

DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE UM PÓRTICO DE QUATRO PAVIMENTOS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.

FERNANDO LUAN KRONBAUER¹
RAFAEL GOULART DE ANDRADE SANTOS²
GABRIELE WOLF²
BRUNO RODRIGUES DOS SANTOS²

RESUMO: O dimensionamento ótimo é de suma importância para estruturas de concreto armado, pois devido a este melhor dimensionamento pode-se dimensionar estruturas que visam segurança, bom desempenho em serviço e durabilidade, objetivando ainda maior economia para o custo total da construção. O principal objetivo deste trabalho é realizar uma análise de uma estrutura de quatro pavimentos, fazendo uma comparação com diferentes disposições dos elementos estruturais, visando um dimensionamento ótimo e uma economia significativa entre eles. Os métodos utilizados neste trabalho foram todos bibliográficos, com o auxílio de livros, artigos e outros documentos confiáveis de pesquisa, caracterizando-se assim como pesquisa qualitativa descritiva. Diante da análise, constatou-se que, para a estrutura considerada, houve um aumento considerável na quantidade de materiais necessária, comparando os modelos com e sem otimização.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto armado; Dimensionamento Ótimo; Econômica, Segurança.

GREAT DIMENSIONING OF A PORTRAIT OF FOUR FLOORS IN ARMED CONCRETE STRUCTURE.

ABSTRACT: The optimal dimensioning is of utmost importance for reinforced concrete structures, because due to this better dimensioning we can dimension structures that aim for safety, good performance in service and durability, aiming at a greater saving for the total cost of construction. The main objective of this work is to perform an analysis of a four-story structure, making a comparison with different dispositions of the structural elements, aiming at optimum sizing and significant savings between them. The methods used in this work were all bibliographical, with the aid of books, articles and other reliable research documents, thus characterizing descriptive qualitative research. In view of this research, it was verified that there is a great need for the best dimensioning of the reinforced concrete structures, in order to guarantee a work that is economically feasible, safe and that behaves properly during its useful life.

KEYWORDS: Reinforced Concrete; Optimal Scaling; Economic, Security.

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Sinop – FASIFE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: fernandokl_kronbauer@hotmail.com

² Professor Especialista em Segurança do Trabalho, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Sinop – FASIFE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: rafaelgoulart12@gmail.com

1.INTRODUÇÃO

O projeto estrutural é uma das principais áreas de atuação da engenharia civil, o seu dimensionamento visa projetar uma estrutura que traga segurança, bom desempenho, durabilidade e economia. O dimensionamento, desta forma consiste em garantir que uma determinada estrutura suporte todas as cargas e ações a ela aplicadas, de forma segura, estável e sem deformações excessivas, impedindo que a mesma venha a ruína (CARVALHO e FILHO, 2014).

De acordo com a ABNT NBR 6118/2014 no item 14.2.1, “o principal objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço”, ou seja o propósito da análise estrutural é garantir, com segurança, que durante a vida útil da estrutura, a mesma mantenha certas características que garantam a boa utilização, nas finalidades atribuídas em projeto.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 no item 3.1.3, elementos de concreto armado são, estruturas cuja o comportamento estrutural depende da aderência do concreto e da armadura, não podendo essa armadura ser alongada antes que essa aderência entre os dois elementos seja concretizada ou seja o uso deste material só é possível devido à afinidade estrutural dos dois materiais.

Este trabalho se justifica pela relevância em se ter um dimensionamento ótimo dos elementos estruturais, pois com o mesmo pode-se garantir uma estrutura que irá resistir melhor aos esforços a ela submetidos trazendo assim bom desempenho e segurança para a sua utilização além de que, uma estrutura bem dimensionada pode apresentar economias significativas no custo total da obra.

