

ANÁLISE DO DESEMPENHO EM LAJES PLANAS COM DIFERENTES CONSIDERAÇÕES DE AÇÕES

Júlia Bonella Oliveira¹; Sara Zamprogno Barbieri¹; Wagner Badke Ferreira².

1. Acadêmica de Engenharia Civil na Faculdade Brasileira - Multivix Vitória;

1. Mestre em Engenharia Civil, docente do curso de Engenharia Civil da Faculdade Brasileira - Multivix Vitória.

RESUMO

As lajes, assim como as outras estruturas, devem ser corretamente analisadas em relação aos esforços que nelas atuam. Com o avanço da tecnologia na área da construção civil, softwares de cálculo estrutural permitem analisar diferentes considerações de ações e oferecem resultados mais rápidos e precisos desses esforços. Baseado nas Normas Brasileiras, como a NBR 6118 (ABNT, 2014), que abrange as estruturas de concreto armado, e a NBR 6120 (ABNT, 2000), que trata das cargas que atuam sobre as estruturas, este trabalho tem como proposta realizar análise do desempenho de lajes planas sob ações de alvenaria de vedação. Por meio de modelagem computacional, comparou-se as ações concentradas linearmente e ações distribuídas por unidade de área, discutindo o comportamento da estrutura frente a duas propostas distintas de análise em consideração ao que realmente ocorre na prática.

Palavras-chave: lajes, alvenaria, ações, lajes planas.

ABSTRACT

The slabs as well as other structures must be correctly analyzed in relation to the efforts that act on them. With the technological advancement in civil engineering area, structural calculation software allow us to analyze different actions considerations and to offer faster and more accurate results about these efforts. The development of this work has been based on Brazilian Standards like NBR 6118 (ABNT 2014), which encompasses reinforced concrete structures and NBR 6120 (2000) which deals with the loads that act on the structures. This work proposal is carrying out analyses of flat slabs performance under actions of masonry walls. Through computer simulation the linearly concentrated actions and actions distributed per unit of area were compared, discussing the structure behavior in the face of these two distinct proposals of analysis taking into account what really happens in practice.

Key-words: slabs, masonry, actions, flat slabs.

INTRODUÇÃO

As ações são influências que atuam sobre as estruturas de forma que possam causar danos quando não analisadas corretamente, em alguns casos levando ao colapso. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a análise estrutural deve levar em consideração todas as cargas atuantes, sendo elas o peso próprio da estrutura, sobrecargas permanentes e variáveis que venham a interferir na segurança e no desempenho. A análise das ações atuantes é feita por combinações, de forma a considerar a pior situação para o cálculo estrutural. Dentre as cargas permanentes estão as provenientes de alvenaria de vedação, que causam impacto sobre as lajes quando apoiadas diretamente sobre as mesmas.

Atualmente, vãos maiores estão sendo mais utilizados na construção de edifícios, assim, surgem as alvenarias dispostas diretamente sobre a laje (MAGALHÃES, 2001). As ações das cargas de alvenaria que atuam diretamente sobre a laje, usualmente sugerido pela NBR 6120 (ABNT, 2000), são calculadas levando em consideração o seu peso próprio, como uma carga distribuída igualmente por toda área da laje, classificada neste trabalho como método 1. Com o avanço da tecnologia na área da construção civil, o surgimento de softwares que auxiliam

de forma mais rápida e precisa nas análises estruturais, visando um ganho de produtividade, abriu-se espaço para outro método de cálculo, dessa vez usando a alvenaria como carga linearmente distribuída somente sobre o seu local de aplicação, classificada neste trabalho como método 2.

Modelos computacionais visam simular virtualmente o que ocorre na prática e auxiliar a montagem de uma estrutura. Neste trabalho, apresenta-se uma abordagem que se aproxime mais com o que efetivamente ocorre na estrutura, mostrando como a diferença na forma de aplicação das cargas de alvenaria pode acarretar em variações nas solicitações de esforços nessa estrutura, gerando diferentes resultados sobre as lajes. Pensando nisso, o objetivo deste artigo é fazer uma comparação entre dois métodos de cálculo, com a finalidade de apresentar as variações dos esforços presentes em cada abordagem e as consequências dessa diferença sobre a estrutura, justificando o método 2 como mais próximo da realidade. Para isso, serão evidenciadas as alterações dos esforços cortantes, momentos fletores e flechas nas diferentes abordagens, indicando a discordância dos efeitos das mesmas sobre a estrutura.

A TEORIA AO ENCONTRO DA PRÁTICA

O engenheiro busca, da melhor forma possível, resolver os eventuais impasses apresentados pelo exercício da profissão e reproduzir na prática o que realmente foi idealizado na teoria. Isso, muitas vezes para um engenheiro que desenvolve projetos estruturais, torna-se uma atividade complexa. Existem algumas limitações conceituais que inibem essa materialização, dessa forma, normalmente o modelo numérico precisa ser adequado para tentar se aproximar de uma realidade satisfatória. Essa diferença entre teoria e prática tende a aumentar quando se utiliza métodos de simplificação.

