

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS ENTRE O SOFTWARE EBERICK E O MÉTODO ANALÍTICO

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DESIGN OF SOLID SLABS BETWEEN THE EBERICK SOFTWARE AND THE ANALYTICAL METHOD

Amanda Ferraz Assis Ferreira¹, Luana Dias de Castro², Joaquim Orlando Parada³, Igor César Silva Braga⁴, Robson de Oliveira Felix⁵

¹ Acadêmica de Engenharia Civil/FACEG – amandaferraz.af7@gmail.com

² Acadêmica de Engenharia Civil /FACEG – luana.dcastro2000@gmail.com

³ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – joaquim.parada@unievangelica.edu.br

⁴ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – igorcezar14@hotmail.com

⁵ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – robsonfelix.eng2014@hotmail.com

Resumo: O desenvolvimento do projeto estrutural de uma edificação demanda critérios e etapas cruciais para que vizam assegurar sua sustentabilidade e segurança. Para o projetista estrutural, a primeira componente usualmente dimensionada são as lajes, responsáveis por suportar as cargas de utilização das edificações e transmiti-las aos demais elementos estruturais. Embora os cálculos manuais tenham sido amplamente empregados por muito tempo, os softwares computacionais ganharam espaço principalmente devido à aceleração a elaboração dos projetos, porém resultam em um aumento no consumo de materiais, devido ao superdimensionamento das estruturas. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre o cálculo analítico (manual) e o cálculo com o uso do software Eberick, para lajes maciças, visando determinar qual proporciona resultados mais confiáveis para o desenvolvimento deste elemento estrutural. Neste estudo comparativo, serão analisados os resultados dos cálculos realizados manualmente com base na NBR 6118/2023 e dos realizados através do software Eberick. Serão avaliadas as reações de apoio, momentos fletores, área de aço, e flechas das lajes de uma edificação. Espera-se que ao final deste trabalho os resultados demonstrem as diferenças numéricas entre os dois métodos, indicando aquele que apresenta o melhor comportamento estrutural e o dimensionamento mais econômico.

Palavras-chaves: Lajes maciças; Eberick; Cálculo manual; Comparativo.

Abstract: The development of a building's structural design requires crucial criteria and steps to ensure its sustainability and safety. For the structural designer, the first component usually dimensioned is the slabs, which are responsible for bearing the loads of the building's use and transmitting them to the other structural elements. Although manual calculations have been widely used for a long time, computer software has gained ground mainly because it speeds up the preparation of projects, but results in an increase in the consumption of materials due to the over-dimensioning of structures. In this context, this work aims to carry out a comparative study between the analytical calculation (manual) and the calculation using the Eberick software, for solid slabs, in order to determine which provides more reliable results for the development of this structural element. In this comparative study, the results of the calculations carried out manually based on NBR 6118/2023 and those carried out using the Eberick software will be analyzed. The support reactions, bending moments, steel area and deflections of the slabs of a building will be evaluated. It is hoped that at the end of this work the results will show the numerical differences between the two methods, indicating the one that presents the best structural behavior and the most economical design.

Keywords: Solid slabs; Eberick; Manual calculation; Comparison.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico de uma nação é influenciado por uma variedade de fatores que contribuem para a expansão da riqueza, dentre ele se destaca a Indústria da Construção Civil, marcada por sua heterogeneidade [1].

Em março de 2023, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) anunciou que o macro setor da construção civil registrou um crescimento de 6,9% no Produto Interno Bruto (PIB) do setor durante o ano de 2022. Este avanço teve um impacto significativo, contribuindo com um aumento de 2,9% no PIB total do país. A construção civil gerou 10% dos empregos formais em 2022, contribuindo para reduzir o desemprego, que atingiu 9,3%, o menor nível desde 2015 [2].

A indústria da construção civil desempenha um papel essencial na produção de infraestrutura econômica, abarcando a construção de portos, ferrovias, rodovias, sistemas de irrigação, energia e comunicação, bem como

outros serviços fundamentais para o funcionamento eficiente das atividades primárias, secundárias e terciárias [3].