O objetivo deste estudo é realizar o dimensionamento estrutural de um edifício de quatro pavimentos em concreto armado, sendo ele um edifício residencial. Visando o dimensionamento ótimo estrutural, objetivando um melhor desempenho estrutural e uma melhor economia.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1Concepção Estrutural

O princípio de um bom projeto estrutural, é sem dúvidas o projeto arquitetônico, onde deve se respeitar todas as divisões do ambiente, para poder realizar o posicionamento dos elementos estruturais. Deve-se levar em considerações os projetos complementares, como o elétrico e o hidro sanitário, para que haja assim uma compatibilização com a estrutura. Além desses fatores o engenheiro calculista deve ter o conhecimento do local da edificação, as condições climáticas que a estrutura será submetida, e ainda a finalidade da obra (JÚNIOR, 2011, p.10).

De acordo com Neves (2016), essa é a parte mais importante da concepção estrutural, é nessa etapa que, se deve prever o comportamento da estrutura, diante dos efeitos solicitantes, podendo assim considerar os efeitos de esforços internos e externos da

estrutura, e ainda as tensões, deformações e deslocamentos que a estrutura terá que suportar, para ai então realizar as verificações de estados limites últimos e estado limite de serviço.

2.2 Dimensionamento Estrutural

Segundo Carvalho e Filho (2014), o dimensionamento estrutural consiste basicamente em duas operações: verificar se uma seção previamente estabelecida, suportará as solicitações mais desfavoráveis durante sua vida útil, ou ainda realizar o dimensionamento de uma seção ainda não definida por completo, com o intuito que a mesma suporte as solicitações máximas que poderá estar submetida.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), são denominadas ações na estrutura, qualquer influência que é capaz de causar na estrutura um estado de tensão ou deformação, as ações são classificadas em três tipos de acordo com a NBR 8681/2003: Ações e Segurança nas Estruturas – procedimento, são elas: ações permanentes, ações variáveis e as ações excepcionais.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), as ações permanentes são as que ocorrem praticamente em toda vida útil da estrutura, são ações constantes ou com pouca variabilidade. Esse tipo de ação deve ser considerado no dimensionamento com seus valores mais desfavoráveis visando a segurança da estrutura. Podem ser divididos em diretas e indiretas.

De acordo com Araújo (2014), as ações variáveis são aquelas que seus valores sofrem variações durante a vida útil da estrutura. A NBR 6118/2014 no item 11.4, classifica essas ações como: Ações variáveis diretas e indiretas.

As ações variáveis diretas segundo a NBR 6118/2014 no item 11.4.1, são as ações constituídas pelas cargas acidentais para o uso da construção (pessoas, móveis, etc.), ações do vento e da água. Já as ações variáveis indiretas segundo a mesma norma, são as ações causadas por variações uniformes e não uniformes de temperatura e pelas ações dinâmicas.

As ações excepcionais são aquelas que tem uma duração muito curta na estrutura e uma possibilidade de ocorrência muito pequena de acontecer durante a vida útil da mesma, mas que devem ser consideradas no dimensionamento de determinados tipos de estruturas. São exemplos de ações excepcionais explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes, sismos entre outros (ARAÚJO, 2014).

2.3 Ações do Vento

Segundo Carvalho & Pinheiro (2009) os ventos são deslocamentos de massas de ar decorrentes das diferenças de temperatura e, principalmente, pressão na atmosfera. Quando essas massas de ar alcançam certa velocidade, e se colidem com uma estrutura inerte, produzem nela uma certa pressão. Esses efeitos em estruturas cuja a relação entre a altura e a maior dimensão em planta é grande, podem ocasionar a instabilidade da estrutura.

A ação do vento nas edificações necessita essencialmente de dois fatores: os fatores meteorológicos e os fatores aerodinâmicos. Nos fatores meteorológicos são considerados a rugosidade e o tipo do terreno, a altura e o local em que a edificação se encontra e o tipo de

ocupação da região. Já os fatores aerodinâmicos dependem do formato do edifício, pois a reação do vento dependerá diretamente da forma da superfície na qual ele irá colidir. (REIS, 2013, P. 49)

2.4 Elementos estruturais

Segundo a NBR 6118/2014, os elementos estruturais de uma estrutura são classificados e definidos com a sua forma geométrica e conforme a sua função estrutural.

