

COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE CÁLCULO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUTURAL E POR MEIO DE MÉTODOS TABELADOS

ELIAS HENRIQUE DALTOE¹
PEDRO MATIAZZI DA SILVA²

RESUMO: O mercado da construção civil tem vivenciado um constante avanço e evolução, especialmente no que diz respeito aos softwares de gerenciamento. Destaca-se o evidente uso da tecnologia para o desenvolvimento de projetos estruturais, na qual simulam elementos como pilares, vigas e lajes. Em se tratando das lajes, esse elemento estrutural deve ser dimensionado com atenção, uma vez que as cargas das lajes influenciaram no dimensionado dos outros elementos estruturais. Ao abordar sobre o comparativo entre métodos de cálculo de lajes maciças por meio de softwares de cálculo estrutural e por meio de métodos tabelados, levantou-se o objetivo de identificar diferenças nos resultados e avaliar as limitações e vantagens de cada método. A metodologia utilizada no presente estudo foi de pesquisa comparativa, qualitativa e descritiva por meio de estudo de caso, justificando-se a comparação entre cálculos manuais e o uso do *software EBERICK* em projetos estruturais de concreto armado. Conclui-se que a pesquisa corrobora para uma melhor compreensão das divergências entre os métodos de cálculos em específico no trato com lajes maciças, bem como oferece ao profissional engenheiro civil flexibilidade de adequar seus projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto; Estrutura; Lajes.

COMPARISON BETWEEN SOLID SLAB CALCULATION METHODS USING STRUCTURAL CALCULATION SOFTWARE AND TABLETED METHODS

ABSTRACT: The construction market has experienced constant advancement and evolution, especially with regard to management software. The evident use of technology for the development of structural projects that simulate elements such as pillars, beams, and slabs stand out. When treating the slabs, this structural element must be dimensioned carefully, since the loads from the slabs influence the dimensioning of the other structural elements. When discussing the comparison between design methods for significant projects using structural design software and using the indicated methods, the objective was to identify differences in results and evaluate the specifications and advantages of each method. The methodology used in this study was comparative, qualitative, and descriptive research through a case study, justifying the comparison between manual calculations and the use of *EBERICK* software in reinforced concrete structural projects. It is concluded that the research supports a better understanding of the divergences between specific calculation methods when dealing with huge slabs, as well as offering professional civil engineers the flexibility to adapt their projects.

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. Endereço eletrônico: eliashdaltoe@outlook.com.

² Professor Especialista, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe - UNIFASIFE. Endereço eletrônico: eng.pedro@concreart.net.br.

KEYWORDS: Concrete; Structure; Slabs.

1. INTRODUÇÃO

Os princípios de gestão de projetos por software acenam para um crescimento exponencial no início do século XX. Com o aumento da concorrência no mercado da construção civil, profissionais da área da engenharia civil buscam cada vez mais métodos de agilidade e confiabilidades em seus projetos e execuções, aderindo, assim, a gestão de projetos com uso de softwares (CARVALHO, 2014).

O avanço da tecnologia disponível e dos recursos construtivos visam a qualidade, rapidez e redução de custo na engenharia, propondo soluções mais rápidas, precisas e eficientes. As melhorias tecnológicas na área de desenvolvimento de softwares têm desempenhado um papel importante na formulação de projetos estruturais, pois o tempo empregado sobre os projetos com o auxílio dos softwares tem sido otimizado (ROCHA, 2015).

No que se refere o desenvolvimento de projetos estruturais, tem-se a partir de cálculos de dimensionado, a simulação de determinados elementos estruturais, tais como pilares, vigas e lajes. Neste sentido, as lajes devem ser cuidadosamente dimensionadas, pois são as primeiras estruturas a serem calculadas. Sendo a partir das cargas das lajes que se alimentam os demais dimensionamentos estruturais (ARAÚJO, 2010).

As lajes maciças, por muito tempo, foram dimensionadas de forma sistemática analítica e manual, com auxílios de ábacos e planilhas com base de cálculo seguidas pela normal. Com o passar do tempo e do avanço tecnológico, houve o surgimento dos softwares, proporcionando resultados satisfatórios e confiáveis, seguindo parâmetros da norma (MORAES; BARBOSA, 2014).

Os edifícios de múltiplos pavimentos se aplicam comumente a utilização de lajes maciças, as quais apresentam espessura toda composta por concreto, constituída também por armaduras longitudinais de flexão e eventuais tipos de armadura transversais, que podem ser apoiadas em paredes ou vigas ao longo de suas bordas (BASTOS, 2015).

Dada a importância de obter valores específicos e analisar e dimensionar estruturas de laje durante a fase de projeto, existem diferentes fórmulas utilizadas. Hoje, para o cálculo de projetos estruturais, as duas formas utilizadas são por cálculos manuais e por softwares de computador. Ao utilizar softwares de cálculo estrutural, existem diferenças nos resultados obtidos por diferentes modelos para a mesma estrutura. Comumente, o modelo de software escolhido para execução dos cálculos é o *Eberick*, por ser o mais conhecido e mais utilizado no meio do ramo da engenharia civil no Brasil (BASTOS, 2015).

Portanto, a escolha do modelo a ser empregado deve buscar na prática uma maior aproximação com o comportamento da estrutura. O cálculo manual, apesar de certa segurança, não é um método ágil, embora ainda seja o modelo mais utilizado para entender os diferentes comportamentos das estruturas. Para o dimensionamento das lajes, os cálculos não podem ser feitos de forma errada, pois isso comprometeria toda a estrutura ou até mesmo provocaria a ruptura de toda a edificação (ROCHA, 2015).

Diante do exposto busca-se a resposta para que de fato se julgue se existe diferença entre o cálculo de laje maciça sendo desenvolvido por métodos de software do cálculo manual. Qual dos métodos ilustra melhor o comportamento de uma estrutura de concreto armado, com a garantia de melhor confiabilidade no dimensionamento de lajes maciças?

Perante tais argumentações, foram traçados objetivos para fundamentar a pesquisa, propondo como objetivo geral a realização de um comparativo de cálculo de laje maciça em obras de pequeno porte, por meio de cálculo manual e uso de software estrutural, junto ao emprego de planilhas eletrônicas com finalidade de determinar se há diferença considerável nos valores de momento fletor e de aço encontrado em ambos os métodos. Para isso, o estudo confeccionou uma planilha eletrônica de dimensionamento de lajes maciças pelo método de Pinheiro (2010) e em sequência realizou o lançamento da estrutura em software de dimensionamento estrutural, elaborando, assim, o comparativo de armaduras encontradas para cada um dos métodos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características e propriedades do concreto armado para uso em lajes

O concreto armado constitui-se como um composto formado pela combinação de concreto e barras de aço nervuradas, popularmente conhecidas como vergalhões. A efetiva aderência entre esses elementos resulta em uma resistência sinérgica, onde ambos materiais atuam de forma conjunta para suportar solicitações. Essa coesão é favorecida pelo fato de os coeficientes de dilatação do concreto e do aço serem praticamente idênticos. Ademais, a presença do concreto ao redor da armadura desempenha um papel crucial, conferindo proteção e prevenindo a corrosão das barras de aço. Esse processo de encapsulamento promove uma durabilidade significativamente superior à estrutura como um todo. (SOUZA, 2003).

