

Análise comparativa do dimensionamento da área de aço de sapatas entre o software cypecad e o cálculo manual utilizando o método das bielas

Comparative analysis of the dimensioning of the steel area of shoes between the cypecad software and the manual calculation using the strut method

Análisis comparativo del dimensionamiento del área de acero de los zapatos entre el software cypecad y el cálculo manual mediante el método de la biela

Recebido: 16/12/2022 | Revisado: 28/12/2022 | Aceitado: 29/12/2022 | Publicado: 01/01/2023

Williane Pascoal de Lima Candido

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6770-9765>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: williane.candido.20180035108@uemasul.edu.br

Ana Paula Gomes Mesquita

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2451-0737>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: anamesquita.20180035153@uemasul.edu.br

Erica dos Santos Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2919-346X>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: ericalima.20180040153@uemasul.edu.br

Gustavo Santos Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8804-4862>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: gustavoferreira.20200006950@uemasul.edu.br

Paulo Daniel Pimentel Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4608-7503>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: paulocosta.20180040304@uemasul.edu.br

Rafael Moderno Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4495-5573>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: rafaellima.201763125@uemasul.edu.br

Randal Silva Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6498-8650>
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: randal.gomes@hotmail.com

Resumo

A evolução dos sistemas de análises de estruturas possibilitou arrematar a necessidade de otimizar o dimensionamento geométrico dos componentes de fundações, com isso, a utilização de softwares ocorre não apenas pelo ganho de tempo, mas também pelo nível satisfatório de precisão na obtenção dos resultados e detalhamentos, favorecendo a produtividade nos projetos de estruturas. A fundação, também conhecida como infraestrutura, é um elemento que se encontra abaixo do solo, que tem como função suportar e transportar as cargas recebidas da estrutura para o solo de forma segura e eficaz. Para tanto, o objetivo deste trabalho é comparar o dimensionamento de uma fundação do tipo sapata isolada, utilizando o software Cypecad e o método das bielas. Dessa forma, foi constatado que no dimensionamento feito pelo Cypecad em todos os casos de cargas nas sapatas houve um dimensionamento superior comparado com o dimensionamento manual, resultado esse que deverá superdimensionar a estrutura e ainda, as variações nas quantidades de aço e também nas dimensões das sapatas podem ocorrer por conta de arredondamentos feitos nos cálculos.

Palavras-chave: Sapatas; Dimensionamento; Método das bielas; Cypecad.

Abstract

The evolution of structural analysis systems made it possible to end the need to optimize the geometric dimensioning of foundation components, with this, the use of software occurs not only for saving time, but also for the satisfactory level of precision in obtaining results and details. , favoring productivity in structural projects. The foundation, also known as infrastructure, is an element that is located below the ground, whose function is to support and transport the loads received from the structure to the ground in a safe and effective way. Therefore, the objective of this work is to

compare the design of an isolated footing type foundation, using the cypecad software and the strut method. In this way, it was found that in the design carried out by Cypecad, in all cases of loads on the shoes, there was a superior design compared to the manual design, a result that should oversize the structure and also, variations in the amounts of steel and also in the dimensions of the footings can occur due to rounding made in the calculations.

Keywords: Shoes; Sizing; Rod method; Cypecad.

Resumen

La evolución de los sistemas de análisis estructural permitió acabar con la necesidad de optimizar el dimensionamiento geométrico de los componentes de la cimentación, con esto, el uso de software se da no solo por el ahorro de tiempo, sino también por el nivel satisfactorio de precisión en la obtención de resultados y detalles, favoreciendo la productividad en proyectos estructurales. La cimentación, también conocida como infraestructura, es un elemento que se ubica debajo del suelo, cuya función es soportar y transportar las cargas recibidas de la estructura al suelo de manera segura y eficaz. Por tanto, el objetivo de este trabajo es comparar el diseño de una cimentación tipo zapata aislada, utilizando el software cypecad y el método de las bielas. De esta forma, se encontró que en el diseño realizado por Cypecad, en todos los casos de cargas sobre las zapatas, había un diseño superior al diseño manual, resultado que debería sobredimensionar la estructura y también, variaciones en las cantidades de acero y también en las dimensiones de las zapatas puede ocurrir debido al redondeo hecho en los cálculos.

Palabras clave: Zapatos; Dimensionamiento; Método de varilla; Cypecad.

