticas.

Souza e Lopes (2016) desenvolveram um comparativo entre laje maciça convencional, laje nervurada convencional e laje nervurada protendida (cogumelo) com auxílio dos softwares SAP 2000® e TQS. As conclusões foram que, em relação ao custo total dos materiais, foi observada uma economia de 24,4% da laje maciça para a nervurada convencional e de 17,2% da laje maciça para a nervurada protendida.

Segundo estudo comparativo entre a utilização de bloco cerâmico, *drywall* e bloco de concreto celular autoclavado (BBCA) realizado por Aranguiz (2016), o ganho financeiro da estrutura de concreto armado na substituição das divisórias por BBCA chegou a 4,97% e por *drywall* foi de 8,16%. O comparativo final considerando o custo do concreto armado e das divisórias apontou que a substituição

do bloco cerâmico por BCCA resultou em economia de 2,78% e por *drywall* resultou em economia de 8,11%.

Tapparo et al. (2016) compararam o custo de produção de divisórias em *drywall* e alvenaria convencional, realizando o dimensionamento estrutural e das fundações de um mesmo projeto arquitetônico com os dois carregamentos. Concluíram que devido ao edifício em estudo possuir poucos pavimentos e divisórias, a redução de custo proporcionada pela redução de carga na estrutura e na fundação não foi suficiente para equiparar aos custos da execução da alvenaria convencional.

A diminuição de cargas totais nos edifícios, gerada com a substituição da alvenaria convencional por divisórias de gesso acartonado, foi tema de diversas pesquisas acadêmicas. Segundo Luiz e Feriãnce (2016), a redução de cargas total do edifício chegou a 7,49% e a redução do aço foi de 14,55%. Já para Anjos e Teixeira (2017), a diminuição total da carga do edifício foi de 18,61% e do aço 12%. O foco das pesquisas foi na redução de carga transferida aos elementos estruturais em todo o edifício.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para este trabalho, nos estudos comparativos, utilizaram-se dois sistemas de lajes: lajes maciças e nervuradas com enchimento de EPS e grelha de espaçamento de 61x61 cm entre eixos e largura das nervuras (bw) de 7 cm. Para estes dois sistemas foram feitas simulações em lajes com dimensões de 5x3 m, 6x4 m, 7x4 m, 8x4 m e 8x6 m. A espessura mínima adotada para laje maciça foi de 8 cm variando de 1 em 1 cm e para laje nervurada foi de 21 cm priorizando capa de 5 cm. Além disso, para cada uma das cinco geometrias diferentes, foram efetuados estudos com nove diferentes condições de contorno (apoios e engastes), conforme figura 1, que resultam em 90 simulações.

Para a distribuição das cargas nas lajes, utilizou-se o modelo padrão de distribuição das cargas (figura 2), somente ajustando em função das geometrias, sendo utilizada para paredes em alvenaria a carga linear de 0,54 tf/m e para o sistema *drywall* a carga linear de 0,15 tf/m, compatível com as recomendações dos fabricantes de chapas de *drywall* Gypsum, Knauf e Placo Saint-Globain.

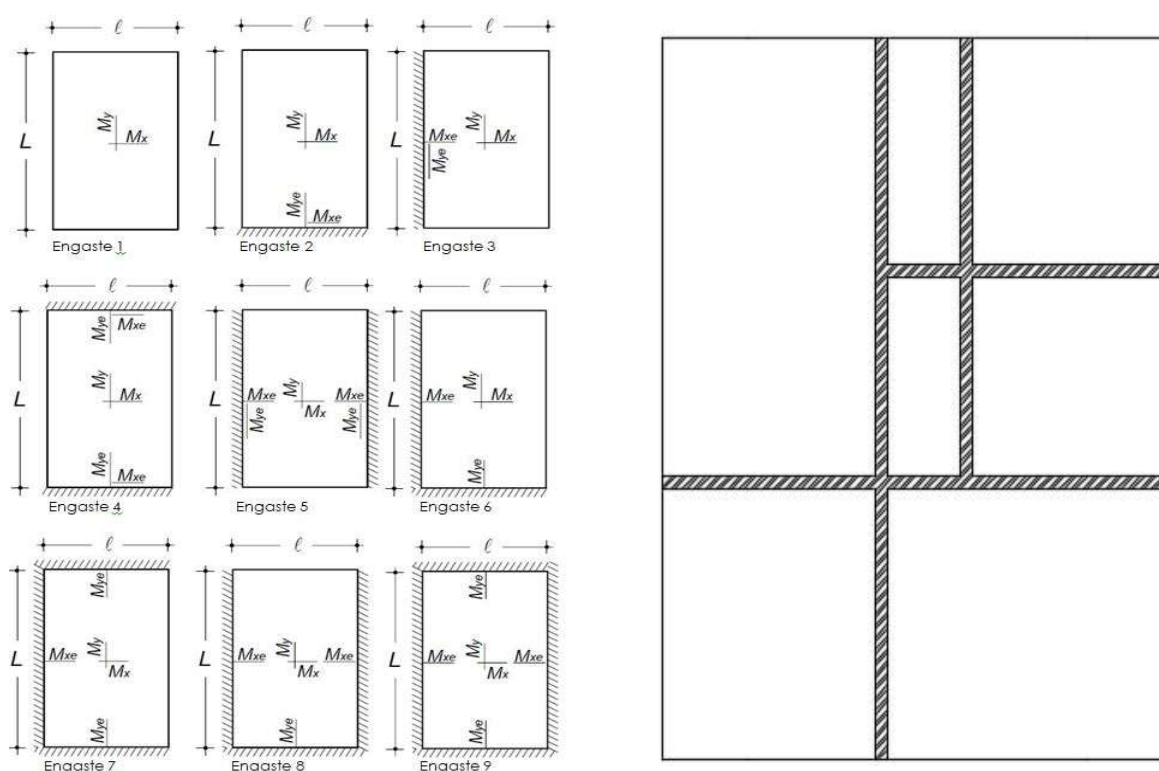


Figura 1 - Condições de contorno

Figura 2 – Distribuição das paredes

A condição engastada foi gerada através da continuidade de cada borda da laje conforme figura 3.

Considerando as 90 simulações referentes aos tipos de lajes, geometrias e condições de contorno e os dois diferentes tipos de carregamento foram obtidos no total deste trabalho 180 diferentes simulações.