Há um requisito que deve ser considerado na equivalência da altitude da benfeitora e da proporção volumétrica, considerando sua consistência e densidade para estrutura de lajes, em que as normas brasileiras 6118 (2001) não mencionam críticas de antecipar o tamanho/espessura de lajes; todavia, Machado (2010) determina que, para o tipo de laje de forma retangular e com bordas apoiadas ou engastadas, a altitude útil d (em cm) pode ser considerada, segundo a Equação 1:

$$d = (2,5 - 0,1 \cdot n) \frac{L^*}{100} \quad (1)$$

Com resultado da altura útil, é possível determinar a altura total da laje, seguindo a Equação 2:

$$h = d + c + \frac{\phi_l}{2} \quad (2)$$

O diâmetro do vergalhão é representado por ϕ_l . Para lajes em balanço, pode ser usado o critério da NBR 6118 (1978), o qual apresenta a Equação 3:

$$d = \frac{Lx}{\psi_2 \cdot \psi_3} \quad (3)$$

De acordo com Machado (2010), os coeficientes ψ_2 e ψ_3 estão sujeitos ao acoplamento e do tipo de aço, simultaneamente. Essa segunda expressão ainda pode ser empregada para lajes que não se encontram em balanço. Contudo, para lajes habituais

apropriadas para edificações de alta estrutura, habitam ser caracterizadas como espessuras excessivas. Diante ao exposto, a primeira fórmula é mais apropriada nesses casos.

Relevante se faz mencionar que é indispensável explicitar os cobrimentos mínimos, que são denominados de ‘valores mínimos de cobrimentos para armaduras das lajes’, seguindo parâmetro de exigência, necessidade da obra e localização da obra (CARVALHO, 1994).

Para os estudos de superfícies, no caso em geral de elástico, estes podem ser direcionados ao estudo da teoria de placas de Bares (1972). O método faz fundamento nas equações de elementos infinitesimal de placas e nas relações de compatibilidade das deformações dos elementos, assim as lajes maciças são consideradas placas de concreto delgadas.

Sobre as placas de concreto delgadas, aplicam-se a elas todas teorias e conceitos para placas delgadas; A teoria de placas traz a equação geral, fundada por Lagrange em 1811, que faz a correlação à deformação elástica “w” com a carga “P” unitária, distribuída uniformemente sobre a placa, segundo Carvalho (1994). A Equação 4 caracteriza:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{P}{D} \quad (4)$$

Nesse caso a rigidez à flexão “D” é dada pela Equação 5:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (5)$$

Sendo “w” o deslocamento vertical, “x” e “y” as coordenadas de um ponto genérico da placa, “P” intensidade da carga atuante, “D” rigidez à flexão da placa, “E” o módulo de deformação longitudinal do concreto e “ν” o coeficiente de Poisson.

Da expressão mostrada se originam os resultados de momentos fletores, dentre eles o de Bares (1972), os quais Pinheiros adaptou. As tabelas de Pinheiro se fazem diferentes com tipo de vinculação nas bordas das lajes, determinando o tipo de laje a ser usada.

Dado o tipo da laje, a verificação para coleta de dados é expressada pela Equação 6:

$$\lambda = \frac{L_y}{L_x} \quad (6)$$

Pinheiro (2010) determinou coeficiente de momentos para cálculo em lajes, direcionados para cada direção. A Equação 7 utilizada para obter os momentos é dada por:

$$MK = \mu \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad (7)$$

Os valores de (μ) são encontrados nos cálculos resultantes para dimensionamento. Esses coeficientes são ilustrados como (μ) para cálculo de momento positivo e (μ') para momentos negativos, considerando um plano de atuação paralelo aos eixos l_y , l_x (PINHEIRO, 2010).

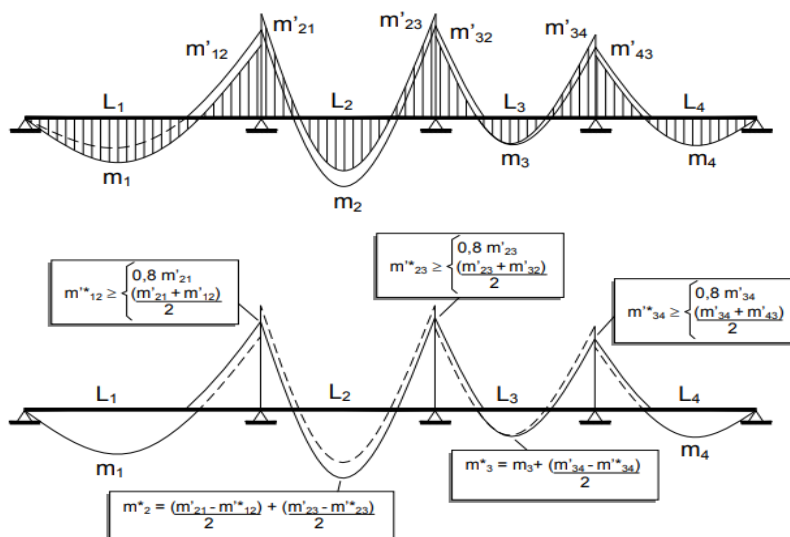
Para o autor Pinheiro (2010), faz-se necessário realizar a compatibilização dos momentos negativos. O critério para uso dessa compatibilização constitui-se em assumir o valor maior entre a média dos momentos ou 80% do maior momento fletor. Esse critério é aplicado quando os dois momentos são comparáveis em magnitude. Além disso, é

fundamental realizar a análise dos momentos positivos na mesma direção resultantes desta compatibilização. Caso a correção resulte em uma diminuição do valor do momento positivo, essa redução é ignorada em favor da segurança. Esse procedimento visa garantir uma análise precisa dos momentos estruturais, como é o caso das lajes L1 e L4.

No entanto, se houver um aumento no valor do momento positivo, é necessário realizar uma correção. Nesse caso, a correção consiste em somar ao valor do momento fletor positivo a média das variações nos momentos fletor negativos observadas nos apoios correspondentes. Isso ocorre, por exemplo, na laje L2 da Figura 1 (LIBÂNEO, 2010).

De acordo com o autor Libâneo (2010), é possível também que a compatibilização resulte em uma diminuição do momento positivo de um lado e um aumento do momento positivo do outro. Nessa situação, é recomendado ignorar a diminuição e considerar apenas o acréscimo, como exemplificado na laje L3 da Figura 1.

Figura 1: Compatibilização de momentos fletores



Fonte: Libâneo (2010)

2.2 Cargas atuantes

A NBR6120 (ABNT 2019) estabelece parâmetros para considerações de cargas atuantes. As lajes nas edificações são os principais indicadores de carregamento e ações, sendo suas cargas definidas como cargas permanentes (g) e cargas acidentais. As cargas permanentes são os tipos de carga estruturais que constitui seu próprio peso, valores esses considerados para toda vida útil da construção. As cargas acidentais são do tipo que atua conforme seu uso, tendo seus carregamentos variáveis (móveis, materiais diversos, pessoal, veículos etc.).