1. Introdução

Os sistemas de análises de estruturas na engenharia civil evoluíram com os avanços tecnológicos, favorecendo a manipulação de uma grande quantidade de dados, essa evolução se deu pela necessidade de otimizar o dimensionamento geométrico dos componentes de fundações, de modo que as alterações e correções sejam feitas com agilidade e tempo ágio (Portugal, 2021).

Apesar do desenvolvimento de diversas tecnologias Caputo (1988) afirma, que a falta de compreensão do terreno de fundação é um dos grandes riscos de construção. Dessa forma, Medeiros (2006) salienta que a simulação computacional desse elemento requer uma atenção especial. A utilização de softwares estruturais ocorre não só pelo ganho de tempo, mas pelo nível satisfatório de precisão na obtenção dos resultados e detalhamentos (Albino, 2017), assim os aplicativos de cálculo estrutural estão acessíveis para o acréscimo de produtividade nos projetos de estruturas (Mota, 2017).

A fundação, também conhecida como infraestructura, é um elemento que se encontra abaixo do solo, que tem como função suportar e transportar as cargas recebidas da estrutura para o solo de forma segura e eficaz (Costa, 2022). Ademais as estas funções, de acordo com Filho (2020), são de suma importância para garantir a sustentação e estabilidade das estruturas que posteriormente serão postas acima delas, afim de impedir possíveis problemas posteriormente.

A fundação pode ser definida também como alicerce, pois pode levar toda a obra ao desmoronamento, além da ruína ao todo existem outros problemas, pequenas falhas na fundação podem gerar patologias na estrutura como fissuras, trincas entre outros, que reduzem a vida útil da edificação. (Resende, 2018). Segundo Milititsky (2015) os principais problemas de execução de fundações são segundo a sua origem, como o solo onde a fundação se apoia e a sua estrutura.

Existe dois tipos de fundação: a profunda e a superficial, essa última também chamada de rasa ou direta, que é indicada normalmente para obras de pequenos portes (Rodrigues, 2021). Para se ter uma fundação superficial é necessário que as bases estejam assentadas a uma profundidade inferior a duas vezes usa menor dimensão, sendo a emissão das cargas feita pela base da estrutura, conforme a norma ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações – Procedimento.

A classe das fundações rasas inclui os blocos, as sapatas, os radier, as sapatas corridas e associada (Souza, 2014). A sapatas isoladas são um elemento dentro dessa classe de fundação, que recebe a carga de um único pilar e elas são armadas, sendo esse aspecto que as diferenciam de um bloco de fundação (Ferreira, 2017). Ferreira cita ainda que essas sapatas podem apresentar várias formas geométricas e alturas constante ou variável, há depender do projetista.

As dimensões da sapata isolada dependem das cargas que será aplicada sobre ela e da resistência do solo, uma vez que as tensões normais do solo têm que ser menores ou iguais a sua tensão admissível, que varia de acordo com cada tipo de solo

(Rebello, 2019). Carvalho (2014) indica a utilização desse tipo de fundação para locais onde o solo mostra que possui de média a alta capacidade de suporte de carga.

Vale salientar que este tipo de fundação é uma alternativa viável quando se encontra um terreno com resistência compatível com a estrutura que será construída, ou seja, a partir de um metro abaixo da cota de implantação do nível mais baixo da estrutura (Falconi, 2019). Além de gerar alguns benefícios como não necessita de mão de obra especializada, uma vez que a construção é direta no solo sem utilizar equipamentos e ferramentas mais robusta, assim sendo uma construção de baixo custo (Ferreira, 2019).

Velloso e Lopes (2011) relata que no Brasil para projetar e dimensionar sapatas comumente é utilizado o Método das Bielas. Lourenção et al (2017), expõe que o método é normatizado através das normas técnicas ABNT NBR 61181:2014 e NBR 6122:2010. O autor ainda descreve que o método apresenta similaridade ao dimensionamento de uma sapata de concreto armado, com uma treliça, em que as tiras de concreto estão resistindo a compressão e as armaduras de aço, que são presentes na base das sapatas resistem aos esforços de tração.

França (2017) discorre que o método de Bielas é método corriqueiramente adotado por sua simplicidade em desenvolver análise mais realista em associação ao comportamento físico das áreas de descontinuidade, onde as tensões de cisalhamento são mais significativas. A carga é transferida do pilar para a base da sapata por meio de bielas de concreto que induzem as tensões de tração da base do elemento estrutural (Bastos, 2019).