Com a intenção de apresentar um dimensionamento com a maior proximidade da realidade, e buscando um modelo que reproduza virtualmente o que de fato ocorre na prática, a aplicação das cargas de alvenaria de maneira linear surgiu de forma a tentar se adequar a essa situação e atingir esse conceito análogo ao real. Com essa finalidade, procurou-se realizar um estudo utilizando lajes planas, feito a partir de duas abordagens para considerações de ações provenientes de alvenarias de vedação, sendo elas para carga distribuída por área (método 1) e carga linearmente distribuída (método 2), mostrando as diferenças entre esses dois métodos de análise e seus efeitos sobre a laje verificada. A partir de um projeto definido, foi utilizado o software Cypecad para a análise quantitativa de dados e apresentação dos resultados analisados, discutindo as desigualdades e consequências para a estrutura.

CONTEXTUALIZAÇÃO DAS LAJES

Lajes são estruturas de concreto armado de superfície plana, também denominadas placas, possuindo duas dimensões maiores, largura e altura, que se sobressaem da espessura (BASTOS, 2015). Elas variam a altura conforme o comprimento dos vãos livres, os tipos de cargas que atuam sobre a mesma e o tipo de ligação no qual está vinculada. Possuem a finalidade de receber diretamente as cargas, sejam elas permanentes ou variáveis, provenientes de seu peso próprio, pessoas, móveis, alvenarias e pisos, distribuindo sobre a

sua área e depois transmitindo-as para as vigas ou pilares onde estão apoiadas. Tudo isso ao mesmo tempo em que proporciona ao usuário a segurança e o maior conforto possível.

O CASO DAS LAJES SEM VIGAS - LAJES PLANAS

Para efeito de cálculo e obter uma melhor visualização do que ocorre com as lajes devido a atuação das ações, foi proposto trabalhar com uma situação estrutural mais desfavorável, sendo assim, foi analisada a atuação das ações em uma laje lisa sem vigas internas, somente apoiadas nos pilares e nas vigas das bordas. Esse modelo de estrutura normalmente é mais esbelto do que as estruturas do tipo convencional.

As lajes sem vigas atualmente vêm sendo muito utilizadas em razão, principalmente, do aproveitamento do espaço livre que esse tipo de estrutura permite, e dentre as vantagens que possuem estão as reduções de fôrmas na execução e de revestimento. Uma das desvantagens a ser analisada é o deslocamento causado pelas ações das cargas. Segundo De Figueiredo Filho (1989), esse tipo de laje, quando se considera um mesmo vão, apresenta um deslocamento no centro maior do que as lajes convencionais, aquelas que estão apoiadas sobre as vigas.

CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

De acordo com o que foi citado acima, utilizou-se como referência para as análises a arquitetura mostrada a seguir.

O projeto é constituído por uma edificação de dois pavimentos, onde será analisada a laje do segundo andar, representado pela figura 1, no qual possui uma área total de 312,8m². A alvenaria é composta por blocos cerâmicos vazados, sendo seu peso específico 13KN/m³, com espessura de 9cm. Adotou-se 1,5cm de reboco de cada lado da alvenaria, totalizando 3cm, com peso específico de 21KN/m³, conforme a NBR 6120 (ABNT, 2000). Com isso, o peso de 1m² de alvenaria assentada e rebocada é de 1,8KN/m².

O comprimento total da alvenaria foi medido com o auxílio do software Autocad, sendo o valor total encontrado de 108,5m. Para obtenção da área total da alvenaria, precisou-se multiplicar o comprimento total pelo pé-direito. Considerou-se uma altura de 3m, medida de piso a piso, sendo necessário subtrair a espessura da laje de 16cm, para chegar a um valor de 2,84m de pé-direito. Então a área encontrada de alvenaria referente a este estudo, multiplicando seu comprimento pelo pé-direito, foi de 308,14m².

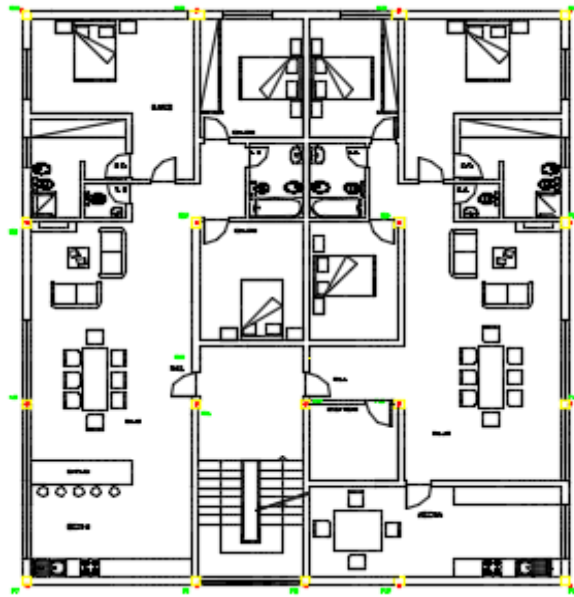


Figura 1: Planta baixa de estudo deste trabalho. (Fonte: Software Autocad).