2.4.1 Vigas

A NBR 6118/2014 no item 14.4.1.1 define que, vigas são elementos estruturais lineares em que o efeito de flexão é predominante. Ainda segundo a norma, elementos lineares são aqueles que tem seu comprimento longitudinal três vezes a maior dimensão de sua seção transversal.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), o processo de cálculo de uma viga ocorre

da seguinte forma: primeiramente calcula-se a altura útil da seção transversal, em seguida é feita a determinação das resistências de cálculo do aço e do concreto, logo em seguida é determinado os esforços de cálculo e a profundidade da linha neutra, depois de realizado este processo, verifica-se em qual domínio a peça atingira o estado limite ultimo (ELU), verifica-se então as deformações no aço e no concreto, depois de realizado todo este processo, calcula-se a armadura longitudinal, espaçamento entre as barras e por último verifica-se a altura útil.

2.4.2 Pilares

A NBR 6118/2014 no item 14.4.1.2 define sendo pilar o elemento estrutural linear

de eixo reto, usualmente na vertical, predominando as forças normais de compressão.

De acordo com Araújo (2014) os pilares podem ser divididos em pilares de contraventados e de contraventamento, onde os mesmos tem as funções de resistir as cargas verticais a qual a estrutura está sendo solicitada, e também resistir aos esforços horizontais, tem do rigidez o suficiente para garantir a indeslocabilidade da estrutura.

2.4.3 Lajes

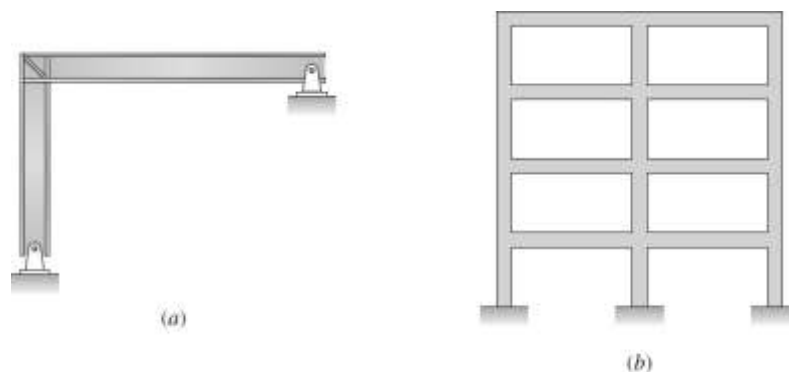
Segundo Araújo (2014) lajes são os elementos estruturais responsáveis por receber

as cargas de utilização da estrutura e a transmitirem para as vigas, além de servir também para distribuir as ações horizontais a que a estrutura está submetida para os elementos de contraventamento. Existem vários modelos de lajes, cada qual com sua particularidade e melhor desempenho em modelos estruturais específicos, cabe ao projetista definir qual o melhor modelo escolher, dentre eles estão as lajes maciças, lajes nervuradas, lajes cogumelos, treliçadas.

2.4.4 Estruturas em Pórticos

Estruturas de pórtico são elementos estruturais formados de vigas e colunas

conectados por ligações rígidas, de forma que não se permita rotações relativas nestes nós. Normalmente, os ângulos formados entre a coluna e a viga é de 90° . Como mostra a Figura 1 esses elementos podem consistir em uma única coluna e viga ou, como em uma edificação de diversos andares, de muitas colunas e vigas. Os pórticos ainda se dividem em duas categorias, os pórticos contraventados e os não contraventados (LEET, UANG e GILBERT, 2008, p. 188).



Fonte: (LEET, UANG e GILBERT, 2008, p. 189)

Figura 1: (a) Pórtico simples; (b) Pórtico contínuo de edificações com vários pavimentos.

Pode se definir Pórticos Contraventados sendo: “Pórtico contraventado é aquele no qual os nós em cada nível estão livres para girar, mas são impedidos de se mover lateralmente pela fixação em um elemento rígido que pode fornecer-lhes restrição lateral” (LEET, UANG e GILBERT, 2008, p. 188),

De acordo com Leet, Uang e Gilbert (2008), pode-se definir como pórtico não contraventados aqueles no qual a resistência lateral ao deslocamento é fornecida pela rigidez á flexão das vigas e colunas.