As vigas e os pilares foram projetados de tal modo que os deslocamentos atendessem a norma. Para as lajes os limites de deslocamento adotados foram os previstos na norma NBR 6118 (ABNT, 2014) que especifica para alvenaria $l/500$ ou 10 mm e rotação de 0,0017 rad e para *drywall* $l/250$ ou 25 mm. Utilizou-se concreto com F_{ck} de 30 Mpa e foram utilizados 20 incrementos de carga nos critérios de grelha não linear.

Para composição do custo total das lajes foram considerados no caso da laje maciça, somente o aço e o concreto e para a laje nervurada o aço, o concreto e EPS. Os custos relativos aos sistemas de formas, escoramentos e outros elementos, tais como espaçadores, não foram computados, sendo considerados praticamente iguais em cada sistema.

O custo do aço adotado foi de R\$ 7,00/kg, considerando neste valor o corte, dobra e montagem. Para o concreto o valor adotado foi de R\$ 320,00/m³, considerando neste valor o custo de transporte, lançamento, adensamento, nivelamento e cura. Para o EPS foi considerado o valor de R\$ 100,00/m³, considerando neste valor o transporte e a colocação e fixação do material.

Para o levantamento da quantidade de aço nas lajes com situações de engastamento foi considerado o aço da laje principal e metade do aço necessário para ligação com a laje engastada.

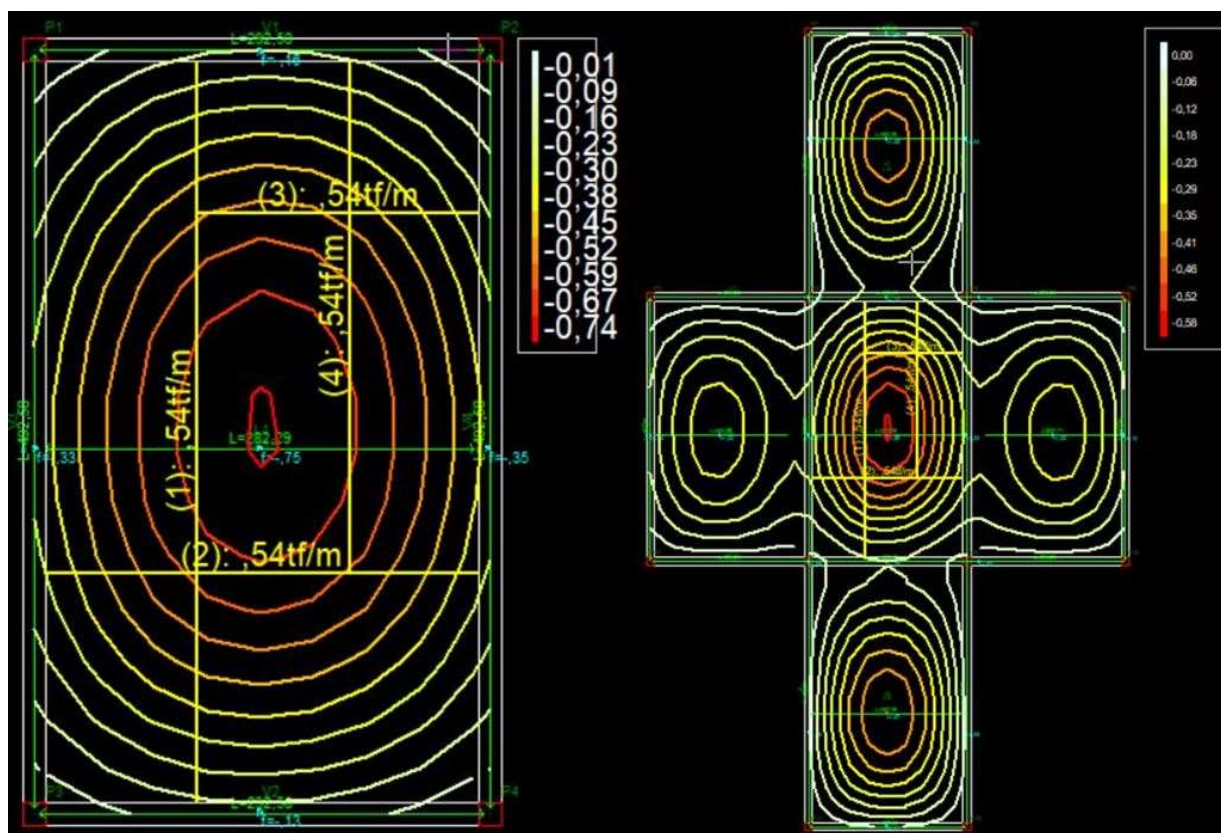


Figura 3 – Exemplo do modelo grelha não linear gerado no TQS, à esquerda condição de contorno “engaste 1” e à direita “engaste 9”

Posteriormente foram confeccionadas tabelas com os dados das 180 lajes simuladas, contendo as seguintes informações:

- a) Espessura em centímetros;
- b) Flecha em centímetros;
- c) Custo em reais;
- d) Quilograma de aço por metro cúbico de concreto;
- e) Quilograma de aço por metro quadrado de laje;
- f) Metro cúbico de concreto por metro quadrado de laje;
- g) Relação da espessura dividida pelo vão;
- h) Peso total em quilogramas.

Nos gráficos comparativos foram apresentados os valores percentuais de diferença nos parâmetros expostos no estudo. Nos comparativos entre *drywall* e alvenaria, quando o gráfico foi positivo, significa que o *drywall* obteve melhor resultado, quando negativo significa que a alvenaria obteve melhor resultado. Já nos comparativos entre laje nervurada e laje maciça, quando o gráfico é positivo significa que o desempenho da laje nervurada foi melhor e quando negativo o melhor desempenho foi da laje maciça.

4. RESULTADOS

4.1. Parâmetros comparativos entre alvenaria e drywall em lajes maciças

Com relação aos percentuais de variação da espessura necessários para atender ao deslocamento em serviço para os dois sistemas de vedação propostos, conforme figura 4, na situação de engaste 1 e 2 (conforme a figura 1), a redução proporcionada pelo uso do *drywall* em relação à alvenaria foi uniforme para as cinco dimensões de lajes em, aproximadamente, 40%. Já para as demais situações o percentual variou de acordo com a dimensão da laje, sendo que o maior percentual (68%) foi encontrado na situação 5 para a laje de 8x4 m e a menor (11%) na situação 8 e 9 para a laje de 5x3 m. Cabe ressaltar que para o caso do *drywall* em várias lajes foi utilizada a menor espessura permitida pela norma que é de 8 cm.

Comparando-se as lajes com o vão menor ou igual a quatro, os resultados foram próximos para as nove condições de contorno, sendo que os melhores resultados ocorreram nas maiores relações de lados.