A laje representada na figura 2 cobre todo o pavimento a ser analisado. Como mencionado anteriormente, se trata de uma laje lisa sem vigas internas apoiada somente nos pilares e nas vigas das bordas. Para o dimensionamento quanto à altura para este tipo de laje, foi respeitada a espessura mínima exigida pela NBR 6118 (ABNT, 2014) de 16cm. Vale ressaltar que este trabalho leva em consideração apenas a análise das cargas de alvenaria e seus efeitos sobre a laje, desconsiderando o método utilizado para vencer os vãos de projeto.

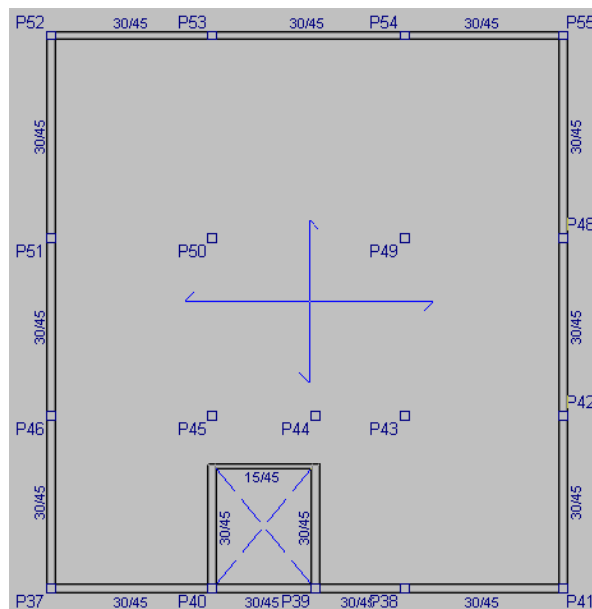


Figura 2: Representação da laje do segundo pavimento. (Fonte: Software CypeCad).

Na tabela 1 apresenta-se os dados relevantes à análise referentes ao projeto em questão.

Tabela 1 – Dados do projeto

Espessura da laje	16 cm
Pé direito	2,84 m
Comprimento linear de alvenaria	108,50 m
Área total de alvenaria	308,14 m²
Área da laje	312,80 m²

Fonte: Autoria própria.

APRESENTAÇÃO DOS MÉTODOS

As alvenarias externas são apoiadas sobre as vigas, transmitindo diretamente suas cargas a elas, sem influência sobre a laje, não sendo consideradas nesta análise.

Método 1 – Método de carga distribuída por área

Neste método de cálculo para alvenarias sobre laje, chamado de método 1, tem-se a apresentação da carga de alvenaria como sendo distribuída igualmente por toda a laje, como mostra a figura 3. Para este cálculo, inicialmente foi multiplicado o peso de 1m² de alvenaria, 1,8KN/m², pelo pé direito de 2,84m considerado no projeto. Essa carga foi multiplicada pelo comprimento total de alvenaria, 108,5m, abrangendo apenas as alvenarias apoiadas sobre a laje. Posteriormente, esse valor foi dividido pela área total da laje, 312,80m², resultando em um carregamento distribuído igualmente por toda a laje, no valor de 1,7KN/m².

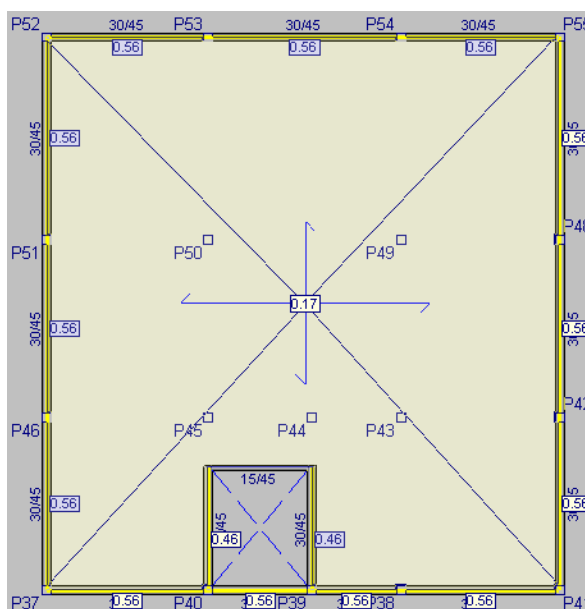


Figura 3: Ação da carga de alvenaria distribuída por área sobre a laje, dados em t/m². (Fonte: Software Cypecad).

Método 2 – Método de carga linearmente distribuída

Para este método, as cargas foram consideradas linearmente distribuídas sobre a laje, assim como mostra a figura 4, chamado de método 2. O software Cypecad permite a aplicação da carga diretamente onde se localiza a alvenaria no projeto arquitetônico. De acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2000), sendo o peso de alvenaria por metro quadrado 1,8KN, para obter o valor

da atuação dessa carga distribuída por metro de alvenaria, fez-se necessário multiplicar seu peso pelo pé-direito de 2,84m, resultando em 5,1kN/m.

