

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Civil

AMANDA FERRAZ ASSIS FERREIRA
LUANA DIAS DE CASTRO

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS
ENTRE O *SOFTWARE* EBERICK® E O MÉTODO ANALÍTICO (BARÉS)

Publicação Nº 03

Goianésia - GO
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

FERREIRA, AMANDA FERRAZ ASSIS; CASTRO, LUANA DIAS DE.

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS ENTRE O *SOFTWARE* EBERICK® E O MÉTODO ANALÍTICO (BARÉS). 2024, 15P (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2024).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. LAJES MACIÇAS | 2. EBERICK® |
| 3. CÁLCULO MANUAL | 4. COMPARATIVO |
| I. ENC/FACEG | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERREIRA, Amanda Ferraz Assis; CASTRO, Luana Dias de. ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS ENTRE O *SOFTWARE* EBERICK® E O MÉTODO ANALÍTICO (BARÉS). Artigo, Publicação 03 2024/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 15p. 2024.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Amanda Ferraz Assis Ferreira; Luana Dias de Castro

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Análise comparativa do dimensionamento de lajes maciças entre o *software* Eberick® e o método analítico (Barés).

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2024

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Documento assinado digitalmente
 AMANDA FERRAZ ASSIS FERREIRA
 Data: 18/12/2024 19:35:04-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Amanda Ferraz Assis Ferreira
 Rua 40, São Cristóvão
 76381-161 - Goianésia/GO – Brasil

Documento assinado digitalmente
 LUANA DIAS DE CASTRO
 Data: 16/12/2024 09:56:02-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luana Dias de Castro
 Rua 29, São Cristóvão
 76381-128 - Goianésia/GO – Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG**

Aprovados por:

Documento assinado digitalmente
 **ROBSON DE OLIVEIRA FELIX**
Data: 17/12/2024 08:19:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Robson Felix de Oliveira, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**

Documento assinado digitalmente
 **IGOR CEZAR SILVA BRAGA**
Data: 17/12/2024 10:40:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Igor Cezar Silva Braga, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

Documento assinado digitalmente
 **JOAQUIM ORLANDO PARADA**
Data: 18/12/2024 18:02:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Joaquim Orlando Parada, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS ENTRE O SOFTWARE EBERICK® E O MÉTODO ANALÍTICO (BARÉS)

Amanda Ferraz Assis Ferreira¹, Luana Dias de Castro², Robson de Oliveira Felix³

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

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

³ Orientador(a) e 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 visam 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 (método de Barés) 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, foram analisados os resultados dos cálculos realizados manualmente com base na NBR 6118/2023 e dos realizados através do *software* Eberick®. Foram avaliadas as áreas de aço e o custo para execução de um projeto estrutural de uma edificação entre os dois métodos. A análise comparativa mostrou que o *software* Eberick® gera áreas de aço maiores que os cálculos manuais, resultando em custos mais elevados. A análise revelou que, pelo método de Barés, o custo final foi de R\$ 16.473,33, enquanto o *software* Eberick® inicialmente gerou um custo de R\$ 31.073,25, uma diferença de R\$ 14.599,92. Após ajustes nas condições de rigidez dos elementos de apoio, e desconsiderar vento e desaprumo, o custo com o *software* foi reduzido para R\$ 19.550,41, diminuindo a diferença para R\$ 3.077,08, correspondendo a uma diferença de 19%. Embora envolva um custo mais elevado, possibilita projetar com maior agilidade, reduzindo significativamente os custos por hora de projeto.

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

Abstract: The development of a structural design for a building requires critical criteria and stages aimed at ensuring its sustainability and safety. For the structural designer, the first component usually designed is the slabs, which are responsible for supporting the building's usage loads and transmitting them to the other structural elements. Although manual calculations were widely used for a long time, computational software has gained prominence, primarily due to the acceleration of the design process. However, this often results in increased material consumption due to the overdesign of structures. In this context, this study aims to conduct a comparative analysis between analytical calculations (Barés method) and calculations performed using the software Eberick® for solid slabs, to determine which method provides more reliable results for developing this structural element. In this comparative study, the results of manual calculations based on NBR 6118/2023 and those performed using the Eberick® software were analyzed. The steel areas and costs associated with executing a structural project for a building were evaluated for both methods. The comparative analysis showed that the Eberick® software generates larger steel areas than manual calculations, resulting in higher costs. The analysis revealed that, using the Barés method, the final cost was R\$ 16,473.33, while the Eberick® software initially generated a cost of R\$ 31,073.25—a difference of R\$ 14,599.92. After adjustments to the stiffness conditions of the support elements and disregarding wind and misalignment, the cost using the software was reduced to R\$ 19,550.41, narrowing the difference to R\$ 3,077.08, corresponding to a 19% difference. Although it involves a higher cost, the software allows for faster design development, significantly reducing hourly design costs.

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 eles 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 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 dele.

Contudo, com a constante modernização dos *softwares* de dimensionamento e detalhamento estrutural, as verificações estruturais tornaram-se mais fáceis, 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, novos softwares se destacaram pela combinação de diversas 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 consequentemente 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 comparar o cálculo estrutural de lajes utilizando dois métodos distintos, o cálculo analítico (método de bares) e o cálculo com uso do *software* Eberick®, e posteriormente comparar as possíveis discrepâncias entre os resultados obtidos.