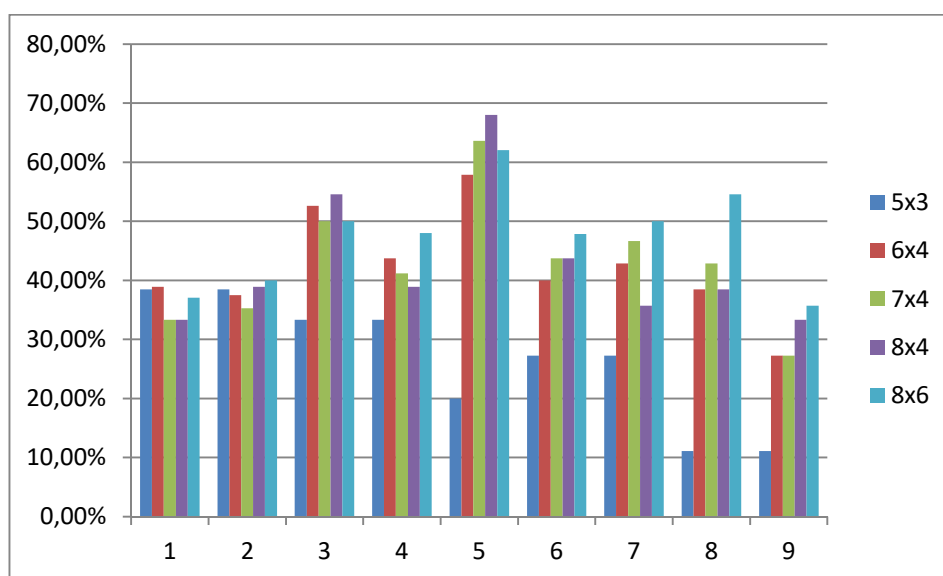
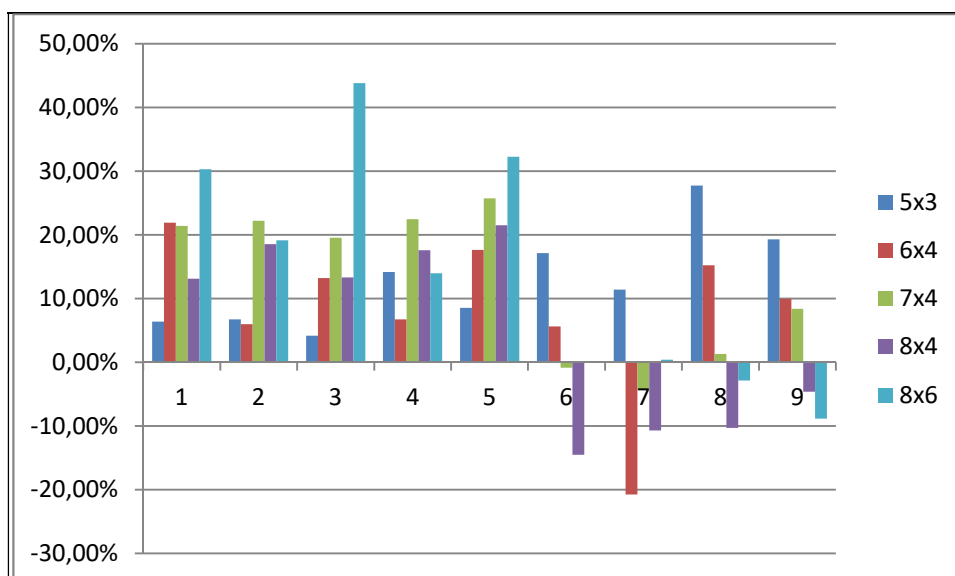
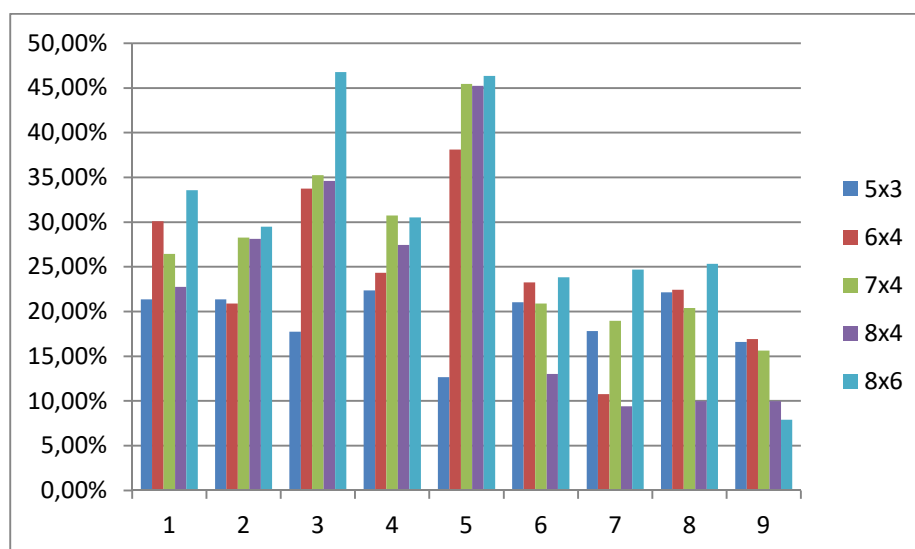


Figura 4 – Diferença percentual na espessura com uso de *drywall* em relação à alvenaria em laje maciça

No caso do índice de quilograma de aço por metro quadrado de laje, conforme figura 5, esse apresentou-se menor para o sistema de vedação em *drywall* na maioria das lajes. O fato de algumas dimensões de lajes nas situações de engaste 3, 6, 7, 8 e 9 terem apresentado índice menor para a vedação em alvenaria pode ser explicado porque, ao reduzir a espessura de concreto na laje com *drywall*, foi necessária maior quantidade de aço para anular as solicitações.


Figura 5 – Diferença percentual no índice de kg/ m² com uso de *drywall* em relação à alvenaria em laje maciça

Figura 6 – Diferença percentual no custo com uso de *drywall* em relação à alvenaria em laje maciça

Quanto ao custo, de acordo com a figura 6, a vedação que proporcionou o menor custo foi o *drywall*, como já era esperado, sendo que a dimensão com maior percentual de redução em relação à alvenaria foi a 8x6 m, sendo o maior na situação de engaste 3 (46,77%). Para a situação de engaste 9,

onde todos os bordos foram engastados, observou-se que os percentuais de redução no custo diminuíram devido aos deslocamentos serem menores gerando diminuição da espessura e consequente redução no custo do concreto das lajes com alvenaria.