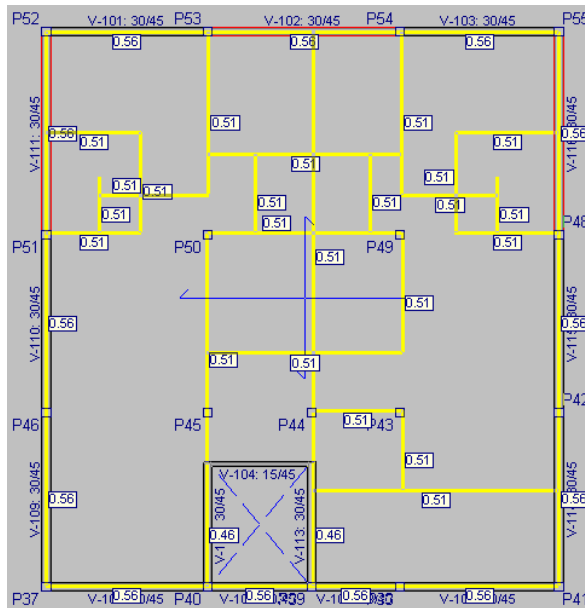


Figura 4: Ação da carga de alvenaria linearmente distribuída sobre a laje, dados em t/m. (Fonte: Software Cypecad).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação dos dois métodos e os cálculos realizados pelo CypeCad, foram gerados gráficos de deformação, esforço cortante e momento fletor da laje onde atuam as cargas de alvenaria, com a respectiva distribuição de acordo com cada método aplicado. Esses gráficos serão mostrados e discutidos no decorrer desta seção.

Flecha máxima

O gráfico gerado para os dois casos apresenta as linhas de deformação com os valores dados em milímetros, com escalas de cores indo do verde ao rosa, em que a área representada pela cor rosa é o local onde possui maior deformação, como mostra abaixo as figuras 5 e 6.

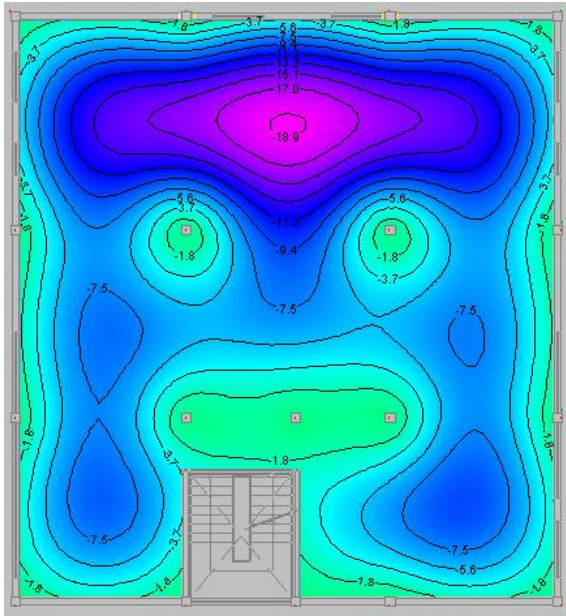


Figura 5: Deformação na laje – Método 1. (Fonte: Software Cypecad).

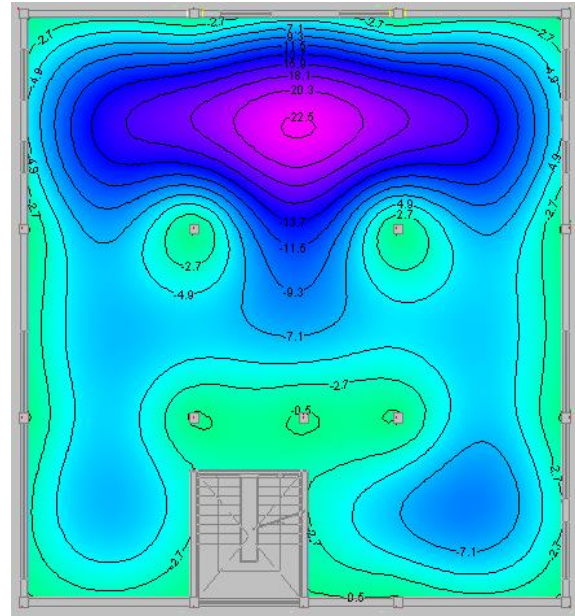


Figura 6: Deformação na laje – Método 2. (Fonte: Software Cypecad).

Nota-se, na arquitetura apresentada no início, que o número de paredes na área com maior deformação é superior às demais localidades da laje, e pode-se observar também que os apoios são mais distantes entre si, deixando um vão livre maior comparado aos demais, sendo o ponto crítico.