2.5Softwares

O computador passou a ser utilizado para a análise estrutural a partir dos anos sessenta, embora inicialmente somente institutos de pesquisa e universidades tinham esta ferramenta. Na década seguinte, a utilização dos computadores passou a ser mais frequente, com a criação de programas gráficos interativos nas décadas de oitenta e noventa, a análise estrutural através de computadores passou a ser feita praticamente por todos os escritórios e empresas de cálculo estrutural (MARTHA, 2010).

2.5.1Eberick

Em meados dos anos 90, a empresa ALTOQI Tecnologia em informática LTDA,

lança a linha PRO, através dos produtos PROVIGA, PROLAJE, PROPILAR E PROINFRA desenvolvida para ambientes MS-DOS. Na mesma década, é lançada a versão para ambientes Windows, O Eberick propriamente dito. Este software é utilizado para a elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado, nele é possível fazer o dimensionamento de vigas, lajes, pilares, blocos, sapatas e estacas, levando em consideração a norma brasileira de projetos de estruturas de concreto armado NBR 6118/2014 (VERGUTZ & CUSTÓDIO, 2010, p. 53).

Segundo Vergutz& Custódio (2010), o processo de cálculo no qual o Eberick se baseia é o de dividir a estrutura através de um pórtico espacial composto de vigas e pilares. Neste processo os elementos são separados em barras, ligados através de nós. Os esforços solicitantes desses elementos são obtidos através da simulação de cada pilar e cada trecho de viga em barras do pórtico. As lajes porem são calculadas de forma independente do pórtico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A edificação em estudo caracteriza-se por ser do tipo Residencial, contendo o pavimento térreo e mais 3 pavimentos superiores, os denominados pavimentos tipos. O pavimento térreo trata-se do estacionamento do edifício residencial, e os demais pavimentos tipos de um conjunto de apartamentos. Cada pavimento tem um total de dois apartamentos, cada qual contendo uma sala (com sacada), três quartos (com sacada), uma cozinha, uma área de serviço e um banheiro social. A planta baixa em questão consta no anexa A da pesquisa.

Para a realização deste estudo, inicialmente foi dimensionado o edifício mencionado do parágrafo anterior, dimensionamento este realizado pelo software Eberick, configurado segundo os requisitos exigidos pela NBR 6118/2014.

Em seguida foi realizado um novo dimensionamento, objetivando o dimensionamento ótimo da estrutura. Posteriormente foi realizada uma comparação entre os dois dimensionamentos, os critérios utilizados para a análise econômica será o peso do aço que será utilizado em cada estrutura, podendo assim ser realizado uma quantificação de custo de cada uma das duas estruturas.

Para a comparação de custo entre os dois modelos estruturais foi utilizado a tabela Sinapi do estado do Mato Grosso 04/2019, foram retirados da tabela os valores para cada tipo de aço utilizado na estrutura, conforme descrito na Tabela 1 abaixo.

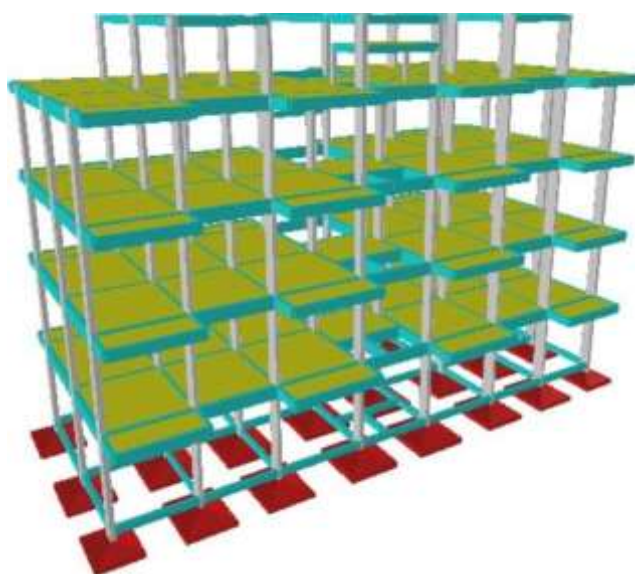
TIPO DE AÇO	DIÂMETRO (mm)	PREÇO (R\$/KG)
CA-50	6,3	5,24
CA-50	8	5,88
CA-50	10	5