Analisando-se as lajes com o menor vão igual a 4m, observou-se uma redução maior na laje de 6x4 m nos casos 1, 6, 8 e 9; para os demais tipos de engaste, a maior redução aconteceu na laje de 7x4 m.

4.2. Parâmetros comparativos entre alvenaria e drywall em lajes nervuradas

Observando-se a figura 7, os resultados da espessura necessária para as lajes nervuradas também foram menores para o *drywall* em comparação com a alvenaria, porém os percentuais foram menores comparados ao da maciça, principalmente nas situações com mais bordos engastados, devido à espessura menor considerada ser de 21 cm. A maior redução de espessura aconteceu na situação de engaste 5 para o elemento de 7x4 cm (50%).

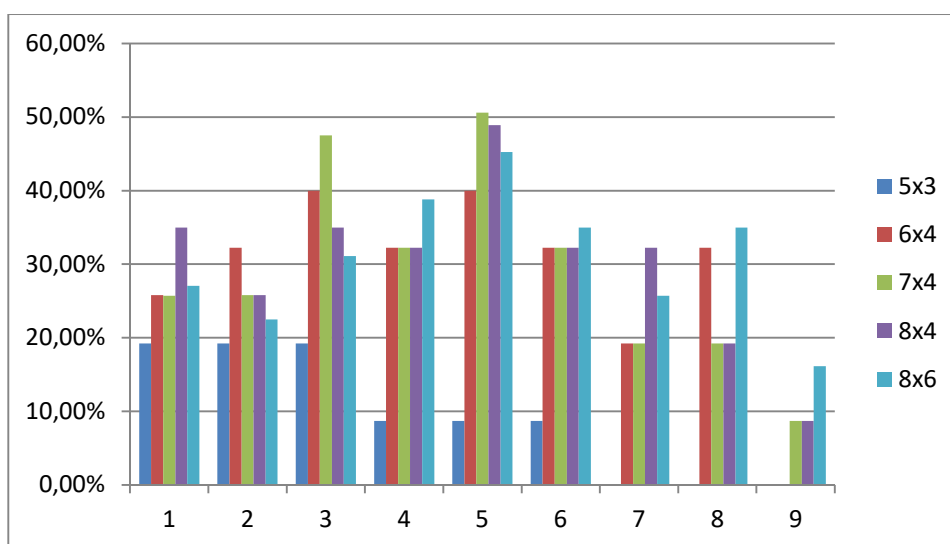


Figura 7 – Diferença percentual na espessura com uso de *drywall* em relação à alvenaria em laje nervurada

Com relação ao índice de kg/m^2 , esse se apresentou menor para os carregamentos em *drywall*, conforme a figura 8. Sendo o maior percentual com 64% de redução para a situação de engaste 5 na laje de 8x4 m.

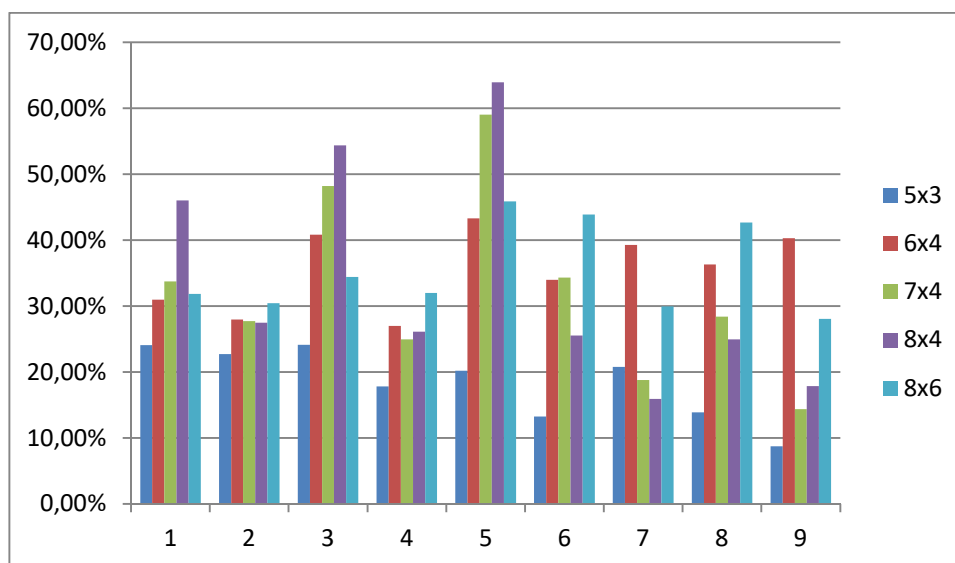


Figura 8 – Diferença percentual no índice de kg de aço/ m² com uso de *drywall* em relação à alvenaria em laje nervurada

Com relação ao custo, conforme figura 9, as maiores reduções foram observadas novamente para o sistema em *drywall* em comparativo com a alvenaria. Com exceção da laje de menor dimensão, os maiores percentuais de redução foram da situação de engaste 5, sendo que a maior foi na de 8x4 m (48,6 %). Novamente para a situação de engaste 9, onde todos os bordos foram engastados, observou-se que os percentuais de redução no custo diminuíram, devido aos deslocamentos serem menores gerando diminuição da espessura e consequente redução no custo do concreto das lajes com alvenaria.

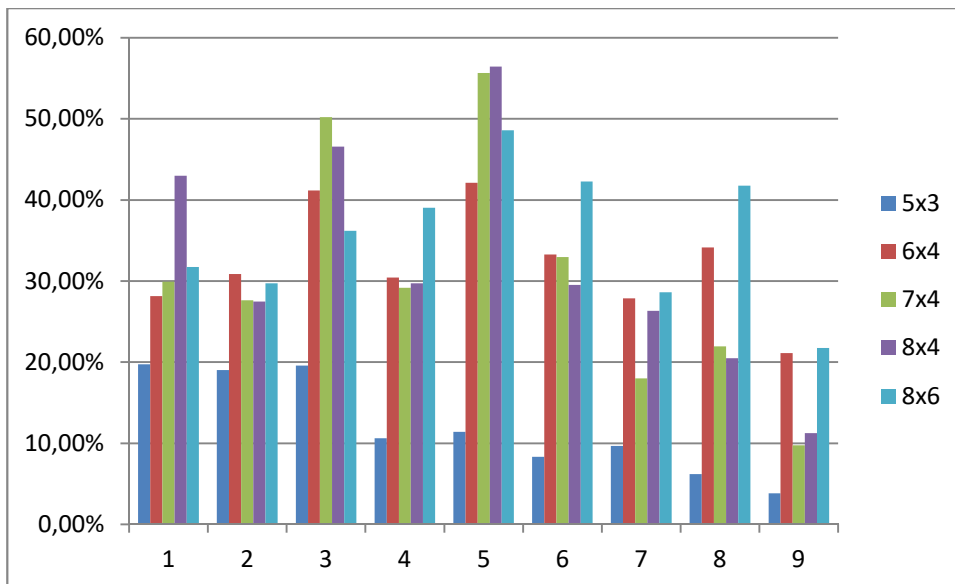


Figura 9 – Diferença percentual no custo com uso de *drywall* em relação à alvenaria em laje nervurada

4.3. Parâmetros comparativos entre laje maciça e nervurada com sistema de vedação em alvenaria

Comparando-se os índices de kg/m² de laje, as lajes nervradas sempre apresentaram redução no índice em relação à laje maciça, cujos percentuais estão representados na figura 10.