Face ao exposto, o objetivo deste trabalho é comparar o dimensionamento de uma fundação do tipo sapata isolada, utilizando dois métodos: o software Cypecad e o método das bielas.

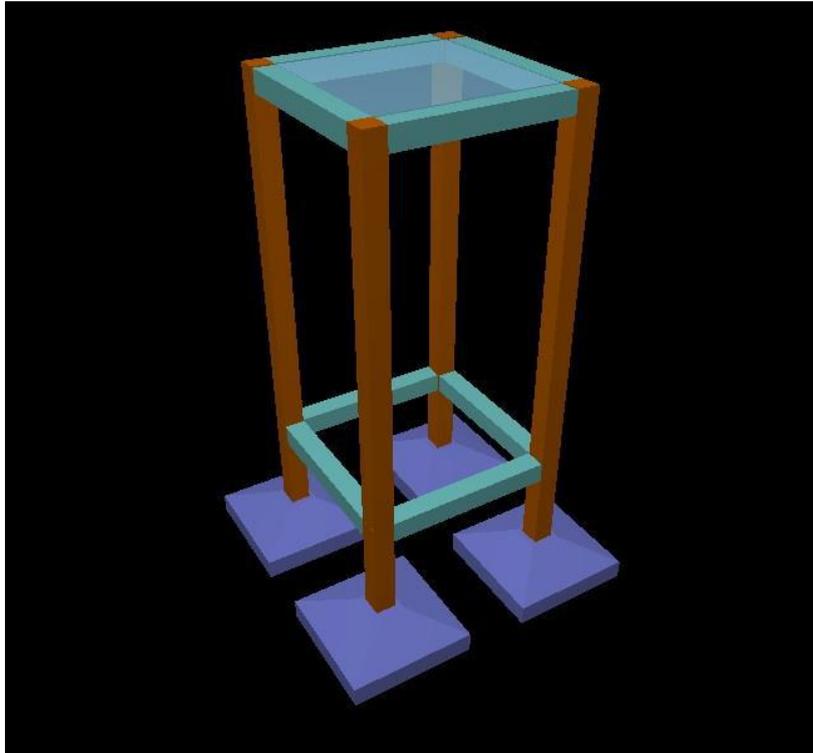
2. Metodologia

A pesquisa foi realizada com a natureza quantitativa de caráter descritivo fazendo uso do procedimento técnico da pesquisa bibliográfica. Essa técnica, segundo Silva (2015) é executada através de acervos de periódicos já publicados. Dessa forma, no presente estudo foi necessário realizar uma pesquisa em trabalhos voltados ao tema proposto, de forma a coletar informações que contribuíssem para um melhor entendimento acerca do dimensionamento de sapatas.

Foi utilizado o software Cypecad (utilizado em cálculos estruturais) para dimensionamento de concreto armado, fundações, barras, ventos e ações externa, tudo de acordo com as normas vigentes. Foi dimensionado as sapatas da caixa d'água e a área de aço. O software possui uma limitação, pois quando dimensionado a caixa d'água (litros) o software identifica as a carga que ela tem e dimensiona a sapata nos parâmetros mínimos, com isso se tornou inviável utilizar esses valores tão baixo de cargas.

A seguir na Figura 1, é possível observar a estrutura no software Cypecad. Foi realizado o dimensionamento não apenas das sapatas, como também os pilares e a laje. Dessa forma, foi possível determinar as cargas que essa sapata iria suportar.

Figura 1 – Estrutura dimensionada no software Cypecad.



Estrutura dimensionada no software Cypecad, com as sapatas, pilares e laje da estrutura. Fonte: Autores.