Para definição de vãos efetivos nas principais direções das vigas, a NBR 6118, no item 14.6.2.4, traz o seguinte: “considerando que os apoios são suficientemente rígidos na direção vertical, estes devem ser calculados pela Equação 8”:

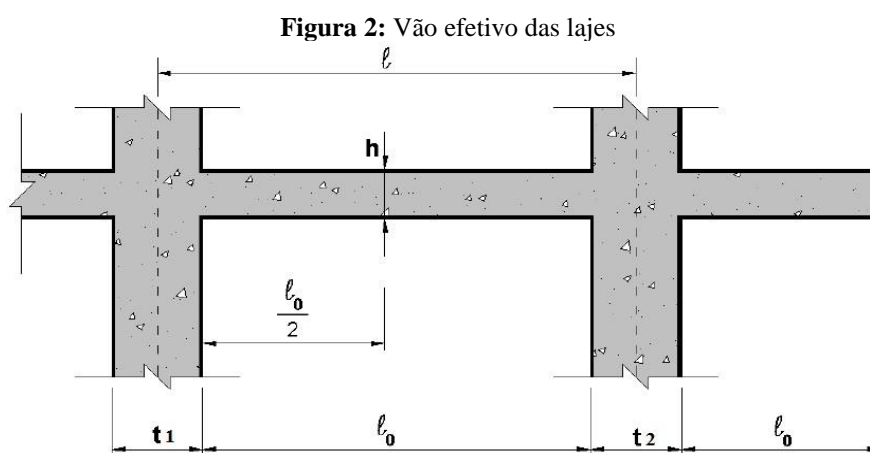
$$\ell_{ef} = \ell_0 + a_1 + a_2 \quad (8)$$

Sendo: l_{ef} – Vão efetivo da laje (m); l_0 – Distância entre as faces internas dos pilares (m);

$$a_1 \leq \begin{cases} t_1/2 \\ 0,3 \cdot h \end{cases}$$

$$a_2 \leq \begin{cases} t_2/2 \\ 0,3 \cdot h \end{cases}$$

As dimensões l_0 , t_1 , t_2 e h estão indicadas na Figura 2.



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2010)

2.3 Fórmulas para dimensionamento de seção retangular

O dimensionamento e detalhamento das armaduras nas seções transversais em cada direção são dados pelo método de KMD, que permite o uso de uma classe de concreto até C-50, sendo que ao uso da fórmula se faz totalmente o emprego do aço na sua capacidade máxima, tanto para as armaduras negativas quanto para as positivas (CARVALHO, 2007). A expressão é dada pela Equação 9:

$$KMD = \frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (9)$$

O momento de cálculo (M_d), também conhecido como $M_k \cdot 1,4$, é uma medida utilizada na análise estrutural. Ele representa a força resultante que atua sobre um elemento estrutural, como uma laje, em determinado ponto. A largura efetiva (b_w) desse elemento corresponde a uma faixa de 1 metro. A altura útil do elemento é representada por (d). Já o f_{cd} é a resistência à compressão do concreto utilizado no cálculo (CARVALHO, 2007).

De acordo com Carvalho (2007), os valores de KMD são extraídos coeficientes com valor de K_z . Faz-se o uso da fórmula seguinte para descoberta da área de aço, conforme Equação 10:

$$A_s = \frac{M_d}{K_z \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (10)$$

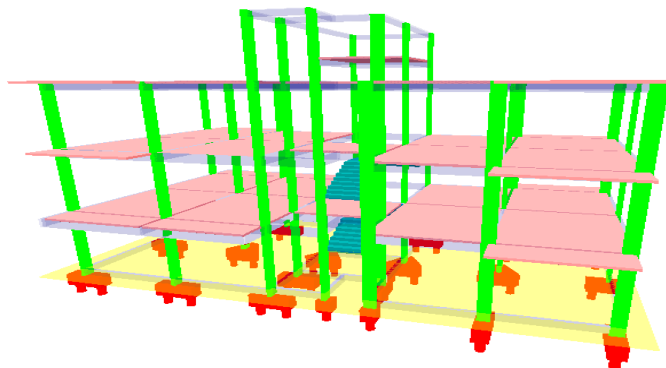
Na análise e dimensionamento de elementos estruturais, como vigas e lajes, diversos parâmetros são considerados. Um desses parâmetros é a área de aço (A_s), que representa a quantidade de aço necessária para conferir resistência à estrutura. O momento de cálculo (M_d), também conhecido como $M_k \cdot 1,4$ é a medida do momento fletor que atua sobre o elemento estrutural (CARVALHO, 2007).

O coeficiente designado $b(Kz)$ é utilizado para levar em conta as condições específicas de carregamento e suporte da estrutura. A altura útil do elemento (d) é a distância entre as superfícies extremas da peça estrutural. Por fim, a resistência do aço de cálculo (f_{yd}) é a capacidade do aço em suportar esforços de tração. A fórmula de área de aço possibilita determinar, por meio de tabelas, as bitolas a serem usadas e a quantidade proporcional de aço por metro de largura da laje dado em [A_s (cm²/m)] (CARVALHO, 2007).

2.4 Software de *Eberick*

O *Eberick* é um software poderoso para projetos estruturais de edificações. Ele oferece modelos tridimensionais e unifilares da estrutura, permitindo visualizar o comportamento dos elementos de forma simples e rápida. Além disso, possui recursos de análise da estrutura, detalhamento e dimensionamento. Com uma interface gráfica intuitiva, o *Eberick* facilita a entrada de dados e oferece uma solução completa para projetos de engenharia civil (ALTOQI, 2019).

Figura 3: Exemplo pórtico *EBERICK*



Fonte: Auto Qi (2019)

O programa possui a capacidade de conectar os pilares de um pavimento ao outro, montando a estrutura como um todo, conforme visualizado na Figura 3. A análise dos esforços e deslocamentos é realizada com base em um modelo de pórtico espacial. Após o processamento da estrutura, os resultados podem ser visualizados em diferentes formas de apresentação e podem ser ajustados conforme necessário. O programa também gera pranchas e outros desenhos necessários para a execução do projeto, utilizando o modelo global da estrutura. Janelas e diagramas fornecem acesso a todas as informações de lançamento dos elementos estruturais (ALTOQI, 2019).

3. MATERIAL E MÉTODOS

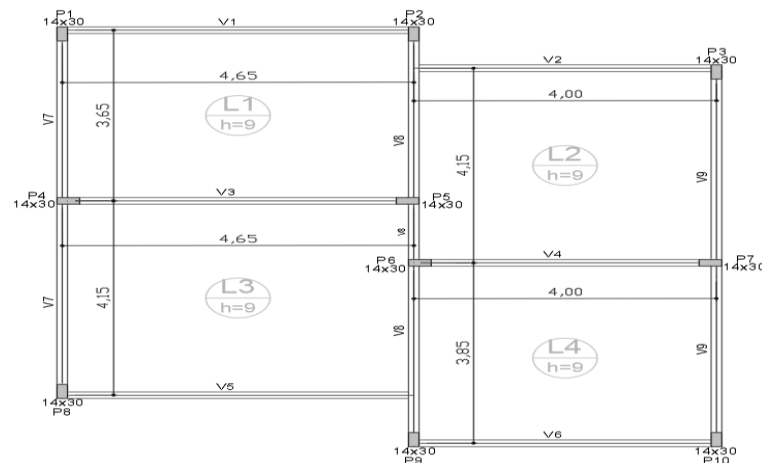
O presente trabalho tem como objetivo realizar um comparativo de cálculo de laje maciça lisa em obras de pequeno porte, por meio de cálculo manual e uso de software

estrutural, junto ao emprego de planilhas eletrônicas, com a finalidade de determinar se há diferença considerável nos valores de momento fletor e de aço encontrados em ambos os métodos.

