

# ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL POR MEIO DE UM *SOFTWARE* COMPUTACIONAL E CÁLCULO MANUAL

Ivan Santos Dortas<sup>1</sup>

Izabela Andrade Sucupira Souza<sup>2</sup>

Silas Matheus Menezes Pinto<sup>3</sup>

Arquitetura e Urbanismo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

Observa-se uma tendência no aumento de investimentos em tecnologia na construção civil. É nítido o desenvolvimento de várias áreas de atuação, dentre elas a área de cálculo estrutural. Atualmente discute-se bastante sobre os pontos positivos e negativos dos métodos de cálculo manual e por meio de ferramentas computacionais, até que ponto existe a interferência do engenheiro na confecção e análise de um projeto estrutural por um *software*. O objetivo deste artigo é realizar um comparativo entre os dois métodos de cálculo citados na elaboração de um projeto estrutural. Essa análise é realizada determinando as suas áreas de aço e com análises de como a estrutura se comporta em cada metodologia adotada. Os resultados do estudo mostraram maior eficiência da utilização do *software* por levar em consideração inúmeras variáveis que não são consideradas no cálculo manual. Na realização dos cálculos manuais, é utilizado o modelo de cálculo dos elementos isolados, restringindo sua análise ao próprio elemento, sem transmissões de efeitos aos elementos vizinhos, o que não ocorre normalmente em uma estrutura convencional. Por outro lado, com uma ferramenta computacional existe uma maior eficiência e precisão nos resultados, inclusive pela interação de todos os elementos estruturais.

## PALAVRAS-CHAVE

Dimensionamento Estrutural. Estudo Comparativo. Área de Aço.

## ABSTRACT

There is a tendency to increase investments in technology in civil construction. The development of several areas of activity is clear, including the area of structural calculation. Currently, there is a lot of discussion about the positive and negative aspects of manual calculation methods and by means of computational tools, to what extent there is the interference of the engineer in the making and analysis of a structural project using software. The purpose of this article is to make a comparison between the two calculation methods mentioned in the elaboration of a structural project. This analysis is carried out by determining its steel areas and with analyzes of how the structure behaves in each adopted methodology. The results of the study showed greater efficiency in the use of the software by taking into account numerous variables that are not considered in the manual calculation. In performing manual calculations, the calculation model of the isolated elements is used, restricting its analysis to the element itself, without transmitting effects to neighboring elements, which does not normally occur in a conventional structure. On the other hand, with a computational tool, there is greater efficiency and precision in the results, including the interaction of all structural elements.

## KEYWORDS

Structural Design. Comparative study. Steel Area.

## 1 INTRODUÇÃO

O artigo traz uma abordagem sobre a análise comparativa do dimensionamento estrutural por meio de um *software* computacional e cálculo manual de estruturas em concreto armado. Esse comparativo pode ser abordado de diversas maneiras, como por exemplo, comparativo de área de aço, esforços de cálculo, volume de concreto, peso de aço, área de forma.

O avanço tecnológico da engenharia civil traz a necessidade da modernização para o desenvolvimento das suas atividades, principalmente na área de estruturas, onde o mercado vem se desenvolvendo cada vez mais para garantir de maneira mais simplificada os 3 pilares da engenharia: economia, funcionalidade e segurança. Os *softwares* de cálculo estrutural trazem uma praticidade ao longo, complicado e demorado processo de dimensionamento estrutural manual.

O dinamismo também é um ponto importante a ser considerado nesses *softwares*, pois o programa pode testar diversas formas de estrutura até encontrar a situação ideal para se tornar um projeto econômico, funcional e seguro. Para realizar esses testes por meio do cálculo manual seria necessário mais trabalho e mais tempo. É essencial ressaltar que mesmo com todas essas vantagens, a responsabilidade do projeto é do engenheiro. Ele deve analisar todos os resultados emitidos pelo progra-

ma, por isso é essencial conhecimento teórico e prático, pois o *software* nada mais é que um auxílio para a execução de uma estrutura. A falta do conhecimento teórico gera o uso cego do *software*.

Antes do surgimento e consolidação dos *softwares* de cálculo estrutural, os projetos estruturais eram elaborados manualmente, apenas com auxílios de calculadoras. Era necessário um longo tempo para a sua conclusão, pois além dos cálculos, os projetos e seus detalhamentos demandavam muito trabalho para serem elaborados. Atualmente os projetos estruturais são elaborados com o auxílio de ferramentas computacionais. Além do ganho de tempo e da economia, o projeto passa a ter maior precisão, simulando a estrutura com um modelo mais próximo do que ocorre na realidade, se compararmos aos métodos mais simplificados (SILVA, 2015; GRANJA *et al.*, 2018).