CA-50	12,5	4,76
CA-50	16	4,76
CA-50	20	4,45
CA-60	5	4,96

Fonte: Elaborado pelo Autor

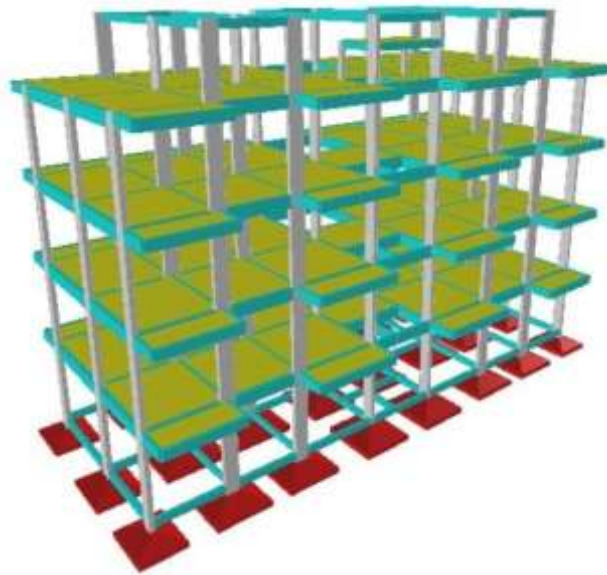
Tabela 1: Tabela Sinapi (Mato Grosso 04/2019)

O Software após realizado o dimensionamento da estrutura, nos fornece o modelo 3D da edificação, as dimensões e armaduras dos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), volume dos materiais utilizados, além de uma lista dos esforços, deslocamentos e resultados obtidos pelos cálculos realizados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2: Estrutura antes da Otimização

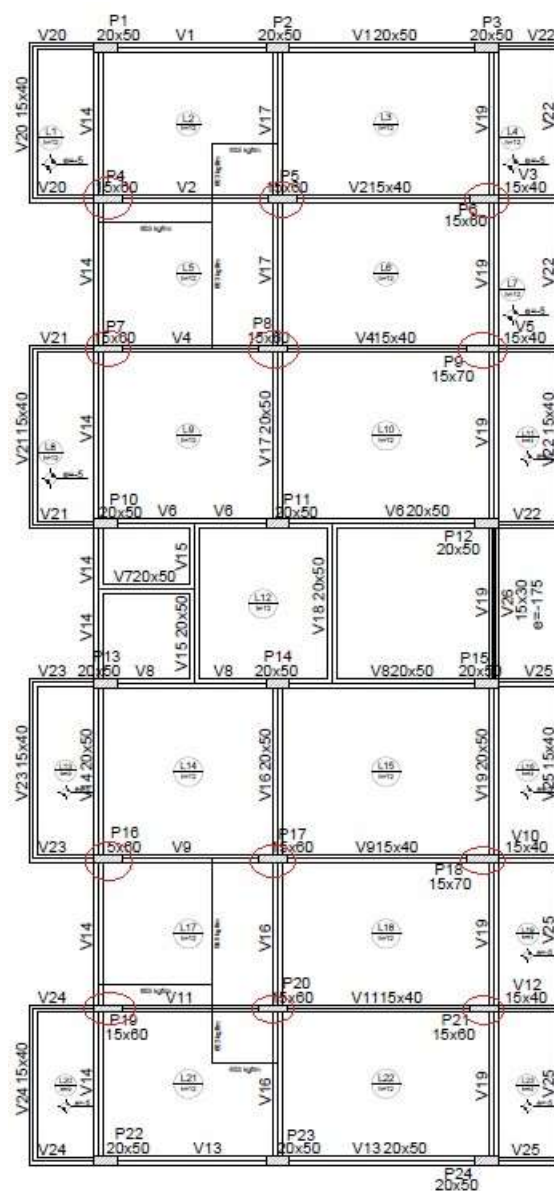


Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 3: Estrutura após a Otimização