Pode-se verificar que na figura 5 a deformação sofrida pela laje se apresenta de forma mais distribuída devido ao método de distribuição das cargas por área, em que a laje além de sofrer deformação onde há maior concentração de alvenaria, também sofre deformação onde essa concentração é menor. Enquanto na figura 6, que representa o método das cargas linearmente distribuídas, nota-se que as deformações estão mais localizadas onde possuem as alvenarias.

Analisando o ponto mais crítico de deformação da laje, foi gerada a flecha secante entre dois pontos de um mesmo vão para cada método aplicado, como mostram as figuras 7 e 8 a seguir.

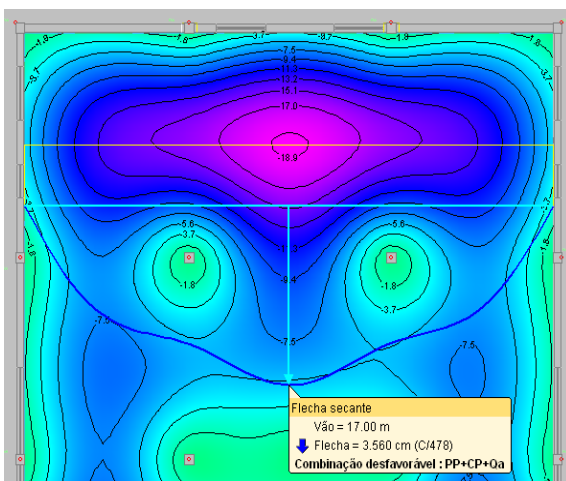


Figura 7: Flecha do vão mais crítico da arquitetura – Método 1. (Fonte: Software Cypecad).

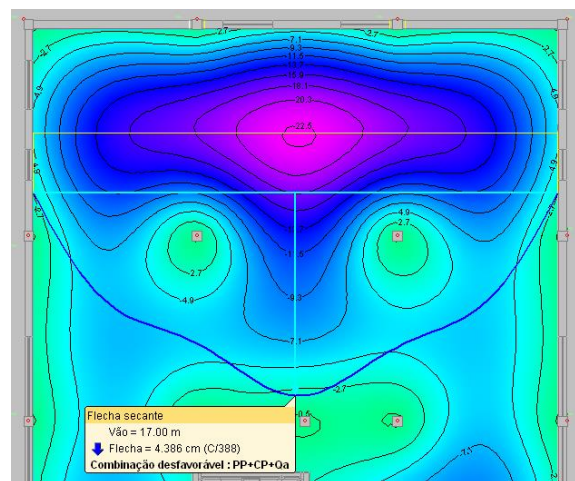


Figura 8: Flecha do vão mais crítico da arquitetura – Método 2. (Fonte: Software Cypecad).

Na figura 7, método 1, analisando a pior situação da estrutura, obteve-se uma flecha de 3,56cm, enquanto que para o método 2, mostrada na figura 8, a flecha para a mesma situação foi de aproximadamente 4,38cm.

Pode-se notar que para essa análise há uma diferença considerável entre valores encontrados para os dois métodos. A aplicação das cargas sobre os pontos onde as alvenarias estão dispostas gerou um acréscimo percentual de deformação na laje de aproximadamente 23% em relação a aplicação da carga distribuída pela área. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), um deslocamento, quando relevante para o elemento dimensionado, como o caso do resultado apresentado, deve ser observado com mais cuidado, pois influencia a segurança e estabilidade da estrutura. Os deslocamentos podem gerar danos e influenciar no comportamento da estrutura, causando manifestações patológicas à construção, como fissuras, e quando muito acima do permitido, podem tornar a estrutura instável. Tal situação seria capaz de levar a estrutura ao colapso e, de acordo com Da Silva (2016), fissurações e flechas excessivas podem ser sinais visíveis de problemas relacionados à segurança da estrutura.

A partir da diferença encontrada entre os valores das flechas, pode-se observar que o modo de aplicação das cargas de alvenaria interfere significativamente no deslocamento da laje, sendo um fator importante a ser observado para o dimensionamento das estruturas. Nesse caso, fica claro que a utilização do método 2 apresenta uma análise mais realista, com resultados mais graves para a estrutura, adequando-se ao que de fato é retratado na prática, uma vez que as alvenarias se concentram linearmente na laje, como apresentado no projeto arquitetônico.

Esforço cortante

As figuras 9 e 10 abaixo representam as solicitações referentes aos esforços cortantes sofridos pela laje, considerando a pior situação, os valores em t/m.