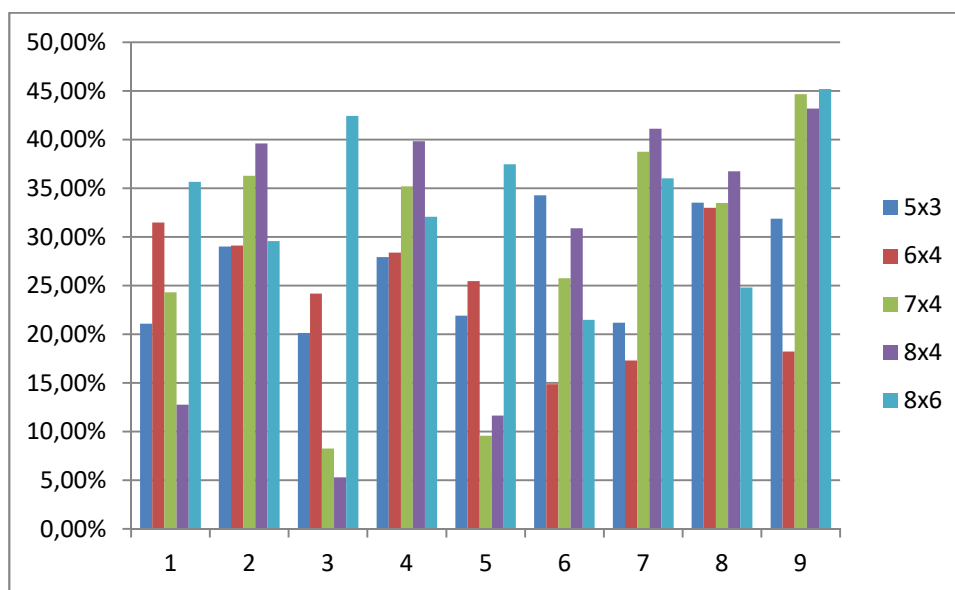
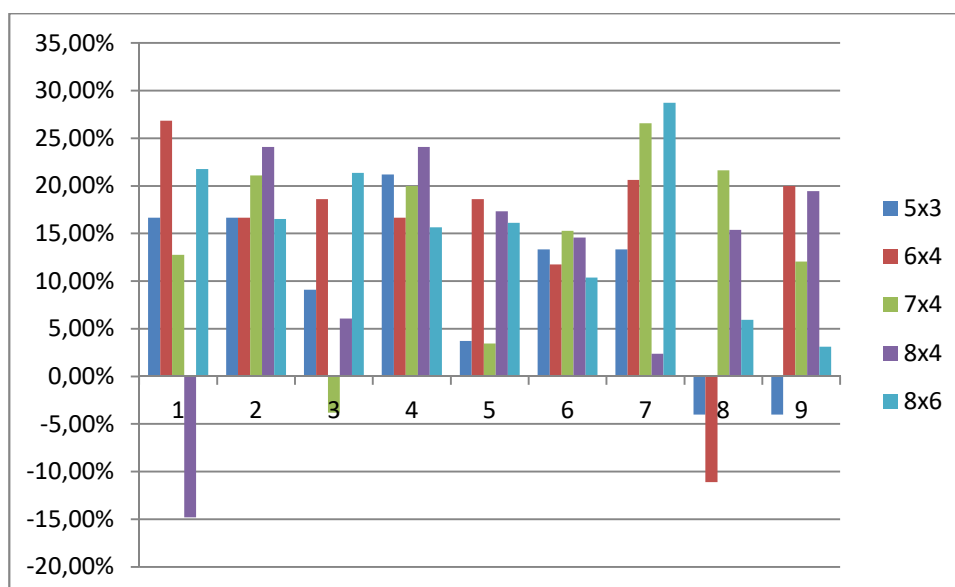


Figura 10 – Diferença percentual no índice kg de aço/m² com uso de laje nervurada em relação à maciça com carga de alvenaria

Para o índice de m^3/m^2 , observando-se a figura 11, a laje nervurada apresentou os melhores resultados. As exceções foram a laje de 8x4 m no engaste 1, a laje 7x4 m no engaste 3, as lajes 5x3m e 6x4 m no engaste 8 e a laje 5x3 m no engaste 9.



Figuras 11 – Diferença percentual no índice m^3 de concreto/m com uso de laje nervurada em relação à maciça com carga de alvenaria

Com relação ao custo, para a situação de engaste 1, onde não há engaste nas bordas, nas lajes de 5x3 m e 7x4 m o custo foi praticamente o mesmo para maciça e nervurada. Nas lajes 6x4 m e 8x6 m, o custo da nervurada foi menor e para a laje 8x4 o menor foi o da laje maciça. Nos engastes 2, 4, 7 e 9 o custo foi menor para a nervurada e nos demais houve variação de acordo com as dimensões de cada laje, os percentuais estão expostos na figura 12.