REFERENCIAL TEÓRICO

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 predominantemente pelo concreto [10].

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 [11].

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) [12].

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 cogumelo, cada uma adaptada para atender às exigências estruturais e estéticas do projeto [13].

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 [14].

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 [16].

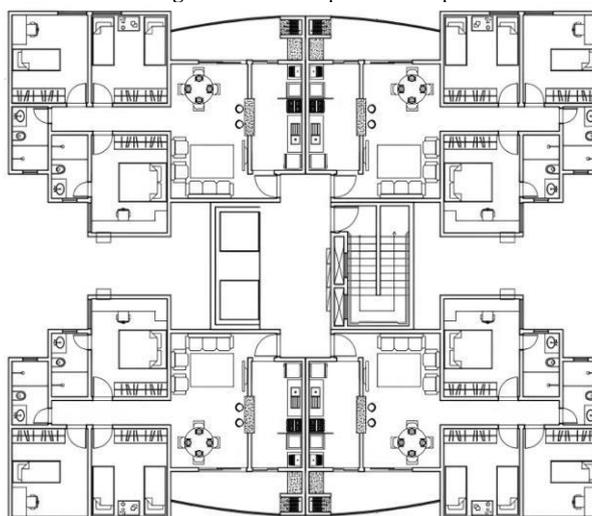
Nas lajes, as formas geométricas podem variar, porém a forma retangular é predominante na maioria dos casos práticos, e com o avanço dos programas computacionais no Brasil, é possível calcular e dimensionar as lajes para qualquer forma geométrica e carga específica com facilidade [17]. A elaboração de 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 [18]. 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 acarretam custos elevados para o cliente, mas também podem resultar em lesões ou risco a vida [19].

METODOLOGIA

Os cálculos utilizados para o dimensionamento do projeto foram 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 o cálculo manual deste trabalho, foi utilizado o método de Bares, enquanto o cálculo computacional foi empregado o *software* AltoQi Eberick® V10 Basic. Com base no exposto e com o objetivo de determinar o método mais adequado para a realização de cálculos estruturais de uma laje maciça, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos, permitindo avaliar possíveis discrepâncias entre os dois métodos. O estudo de caso escolhido para este trabalho foi 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 do pavimento Tipo



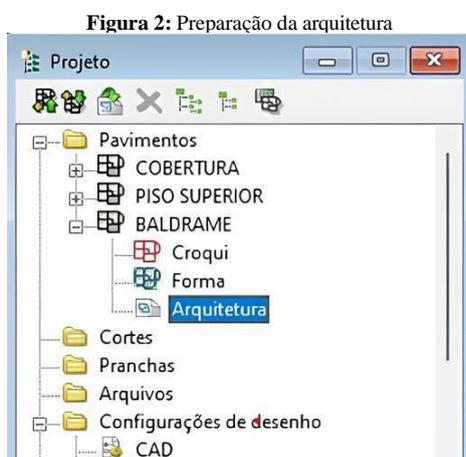
Fonte: Próprio autor, 2024.

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.

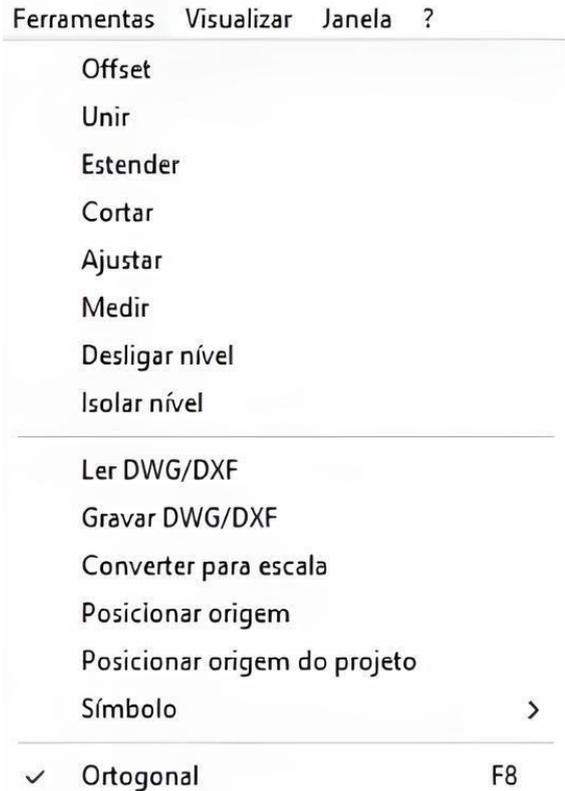
A fase de dimensionamento e detalhamento é indispensável, pois nela são realizados os cálculos de áreas de aço necessárias, mínimas e máximas para o projeto. Foi também definido e calculado pelo projetista o diâmetro e espaçamento das armaduras. O produto final consiste na especificação de cada elemento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

Para o lançamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) no *software* Eberick® v10, é essencial preparar a arquitetura para lançar esses componentes. Realiza-se um duplo clique sobre o esboço nomeado "Arquitetura" do pavimento que se deseja iniciar o projeto, conforme ilustrado na Figura 2. Com a aba da arquitetura aberta, deve-se importar o arquivo externo com a ferramenta "Ler DWG/DXF", para inserir a planta arquitetônica, conforme Figura 3.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 3: Janela para inserção da arquitetura (Ler DWG/DXF)



Fonte: Próprio autor, 2024.