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo realizar um comparativo entre o método de cálculo manual e por meio de um *software* comercial na elaboração de um projeto estrutural em concreto armado.

Para alcançar os objetivos do artigo, utilizou-se como recurso metodológico o estudo de pesquisas bibliográficas já realizadas em materiais já publicados na literatura e artigos científicos divulgados no meio eletrônico.

O texto final foi fundamentado nas ideias e concepções de autores como: ABNT NBR 6118 (2014), Carvalho (2015), Freitas (2014), Granja (2018), Kimura (2007), Kostetzer (2017), Silva (2015), Stramandinoli (2007), Pereira (2019) e Pinheiro (2007).

## 2 DESENVOLVIMENTO

Pinheiro (2007) afirma que o concreto é o material mais utilizado do mundo em relação à estrutura e em relação ao material utilizado pelo homem, perde apenas para a água. Ele também cita que a utilização do concreto é principalmente em edifícios, galpões, obras hidráulicas e de saneamento, rodovias e estruturas diversas.

Pinheiro (2007) cita, também, que o concreto apresenta diversas vantagens em relação a outros materiais, se tratando de material estrutural. Ele é moldável, podendo ser utilizadas inúmeras formas arquitetônicas, apresenta grande resistência à maioria dos tipos de solicitações, é uma estrutura monolítica, ou seja, todos os materiais trabalham em conjunto quando solicitado, baixo custo de materiais e mão de obra, por não necessitar de profissionais qualificados e produtos facilmente encontrados, material bem difundido, rápido de ser executado, duradouro, pouco permeável, também ajudando a não corroer o aço quando utilizados concomitantemente, seguro conta o fogo e diversos fenômenos causados pela natureza.

Também é necessário se atentar às suas desvantagens, pois se não forem aplicados de maneira correta, acabam tendo uma vida útil diminuída. Possui uma baixa resistência à tração, tem problemas de fragilidade, peso próprio elevado, custo de formas e por problemas de execução podem ocorrer fissuração e corrosão das armaduras (PINHEIRO, 2007).

Com relação ao cobrimento do concreto, necessário para a não corrosão da armadura, precisa ser feita uma análise com relação à agressividade do ambiente. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6118 (2014, p. 16),

[...] a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmicas, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

As classes de agressividade ambiental podem ser observadas na Tabela 1.

Quando se calcula uma estrutura, é preciso garantir a segurança dela quando as solicitações correspondentes às cargas majoradas (solicitações de cálculo) sejam menores que as solicitações últimas, sendo que estas levariam a estrutura à ruptura. As condições analíticas de segurança afirmam que as resistências não podem ser menores que as solicitações e devem ser verificadas em relação a todos os estados limites e todos os carregamentos especificados para o tipo de construção considerado, ou seja, em qualquer caso deve ser respeitada a condição:  $R_d \geq S_d$  (CARVALHO, 2015).

A ABNT NBR 6118 (2014, p. 70) item 12.2, define os valores característicos das resistências que deverão ser transformadas em valores de cálculo da seguinte maneira:

Os valores característicos  $f_k$  das resistências são os que, em um lote de material, tem uma determinada probabilidade de serem ultrapassados, no sentido desfavorável para a segurança. Usualmente é de interesse a resistência característica inferior  $f_{k,inf}$  cujo valor é menor que a resistência média  $f_m$ , embora por vezes haja interesse na resistência característica superior  $f_{k,sup}$  cujo valor é maior que  $f_m$ . Para os efeitos desta norma, a resistência característica inferior é admitida como sendo o valor que tem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.

Já em relação aos valores de cálculo das tensões resistentes, a ABNT NBR 6118 (2014, p. 70) item 12.3.2 afirma que:

As tensões resistentes de cálculo  $\sigma_{Rd}$  ou  $\tau_{Rd}$  são estabelecidas para a determinação das solicitações resistentes de cálculo que não dependam diretamente das resistências medidas convencionalmente em ensaios de corpos de prova padronizados dos materiais empregados. Os valores de  $\sigma_{Rd}$  e  $\tau_{Rd}$  são estabelecidos, em cada caso particular, a partir das teorias de resistência dos elementos estruturais considerados.

Existem, também, as ações aplicadas nas estruturas. Segundo Carvalho (2015, p. 53), "denomina-se ação qualquer influência, ou conjunto de influências, capaz de produzir estados de tensão ou de deformação em uma estrutura".

As ações podem ser classificadas como permanentes, variáveis e excepcionais. As ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Como exemplos dessas ações temos o peso próprio, a retração, a protensão, a fluência. As ações variáveis são classificadas como diretas e indiretas. As diretas são as cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água, onde devem-se respeitar as prescrições por normas brasileiras específicas. Alguns exemplos dessas cargas podem ser pessoas, mobiliário, veículos, cargas móveis, impactos laterais. Já as indiretas são causadas por variações uniformes e não uniformes de temperatura e por ações dinâmicas. Já as excepcionais, a norma cita que devemos procurar em cada caso particular, a sua norma brasileira específica (CARVALHO, 2015).

