

COMPARATIVO DO CONSUMO DE AÇO DE LAJES SUBMETIDAS À FLEXÃO DIMENSIONADAS POR SOFTWARES E TABELAS

ANTONIO RODRIGO DO CARMO MOREIRA¹, HERIBERTO RODRIGUES DE FIGUEIREDO²,
VANESSA SOUSA SILVA³ e HUGO RICARDO AQUINO SOUZA DA SILVA⁴

¹Graduando em Engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, rdc007@gmail.com

²Engenheiro Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, heriberto.rodrigues@gmail.com

³Engenheira Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, vanessasilva.3655@gmail.com

⁴MS.c. Prof. Titular, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, hugoricardoaquino@yahoo.com.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo comparar os quantitativos de aço obtidos no dimensionamento de uma laje maciça de concreto armado, pelo método de cálculo de planilhas eletrônicas e pela utilização de softwares, dentro dos parâmetros e recomendações da ABNT NBR 6118/2014. Para efeitos de comparação, foi dimensionada a laje de uma residência utilizando planilhas eletrônicas, com o auxílio das tabelas de Czerny, e por meio dos softwares de modelagem estrutural, Eberick e Cypecad. Na análise, não foi levado em consideração o dimensionamento das vigas e dos pilares. O estudo delimitou-se à laje do pavimento superior de uma residência projetada para a pesquisa. Desta forma, efetuou-se o dimensionamento manual através de planilhas, até a obtenção das armaduras e levantamento das quantidades de aço. Em seguida, o mesmo pavimento foi modelado e dimensionado nos softwares em questão, com a emissão das pranchas e relatórios. Com os resultados obtidos foi possível atestar que o método de dimensionamento manual apresentou o maior custo de aço, enquanto os quantitativos gerados pelos softwares foram semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Quantitativos de aço, dimensionamento de lajes, planilhas eletrônicas, softwares de modelagem estrutural.

COMPARISON OF STEEL CONSUMPTION OF LABS SUBMITTED TO FLEXION DIMENSIONED BY SOFTWARE AND TABLES

ABSTRACT: This work aims to compare the steel quantites obtained in the design of a solid slab of reinforced concrete, by the spreadsheet calculation method and by the use of softwares, within the parameters and recommendations of ABNT NBR 6118/2014. For the purposes of comparison, the slab of a residence was used using spreadsheets, with the help of the Czerny tables, and through the structural modeling software, Eberick and Cypecad. In the analysis, the design of the beams and columns was not taken into account. The study was delimited to the slab of the upper floor of a residence designed for the research. In this way, manual scaling was carried out through spreadsheets, until obtaining the armatures and lifting the quantities of steel. Then, the same pavement was modeled and scaled in the software in question, with the emission of the boards and reports. With the results obtained it was possible to attest that the manual dimensioning method presented the highest steel cost, while the quantitative ones generated by the software were similar.

KEYWORDS: Quantitative, scaffolding, spreadsheets, structural modeling software.

INTRODUÇÃO

O dimensionamento estrutural é um trabalho que requer um teor intelectual categórico, pois demanda noções práticas e teóricas em várias subáreas da engenharia, devido à complexidade das análises realizadas para obtenção de esforços que agem em uma estrutura. Desta forma, os desafios

advindos de projetos arquitetônicos, principalmente, atribuem grandes responsabilidades ao profissional que dimensiona tais estruturas.

Esta função cabe ao profissional calculista de estruturas, que utiliza seu vasto conhecimento para avaliar as possíveis cargas e deformações que podem atuar durante o uso da edificação e dimensiona os elementos para que suportem os esforços aplicados.

Dentre os elementos estruturais usuais em edificações de concreto armado, estão as lajes, viga, pilares e elementos de fundação. As lajes, de acordo com Araújo (2010), são os elementos que recebem a maioria das cargas decorrentes do uso do edifício, tendo a função de resistir e transmitir os esforços às vigas, ou no caso de lajes lisas, diretamente aos pilares.

Para dimensionamento de lajes existem métodos convencionais ou simplificados. Entre os mais usados estão os métodos de Marcus, Czerny, Bares e Ruptura, os quais utilizam tabelas e formulas particulares de cada método para adquirir os esforços e o dimensionamento, respeitando as condições de verificação impostas pela ABNT NBR 6118/2014.