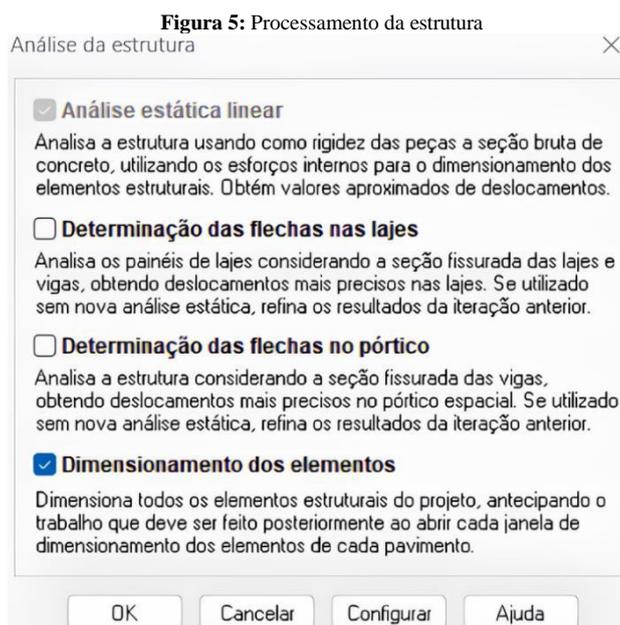
No croqui do pavimento, procede-se ao lançamento dos pilares, seguido pelo lançamento das vigas baldrame. Na janela de lançamento dos pilares, define-se uma seção retangular para esses elementos estruturais. Após configurar as características desejadas, conclui-se o lançamento do pilar clicando em "OK". Para lançar os demais pilares, repete-se o procedimento realizado anteriormente para o pilar P1. Posteriormente, realiza-se a conversão dos pilares em fundação. Após finalizar o lançamento dos pilares e vigas no pavimento baldrame, deve-se iniciar o lançamento do próximo pavimento. Esse processo pode ser realizado copiando o croqui do pavimento anterior e ajustando-o conforme necessário, ou realizando o lançamento dos pilares e vigas do novo pavimento de forma independente. Em seguida, procede-se ao lançamento das lajes do pavimento. Na janela de lançamento de lajes, definem-se as características das lajes de acordo com o projeto, como cargas específicas, carga de revestimento e espessura inicial. Após configurar essas características, o programa solicita a ação "ponta de laje dentro", ou seja, para realizar o lançamento da laje, este

deve ser feito dentro do contorno de cada laje delimitada pelas vigas de sustentação do pavimento e finalizado pressionando *Enter*, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Lançamento da laje L1

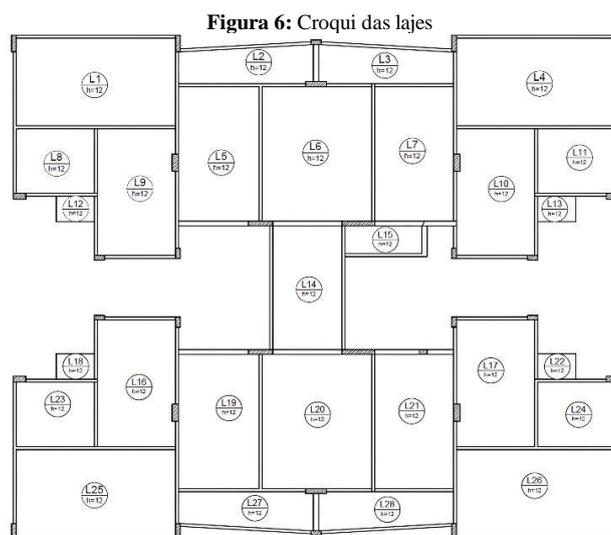
Fonte: Próprio autor, 2024.

Após o lançamento, se copia o croqui para todos os pavimentos que possuem a mesma configuração e, em seguida, deve-se "Processar" o projeto. Para realizar esse processamento, acessa-se o menu de comandos do programa, selecionando Estrutura > Processamento da Estrutura, e em seguida pressiona-se a opção "OK", conforme ilustrado na Figura 5. Nesse momento, o *software* realizará o cálculo dos elementos estruturais lançados com base nas configurações definidas pelo usuário. Nesta etapa, o *software* avalia e dimensiona estruturalmente todos os elementos da edificação, incluindo lajes, vigas, pilares e fundação. Isso envolve a verificação da estabilidade geral da estrutura, com o cálculo de momentos fletores, torcionais, cortantes, normais e flechas, entre outros.



Fonte: Próprio autor, 2024.

A Figura 6 mostra como foi definido o contorno de cada laje, ilustrando o croqui do pavimento tipo.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Foram dimensionados 26 painéis de laje maciça em concreto armado, englobando lajes em uma ou duas direções, além de lajes completamente engastadas ou apoiadas, e lajes em balanço.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos após o lançamento e a análise no *software* Eberick® V10, juntamente com os

valores obtidos pelo dimensionamento manual estão descritos a seguir. Os dados foram organizados em tabelas e gráficos para facilitar a comparação e interpretação.

Resultados das áreas de aço no método analítico

Após o pré-dimensionamento e o dimensionamento manual da estrutura, onde foram calculados a altura da laje, as cargas permanentes, as flechas, os esforços e os momentos, prosseguiu-se com o cálculo da área de aço. Os resultados obtidos pelo método analítico estão apresentados nos Quadros 1 e 2, que exibem, respectivamente, os valores da área de aço positiva e negativa.