A pesquisa se caracteriza como quantitativa uma vez que apresenta seu desenvolvimento por meio de cálculos e teorias, além de ser exploratória por apresentar um projeto de execução realizado na cidade de Sorriso-MT.

A disponibilização dos dados necessários foi fornecida pela empresa *RL Construções e Incorporadora*. A amostra e objeto de estudo trata-se de um projeto residencial do tipo unifamiliar, composta por dois pavimentos, térreo e cobertura. Visto que a cobertura terá somente o telhado dispensando o uso de laje, a área térrea tem dimensão de 50 m², composta de quatro lajes (Figura 4).

Figura 4: Dados das lajes



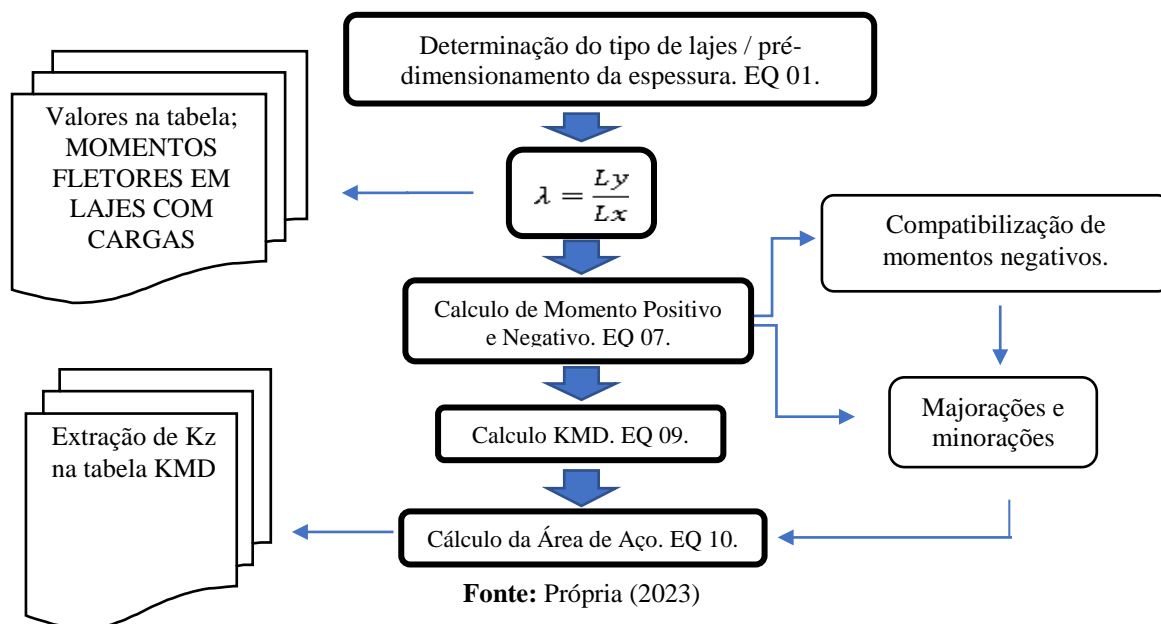
Fonte: Própria (2022)

A construção será executada com tipo de laje maciça rebaixada no gesso, fator considerado para dimensionamento, já que as cargas permanentes e acidentais serão computadas para o lançamento nos devidos meios de cálculo.

Alguns dados devem ser estabelecidos para dimensionamento, tais como: o enchimento das lajes estabelecida para cálculo será concreto de resistência à compressão característica de 25 MPa, com espessura de 9 cm. Para as armaduras negativas e positivas, serão adotadas barras de aço CA-50, os espaçamentos seguirão a norma NBR 6118:2014, atendendo seus respectivos cobrimentos de armadura para classe de agressividade adequada, adotando-se, então, 2,5 cm.

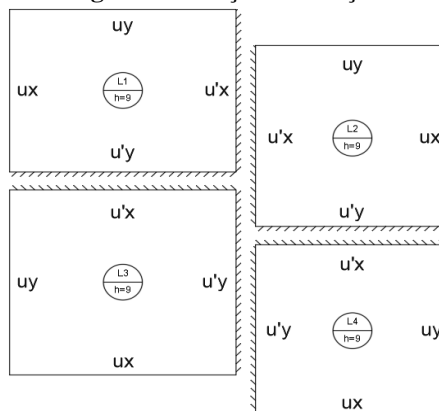
Parte dos carregamentos foram obtidos com base na norma NBR6120 (ABNT, 2019), sendo retirados os pesos específicos de cada item por m³, tendo como peso próprio 2,25 kN/m², regularização 0,5 kN/m² (considerada espessura de dois a três centímetros), e carga acidental de 1,5 kN/m². Os demais carregamentos, por não apresentarem na norma, foram obtidos com dados de fabricantes, como: porcelanato 0,45 kN/m², forro de gesso 0,3 kN/m², resultando em uma carga total de 5 kN/m². O roteiro de cálculo é tabelado no fluxograma da figura 5.

Figura 5: Roteiro de Cálculo



Vale ressaltar que, para o método de cálculo tabelado, usa-se L_x como o menor vão da laje, portanto, com a compatibilização possibilita determinar as reações para cada lado, já que para os momentos negativos precisa-se conhecer a intersecção das reações para assim realizar a compatibilização de momentos. A Figura 6 possibilita conhecer as intersecções de cada laje.

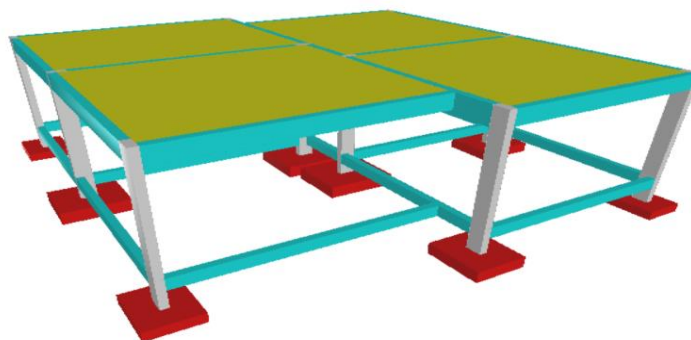
Figura 6: Direção das reações



Fonte: Própria (2022)

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi introduzido para dimensionamento o software *Eberick V8*, que tem como base os métodos de cálculo por grelhas. Com a estrutura lançada, o software gerou um pórtico 3D apresentado na Figura 7.

Figura 7: Pórtico 3D *Eberick*



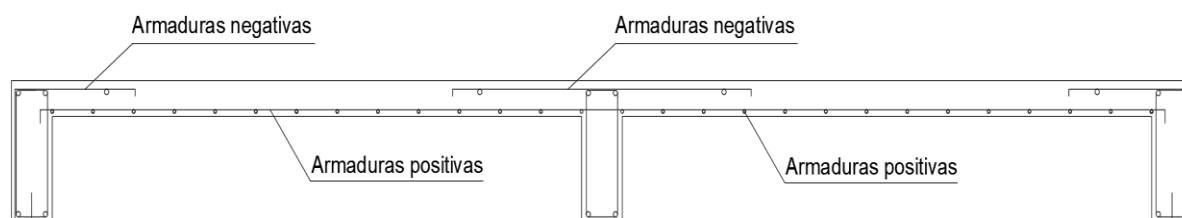
Fonte: Própria (2022)

Todas as lajes foram lançadas com espessura de 9 cm seguindo pré-dimensionamento manual, carga acidental de 1,5 kN/m, carga de revestimento de 0,75 kN/m, carga extra de 0,5 kN/m, e peso próprio de 2,25 kN/m no qual o software fornece automaticamente com a espessura da laje. Além disso, todas as lajes foram consideradas engastadas umas nas outras, consideradas as cargas de vento sendo favoráveis ao ELU (Estado de Limite Último). O espaçamento da grelha das lajes foi definido com 50 cm entre barras.