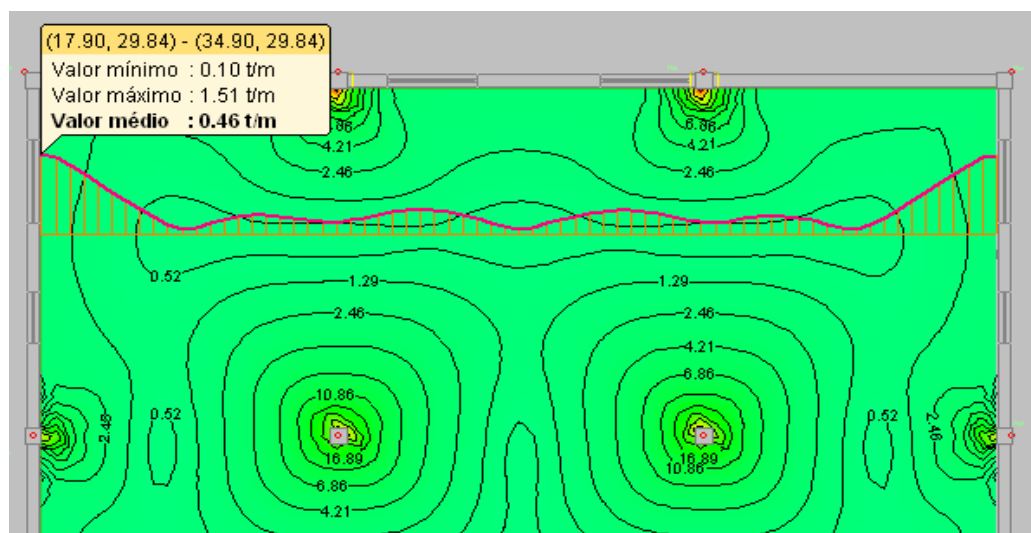


Figura 9: Solicitações de esforços de cortante total – Método 1. (Fonte: Software Cypecad).

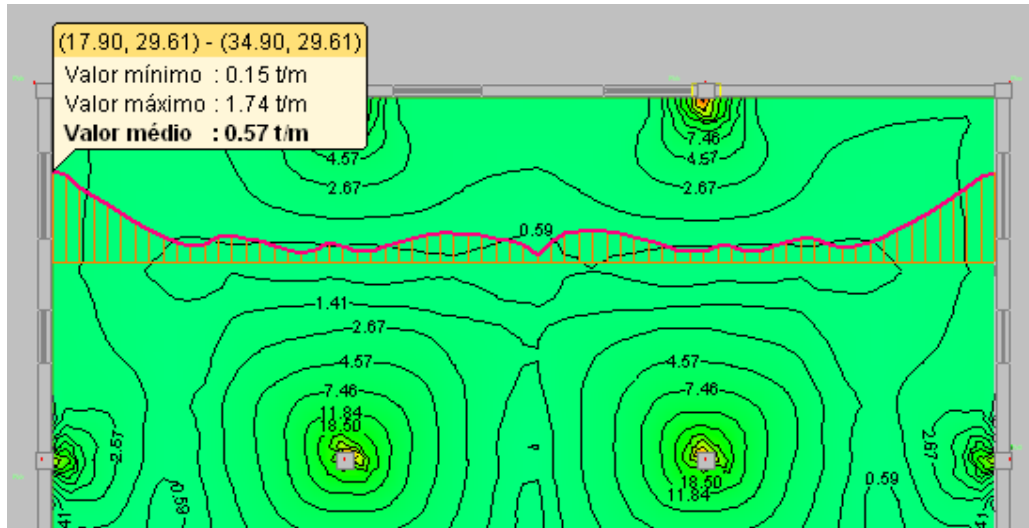


Figura 10: Solicitações de esforços de cortante total – Método 2. (Fonte: Software Cypecad).

Nesta análise é possível observar que os valores do esforço cortante se diferem com os métodos, apesar de não apresentarem valores com muita discrepância. Extrai-se, também, que os valores de cortante máximo, médio e mínimo são maiores para o método 2. Sendo o valor do esforço cortante máximo superior ao valor calculado no método 1, admite-se que os esforços referentes a tal método estão subdimensionados. O esforço cortante para o método 1 é de 15,1KN/m e para o método 2 é de 17,4KN/m, como pode ser observado nas figuras 9 e 10, respectivamente. Constatou-se um acréscimo percentual de aproximadamente 15% nos valores de esforço cortante do método 1 para o método 2.

Os esforços cortantes geram tensões de cisalhamento no concreto, o que causam influência direta sobre o aço utilizado na laje. Para Carvalho e De Figueiredo Filho (2014), as lajes, de maneira geral, conseguem provocar um esquema de resistência ao esforço cortante e, geralmente, somente o concreto é suficiente para resisti-lo. A necessidade de armadura transversal é verificada pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e vai de acordo com os esforços cortantes solicitante e resistente. Essa variação entre os esforços para os dois métodos pode interferir nessa análise, ocasionando restrição de armadura em pontos onde existam maiores solicitações. O subdimensionamento desses esforços cortantes atuantes na laje podem gerar manifestações patológicas na estrutura, dependendo da sua grandeza.

Segundo De Souza (2004), nas regiões da estrutura em que as cargas são aplicadas, as deformações de esforço cortante possuem valores significativos e relevantes para o seu dimensionamento, e a utilização dos métodos convencionais nessa análise pode trazer soluções estruturais inseguras. Assim, a importância do conhecimento de tais esforços e seus pontos de aplicação está na necessidade de que não causem riscos em sua utilização, o que torna o método 2 um modelo de análise mais efetivo e coerente com a teoria, adequando-se mais à realidade.