Tabela 1 – Valores da área de aço positiva no método analítico

LAJE	As _x (cm ² /m)	As _y (cm ² /m)
L1	2,83	1,23
L2	0,98	1,83
L3	0,98	1,83
L4	2,83	1,23
L5	1,51	1,23
L6	3,14	1,79
L7	1,51	1,23
L8	1,23	1,23
L9	1,31	1,23
L10	1,31	1,23
L11	1,23	1,23
L12	0,98	0,98
L13	0,98	0,98
L14	2,08	3,35
L15	0,98	1,83
L16	1,31	1,23
L17	1,31	1,23
L18	0,98	0,98
L19	1,51	1,23
L20	3,14	1,79
L21	1,51	1,23
L22	0,98	0,98
L23	1,23	1,23
L24	1,23	1,23
L25	2,83	1,23
L26	2,83	1,23
L27	0,98	1,83
L28	0,98	1,83

Fonte: Próprio autor, 2024

As_x representa os valores da área de aço positiva na direção x, enquanto As_y indica os valores correspondentes na direção y.

As áreas de aço negativa são apresentadas não em relação à direção x ou y, mas sim conforme o engastamento

com a laje correspondente. O Quadro 2 apresenta os valores das áreas de aço negativa no método analítico nos pontos de engastamento entre as lajes descritas.

Tabela 2 – Valores da área de aço negativa no método analítico

LAJE	As (cm ² /m)
L1 E L2	3,87
L1 E L8	2,79
L1 E L9	3,14
L1 E L5	3,87
L4 E L3	3,87
L4 E L7	3,87
L4 E L10	3,14
L4 E L11	2,79
L25 E L19	3,87
L25 E L16	3,14
L25 E L23	3,87
L25 E L27	3,87
L26 E L24	2,79
L26 E L17	3,14
L26 E L21	3,87
L26 E L28	3,87
L20 E L21	3,35
L20 E L14	4,57
L20 E L19	3,35
L20 E L27	4,36
L20 E L28	4,36
L6 E L7	3,35
L6 E L3	4,36
L6 E L2	4,36
L6 E L5	3,35
L6 E L14	4,57
L19 E L16	1,83
L19 E L27	1,83
L21 E L17	1,83
L21 E L28	2,08
L5 E L2	2,08
L5 E L9	1,83
L7 E L10	1,83
L7 E L3	2,08
L7 E L15	2,08
L9 E L12	-
L10 E L13	-
L16 E L18	-
L17 E L22	-
L11 E L13	12,27
L24 E L22	12,27
L23 E L18	12,27
L14 E L15	1,83
L2 E L3	1,83
L27 E L28	1,83
L8 E L12	-

Fonte: Próprio autor, 2024

Resultados das áreas de aço do *software* Eberick®

Após a inserção de toda a estrutura, composta por 7 pavimentos, no *software* Eberick® V10, incluindo fundações, pilares, vigas e lajes, e após o ajuste das

configurações iniciais, foi realizada uma análise detalhada da estrutura para identificar eventuais erros. Após essa revisão, foram gerados os relatórios contendo as áreas de aço negativa e positiva. Os resultados obtidos pelo Eberick® foram apresentados nos Quadros 3 e 4, correspondendo, respectivamente, à área de aço positiva e à área de aço negativa.

Tabela 3 – Valores da área de aço positiva pelo Eberick® V10

LAJE	As _x (cm ² /m)	As _y (cm ² /m)
L1	4,19	3,87
L2	3,87	1,23
L3	1,23	4,19
L4	3,87	3,87
L5	1,23	4,36
L6	2,96	3,14
L7	1,95	4,36
L8	2,23	3,59
L9	7,14	4,91
L10	7,14	4,91
L11	2,23	3,59
L12	0,93	4,19
L13	0,93	4,19
L14	1,83	1,23
L15	0,93	1,95
L16	4,62	4,91
L17	4,36	4,91
L18	0,93	5,61
L19	1,23	4,36
L20	2,96	3,35
L21	0,93	4,62
L22	1,23	5,61
L23	2,23	3,14
L24	2,08	2,96
L25	4,19	3,87
L26	4,19	3,87
L27	3,87	1,23
L28	3,87	1,23

Fonte: Próprio autor, 2024

As_x representa os valores da área de aço positiva na direção x, enquanto As_y indica os valores correspondentes na direção y.

Assim como no método analítico, aqui as áreas de aço negativa são apresentadas não em relação à direção x ou y, mas sim conforme o engastamento com a laje correspondente. O Quadro 4 apresenta as áreas de aço negativa determinadas através de lançamento e dimensionamento em *software* AltoQI Eberick® V10, apresentando as áreas de aço entre as lajes adjacentes engastadas.