Ambos os métodos apresentam área de aço calculadas e efetivas. A norma traz uma verificação para área de aço mínimas, sendo adotadas para as condições em que os valores são menores que: $A_{s,min} \geq \rho_{min} \cdot 0,67 \cdot h$, para positivos e $A_{s,min} \geq \rho_{min} \cdot h$, para negativos. Os valores são estabelecidos pela norma de acordo com a classe do concreto; no caso do presente trabalho esse coeficiente assume $\rho_{min} = 0,150$.

Em sequência, a Figura 8 faz uma melhor compreensão das armaduras positivas e negativas em lajes maciças do objeto em estudo. É visto que as armaduras positivas têm função de combater os esforços de tração devido às cargas de aplicação nas lajes; já as armaduras negativas têm a finalidade de aliviar as tenções provocada nos apoios, fazendo com que as lajes fiquem engastadas, proporcionando, assim, maior estabilidade da estrutura e menor fissurações.

Figura 8: Armaduras em lajes maciças



Fonte: Própria (2023)

Os resultados e desenvolvimentos obtidos durante a pesquisa para o método de Libânio possibilitaram os resultados obtidos pelo método em *software*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção os resultados são apresentados seguindo parâmetros de cálculo de Libânio e *Eberick*, respaldados na norma brasileira NBR 6118 (ABNT 2014), exibindo os

momentos fletores e área de aço encontrados em cada laje em formato de quadros e graficos para melhor observação.

4.1 Resultados obtidos pelo método tabelado

4.1.1 Momentos fletor positivo e área de aço método Libânio

Para fins de análise, o gráfico a seguir traz os diferentes tipos de resultados encontrados, sendo que os momentos positivos costumam se apresentar em valores mais baixos ao se compararem com os momentos negativos, pois não apresentam cisalhamento, o que em grande maioria resulta em valores de momento e também de aço mais baixos, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Momento fletor positivo.

Laje	Momentos (kN.m)		As (cm ² /m)	
	Mdx	Mdy	Asx	Asy
L1	3,79	2,33	1,38	0,84
L2	3,29	3,00	1,20	1,09
L3	4,12	3,19	1,51	1,17
L4	3,55	2,75	1,29	1,00

Fonte: Própria (2023)

Em análise ao gráfico, verifica-se que os momentos para direção x tendem a serem maiores. Este fator está relacionado à dimensão, já que os momentos mais elevados atuam na direção de maior vão, resultando em uma área de aço mais elevada.

4.1.2 Momentos Fletor negativo e Área de Aço método Libânio

Para momentos negativos, montou-se um esquema com os respectivos resultados, visto que os momentos negativos demandam maior área de aço, consecutivamente maior valor de momentos, pois os dados fornecidos para cálculo têm seus coeficientes para momentos negativos maiores para que possa suprir os esforços atuantes. Na Tabela 2, é possível analisar os valores encontrados no método de cálculo estabelecido por tabelamento.

Tabela 2: Momentos fletor negativo

Laje	Momentos (kN.m)		As (cm ² /m)	
	Md'x	Md'y	As'x	As'y
L1	-8,74	-7,28	3,34	2,74
L2	-8,32	-8,04	3,16	3,06
L3	-9,98	-9,04	3,87	3,46
L4	-8,59	-7,78	3,28	2,95

Fonte: Própria (2023)

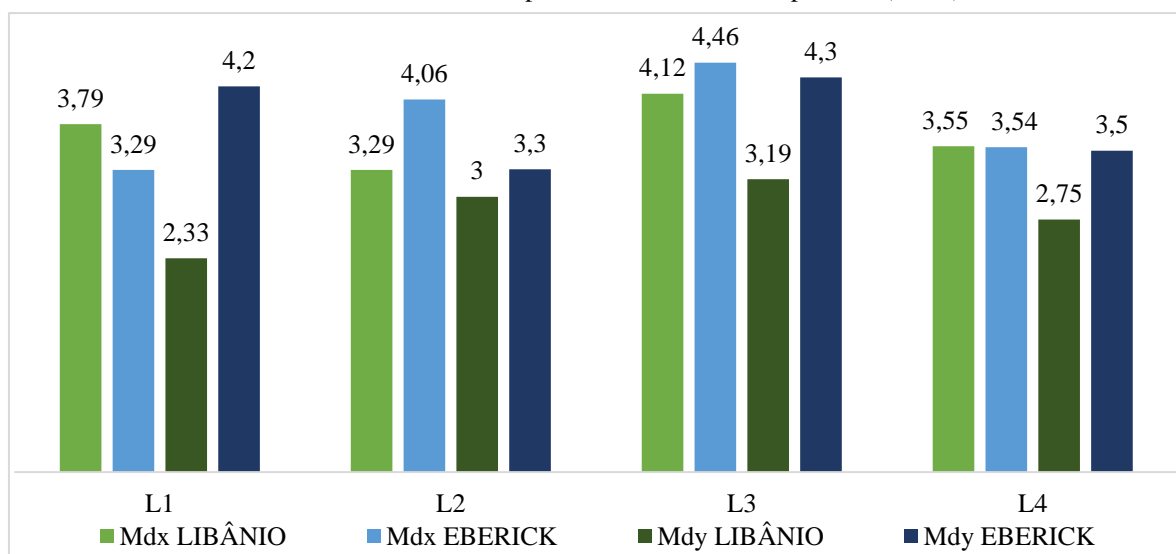
4.1.3 Compatibilização de momentos

Tendo os resultados de momentos negativos, os valores entre os trechos ficam divergentes, sendo necessário realizar a compatibilização entre os trechos de cada viga; neste caso os momentos são obtidos pela média entre os valores que se coincidem.

4.2 Comparativo momento fletor positivo

O software exibe uma diferença de valor, não favorecendo apenas uma direção, isso porque os softwares fazem uma analogia diferente, podendo ter maiores dimensões no sentido x quando para y (Gráfico 1).