Para Rocha (1986), as tabelas de Czerny oferecem resultados mais precisos que os obtidos com as tabelas de Marcus. Além disso, quando comparado com Bares, Marcus e Ruptura, fornece resultados satisfatórios tanto para as lajes retangulares como para as lajes com o formato próximo a um quadrado.

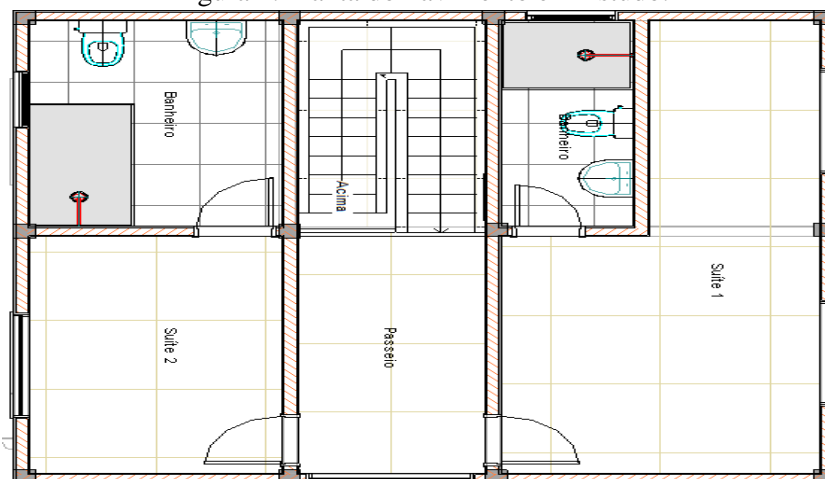
Entretanto, com o ingresso da informática na engenharia, surgiram os softwares de modelagem estrutural e cálculo automáticos, que ajudam no trabalho do projetista na etapa de elaboração e dimensionamento de estruturas. Estes softwares realizam análises avançadas fundamentadas no método dos elementos finitos e analogia de grelhas. Assim, o dimensionamento tornou-se mais eficiente, com um ganho de tempo significativo.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar o consumo de aço em função do dimensionamento de lajes submetidas à flexão, utilizando softwares de cálculo estrutural e planilhas eletrônicas. Os softwares adotados foram o Cypecad e o Eberick. Já as planilhas eletrônicas foram confeccionadas baseadas nos conceitos de Czerny.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi proposto um projeto fictício destinado a uso residencial. A casa possui uma área total de 103,50 m², sendo 51,75 m² no pavimento térreo e 51,75 m² no pavimento superior. Optou-se como objeto de estudo apenas o quantitativo de aço da laje do pavimento superior (Figura 1).

Figura 1. Planta do Pavimento em Estudo.



Fonte: Autores (2019).

Para a realização da comparação, foi modelado a mesma estrutura com laje maciça para todos os métodos propostos, tanto para a análise nos softwares quanto para o dimensionamento em planilhas.

Para a concepção estrutural, foram respeitadas e seguidas as orientações da ABNT NBR 6118/2014. Desta forma, considerando que o local de construção do pavimento em estudo é no meio urbano, foi definido o nível de agressividade classe II. Assim, para as condições de agressividade adotada, foi empregado o uso de concreto com resistência mínima característica a compressão de 25

MPa e peso específico aparente de 25 KN/m^3 , bem como aço do tipo CA-50 e CA-60 com resistência característica a tração mínima de 500 Mpa e módulo de elasticidade igual a 210 GPa.

No dimensionamento manual por planilhas, com auxílio das tabelas de Czerny, foram calculados os valores da resistência de cálculo (R_d) dos materiais, aplicando os coeficientes de minoria de resistência (γ_m), além da determinação das combinações de esforços utilizado o método dos estados limites. Também foram determinados os vãos teóricos, a classificação das lajes quanto à direção da armação e os vínculos, o pré-dimensionamento da espessura, os cálculos das ações, os esforços de dimensionamento, a compatibilidade dos momentos e verificação d flechas.

No dimensionamento pelo Cypecad o cálculo estrutural é realizado através de um pórtico espacial, por métodos matriciais de rigidez, avaliando todos os elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, muros, vigas e lajes. Em cada nó de estrutura é estimado 6 graus de liberdade, onde se cria a hipótese de deformabilidade do plano de cada piso, para simular o comportamento rígido da laje, assim, cada piso poderá rotacionar e desloca-se no seu conjunto (3 graus de liberdade).