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concluído o processo de dimensionamento da primeira estrutura, parte para o processo de otimização, este processo é realizado através de algumas análises, como modificação das posições dos pilares, rotacionando a seção de pilares, utilização de ligações semirígidas, realizando o travamento lateral dos pilares através de vigas, entre outros modelos.

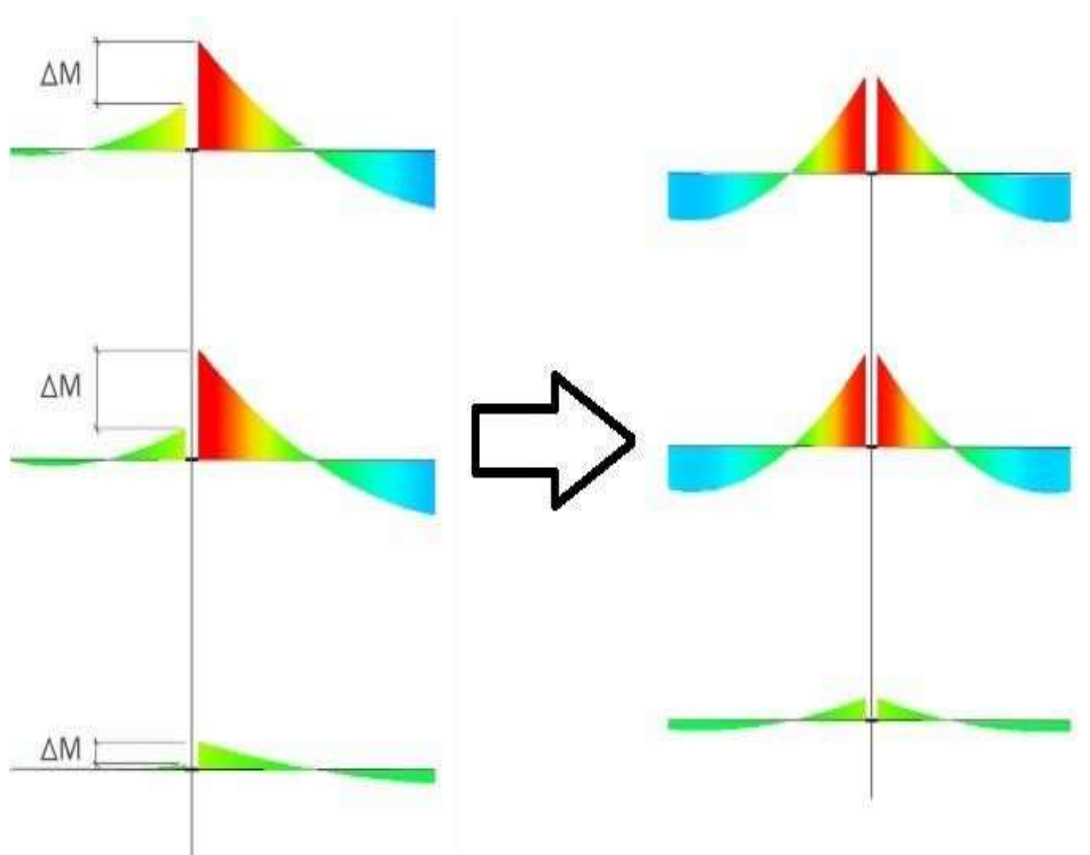


Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 04: Pilares a serem otimizados

4.1 Modificar a posição dos Pilares

Este método consiste em realizar alterações estratégicas nos posicionamentos dos pilares com o intuito de reduzir a descontinuidade (ΔM) do momento fletor aplicado sobre ele através das vigas. Deve-se analisar sempre a assimetria das estruturas ao realizar esta análise, quanto mais simétrica a estrutura melhor será a distribuição dos esforços das vigas para os pilares (KIRSTEN, 2019).