Gráfico 1: Comparativo momento fletor positivo (kN/m)



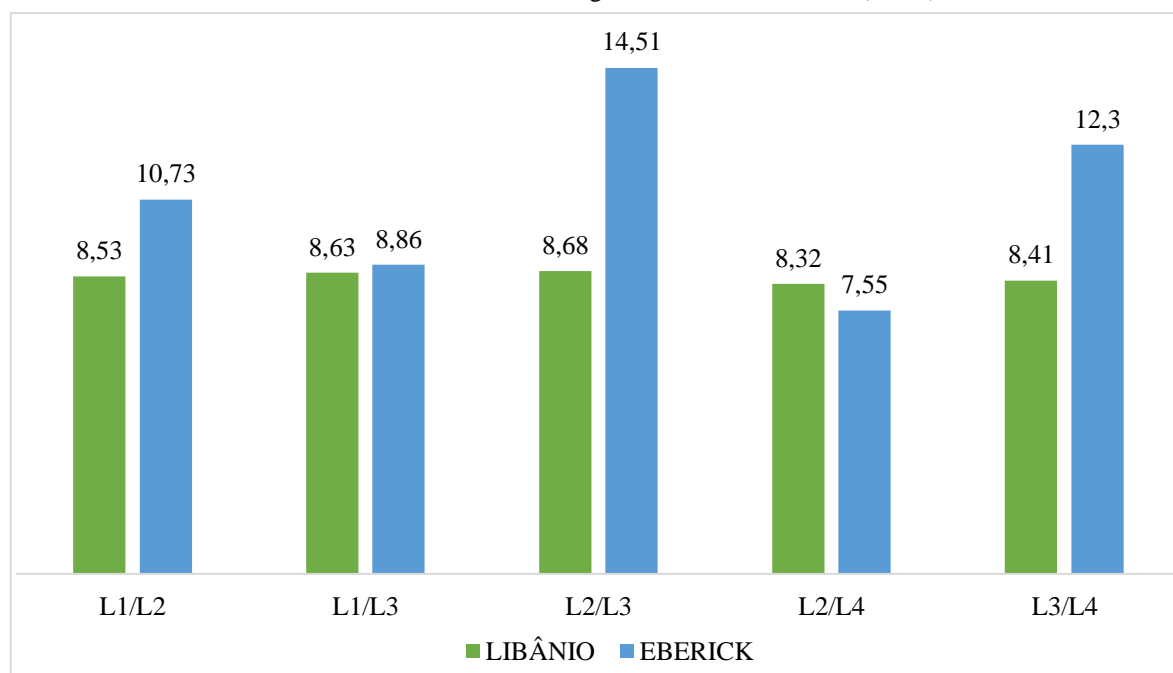
Fonte: Própria (2023)

Nos resultados obtidos pelo método Libânio, e fazendo uma comparação com os resultados do software *EBERICK*, nota-se uma diferença significativa. Os momentos maiores no software apresentam variações entre 4 a 23% superiores ao menor resultado de LIBÂNIO; já na minoria dos momentos em que o cálculo tabelado é mais elevado, percebe-se uma diferença de 1 a 13%.

4.3 Comparativo de Momento Fletor Negativo

A análise do Gráfico 2 permite observar os trechos de engastamento entre lajes com valores máximos e mínimos dos momentos negativos.

Gráfico 2: Momentos fletor negativo nas continuidades (kN/m)



Fonte: Própria (2023)

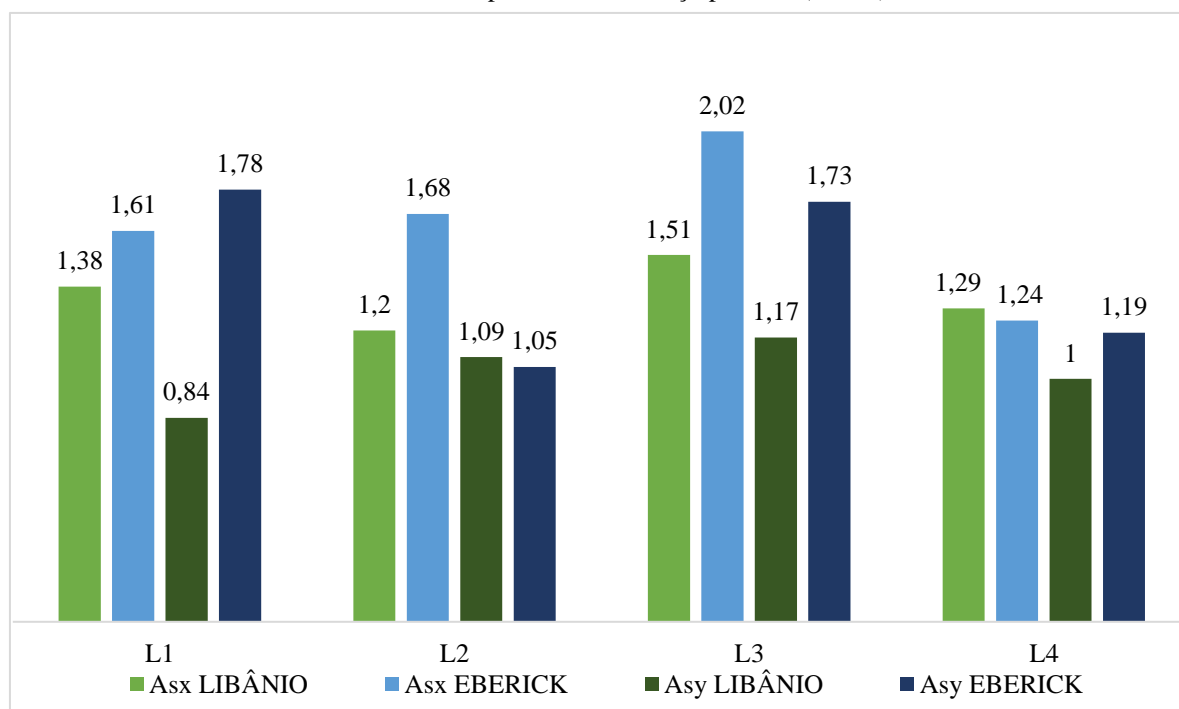
Ao se analisar os momentos, repara-se que no método tabelado há uma diferença pequena, valores entre 4,14% de variação entre o menor e maior resultado; já no *EBERICK* os valores têm uma variação considerável, resultando em uma diferença de 48% entre o menor e o maior valor fornecido pelo software.

Essa diferença pode ser dada pelos meios de cálculo. Araújo (2010) refere-se que, na aplicação de cálculos simplificados, os apoios das lajes são considerados como rígidos, e não são comuns em edificações comerciais e residenciais, uma vez que na distribuição os momentos fletor têm correlação na rigidez das lajes com as vigas, podendo ser um parâmetro que causa a diferença nos resultados de momentos, diferente do software que faz uma analogia pelo método de grelha, não considerando os apoios como rígidos e sim desfavoráveis. A ABNT NBR6118:2014, no item 11.2.1, afirma que: “Na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em exame.”

4.4 Comparativos de área de aço

A área de aço, nas armaduras positivas em cm^2/m , é obtida nos métodos para as 4 lajes. As armaduras positivas apresentam aço para as direções x e y em cada laje, pois são armadas em duas direções, como se vê no Gráfico 3.

Gráfico 3: Comparativo área de aço positivo (cm²/m)



Fonte: Própria (2023)