O desempenho do setor da construção civil facilita o desenvolvimento de uma gama de outras atividades econômicas. À vista disso, a construção civil tem acompanhado o constante avanço da tecnologia mundial, destacando-se na criação de softwares que auxiliam no desenvolvimento de diversos tipos de projetos, partindo de projetos arquitetônicos aos projetos estruturais [4].

A elaboração de um projeto estrutural compreende várias etapas, e, por essa razão, antes do surgimento dos softwares sua conclusão costumava demandar um longo tempo devido aos métodos de cálculo manual utilizados para a realização do mesmo. Contudo, com a constante modernização dos softwares de dimensionamento e detalhamento estrutural, as verificações estruturais tornaram-se mais fáceis,

detalhadas e abrangentes, aumentando a ênfase na análise estrutural predial [5]. Essa análise é de suma importância em um projeto, pois é nesse estágio que ocorre uma avaliação detalhada dos problemas e das possíveis soluções, verificando se a solução proposta é a mais adequada para a situação apresentada [6].

Com os avanços tecnológicos, começou o desenvolvimento de programas que combinavam todas as etapas do projeto estrutural em uma única plataforma digital, dentre eles, se destaca o software Eberick, desenvolvido pela AltoQI, empresa fundada em 1989, que permite analisar e dimensionar projetos estruturais de acordo com as normas brasileiras e integrado aos recursos de modelagem tridimensional, além de identificação interativa de erros dimensionais e de parâmetros que excedam os limites especificados, tornando a busca de soluções mais fácil e intuitiva [7].

Para um projetista estrutural, a primeira componente comumente dimensionada são as lajes, estruturas responsáveis por suportar as cargas de utilização das edificações e transmiti-las aos elementos de sua sustentação, como as vigas e, em seguida, os pilares e conseqüentemente as fundações [8]. Os softwares são indispensáveis nos tempos atuais, e auxiliam na aceleração da elaboração dos projetos, no entanto, “O software não substitui e jamais substituirá o papel do Engenheiro. Ele não consegue distinguir a estrutura boa da ruim – serve apenas para automatizar os cálculos e refinar análises” [9].

Portanto, os profissionais projetistas estruturais devem ser capazes de utilizar essa tecnologia de maneira responsável, compreendendo suas vantagens e limitações.

O conhecimento técnico deve ser sempre o objetivo principal, sendo assim, este trabalho visa o dimensionamento de lajes maciças, de um mesmo projeto, utilizando os dois métodos aqui citados, o cálculo analítico (manual) e o cálculo com uso do software Eberick, e posteriormente comparar o desempenho e os resultados.

REFERENCIAL TEÓRICO

Durante o Império Romano, foi documentada a pioneira aplicação de uma forma rudimentar de concreto.

Os romanos integraram cinzas vulcânicas ao calcário, denominando tal combinação de pozzolana, notavelmente utilizada na construção da cúpula do Panteão, localizado em Roma, datando aproximadamente de 118-128 d.C. [10].

Os gregos, interessados em aprimorar a estética das colunas de pedra, adotaram o mesmo método construtivo de colunas e vigas no Parthenon (cerca de 400 a.C.), um templo considerado um dos mais elegantes exemplos de construção em pedra de todos os tempos. Mesmo com o surgimento dos pórticos de aço e concreto armado no início do século XX, que superaram a técnica de colunas e vigas, os arquitetos ainda mantinham a tradição de incorporar a fachada dos clássicos templos gregos nas entradas de prédios públicos. A influência da tradição clássica dos antigos gregos perdurou por muitos séculos após o declínio de sua civilização [11].

O desenvolvimento tecnológico e científico promoveu a evolução dos métodos construtivos. Por volta do século XIX, emergiu na Europa a prática de empregar concreto e aço com finalidade estrutural. Isso ocorreu devido à constatação de que o concreto simples, por si só, não era capaz de resistir de maneira satisfatória às tensões de tração. Foi através dessa união que surgiu o concreto armado, que tem a maior parte de suas tensões de tração absorvidas pelo aço e as tensões de compressão absorvidas pelo concreto, podendo ser ajudada também pelas barras de aço [12].