No Eberick os processos de cálculo no qual o programa baseia-se é a de discretização das estruturas através de um pórtico espacial formado por vigas e pilares. Neste processo, os elementos são representados por barras ligadas umas às outras através de nós. Cada pilar e cada trecho de viga são simulados por barras de pórticos, por meio dos quais são obtidos os esforços solicitantes para o dimensionamento. Já os painéis de lajes, são calculados de forma independente do pórtico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as lajes do pavimento foram armadas em duas direções e apresentaram esforços significativos atuando em ambas as direções, bem como nos encontros entre as lajes contínuas.

Os softwares geraram automaticamente o quantitativo de armaduras, formas e concreto necessária a uma obra através de um relatório de quantidades. Para as armaduras, este considera a perda de aço que ocorre durante a execução, no processo de cortes e dobras, acrescentando uma porcentagem estimada na quantidade total de aço de 10% para todos os softwares, incluindo o cálculo manual obtido através das planilhas. Para efeitos de comparação, configurou-se as perdas de aço para um valor de 0,00% para que os programas gerassem apenas a quantidade de aço necessária para combater os esforços.

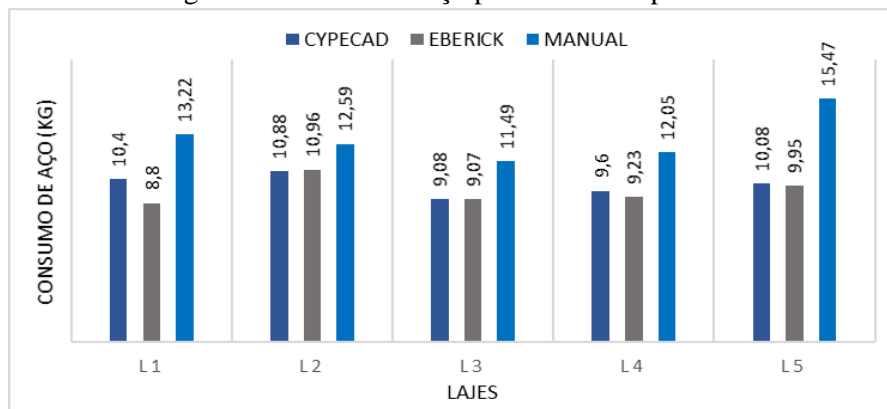
A quantidade de aço total necessária para a construção das lajes do pavimento calculadas com o ajuda do Cypecad é de 63,48 Kg, sendo 50,04 Kg para a armadura de combate aos esforços positivos (momento fletores positivos) e 13,44 Kg para as ferragens de combate aos esforços negativos (momentos fletores negativos).

Em contrapartida, os cálculos realizados com auxílio do Eberick forneceram a quantidade de aço total igual a 59,39 Kg, sendo 48,01 Kg de aço destinado para combater os esforços positivos e 11,38 Kg para combater os esforços negativos.

Já com os cálculos manuais realizados com auxílio de tabelas e planilha, forneceram a quantidade de aço total igual a 77,53 Kg, sendo 64,82 Kg de aço destinado para combater os esforços positivos e 12,71 Kg para combater os esforços negativos.

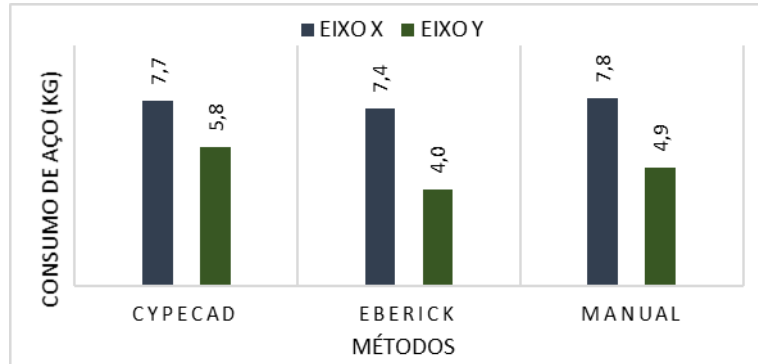
As figuras 2, 3 e 4 exibem os valores obtidos na pesquisa.

Figura 2. Consumo de aço para armadura positiva.