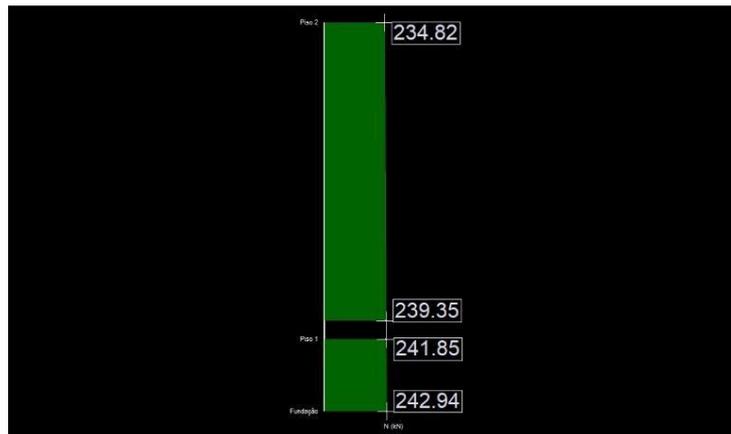
Com essa estrutura no Cypecad foi detalhado a sapata, dimensionamento e os as cargas a serem utilizadas no dimensionamento manual. Os valores adotados de cargas foram: 100 KN (Figura 2); 200 KN (Figura 3); 300 KN (Figura 4); 400 KN (Figura 5).

Figura 2 – Carga de 100 KN.



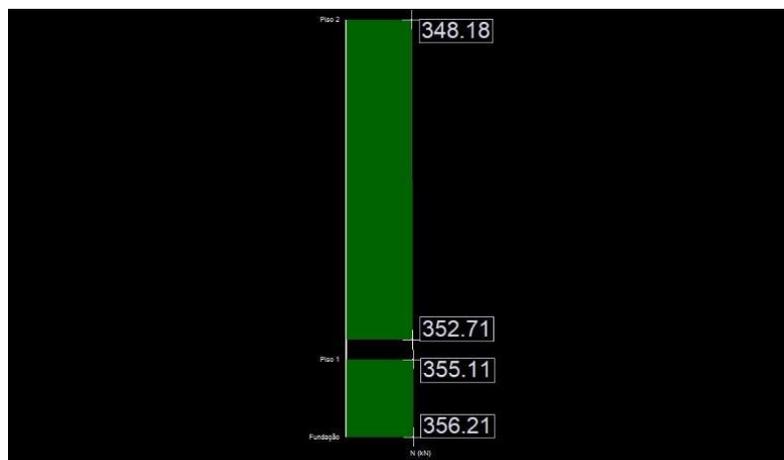
Essa carga de 100 KN foi adotada para utilizar no dimensionamento manual, devido a limitação do software que utiliza um dimensionamento mínimo para sapatas da estrutura, o valor a ser adotado para o dimensionamento manual é de 132,25 KN. Fonte: Autores.

Figura 3 – Carga de 200 KN.



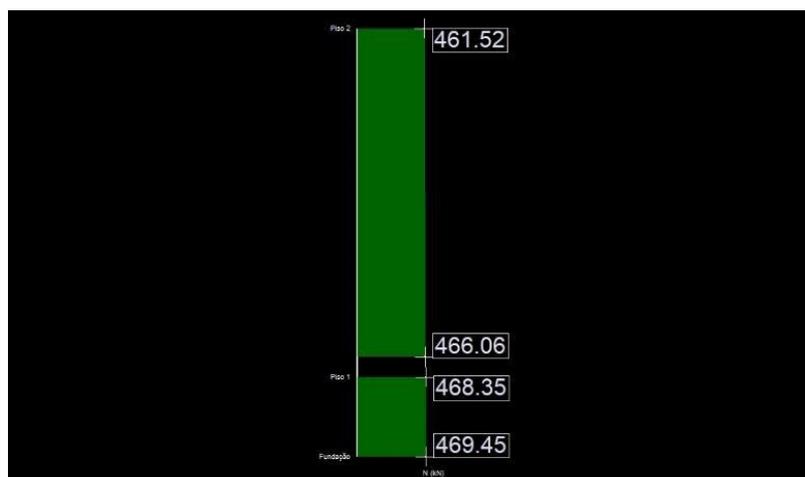
Nesse, temos que o valor a ser adotado no dimensionamento manual foi 242,84 KN. Fonte: Autores.

Figura 4 – Carga de 300 KN.



Para o dimensionamento manual nesse caso, o valor em KN adotado foi o de 356,21. Fonte: Autores.

Figura 5 – Carga de 400 KN.