Tabela 4 – Valores da área de aço negativa pelo Eberick® V10

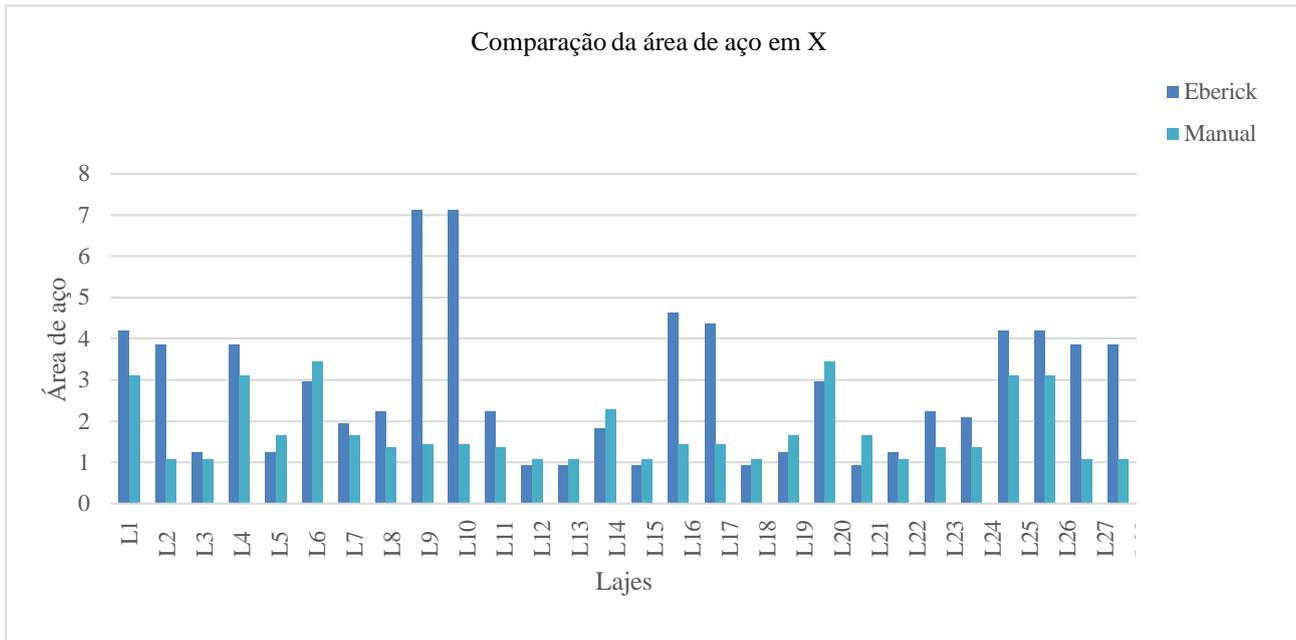
LAJE	As (cm ² /m)
L1 E L2	11,16
L1 E L8	2,51
L1 E L9	2,51
L1 E L5	8,18
L4 E L3	11,16
L4 E L7	7,67
L4 E L10	2,51
L4 E L11	2,51
L25 E L19	8,18
L25 E L16	2,51
L25 E L23	2,51
L25 E L27	11,16
L26 E L24	2,51
L26 E L17	3,51
L26 E L21	8,18
L26 E L28	7,22
L20 E L21	2,51
L20 E L14	8,18
L20 E L19	2,51
L20 E L27	8,18
L20 E L28	7,67
L6 E L7	2,51
L6 E L3	7,67
L6 E L2	8,18
L6 E L5	2,51
L6 E L14	8,77
L19 E L16	9,44
L19 E L27	2,51
L21 E L17	9,44
L21 E L28	2,51
L5 E L2	2,51
L5 E L9	9,44
L7 E L10	9,44
L7 E L3	2,51
L7 E L15	6,14
L9 E L12	1,83
L10 E L13	1,83
L16 E L18	1,83
L17 E L22	1,83
L11 E L13	7,67
L24 E L22	7,67
L23 E L18	7,67
L14 E L15	3,14
L2 E L3	1,83
L27 E L28	1,83
L8 E L12	7,67

Fonte: Próprio autor, 2024

Comparativo entre o Eberick® e Método Analítico

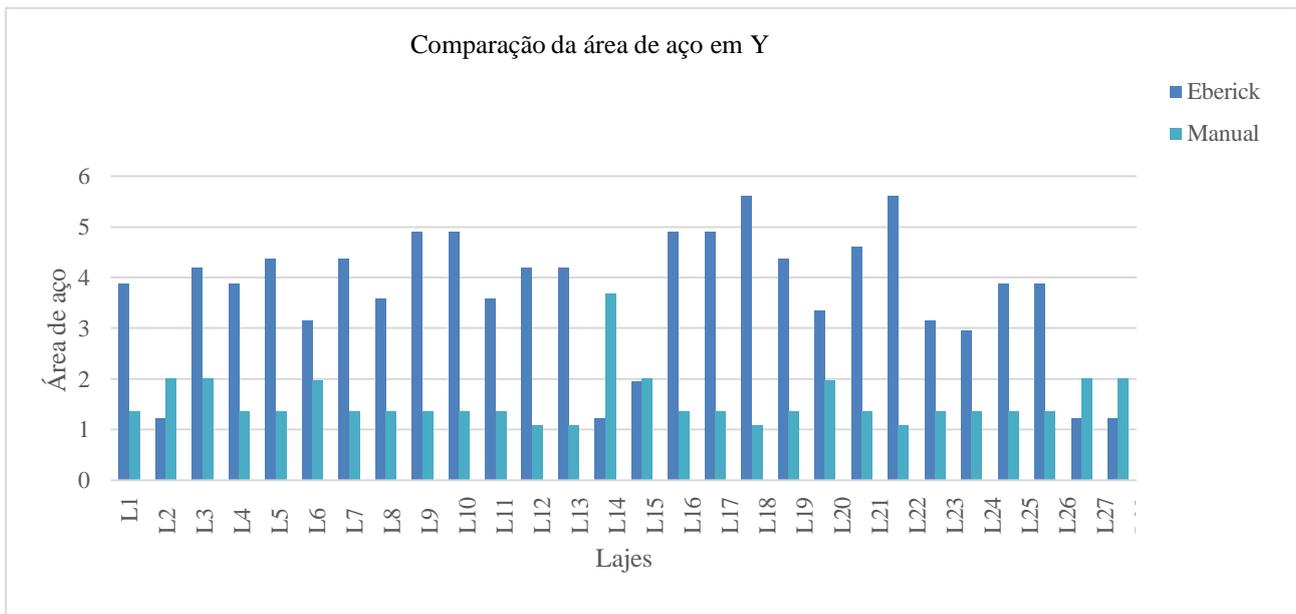
O objetivo deste tópico é comparar os resultados obtidos por ambas as metodologias, destacando as principais diferenças. Os dados foram apresentados através de figuras. A Figura 7 refere-se à área de aço positiva na direção x, enquanto a Figura 8 representa a área de aço na direção y.