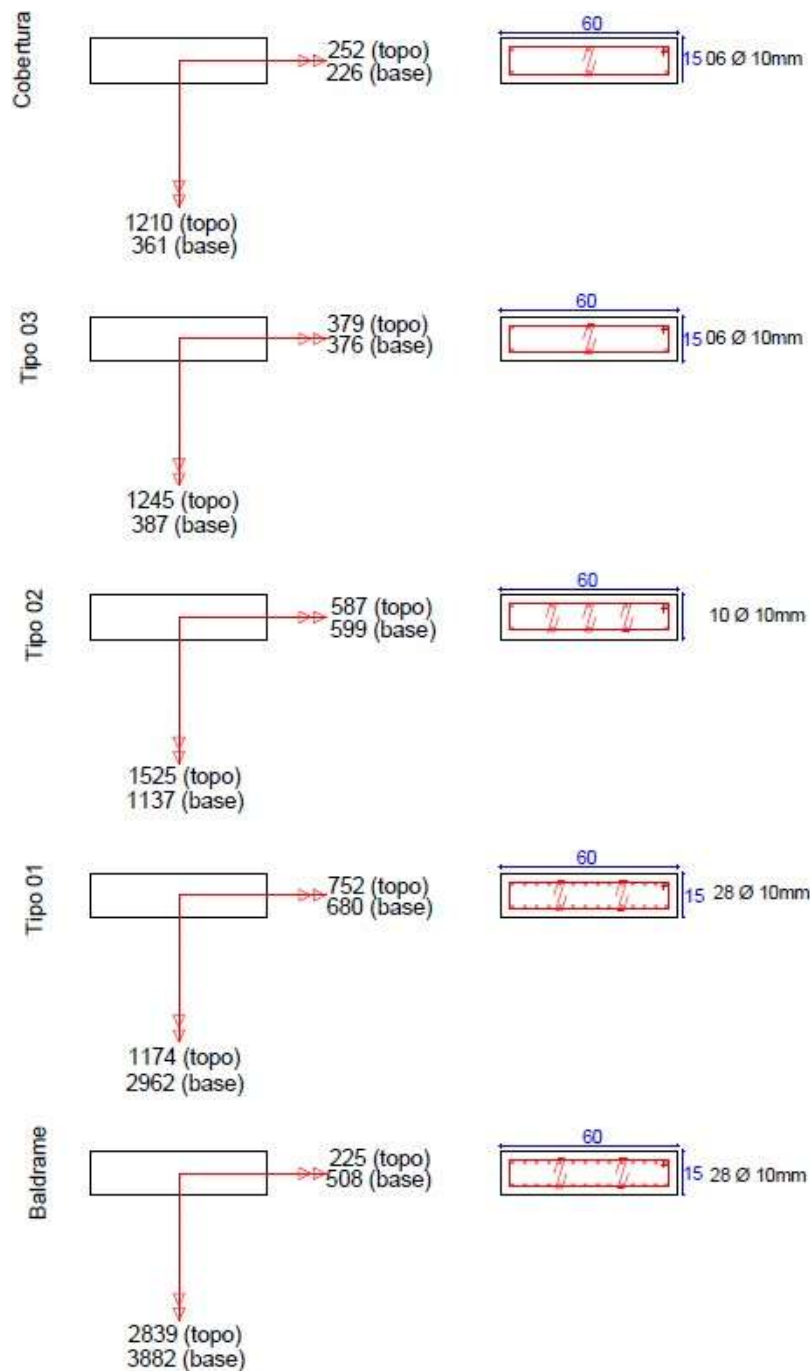


Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 05: Verificação dos Momentos na Estrutura