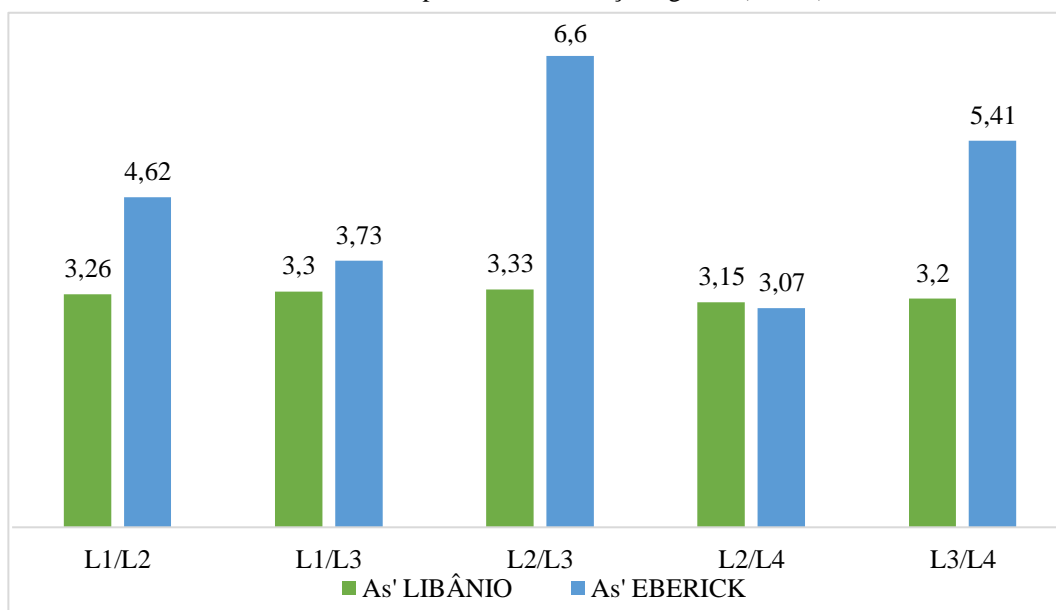
Ao fazer uma analogia com os momentos fletores positivos, nota-se que na L1, mesmo com momentos em x favorecendo o método de cálculo tabelado, a área de aço apresenta uma quantidade maior nos softwares. Já na laje 2 ocorre o inverso, onde o momento em y é maior no software, mas na área de aço apresenta um número menor, o que tudo indica que os coeficientes de cálculo do software não atuam com um padrão.

Ao se analisar a planta do projeto, é possível interpretar que a rigidez da viga pode estar relacionada com o ponto da área de aço ao qual obteve uma diferença significativa. Isso se deve a sua dimensão entre pilares, que é menor em comparação às outras, sendo que para os resultados obtidos os demais componentes estruturais devem estar todos resolvidos. Possíveis alterações no diâmetro de vigas e rotações dos pilares geram diferentes resultados de área de aço e momento fletor.

No dimensionamento feito pelo software *EBERICK*, em sua grande maioria, as lajes apresentaram um dimensionamento mais elevado de área de aço, sendo no encontro da laje L2 com L3 em que houve uma maior diferença, com uma porcentagem de aço de aproximadamente 49,54% superior. Já no encontro das lajes L2 com L4, o método tabelado se mostrou mais elevado, cerca de 2,53% a mais. Vale ressaltar que a diferença no quantitativo de aço deixa claro os maiores resultados, favorecendo o software.

A variação é significativa em alguns pontos, porém, deixa evidente a confiabilidade no método, conforme apresentado no Gráfico 4.

Gráfico 4: Comparativo área de aço negativa (cm²/m)

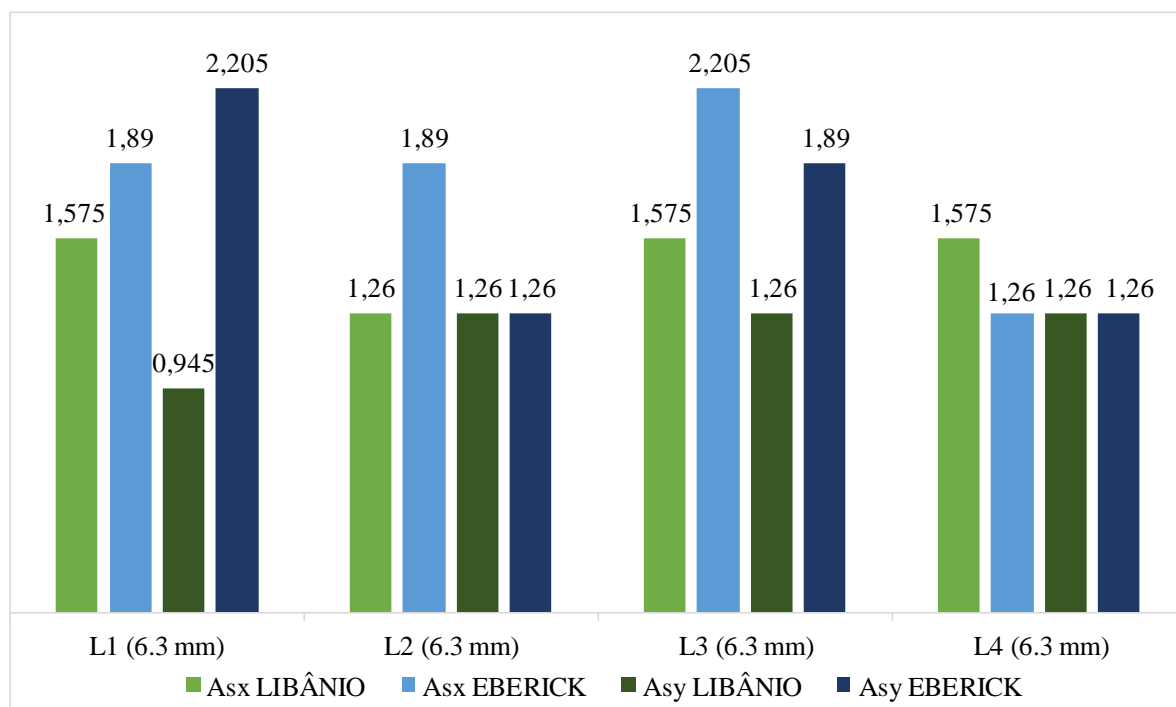


Fonte: Própria (2023)

4.6 Comparação de área efetiva

A determinação da área efetiva é um aspecto crucial no dimensionamento de elementos estruturais de concreto armado. Essa área representa a região da seção transversal que contribui de forma efetiva para a resistência da estrutura. Após calcular a área de aço necessária, é importante consultar as tabelas de aço para encontrar os valores arredondados das áreas efetivas correspondentes às bitolas disponíveis no mercado. O Gráfico 5 ilustra as áreas efetivas positivas.