Figura 7: Comparação entre os resultados obtidos entre os dois métodos da área de aço positiva em x.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Figura 8: Comparação entre os resultados obtidos entre os dois métodos da área de aço positiva em y



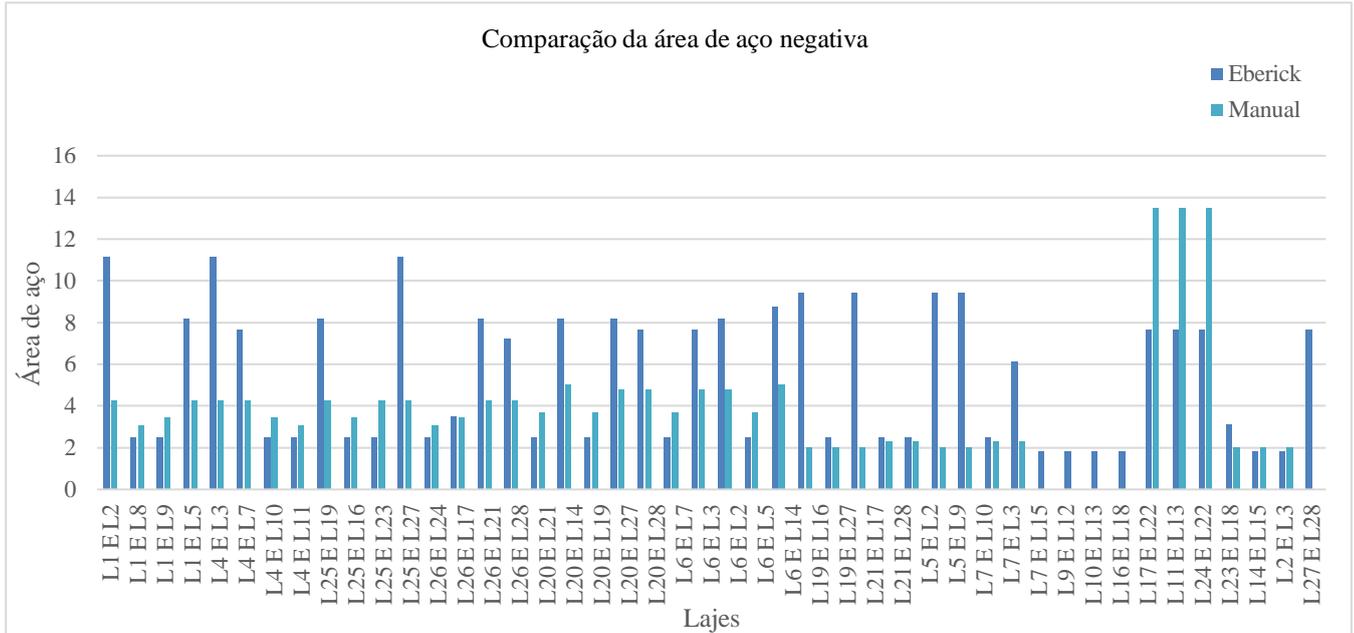
Fonte: Próprio autor, 2024.

Como demonstrado pela Figura 7, as maiores discrepâncias entre os métodos foram observadas nas lajes 2, 9, 10, 16, 17, 27 e 28, em que o resultado obtido pelo Eberick® foi muito superior ao analítico. Embora outras lajes também tenham apresentado variações nos resultados, estas não foram tão expressivas quanto as mencionadas.

Como demonstrado na Figura 8, na direção y, quase todas as lajes apresentaram diferenças significativas entre os métodos, com os resultados obtidos pelo Eberick® sendo superiores na maioria das lajes. Apenas nas lajes 14, 27 e 28 o método analítico obteve resultados superiores.

A Figura 9 refere-se à área de aço negativa entre os dois métodos.

Figura 9: Comparação entre os resultados obtidos entre os dois métodos da área de aço negativa



Fonte: Próprio autor, 2024.