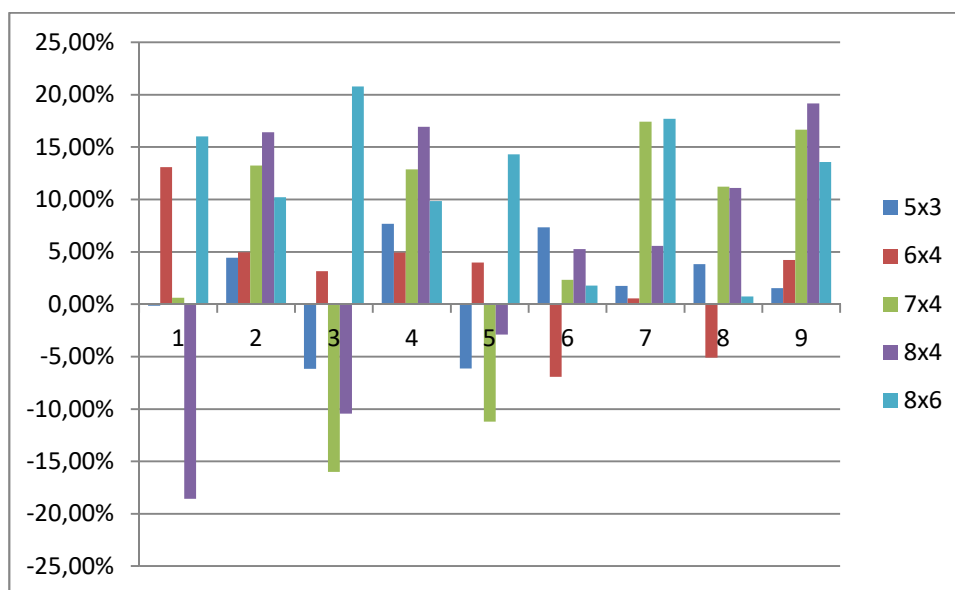


Figura 12 – Diferença percentual no custo com uso de laje nervurada em relação à maciça com carga de alvenaria

4.4. Parâmetros comparativos entre laje maciça e nervurada com sistema de vedação em drywall

Comparando-se os índices de kg/m^2 , conforme figura 13, os percentuais de redução foram maiores para laje nervurada, chegando a 64 % na situação de engastamento 9 para a laje com 8x6 m. Esse resultado pode ser explicado devido à menor espessura usada para nervurada ser de 21 cm, sendo possível diminuir o aço para anular as solicitações.

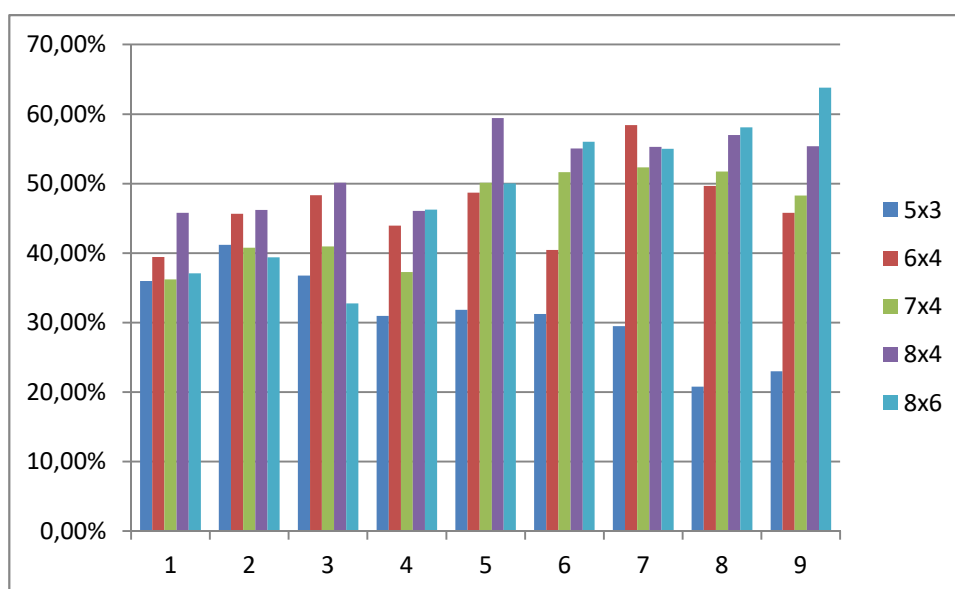


Figura 13 – Diferença percentual no índice kg de aço/ m^2 maciça x nervurada com carga de drywall

Para o índice de m^3/m^2 , como mostra a figura 14, devido a laje nervurada ter maior espessura a tipologia maciça apresentou em maioria os menores índices, cujos percentuais estão expressos na figura 13.

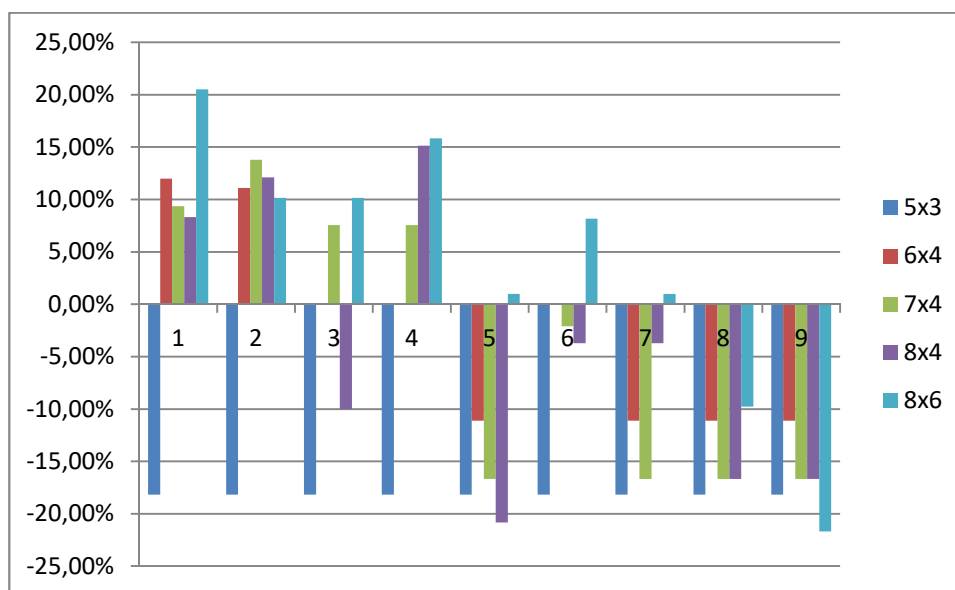


Figura 14 – Diferença percentual no índice m³/m² com uso de laje nervurada em relação à maciça com carga de *drywall*

Com relação ao custo, conforme figura 15, somente para as lajes com a menor dimensão o sistema de laje maciça apresentou-se mais econômico comparado ao sistema com laje nervurada, para os demais o menor custo foi da laje nervurada, com redução de percentuais entre 5% e 27%, apresentado pela laje de 8x6 m.