Por fim, com relação aos domínios de deformação, Carvalho (2015, p. 120) explica que:

A ruína de uma seção transversal para qualquer tipo de flexão no estado-limite último é caracterizada pelas deformações específicas de cálculo do concreto e do aço, que atingem (uma delas ou ambas) os valores últimos (máximos) das deformações específicas desse material. Os conjuntos de deformações específicas do concreto e do aço ao longo de uma seção transversal retangular com armadura simples (só tracionada) submetida a ações normais definem 6 domínios de deformação, apresentados nas figuras a seguir. Os domínios representam as diversas possibilidades de ruína da seção; a cada par de deformações específicas de cálculo  $\epsilon_c$  e  $\epsilon_s$  correspondem a um esforço normal, se houver, e um momento fletor atuante na seção.

De acordo com Kimura (2007), atualmente é possível classificar os sistemas computacionais destinados à elaboração de projetos estruturais nos seguintes tipos:

- *Software* de análise que serve para calcular os esforços e deslocamentos de uma estrutura. Ele não executa o dimensionamento das armaduras e nem gera as plantas finais;
- *Software* de desenho que serve para gerar desenhos genéricos, não direcionados exclusivamente para a Engenharia Civil;
- *Software* de dimensionamento/verificação de elemento isolado que serve para dimensionar um elemento (viga, pilar ou laje) de forma isolada da estrutura. Ideal para fazer rápidas verificações;
- Sistema integrado que abrange todas as etapas do projeto. Calcula a estrutura, dimensiona e detalha as armaduras, gerando os desenhos finais. É o tipo de *software* mais utilizado para projetar edifícios de concreto.

De acordo com Stramandinoli (2007), no final da década de 1960 e início da década de 1970 começaram a aparecer as primeiras máquinas eletrônicas programáveis.

Existiam quatro ou cinco modelos e marcas de máquinas programáveis, dentre elas um modelo da Sharp 14 programável em linguagem Basic, utilizando cartões magnéticos. O cálculo de vigas contínuas era feito em duas etapas (dois cartões magnéticos) e posteriormente se faziam os diagramas de momentos fletores e esforços cortantes à mão. O cálculo das cargas verticais em edifícios, levando em conta o efeito do vento, também era feito em duas etapas (dois cartões magnéticos): primeiro calculava-se o momento devido ao vento em cada pavimento e depois, este efeito era somado com a carga vertical de cada pilar em cada pavimento.

Existe, atualmente no mercado brasileiro, uma variedade enorme de *softwares* de cálculo estrutural de concreto armado, sendo os mais citados pelos profissionais da área por terem maior destaque por sua utilização o TQS, o AltoQi Eberick e o CypeCAD.

Com relação aos artigos e literatura utilizados para a abordagem do tema proposto, Freitas e (*et al*) (2014) elaboraram um trabalho, fazendo um comparativo entre o cálculo manual e no *software Eberick V8*. O trabalho apresenta resultados de três elementos estruturais. São eles as lajes, vigas e pilares.

Com relação as lajes, Freitas e outros (*et al*) (2014) dizem que o cálculo manual apresentou uma quantidade de aço menor do que a gerada pelo *Eberick* para as lajes do projeto elaborado no seu estudo. Como se sabe que em uma estrutura de concreto armado o aço tem como função básica resistir aos esforços de tração, pode-se dizer então que a área de aço gerada pelo *software* apresenta uma quantidade de aço acima do necessário, uma vez que o modo calculado manualmente também atende as normas estabelecidas pela NBR 6118/2014, sendo este o mais econômico devido aos custos dos materiais de armação.

Já para as vigas, Freitas (*et al*) (2014) afirmam que existe uma pequena diferença da área de aço gerada pelo *software* e a obtida manualmente, onde o cálculo no *software* apresenta uma quantidade maior que o cálculo manual, mesmo esta diferença sendo mínima. Desta forma, assim como nos resultados apresentados pelas lajes, o *software* proporciona uma área de aço acima do necessário em relação ao modo manual, uma vez que ambos os modos calculados atendem as normas prescritas na NBR 6118/2014.

E para os Pilares, Freitas e (*et al*) (2014) enfatizam que como se trata de uma diferença mínima para os pilares do estudo, a quantidade de aço para determinação da armadura não sofre influência significativa.