As áreas de aço negativas apresentaram, em sua maioria, diferenças significativas entre os resultados do Eberick® e cálculo manual, com os valores do Eberick® sendo superiores em quase todas as lajes. No entanto, entre as lajes 11 e 13, 24 e 22, 23 e 18, os valores obtidos pelo cálculo manual foram maiores. Em relação às lajes 9 e 12, 10 e 13, 16 e 18, 17 e 22, o cálculo manual não resultou em áreas de aço negativas, pois, para esse método, a laje em balanço (lajes 12, 13, 18 e 22) foi engastada em apenas uma direção, sendo as lajes de apoio as lajes 8, 11, 23 e 24.

Comparativo de custo entre o Eberick® x Método Analítico

Após o dimensionamento das armaduras longitudinais de todas as lajes e a quantificação dos comprimentos e quantidades de barras de aço, foi elaborada uma estimativa de custo final com base nos resultados obtidos pelos dois métodos.

As tabelas do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI) da região de Goiás foram adotadas como referência para a definição dos preços de cada barra de aço utilizada (Quadro 5). O relatório de insumos e composições considerado foi o de setembro de 2024. É importante destacar que os valores

calculados contemplam apenas o custo do insumo, sem incluir a mão de obra.

Tabela 5 – Valores das barras de aço

Diâmetro da barra (mm)	5	6,3	8	10	12,5
Custo unitário por kg (R\$/kg)	7,51	8,38	8,43	7,94	6,88

Fonte: SINAPI (2024).

O Quadro 6 apresenta a quantidade total de barras de aço para cada diâmetro selecionado, enquanto o Quadro 7 exhibe o comparativo final dos custos dessas armaduras.

Tabela 6 - Quantidade total de barras de aço para as armaduras das lajes

Diâmetro da barra (mm)	Eberick®		Manual	
	Quantidade (kg)	n° de barras	Quantidade (kg)	n° de barras
5	132,1	79	881,3	525
6,3	175,3	66	360,4	135
8	1524,4	354	596,3	138
10	997,6	149	95,5	14
12,5	1139,5	109	152,5	15

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Tabela 7 - Comparativo de custos

CUSTO FINAL		
Eberick ®	Cálculo Manual	Diferença
R\$ 31.073,25	R\$ 16.473,33	R\$ 14.599,92

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Obteve-se uma diferença final de R\$ 14.599,92 nos custos para a execução de todas as lajes de cada pavimentos tipo, ou seja, uma diferença de aproximadamente 89% em relação ao valor do cálculo manual.

As diferenças obtidas entre os dois métodos podem ser explicadas por diversos fatores. O *software* Eberick® considera alguns aspectos ao calcular a estrutura, como por exemplo, a carga de vento e o desaprumo estrutural, dado que, na execução de um projeto estrutural em obra, dificilmente se atinge 100% de alinhamento devido às inúmeras variáveis envolvidas. No *software*, foi modelado o prédio completo, permitindo a análise integrada de todos os elementos, como pilares, vigas, fundações e lajes, e suas interações. No método analítico, entretanto, a análise foi realizada com as lajes de forma isolada, desconsiderando a interação com o restante da estrutura.

Dênis e Jânio, também identificaram diferenças nos valores das áreas de aço, e atribuíram ao fato de o *software* ter considerado, em seu cálculo dos momentos, a rigidez à torção. No método manual, entretanto, a estrutura foi calculada de forma isolada, assumindo-se uma estrutura perfeita, sem deslocamentos ou deformações dos elementos de apoio como as vigas. *Softwares* como o Eberick® são capazes de considerar efeitos de segunda ordem (não-linearidades geométricas e de material), especialmente em situações de carga elevada ou deformações significativas [17].

Ainda segundo Dênis e Jânio, o *software* considera as vigas deformáveis e o método analítico considera como rígidas, o que faz ter essa diferença entre os resultados obtidos entre os dois métodos, pois como o Eberick® considera a interação global da estrutura, ele pode redistribuir automaticamente esforços nas lajes e nas vigas conectadas [17].

Conforme Jaime, o programa utiliza um modelo com menos simplificações, tornando-o mais realista em relação aos esforços presentes na estrutura. Por esse motivo, há diferenças nos valores obtidos entre os dois

métodos, apresentando um resultado estrutural mais robusto para o desenvolvido em *software* [16].

Para uma análise comparativa ainda mais precisa entre os métodos, foi realizado um novo lançamento considerando que as lajes estão apoiadas em vigas rígidas, ou seja, sem a deformação estrutural observada no primeiro lançamento. Nesse cenário, as vigas foram dimensionadas com altura de 2,0 m, e os pavimentos superiores foram removidos, eliminando os efeitos do vento, desaprumo e as sobrecargas provenientes de outros pavimentos. A partir dessas condições, foram obtidos os resultados apresentados nos Quadros 8 e 9.

Tabela 8 - Quantidade total de barras de aço para as armaduras das lajes

Diâmetro da barra (mm)	Eberick®		Manual	
	Quantidade (kg)	n° de barras	Quantidade (kg)	n° de barras
5	940,8	509	881,3	525
6,3	184,3	63	360,4	135
8	545,0	116	596,3	138
10	618,0	84	95,5	14
12,5	209,2	19	152,5	15

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Tabela 9 - Comparativo de custos

CUSTO FINAL		
Eberick ®	Cálculo Manual	Diferença
R\$ 19.550,41	R\$ 16.473,33	R\$ 3.077,08

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Obteve-se uma diferença final de R\$ 3.077,08 nos custos para a execução de todas as lajes do pavimento tipo, ou seja, uma diferença de aproximadamente 19% em relação ao valor do cálculo manual.