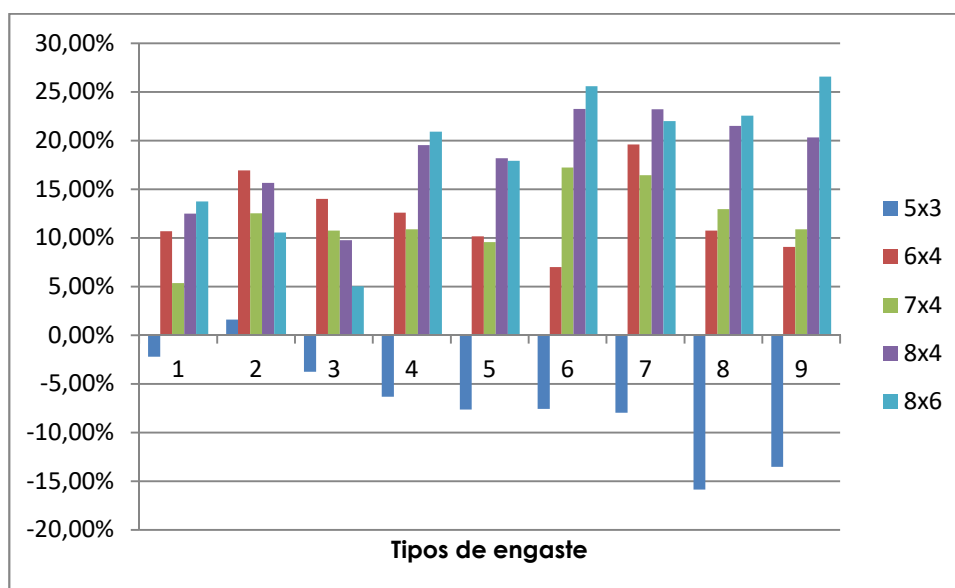


Figura 15 – Diferença percentual no custo com uso de laje nervurada em relação à maciça com carga de *drywall*

4.5. Relações vão/espessura

A relação obtida com o inverso do quociente entre a espessura resultante de cada simulação e o vão de cada laje correspondente pretende servir de base para estimativa de espessura necessária no pré-

dimensionamento de lajes maciças e nervuradas de acordo com o sistema de vedação vertical considerada, separadas por dimensão e condição de contorno.

Conforme a tabela 1, observando-se os resultados da dimensão 7x4 m, para laje maciça no engaste 1 onde todos os bordos estão livres para a carga de alvenaria a relação vão/espessura foi de 22,22 e para a carga e *drywall* foi de 33,33, resultando em 33% redução na espessura da mesma. Já para o engaste 9 onde todos os bordos estão engastados a redução na espessura proporcionada pelo uso do *drywall* foi de 27%.

Já para nervurada, na dimensão de 7x4 m, para a carga de alvenaria no engaste 1 a relação de vão/espessura foi de 11,43 enquanto para o *drywall* foi de 15,38, 25% de redução na espessura da laje. Comparando-se as relações para o engaste 9 a redução na espessura foi de 9%, devido a espessura mínima utilizada para a mesma ser de 21 cm.

Quando comparadas as dimensões de 6x4 a 8x4 observou-se que conforme a dimensão da laje aumentou a relação vão/espessura diminui sendo necessária maior espessura para vencer as solicitações. A média das relações ficou em média 40% maior para o *drywall* em comparação com alvenaria. Já nas lajes nervuradas em média 30% maiores para o *drywall*, porém na maioria das lajes foi utilizada a espessura de 21 cm, apontando que a diferença poderia ser maior.

Tabela 1 – Valores da relação vão/espessura

Engaste	Alvenaria									
	Maciça					Nervurada				
	5x3	6x4	7x4	8x4	8x6	5x3	6x4	7x4	8x4	8x6
1	23,08	22,22	22,22	22,22	22,22	11,54	12,90	11,43	10,00	14,12
2	23,08	25,00	23,53	22,22	24,00	11,54	12,90	12,90	12,90	15,00
3	25,00	21,05	20,00	18,18	20,00	11,54	11,43	10,00	10,00	13,33
4	25,00	25,00	23,53	22,22	24,00	13,04	12,90	12,90	12,90	14,12
5	30,00	21,05	18,18	16,00	20,69	13,04	11,43	9,41	8,89	12,63
6	27,27	26,67	25,00	25,00	26,09	13,04	12,90	12,90	12,90	15,00
7	27,27	28,57	26,67	28,57	27,27	14,29	15,38	15,38	12,90	17,14
8	33,33	30,77	28,57	30,77	27,27	14,29	12,90	15,38	15,38	15,00
9	33,33	36,36	36,36	33,33	42,86	14,29	19,05	17,39	17,39	19,35
Engaste	Drywall									
	Maciça					Nervurada				
	5x3	6x4	7x4	8x4	8x6	5x3	6x4	7x4	8x4	8x6
1	37,50	36,36	33,33	33,33	35,29	14,29	17,39	15,38	15,38	19,35
2	37,50	40,00	36,36	36,36	40,00	14,29	19,05	17,39	17,39	19,35
3	37,50	44,44	40,00	40,00	40,00	14,29	19,05	19,05	15,38	19,35
4	37,50	44,44	40,00	36,36	46,15	14,29	19,05	19,05	19,05	23,08
5	37,50	50,00	50,00	50,00	54,55	14,29	19,05	19,05	17,39	23,08
6	37,50	44,44	44,44	44,44	50,00	14,29	19,05	19,05	19,05	23,08
7	37,50	50,00	50,00	44,44	54,55	14,29	19,05	19,05	19,05	23,08
8	37,50	50,00	50,00	50,00	60,00	14,29	19,05	19,05	19,05	23,08
9	37,50	50,00	50,00	50,00	66,67	14,29	19,05	19,05	19,05	23,08

5. CONCLUSÕES

A escolha de um determinado sistema de lajes (maciça ou nervurada por exemplo) não é tão simples, especialmente quando se pode ter diferentes elementos de vedação, tais como alvenaria de bloco cerâmico ou sistema *drywall*.

Neste sentido, buscando contribuir com mais dados que auxiliem às escolhas, este trabalho objetivou comparar lajes nervuradas e lajes maciças com diferentes elementos de vedação, considerando diversas geometrias e diferentes condições de contorno. Além disso, as relações de vão/espessura podem servir de apoio na estimativa de espessura inicial para o pré-dimensionamento do elemento.

O aumento dos limites de deslocamento e ângulo de giro possíveis com uso do *drywall*, assim como diminuição da carga e deslocamentos proporcionam a diminuição da espessura das lajes que acarreta diminuição da quantidade de concreto e reduções de custo dos materiais para construção da laje, que foram de 8% a 47% para as lajes maciças e de 4% a 56% para as lajes nervuradas.