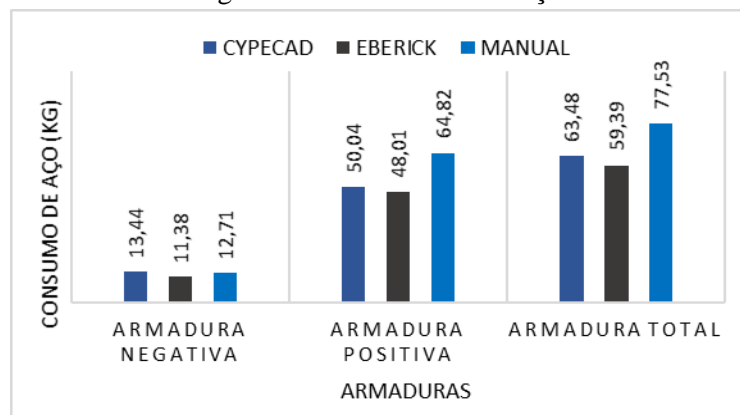
Fonte: Autores (2019).

Figura 3. Consumo de aço para armadura negativa.



Fonte: Autores (2019).

Figura 4. Consumo total de aço.



Fonte: Autores (2019).

Comparando os dados obtidos, observa-se que existem diferenças no quantitativo de aço pelos softwares e pelo cálculo manual com auxílio da planilha, quando analisado as lajes individualmente. Assim, para as armaduras positivas, os resultados favorecem o Eberick.

Em relação à massa total de armadura positiva gerada por cada método, verifica-se que a diferença do software mais econômico (Eberick) para o cálculo do método com maior custo (manual) é de 25,93% do consumo de aço. Para as armaduras negativa a diferença maior foi de 2,06 Kg entre os softwares, e 1,33 Kg entre o Eberick e os cálculos manuais.

Para as quantidades totais de armaduras (positivas e negativas) as diferenças encontradas são pequenas comparando os softwares e bem desproporcional comparando com os cálculos manuais, onde o consumo total foi bem maior, sendo que foi usado o mesmo método de dimensionamento para todos.

Observou-se que os softwares de modelagem estrutural analisados forneceram resultados de consumo de aço bastante parecidos entre si, se comparado com os resultados de cálculos manuais elaborados com a planilha e o auxílio das tabelas de Czerny.

Na comparação entre os resultados dos dimensionamentos, constatou-se que o programa de cálculo Cypecad, apresentou uma quantidade relativamente maior de aço para as armaduras negativas, enquanto que para os cálculos manuais necessitou-se de mais aço para as armaduras positivas.

CONCLUSÃO

A diferença encontrada entre os quantitativos gerados pelos softwares e os valores obtidos pelo método manual por planilhas, é considerável. Entretanto, para obras pequenas e de médio porte, essa diferença de resultados é praticamente insignificante, porém quando há um grande número de lajes, como em edifícios com muitos pavimentos, a diferença pode ser economicamente evidente, devido ao aço ser um insumo de influência acentuada no custo da obra.

Ressalta-se com este trabalho que os programas de modelagem estrutural analisado dimensiona os elementos tipo laje maciças de forma que as quantidades de materiais finais são

semelhantes, já as obtidas manualmente com auxílio da planilha e ajuda de tabelas são um pouco maiores devido a utilização de ábacos, quando os dos softwares tem uma melhor precisão pois é utilizado o método dos elementos finitos. Dessa maneira, os softwares tornam-se uma alternativa vantajosa para o dimensionamento destes elementos estruturais, devido ao menor tempo para emissão dos resultados e a automatização na geração dos detalhamentos.

Conclui-se então que, com o avanço da ciência e tecnologia, novas ferramentas computacionais são lançadas no mercado com o intuito de otimizar e proporcionar custos precisos na elaboração de serviços. Como visto, na engenharia, os softwares de dimensionamento de estruturas de concreto armado se encaixam nesse parâmetro, uma vez que veem sofrendo sucessivas mudanças e aperfeiçoamentos, com o objetivo de simular de forma cada vez mais precisa o comportamento estrutural real de uma edificação, gerando quantitativos exatos, prezando a segurança.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 3. Ed. Rio Grande: Dunas, 2010. v.2, 395 p.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ROCHA, A. M. **Concreto Armado**. São Paulo: Nobel, 1986, 476 p.