Gráfico 5: Comparativo área efetiva positiva m²/m

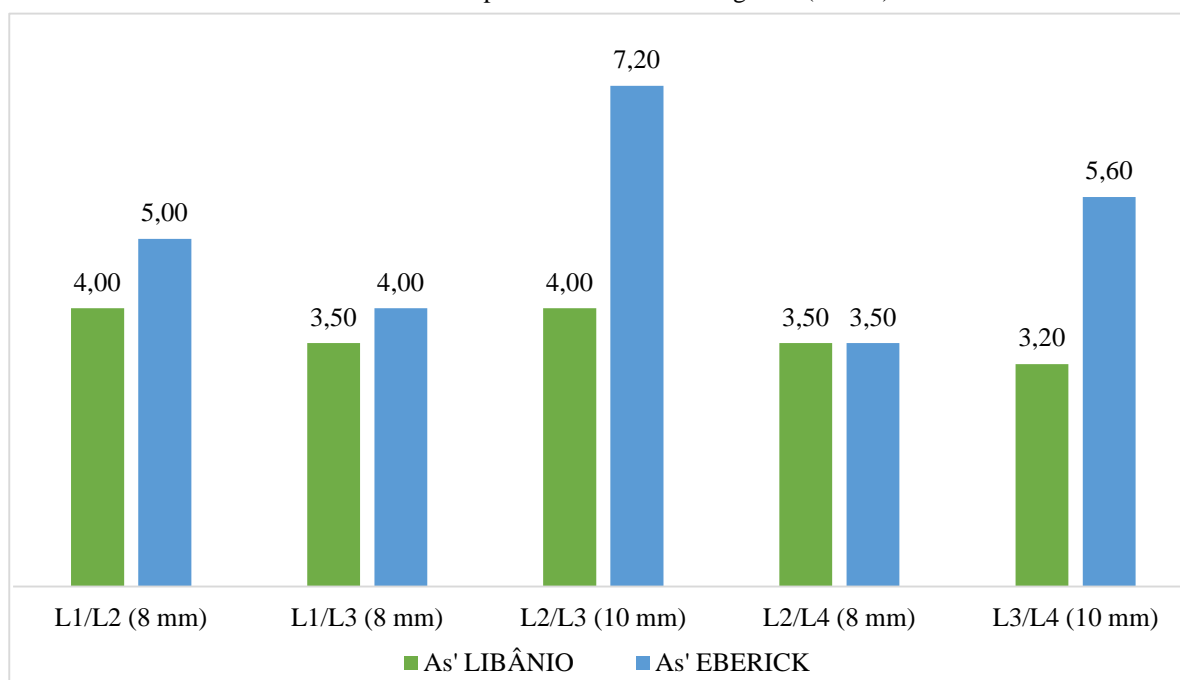


Fonte: Própria (2023)

Dada a área efetiva, é possível observar os valores correspondentes para cada sentido da laje. A L1 em (Asy) no método Libânio adotou área de aço mínima prescrita pela NBR, sendo essa a que mais apresentou diferença em relação ao *Eberick*, com um percentual de 57,14% a baixo em alguns pontos em relação à área de aço calculada. Foi observado que o maior aumento na área de aço efetiva ocorreu na L4 no sentido transversal (Asy) pelo método Libânio, apresentando um acréscimo de 20,63% em relação à área de aço calculada. Esse aumento fez com que os valores se igualassem aos fornecidos pelo software.

Nas áreas de aço efetivas para o negativo, foram definidas barras em que mais se aproximavam da calculada; com isso, foram adotadas barras de 8,0 mm e 10,0 mm, conforme mostra o gráfico 6.

Gráfico 6: Comparativo área efetiva negativa (cm²/m)



Fonte: Própria (2023)

Ao realizar um comparativo entre os valores de cálculo da área de aço em diferentes elementos estruturais, pode-se observar as seguintes variações percentuais: a área de aço efetiva negativa apresentou maior aumento em dois casos: a L2/L3 apresentava 11,28% de diferença entre os resultados e passou a ter 13% de diferença; a L3/L4 apresentava 40,85% de diferença e passou para 43%. As demais lajes apresentaram uma porcentagem igualitária ou tiveram uma redução nas diferenças.

Em casos com pouca variação, a área efetiva pode igualar os números visto que, para o uso adequado da quantidade de aço, este é definido pela área efetiva. Com base nos arredondamentos, as áreas efetivas podem ser comparadas ao que a norma sugere às áreas de aço mínimas. Já descrita na metodologia, a área de aço positiva no presente trabalho assume um valor de 0,90 cm²/m, e negativa de 1,35 cm²/m.

Os valores apresentam grandes porcentagem, principalmente nos negativos, visto que a NBR apenas sugere valores mínimos, não levando em consideração apoios, vinculações e cargas. Com isso, destaca-se a importância do dimensionamento feita por profissionais em ambos os métodos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante todo o trabalho em questão, foi possível concluir que os resultados e as tabelas apresentados permitem realçar as discrepâncias dos números obtidos nos métodos de cálculos; observa-se que existe uma diferença no quantitativo de aço, deixando claro os maiores resultados que favorecem o software. A variação é significativa em alguns pontos, porém, deixa evidente a confiabilidade em cada método.

Os resultados esclarecem a existência de diferenças nos meios de cálculo, dessa forma foi possível comparar e confrontar os valores obtidos. Os softwares trazem uma analogia do pórtico mais aprofundada, sendo possível chegar o mais próximo do comportamento da estrutura. Os programas trabalham com dimensionamento com finitos, diferente dos métodos tabelados, nos quais é utilizado um arredondamento à primeira décima.

Durante os processos de cálculo do presente trabalho, foram trazidas informações que possibilitaram a melhor eficiência nos processos para a análise da demanda. Por meio dos memoriais de cálculos, permitiu-se o armazenamento e o compartilhamento de dados.

No caso em tela, a utilização do software trouxe uma praticidade ao usuário, no entanto, exigiu maior conhecimento aprofundado dos cálculos estruturais, pois não é somente alimentar o software, é preciso conhecer a ferramenta. Faz-se necessário adotar critérios minuciosos e cuidadosos, pois são fundamentais para um cálculo coerente com as situações em que a estrutura está exposta.

De acordo com o explanado neste trabalho, chegou-se à conclusão de que o objetivo do trabalho foi concluído de acordo com o proposto, obtendo um resultado eficaz e desejado através da aplicabilidade dos cálculos manuais e por software.

REFERÊNCIAS

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. Editora Atlas, São Paulo, 2008.

ARAÚJO, Anderson da Rosa. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2010. Anhembi Morumbi, São Paulo, SP. Disponível em: <https://silو.tips/download/estudo-tecnico-comparativo-entre-pavimentos-executados-com-lajes-nervuradas-e-la>. Acesso 20 de novembro 2022.

ALTOQI. **Tutorial Eberick, Critérios de projeto**. 2019. Disponível em: http://help.altoqi.com.br/Eberick/default.aspx#pageid=criterios_de_projeto. Acesso em: 10 de abr. de 2023.

BARES, R. **Tablas para el cálculo de placas y vigas parede**. Barcelona: Editora Gustavo Gili S/A, 1972.

BASTOS, P. S. S. **Fundamento do Concreto Armado**: notas de aula. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006, p. 01. Disponível em: Acesso em: 8 nov. 2012

BOTELHO, Manoel Henrique Campos, Osvaldemar Marchetti **Fundamentos do Concreto Armado**. Universidade Estadual de São Paulo. 2019. UNESP. Editora Blucher, 2006.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Calculo e detalhamento de estrutura usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CARVALHO, R.C; PINHEIRO, L.M. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013. v. 2. Acesso 15 novembro 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LIBÂNIO M. Pinheiro, Cassiane D. Muzardo, Sandro P. Santos, Thiago Catoia, Bruna Catoia, **Estrutura de concreto** – capítulo 2, USP – EESC. Departamento de Engenharia de Estruturas Março de 2010. Acesso 13 de junho de 2023.

MORAES Bruno Garbinatto de, e Gabriel Barbosa. **Comparativo entre métodos de cálculo de laje maciça**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil. Palhoça, 2017. Monografia. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4525/1/TCC-Bruno%20Garbinatto-Gabriel%20Barbosa-Comparativo%20entre%20m%c3%a9todos%20de%20laje%20macica.pdf>. Acesso em 13 de junho d 2023.

PINHEIRO, L. M. **Concreto armado**: tabelas e ábacos. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos -USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2010.

PINHEIRO, Libânio M. **Notas de Aula Fundamento do Concreto e Projeto de Edifícios**. Universidade Federal de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2016. Acesso 20 outubro 2022.

ROCHA, A. M. Concreto armado, vol. 3. São Paulo, Ed. Nobel, 1987.SICAL. Catálogos. **Lajes em Concreto Armado e Protendido**. Niterói, Ed. da Universidade Federal Fluminense. 2015.

SOUZA, Remo M. **Notas de Aula Método dos Elementos Finitos**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém, 2003.