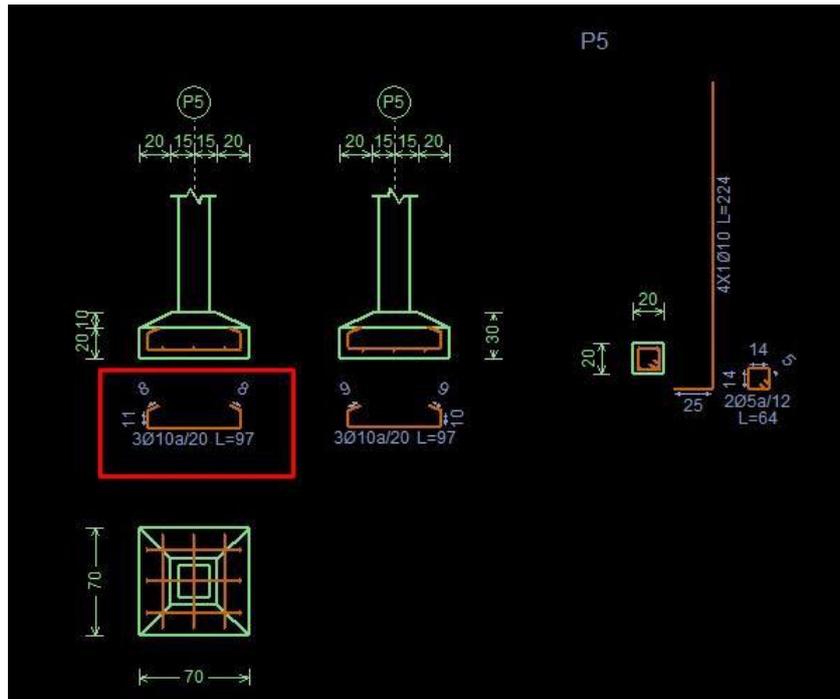
Aqui temos o maior valor adotado para os dimensionamentos manuais das sapatas, 469,45 KN. Fonte: Autores.

Todos os valores adotados para o dimensionamento manual foi o mais próximo da fundação, pois é aqui onde se tem todas as cargas concentradas da estrutura. Por isso que se adota o valor em KN do final, que, portanto, é o maior observado em todas as cargas que foram colocadas no software.

3. Resultados e Discussão

Feito os respectivos dimensionamentos no software Cypecad 2019 e manualmente, determinou-se que para a sobrecarga em toda a estrutura de 100 KN/m^2 e conseqüentemente 132.30 KN em cada sapata o software disponibilizou 3 barras de 10 mm com espaçamento de 20 cm ou seja $2,35 \text{ cm}^2$ de aço. Como as dimensões da sapata são iguais as distribuições de aço também são iguais nos dois lados como mostra a imagem abaixo (Figura 6).

Figura 6 – Dimensionamento das sapatas com carga de $132,30 \text{ KN}$.



Na figura 6 é apresentado o resultado do dimensionamento feito pelo Cypecad onde, na região do retângulo vermelho, é mostrado que foram utilizadas 3 barras de 10 mm . Fonte: Autores (2022).

Para sobrecarga de 200 KN/m^2 e conseqüentemente 242.9 KN em cada uma das sapatas de acordo com a Figura 7, logo abaixo, o software disponibilizou 5 barras de 10 mm com espaçamento de 20 cm contabilizando $3,93 \text{ cm}^2$ de área de aço e as dimensões das sapatas são simétricas e, portanto, a área de aço será a mesma para cada lado da sapata.

Figura 7 – Sapatas dimensionadas com carga de 242,9 KN.



Na figura 7 é apresentado o resultado do cálculo feito pelo software onde, na região do retângulo vermelho, é mostrado que foram utilizadas 5 barras de 10 mm. Fonte: Autores (2022).

Para sobrecarga de 300 KN/m² e conseqüentemente 356,21 KN em cada uma das sapatas o software disponibilizou conforme a Figura 8, com 6 barras de 10mm com espaçamento de 20 cm contabilizando 4,72 cm² de área de aço.