Conforme Freitas e (*et al*) (2014), analisando os resultados obtidos em geral, percebe-se que o cálculo feito por meio do *software* apresentou maiores áreas de aço para cada elemento estrutural. Porém, como as diferenças encontradas na maioria dos elementos estruturais deste trabalho foram mínimas, não seria considerada uma economia significativa para o projeto arquitetônico proposto.

Já Pereira (2019) elaborou um trabalho, fazendo um comparativo entre o cálculo manual e no *software*, fazendo um comparativo entre esforços de cálculo e área de aço de lajes maciças.

Pereira (2019) cita que as variações encontradas foram provenientes das diferentes formas de arranjo e análise estrutural que cada método utiliza e, em consequ-

ência disso, os valores obtidos com a comparação iriam divergir entre si. No cálculo manual é utilizado o método simplificado por meio da tabela de Bares e o *software* é baseado no método das grelhas, o que explica o diferente comportamento das estruturas entre os dois métodos utilizados.

Por fim, podemos citar também o trabalho de Kostetzer (2017), onde faz um comparativo entre as áreas de aço das lajes e das vigas de uma estrutura pré-determinada.

Kostetzer (2017) mostra que os resultados encontrados entre o método convencional e o *software Eberick* diferem pelo fato de que o método convencional não considera e/ou ignora muitos parâmetros, por exemplo, a influência da deformabilidade das vigas, esforços horizontais, considerações da rigidez à torção dos elementos, simulação de combinações de ações desfavoráveis, entre outros.

Kostetzer (2017) ainda explica que, após o estudo realizado, obteve-se resultados satisfatórios de dimensionamentos de vigas e lajes maciças com ambos os métodos aplicados, onde foi atingido o objetivo principal de comparar os resultados obtidos entre o método convencional e o *software Eberick*. Portanto, um método complementa o outro, sendo necessário analisar os resultados gerados por diferentes procedimentos de cálculos para prover maior segurança ao realizar projetos estruturais.

### 3 CONCLUSÃO

Após o término da pesquisa, pode-se concluir que as áreas de aço nos *softwares* são bem próximas ao cálculo manual. Sempre existirá diferença, dependendo diretamente das considerações e métodos utilizados em cada um dos cálculos.

É preciso entender que os métodos de cálculo utilizados para o dimensionamento estrutural manual e do *software* são diferentes e, diante disto, é previsível a variação nos valores obtidos. Enquanto o cálculo manual é realizado pelo método dos elementos isolados, o *software* utiliza em sua análise o conjunto como um todo.

Dessa forma, pode-se afirmar que apesar da pouca diferença nos resultados globais entre os dois métodos de cálculo nos trabalhos analisados, a utilização do *software* é o mais próximo do ideal. Por meio desse método é possível verificar com maior precisão quais são as influências de cada decisão de projeto na estrutura porque ela é analisada de forma global, considerando a interação entre todos os seus elementos.

### REFERENCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2014**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. V. 1. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2015

FREITAS, A. H. C.; SANTOS D. M.; MORAES, G. H. S.; CURY, I. S. Cálculos estruturais em concreto armado: comparativo entre o cálculo manual e com auxílio de software.

**Revista Pensar Engenharia**, v. 2, p. 1-19, 2014.

GRANJA, J.; SILVA, P.; AZENHA, M.; LINO, J. C.; FLORES, J. BIM na pormenorização de estruturas de betão armado pré-esforçado. 2º Congresso Português de Building Information Modelling, 2, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. **Anais [...]**, Lisboa, Portugal, 2018.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**: cálculos de edifícios com o usoamentos do concreto e projeto de edifícios. São Paulo: PINI, 2007.

KOSTETZER, M. Dimensionamento comparativo de vigas e lajes entre software e método convencional. **Revista Online IPOG**, Florianópolis, 2017

PEREIRA, B. S. P.; LIMA, I. E. P.; CORREIA, V. C. Estudo comparativo entre o uso do cálculo manual e de um software computacional no dimensionamento de lajes maciças. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 2542-2549, 2019.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos, SP: EESC, 2007

SILVA, S. M. B. **A integração de técnicas BIM nos elementos de projeto de aplicação de sistemas de pré-esforço**. 2015. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2015.

STRAMANDINOLI, R. **O escritório de projetos estruturais e suas peculiaridades. Buscando subsídios para o futuro negócio**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.

---

**Data do recebimento:** 25 de novembro de 2020

**Data da avaliação:** 9 de dezembro de 2020

**Data de aceite:** 12 de dezembro de 2020

---

---

1 Mestrando em Engenharia de Processos – UNIT. E-mail: ivansantostortas@hotmail.com

2 Graduada em Arquitetura e Urbanismo – UNIT. E-mail: bela\_ass@hotmail.com

3 Graduado em Engenharia Civil –UNIT. E-mail: silasmmp@gmail.com