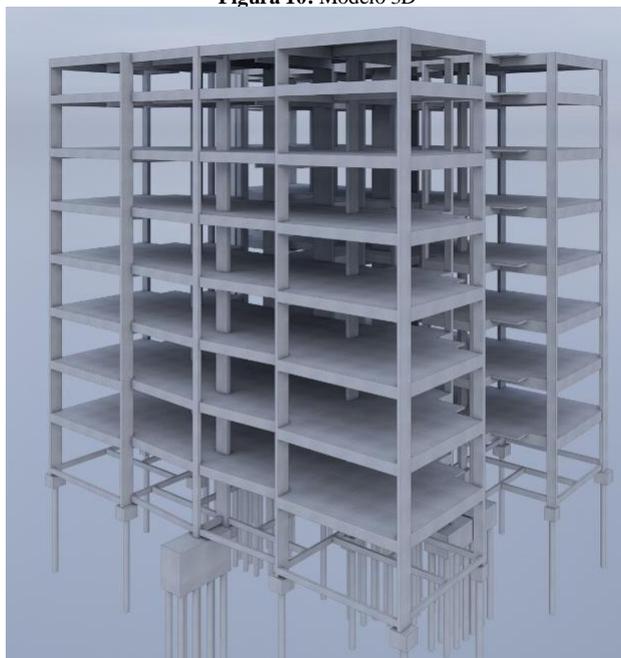
Com isso, compreende-se que a análise de Dênis e Jânio foi assertiva, uma vez que os resultados obtidos pelo *software* Eberick® confirmam a maior precisão e realismo na modelagem estrutural ao considerar as vigas como elementos deformáveis. Essa abordagem, em contraste com o método analítico que simplifica as vigas como rígidas, evidencia a relevância de ferramentas computacionais que incorporam a interação global da

estrutura e redistribuem automaticamente os esforços, resultando em análises mais próximas das condições reais.

Ademais, a observação de Jaime reforça essa perspectiva ao destacar que o modelo computacional reduz simplificações, permitindo identificar esforços redistribuídos entre os elementos estruturais conectados, o que não seria captado adequadamente por métodos analíticos tradicionais. Assim, o *software* não apenas fornece resultados mais robustos para o dimensionamento estrutural, mas também promove maior segurança e eficiência no desenvolvimento de projetos complexos.

A Figura 10 apresenta o modelo 3D da estrutura completa, que é gerada após conclusão do lançamento dos elementos estruturais em *software* Eberick®.

Figura 10: Modelo 3D



Fonte: Próprio autor, 2024.

CONCLUSÃO

Durante a análise comparativa dos elementos estruturais selecionados, observou-se que o *software* estrutural apresenta, de modo geral, valores de esforços finais superiores aos obtidos por meio da análise manual. Quando um método de cálculo gera valores de esforços maiores nos elementos estruturais, isso resulta em armaduras de maior dimensão, implicando, por

consequente, em um aumento nos custos finais da execução do projeto.

Pelo método analítico, o custo final foi de R\$ 16.473,33, enquanto o Eberick® gerou um custo de R\$ 31.073,25, uma diferença de R\$ 14.599,92, que corresponde a aproximadamente 89%. Quando as condições de rigidez foram ajustadas, o custo gerado pelo *software* foi reduzido para R\$ 19.550,41, diminuindo a diferença para R\$ 3.077,08 (aproximadamente 19%).

O método Bares aplica conceitos fundamentais da análise estrutural, como condições de equilíbrio, tipos de ligações, entre outros. No entanto, não apresenta vantagem quanto a velocidade de execução dos cálculos do projeto.

Em contrapartida, a utilização da ferramenta Eberick® V10, embora envolva um custo mais elevado, possibilita projetar com maior agilidade, reduzindo significativamente os custos por hora de projeto. Adicionalmente, oferece uma análise mais aprofundada da estrutura. Contudo, sua principal limitação reside na necessidade de que os resultados sejam sempre validados pelo conhecimento técnico do engenheiro, garantindo a precisão e a segurança do projeto.

Para estudos futuros sobre este tema, sugere-se a inclusão de um comparativo envolvendo os elementos de fundação, vigas e pilares, que não foram abordados neste trabalho. Recomenda-se também a análise de toda a estrutura calculada manualmente. No entanto, para minimizar a disparidade no tempo de conclusão dos projetos pelas duas metodologias de cálculo, seria preferível a escolha de um edifício de menores dimensões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; AMORIM, Sérgio Roberto Leusin de. O subsetor 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: . 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. QUINZA, E. A História do Concreto. Civilização Engenharia, Works 2017. Disponível em <http://www.howconcreteworks.com/>. Acesso em: 16 mar. 2024.
 11. 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
 12. ARAÚJO, J. M. Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado. 3 Ed. Dunas, 2014, Rio Grande.
 13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
 14. BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Lajes de Concreto. São Paulo. 2005.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. LEET, Kenneth M.; UANG, Chia-Ming; GILBERT, Anne M. Fundamentos da Análise estrutural. 3. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2009. FIORINI, M.; **Facetas de porcelana**. Florianópolis: 2014