O concreto é uma composição de agregados britados e naturais, misturados com água e cimento, sendo este último o aglutinante responsável pela coesão dos agregados. Adicionalmente, para atender a exigências específicas, podem ser incluídos aditivos químicos e adições minerais, visando aperfeiçoar as propriedades do material [13].

A estrutura comum aos edifícios é constituída por um elemento espacial ligados às lajes, dispostos ao longo dos vários pisos. Portanto, trata-se de uma estrutura tridimensional formada por elementos lineares (barras) e elementos bidimensionais (lajes) [14].

Lajes são elementos estruturais planos, concebidos para resistir principalmente a cargas perpendiculares ao seu plano. Esses componentes são projetados para suportar uma variedade de cargas presentes na construção, incluindo móveis, pessoas, paredes, pisos e outras cargas variáveis, dependendo de sua aplicação específica. As lajes podem apresentar diferentes formas e configurações, como lajes maciças, nervuradas, lisas ou em forma de cogumelos, cada uma adaptada para atender às exigências estruturais e estéticas do projeto em questão. [15].

As lajes maciças podem ser classificadas de acordo com diferentes critérios, como o tipo de concreto empregado (armado ou protendido), a geometria, os tipos de apoios e de armadura, bem como a direção, entre outros. Uma classificação essencial das lajes está relacionada à orientação da armadura principal, que pode ocorrer em duas configurações: laje com armadura em uma direção e laje com armadura em duas direções [16].

No dimensionamento estrutural pelo método analítico segundo a NBR 6118:2023, é necessário realizar uma análise estrutural para determinar as ações atuantes na estrutura, visando verificar os estados-limite últimos e de serviço. Através dessa análise, é possível também estabelecer as distribuições dos esforços internos, das tensões, das deformações e dos deslocamentos. Essa análise deve ser realizada a partir de um modelo estrutural adequado ao objetivo da análise, podendo ser necessário empregar mais de um modelo em um projeto para realizar todas as verificações previstas na norma [15].

De acordo com a NBR 6118:2023 o modelo pode ser idealizado “como a composição de elementos estruturais básicos, conforme definido em 14.4, formando sistemas estruturais resistentes que permitam representar de maneira clara todos os caminhos percorridos pelas ações até os apoios da estrutura”. O modelo deve englobar a geometria dos elementos estruturais, os carregamentos aplicados, as condições de contorno, as propriedades e comportamentos dos materiais, sempre levando em consideração o objetivo específico da análise [15].

Nas lajes, as formas geométricas podem variar, porém a forma retangular é predominante na maioria dos casos práticos, e com o avanço dos programas computacionais no Brasil, é possível calcular e dimensionar as lajes para qualquer forma geométrica e carga específica com facilidade [16].

A elaboração de um projeto estrutural com o uso do software Eberick envolve diversas peculiaridades, caracterizando-se como um trabalho predominantemente intelectual que apresenta uma série de desafios. Requer tanto conhecimento teórico quanto prático por parte do engenheiro, a fim de atender às especificações e normas recomendadas, além de considerar as condições reais da obra, visando garantir tanto a segurança quanto a praticidade da construção [17].

Embora a maioria das estruturas seja analisada por computador, o engenheiro projetista deve possuir uma compreensão do comportamento da estrutura para verificar se os resultados das análises computacionais são plausíveis. Falhas no dimensionamento não apenas acarretam custos elevados para o cliente, mas também podem resultar em lesões ou perdas de vidas [11].

METODOLOGIA

Os cálculos utilizados para o dimensionamento do projeto serão descritos, abrangendo tanto o método manual quanto o computacional. Para o dimensionamento de lajes maciças, há diversos métodos e diferentes literaturas para a realização do cálculo, tais como o método de Bares, Marcus, Placas, entre outros. Para este trabalho o cálculo manual, será utilizado o método de Teoria das Placas, enquanto para o cálculo computacional será empregado o software AltoQi Eberick V10 Basic. Com base no que será exposto e com o objetivo de determinar o método mais adequado para a realização de cálculos estruturais de uma laje maciça será realizada uma comparação dos resultados obtidos, permitindo avaliar possíveis discrepâncias entre os dois métodos.