Momento fletor

As figuras 11 e 12 a seguir representam os valores de momentos fletores causados pelas cargas de alvenaria sobre a laje, dados em tm/m.

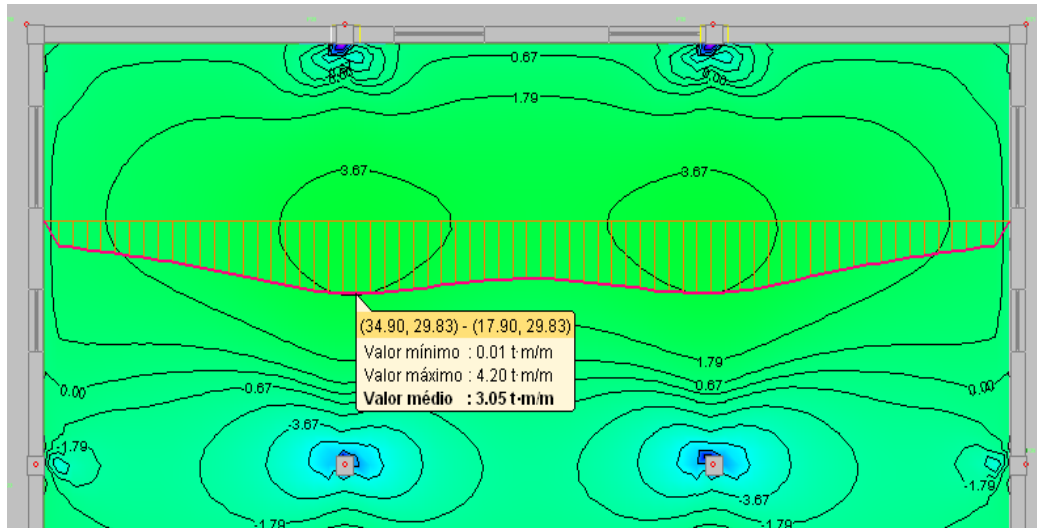


Figura 11: Solicitações de esforços de momento na direção do eixo y – Método 1. (Fonte: Software Cypecad).

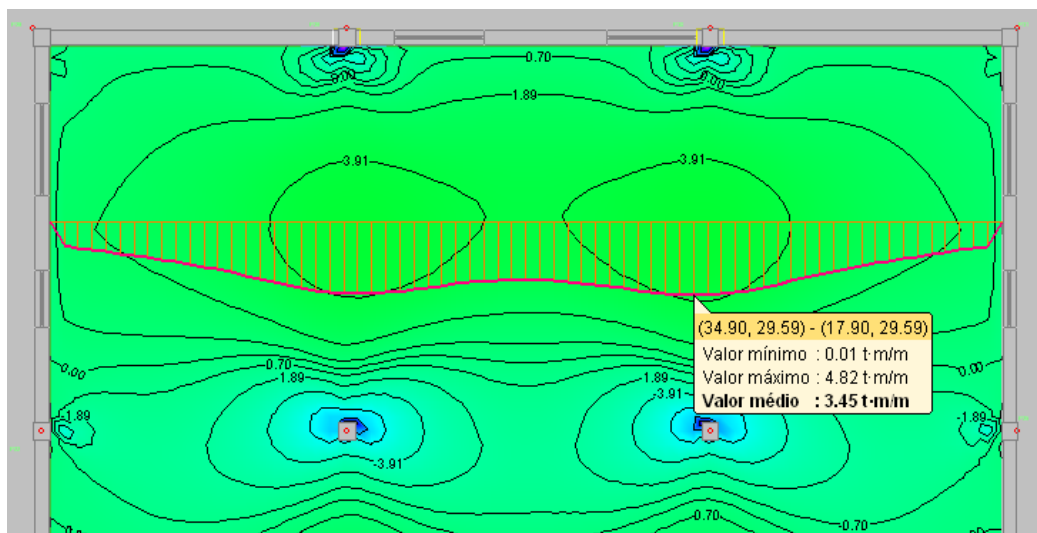


Figura 12: Solicitações de esforços de momento na direção do eixo y – Método 2. (Fonte: Software Cypecad).

Apesar de não terem gerado uma grande discrepância em seus valores, pode-se afirmar, diante dos resultados apresentados acima, que os métodos apontam diferentes momentos fletores. O momento fletor máximo dado pelo método 1 é de 42KNm/m, enquanto o momento fletor máximo dado pelo método 2 é de 48,2KNm/m. Para essa análise dos momentos fletores máximos, detectou-se um acréscimo percentual de aproximadamente 14,5% para a abordagem do método 2. Os momentos fletores médios também resultaram em valores desiguais e apresentaram acréscimo percentual adjacente.