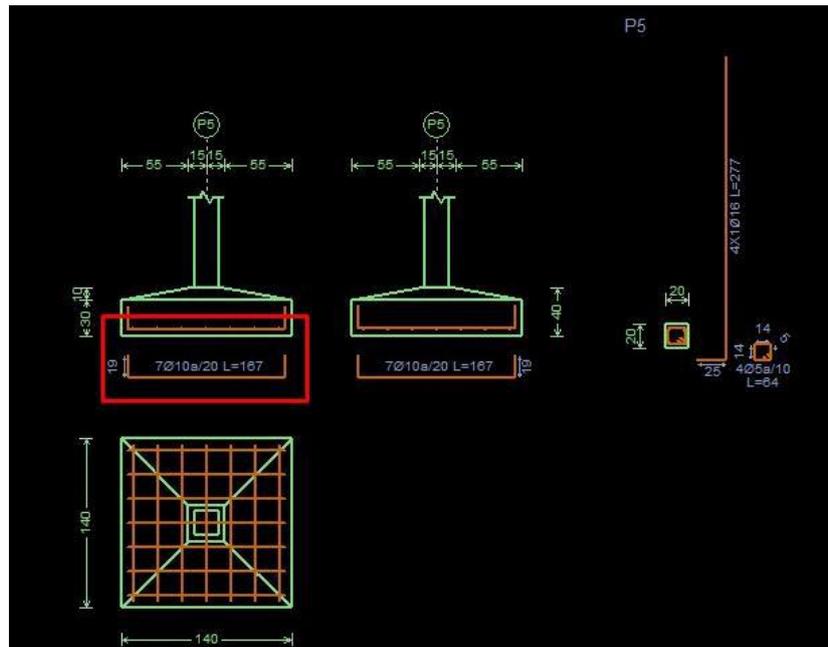
Figura 8 – Sapata dimensionada no software cypecad com carga de 356,21 KN.



Na figura 8 é apresentado o resultado do dimensionamento feito pelo Cypecad onde, na região do retângulo vermelho, é mostrado que foram utilizadas 6 barras de 10 mm. Fonte: Autores (2022).

Para sobrecarga de 400 KN/m² e conseqüentemente 469,4 KN em cada uma das sapatas o software disponibilizou como ilustra a Figura 9 logo abaixo, com 7 barras de 10 mm com espaçamento de 20 cm contabilizando 5,50 cm² de área de aço.

Figura 9 – Sapata dimensionada com carga de 469,4 KN.



Na figura 9 é apresentado o resultado do dimensionamento feito pelo Cypecad onde, na região do retângulo vermelho, é mostrado que foram utilizadas 7 barras de 10 mm. Fonte: Autores (2022).

Para melhor esquematizar as informações, o Quadro 1 abaixo apresenta os valores obtidos pelo método manual e utilizando o software Cypecad.

Quadro 1 – Valores obtidos pelo método manual e software cypecad.

| CARGA | ÁREA DE AÇO MANUAL (cm ²) | DIMENSÃO MANUAL SAPATA (cm) | ÁREA DE AÇO CYPECAD (cm ²) | DIMENSÕES CYPECAD (cm) |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|--|------------------------|
| 132.30 kN | 2 | 90x90 | 2,35 | 70x70 |
| 242.90 kN | 2 | 120x120 | 3,93 | 100x100 |
| 356.21 kN | 2,24 | 140x140 | 4,72 | 120x120 |
| 469.40 kN | 3,93 | 165x165 | 5,50 | 140x140 |

Fonte: Autores (2022).

Para as cargas de 132.30 kN e 242.90 kN as áreas de aço para o cálculo manual deram abaixo do valor mínimo. Logo se utilizou os valores mínimos estabelecidos pela fórmula $A_{s,mini} = \frac{0,5}{100} * (a * b)$, onde a e b são as dimensões das sapatas.

No dimensionamento feito pelo Cypecad em todos os casos de cargas nas sapatas ouve um dimensionamento superior comparado com o dimensionamento manual sendo o menor deles para a carga de 132.30 kN onde a área de aço para o cálculo manual apresentou 2 cm² e o software foi calculado 2,35 cm². Já o maior acréscimo de área de aço surgiu na carga de 356.21 kN sendo no valor de 2,48 cm² a mais representando 110,1% a mais. Resultado esse que deverá superdimensionar a estrutura.

Essas variações nas quantidades de aço e também nas dimensões das sapatas também podem ocorrer por conta de arredondamentos feitos nos cálculos. Vale ressaltar que o uso do software Cypecad bem como qualquer outro programa de dimensionamento estrutural precisa ser operado por profissional habilitado uma vez que é possível fazer modificações nas configurações de modo a diminuir esses acréscimos da área de aço com relação aos cálculos manuais.

4. Conclusão

Com a realização do presente trabalho nota-se a importância dos conhecimentos práticos e teóricos da engenharia afim de otimizar os dados oferecidos pelos softwares de dimensionamento estrutura. É importante ressaltar que os dados oferecidos pelo Cypecad foram utilizados sem que houvesse uma otimização de um profissional qualificado ficando a critério único e exclusivamente das configurações próprias do programa.