O estudo de caso escolhido para este trabalho será a realização do dimensionamento das lajes de um prédio residencial de 8 pavimentos, sendo 7 pavimentos tipo e

pavimento térreo, com quatro apartamentos por andar, composto por sala, cozinha, varanda, dois quartos, banheiro e suíte, localizado na cidade de Jaraguá-GO, conforme Figura 1.

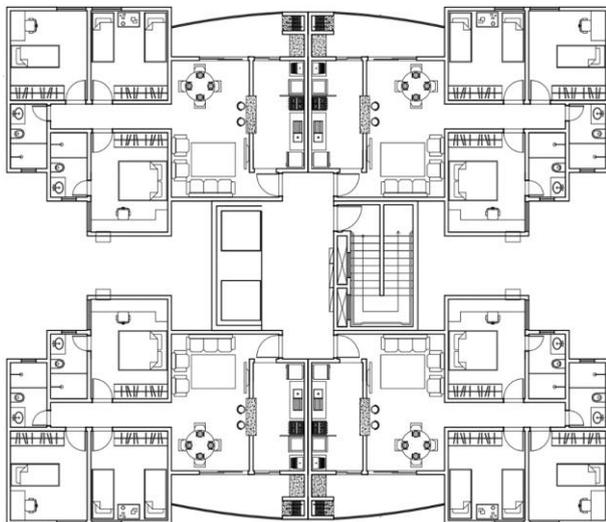


Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo

O processo de elaboração do projeto estrutural pelo método analítico pode ser dividido em etapas distintas: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento.

Na fase de concepção estrutural, o engenheiro é responsável por definir os dados dos materiais a serem utilizados, realizar um pré-dimensionamento e estabelecer as cargas e ações que incidirão sobre a estrutura.

Posteriormente, na etapa de análise estrutural, são efetuados os cálculos de esforços solicitantes e deslocamentos, como combinações, reações, momentos e flechas. Nesse estágio, o projetista aprimora os cálculos e se necessário redimensiona a estrutura para refletir com precisão as condições reais às quais estará sujeita.

A fase de dimensionamento e detalhamento é indispensável, pois nela serão realizados os cálculos de áreas de aço necessárias, mínimas e máximas para o projeto. Será também definido e calculado pelo projetista o diâmetro e espaçamento das armaduras. O produto final consiste na especificação de cada elemento para a execução na obra.

O processo de dimensionamento de lajes com o uso do software Eberick segue etapas semelhantes as citadas anteriormente, porém existe uma facilitação na análise dos esforços e deslocamentos da estrutura, bem como no dimensionamento dos elementos estruturais.

O software permite a modelagem, análise e detalhamento de projetos de concreto moldado in loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e lajes protendidas. Para estruturas de aço, possibilita a modelagem, análise e dimensionamento.

Possui ferramentas de alta produtividade que permitem editar e simular diferentes cenários de projeto, contribuindo para soluções estruturais eficientes. Além disso, oferece um ambiente para modelagem e definição dos carregamentos dos elementos estruturais, integração com outras disciplinas de projetos BIM e visualização simultânea do modelo 3D. Ele também identifica e exibe na tela os elementos com erros de dimensionamento e parâmetros que excedem os limites normativos.

Embora o dimensionamento e detalhamento seja em grande parte automatizada, é indispensável a análise do projetista devido à possibilidade de condições especiais que podem não ser consideradas automaticamente pelo software.

Ao término do processo, é necessário realizar a emissão de plantas que englobem todos os desenhos e especificações necessárias para a execução de cada elemento na obra, além de incluir o carimbo contendo as informações do projetista.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os cálculos realizados pelo software Eberick, quando comparados com os cálculos manuais, apresentaram valores maiores em algumas situações, como nos esforços finais. Isso resulta em armaduras mais elevadas, pois é necessária uma área de aço maior para resistir a tais esforços. Como consequência, ao comparar os custos das duas abordagens, o dimensionamento pelo Eberick apresentou um custo mais elevado devido ao superdimensionamento da estrutura [18].

tanto o cálculo realizado pelo *software* Eberick quanto o cálculo analítico (manual) resultaram em áreas de aço superiores ao mínimo exigido pela norma NBR 6118/2023. As diferenças observadas por eles no cálculo feito pelo *software* Eberick foram maiores em aproximadamente 50% para as armaduras positivas e 90% para as armaduras negativas em comparação com a área de aço obtida pelo método manual [19].