Os momentos fletores estão diretamente relacionados com os cálculos de armaduras das lajes, o que implica dizer que análises subdimensionadas, em relação a esses esforços, acarretam dimensionamentos inseguros. Isso pode causar danos à estrutura, já que os momentos fletores são parâmetros de suma importância em um projeto estrutural. Os momentos fletores geram na laje, ou em qualquer estrutura sob o seu efeito, um movimento de rotação, que são travados pelos seus apoios. Essa rotação provoca na estrutura uma tensão de tração na parte inferior da seção transversal de concreto. Sabe-se que o concreto possui elevada resistência aos esforços de compressão, determinada pelo ensaio de compressão dos corpos de prova abordado na NBR 5739 (ABNT, 2007), mas possuem baixa resistência aos esforços de tração, numa ordem de 1/10 da resistência à compressão (DOS SANTOS, 1983). Sendo assim, utiliza-se o aço para

tal característica. Conclui-se, com isso, que admitir valores inferiores ao que se atinge na prática pode ser uma solução insegura para a estrutura. Para os momentos fletores, nota-se também que a utilização do método 2 torna a análise mais realista.

A tabela 2 a seguir reúne dados encontrados nas análises feitas para os dois métodos aplicados:

Tabela 2 – Dados relacionados aos parâmetros encontrados para os dois métodos.

Parâmetro	Carga de alvenaria distribuída por área	Carga de alvenaria linearmente distribuída	Vão
Flecha (cm)	3,560	4,386	
Esforço cortante máximo (t/m)	1,51	1,74	Pior situação
Momento fletor máximo (tm/m)	4,20	4,82	

Fonte: Autoria própria.

Para os resultados encontrados, observa-se a existência de diferença entre as análises finais dos métodos 1 e 2, apesar dessa diferença não ser discrepante em termos valorativos. Nota-se que os dados dos parâmetros observados para a carga de alvenaria linearmente distribuída (método 2) apresentam-se maiores em relação aos de carga de alvenaria distribuída por área (método 1).

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou, por meio do software Cypecad, os resultados da comparação entre os dois métodos de aplicação da carga de alvenaria sobre a laje. Ao analisar esses resultados, tem-se uma visão geral acerca dos efeitos que eles podem provocar na estrutura. Em todos os itens analisados neste trabalho, a distribuição linear da carga de alvenaria apresentou um aumento em seus valores em relação à carga de alvenaria distribuída por área. Tais diferenças, apesar de não serem exorbitantes para esse caso em questão, podem gerar consequências e efeitos negativos sob uma estrutura.

Um cálculo equivocado de uma flecha em um elemento pode condenar todo o sistema estrutural. Esforços cortantes e momentos fletores subdimensionados podem originar manifestações patológicas, como as fissurações e trincas, que com o passar do tempo podem causar a ruína de uma estrutura. Mostra-se, com isso, e por meio de toda a discussão apresentada neste trabalho, que o método 1 pode apresentar análises de dimensionamento de estruturas com valores que não se adequam à realidade da construção, podendo prejudicar o desempenho da edificação.

Tendo em vista o que foi discutido ao longo do trabalho e a busca por representar em um modelo virtual o que de fato ocorre na prática, o método 2 mostra-se uma análise mais realista, pois se aproxima mais do que realmente ocorre nas edificações, ou seja, uma concentração linear de ações provenientes das alvenarias. Assim sendo, é preferível, para uma análise mais refinada, que seja adotada a metodologia aplicada no método 2, garantindo com isso atendimento com segurança a todos os parâmetros de análise, sejam no ELU ou no ELS.

Para trabalhos posteriores, sugere-se uma análise com outro projeto arquitetônico e a utilização de outro software de cálculo estrutural para a aplicação em uma laje convencional das diferentes considerações de cargas. Sugere-se, também, um estudo que analise, na prática, as

informações contidas no trabalho, realizando um ensaio em uma laje para confirmar os dados apresentados pelo modelo matemático. Além da análise do desempenho da estrutura, propõe-se o aprofundamento do presente estudo quanto à apreciação de custo, com o intuito de verificar se o método escolhido consegue satisfazer, além dos requisitos de segurança e desempenho, o de economia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

_____. *NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 2000.

BASTOS, P. S. D. S. **Lajes de concreto**. Disciplina: Estruturas de Concreto I, curso de Engenharia Civil, ago. de 2015. 115 p. Notas de Aula. Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru, São Paulo.

CARVALHO, R. C.; DE FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

DA SILVA, H. P. **Reforço de lajes maciças utilizando vigas com conectores de cisalhamento**. Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos e Saneamento Urbano) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

DE FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Sistemas estruturais de lajes sem vigas**: subsídios para o projeto e execução. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

DE SOUZA, R. A. **Concreto Estrutural**: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2004.

DOS SANTOS, L. M. **Cálculo de concreto armado**: segundo a nova NB-1 e o CEB. 2. ed. São Paulo: Editora LMS, 1983.

MAGALHÃES, F. L. **Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios da lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuradas com armação treliçada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.