Portanto, mesmo que o programa altere os valores a favor da segurança não é totalmente confiável do ponto de vista econômico fazer a utilização unicamente do Cypecad, sem uma análise de um profissional, para realizar dimensionamentos estruturais.

Para trabalhos futuros pretende-se abordar também o comparativo de resultados de dimensionamento de outros softwares como o TQS e Eberik que também são muito utilizados no mercado.

Referências

- Albino, T. I., & Anjos, E. F. D. (2017). Avaliação no dimensionamento de pilares de concreto armado no software CYPECAD. *Engenharia Civil-Tubarão*. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4434>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). *NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações: Procedimento*.
- Bastos, P. S. D. S. (2019). Sapatas de fundação. *Notas de Aula do Curso de Estruturas de Concreto III*. UNESP. Bauru. <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>
- Caputo, H.P. (1988). Mecânica de solos e suas aplicações – Fundamentos, 1(6) – *Livros Técnicos e Científicos editora*.
- Carvalho, R. C. & Filho, J. R. de F. (2014). Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado – Segundo a NBR 6118:2014. *EdUFSCar*, 7ª edição 10ª reimpressão (2021), São Carlos – SP.
- Costa, A. A da. et al. (2022). Fundação Superficial por Sapatas. *Epitaya E-books*, 1(15), 174-195. doi: <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2022540p174>
- Falconi, F. et al. (2019). Fundações: teoria e prática. *Oficina de Textos*. 2ª reimpressão p. 215 (3a ed.).
- Ferreira, A. A. V. et al (2019). Análise Comparativa da Viabilidade de Aplicação da Fundação Rasa Tipo Sapata no Projeto de Um Terminal Rodoviário Em Dois Municípios Distintos. *REINPEC*, 4(5), Rio de Janeiro. doi: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v5n4a5>
- Ferreira, R. A. (2017). Estudo Comparativo de Técnica e de Custo Entre Fundações Rasas: Estudo de Caso Entre Radier e Sapata Isolada. *Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)*. Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG. <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/131>
- Filho, E. F. do N. et al. (2020). Automatização do cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível do solo para dimensionamento de sapatas isoladas. *Research, Society and Development*, 9(8), e852986077. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6077>
- França, M. B. B. (2017). Modelos de concepção para estruturas em concreto armado com comportamento não linear obtidos pelo método de bielas e tirantes e otimização topológica. *Tese de Doutorado*. <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-AW2LS2>.
- Lourenção, J. S., Andrião, E. G. S., & Alves, E. C. (2017, November). Dimensionamento otimizado de sapatas rígidas isoladas. *XXXVIII CILAMCE–Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering*. Florianópolis. doi:10.20906/CPS/CILAMCE2017-0183
- Medeiros, D. S. (2006). Análise tridimensional da interação solo-estrutura em fundações de concreto armado pelo método dos elementos finitos. <http://hdl.handle.net/10183/8984>
- Mota, L. F. (2017). Análise comparativa entre o cálculo teórico e a utilização de método computacional para o dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/7048>
- Milititsky, J. & Consoli, N. C. & Schnaid, F. (2015). Patologia das fundações. *Oficina de textos*.
- Portugal, A. C. M. do. et al. (2021). Estimativa da tensão admissível do solo e dimensionamento geométrico de sapatas isoladas com o uso do Excel. *Revista Teccen*. 4(1): 19-27. [10.21727/teccen.v14i1.2453](https://doi.org/10.21727/teccen.v14i1.2453)
- Rebello, Y. C. P. (2019). Fundações: Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento. *Zigurate Editora e Comercial Ltda*, p.52, (7a ed.).
- Resende, P. B. et al (2018). Fundações Superficiais. *Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar*. <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/402>
- Rodrigues, A. P. et al. (2021). Fundações Rasas. *ETIC - ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 17(17). <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/9030/67650639>
- Silva, A. M. (2015). Metodologia da Pesquisa. (2a ed.), *EdUECE*.
- Souza, L. H. de F. (2014). Execução de Fundação Rasa Tipo Sapata Associada, Para Cargas Elevadas de Um Edifício Residencial. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 6(3), Paraná, Brasil. <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11568>
- Velloso, D. A. & Lopes, F. R. (2011). Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. *Oficina de Textos*, São Paulo, 2(1).