O Eberick fornece soluções confiáveis de análise estrutural. Porém, ressalta-se a importância do uso do cálculo analítico para modelos simétricos e retangulares, sem alteração geométrica dos pavimentos, pois esses métodos fornecem uma resposta coerente com o comportamento real da estrutura [20].

Com base no conhecimento adquirido e nos dados apresentados, supõe-se que o dimensionamento realizado pelo software Eberick seja superdimensionado em comparação com o dimensionamento manual. Isso ocorre devido aos fatores de segurança mais elevados utilizados em algumas partes do cálculo pelo software.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em tudo que foi abordado e exposto, pode-se concluir que a etapa de elaboração de um projeto estrutural é fundamental para a execução de uma obra, pois evita futuros erros ou superdimensionamento da estrutura.

Embora o dimensionamento de lajes seja facilitado pelo software, a análise do projetista é essencial para o bom desempenho do projeto e sua usabilidade. O software realizar grande parte dos cálculos, porém há dados que o engenheiro deve definir com base em sua experiência.

REFERÊNCIAS

- 1 MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; AMORIM, Sérgio Roberto Leusin de. **O subsector de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à união europeia e aos estados unidos**. Production, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009. FapUNIFESP (SciELO).

- 2 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Contas Nacionais. Diretoria de Pesquisas. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- 3 BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. **O conceito histórico de desenvolvimento econômico**. 2006.
- 4 TEIXEIRA, Luciene Pires; CARVALHO, Fátima Marília Andrade de. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira**. Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba – Pr, n. 109, p. 09-26, jul./dez. 2005.
- 5 OLIVEIRA, Marcelo Moizinho. **O uso de softwares na construção civil**. AEC. São Paulo, 2012, IFTO. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/docs>>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- 6 SILVA, Ítalo Lucas Gonzaga e. **Análise estrutural de lajes nervuradas treliçadas: Comparação de Resultados Entre o Cálculo Analítico Segundo a NBR 6118:2014 e o Software Computacional AltoQi Eberick**. 2018. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru - Pe, 2018.
- 7 COSTA, João Victor Rufino de Souza. **Estudo comparativo entre um dimensionamento de lajes maciças feito nos softwares eberick e excel**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Área Acadêmicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2021.
- 8 LEONHARD, F.; MONNIG, E. (1977). **Construções de concreto**. Rio de Janeiro, Interciência. v.1-4.
- 9 KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1. Ed. São Paulo: Pini, 2007.

- 10 SOUZA JÚNIOR, Tarley Ferreira de. **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. Lavras, 2012.
- 11 LEET, Kenneth M.; UANG, Chia-Ming; GILBERT, Anne M. **Fundamentos da Análise estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2009.
- 12 QUINZA, E. A **História do Concreto**. Civilização Engenharia, Works 2017. Disponível em <http://www.howconcreteworks.com/>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- 13 HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2017. Cap. 29. p. 905-944
- 14 ARAÚJO, J. M. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado**. 3 Ed. Dunas, 2014, Rio Grande.
- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
- 16 BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de Concreto**. São Paulo. 2005.
- 17 CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- 18 AGNOLETO FILHO, Jaime Eduardo. **Dimensionamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado utilizando o software eberick e calculando manualmente**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.
- 19 SOUZA, Dênis José Rodrigues de; SILVA JÚNIOR, Jânio. **Análise comparativa entre o uso de um software computacional e do cálculo manual no dimensionamento de lajes maciças**. 2020. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2020.
- 20 DELALIBERA, R. G.; DA SILVA, W. A.; LACERDA, M. M. S.; FLORÊNCIO, Ágatha C. **Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado**: estudo de caso. REEC: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 9, 2014.