Outra vantagem observada no uso do *drywall* foi a redução do peso da laje, até 68% para maciça e até 56% para nervurada. Considerando edifícios de múltiplos pavimentos-tipo essa diminuição no peso poderá aliviar as cargas na fundação gerando também diminuição no custo total da obra.

Quando considerada a carga de alvenaria e comparadas laje maciça e nervurada, observa-se que, apesar do aumento da espessura para o segundo tipo, em praticamente todas as lajes, tanto o custo dos materiais para construção da laje, quanto o peso foram menores para nervurada.

Para a carga em *drywall*, comparando-se laje maciça e nervurada, o custo da nervurada é maior apenas nas lajes com a menor dimensão. Já com relação ao peso a maciça apresentou-se mais vantajosa na maior parte das lajes. Tal resultado pode ser explicado devido à menor espessura da laje nervurada escolhida nas simulações ter sido de 21 cm.

Com os resultados obtidos conclui-se que o uso do *drywall* é viável economicamente para todos os tipos de laje analisadas nesse estudo, e que se a laje for de dimensão menor ou igual a 5x3 m é mais vantajoso o uso do mesmo em laje maciça e para demais em laje nervurada.

Pode-se observar que quando se utiliza laje maciça, o uso de *drywall* obteve as maiores reduções de custos quando os vãos foram de 4 e 6 m com maiores dimensões e para as condições de contorno 3 e 5. A principal razão para este fato é a vedação em *drywall* apresentar menores solicitações e possibilitar o aumento do deslocamento máximo e ângulo de giro em relação à vedação em alvenaria.

Já para as lajes nervuradas o uso de *drywall* obteve as maiores reduções de custos quando os vãos foram 4 m e 6 m e para a condição de contorno 5. Isto pode se explicar da mesma forma pela vedação em *drywall* apresentar menores solicitações e possibilitar o aumento do deslocamento máximo e ângulo de giro quando comparada a vedação em blocos cerâmicos.

No comparativo entre lajes maciças e lajes nervuradas com vedação em bloco cerâmico, as lajes maciças obtiveram menores custos nos casos onde a laje possuía dimensão de 5x3 com condições de contorno 1,3 e 5 e nas lajes com menor vão igual a quatro em algumas condições de contorno. Já as lajes nervuradas obtiveram menor custo principalmente nas dimensões de 8x6, chegando a mais de 20% de redução de custos. Estas diferenças se devem à laje maciça usualmente apresentar-se mais econômica para vãos menores, nos casos específicos onde a laje maciça com menor dimensão igual a quatro apresentou-se mais econômica se deu devido à necessidade de aumento da espessura da capa na laje nervurada, para atender aos deslocamentos mínimos.

Já considerando o comparativo entre lajes maciças e lajes nervuradas com vedação em *drywall*, as lajes maciças obtiveram menores custos para a laje com dimensões de 5x3, chegando a 15% de economia. Já as lajes nervuradas obtiveram menor custo para os vãos e dimensões maiores, com melhor resultado na laje de 8x6, chegando a 26% de redução de custos. Estas diferenças se devem a espessura mínima da laje nervurada ser considerada de 21 cm, já com a laje maciça foi possível utilizar espessura de 8 cm, deixando a laje maciça mais econômica em vãos menores.

Num comparativo geral pode-se dizer que lajes maciças são mais eficientes no sentido econômico quando os vãos são menores. Já as lajes nervuradas são mais eficientes quando os vãos e relação entre vãos são maiores.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ANJOS, Ana Paula dos; TEIXEIRA, Thaise Moser. **Racionalização da estrutura com a utilização do drywall**. In: Revista Técnico-científica do CREA-PR, Edição especial., 2017, Curitiba: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, 2017.

ARANGUIZ, Bruno Dametto. **Comparativo entre sistemas de divisórias internas: bloco cerâmico, drywall e bloco de concreto celular autoclavado**. Trabalho de conclusão (graduação em engenharia civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2016.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. v. 2, v. 4, 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de Concreto**. Notas de aula (estruturas de concreto I) - Faculdade de engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015.

CARVALHO, Mailson Castelhão de. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos**. Trabalho de conclusão (Graduação em engenharia civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CESAR, Daniel Macedo. **Considerações sobre o projeto computacional das lajes de uma edificação em concreto armado**. Trabalho de conclusão (Graduação em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

COIMBRA, Tiago Lopes de Almeida. **Patologias em alvenarias de preenchimento induzidas por deformações dos suportes**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade do Porto, Porto, 2010.

FLÓRIO, Márcio Cardoso. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GYPSUM, Lafarge. **Tabela de desempenho – PAREDES**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://az668117.vo.msecnd.net/media/files/latam/companies/gypsum/areatecnica_docs/tabela_desempenho_2014.ashx?la=ptpt&rev=366bc34ee86c4e999d552b3a101bcc4b&hash=A76828DB9A5B5025404B543219C447E91AE2FBFE>. Acesso em: 16 jun. 2018.

KNAUF. **Tabelas de desempenho - Parede de drywall W112**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://knauf.com.br/content/parede-de-drywall-w112>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

LUIZ, Jefferson Pereira; FERIANCE, Matheus Lessa dos Santos. **Estudo comparativo de projetos estruturais com elementos de vedação distintos**. Trabalho de conclusão (Graduação em engenharia civil) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2016.

PLACO Saint-Globain. **Guia Placo 2014- Soluções Construtivas**. Mogi das Cruzes, 2014.

RECALDE, Bruno Ramón Blanc. **Análise numérica de flexão em Lajes Nervuradas com a consideração dos efeitos de fissuração no concreto.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SCHWETZ, Paulete Fridman; GASTAL, Francisco de Paula S. L.; SILVA, Luiz Carlos Pinto da F. Estudo teórico-experimental de uma laje nervurada em escala natural. CONGRESSO BARISLEIRO DE CONCRETO. **Anais...** Ibracon, 2008.

SOUZA, Caroline Gonçalves Silva ; LOPES Rayane Campos. **Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas.** Trabalho de conclusão (Graduação em engenharia civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TAPPARO, Tiago; BRUM, Eduardo M.; MACULAN, Laércio S.; BARBACOV Naira; GOMES, Aline P.. Análise comparativa de custo de produção entre o sistema construtivo com divisórias internas em gesso acartonado e em alvenaria convencional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

TEIXEIRA, Anderson Correa. **Paredes de drywall x alvenaria de bloco cerâmico.** Disponível em <construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/133/artigo298754-1.aspx>. Acesso em: 28 abr. 2018.