4.2 Rotação das seções dos pilares

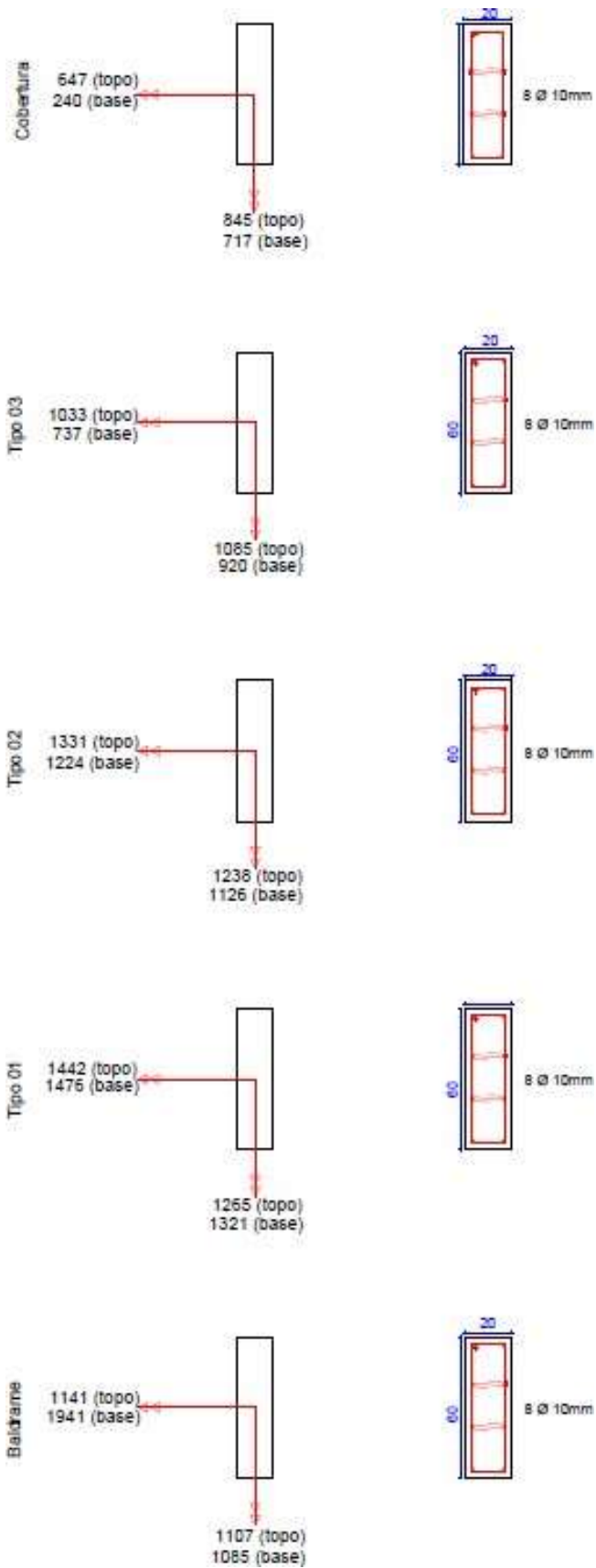
Outra forma de realizar a otimização dos pilares é rotacionando sua seção, verificando os momentos atuantes nas diferentes direções de inércia da seção, identificando assim qual o momento crítico para o dimensionamento da estrutura. Para esta análise utiliza-se o conceito de excentricidade relativa, pois nem sempre o maior valor de momento aplicado na direção de maior inércia será o momento crítico de dimensionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 06: Momentos solicitante no pilar 04

Verifica-se no exemplo acima que, o momento máximo atua na maior seção de inércia, porém ele ainda não é o momento crítico do dimensionamento, requerendo então uma análise mais criteriosa do mesmo, na figura 06 nota-se que realizando a rotação do pilar há uma diminuição da quantidade de aço empregado na peça.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 07: Momentos solicitantes no pilar 04 rotacionado

4.3 Pavimento baldrame

A figura 07 apresenta o levantamento de custo do aço do pavimento baldrame, nele é possível observar que, houve uma diminuição do consumo de aço na estrutura. Segundo o gráfico a diminuição foi maior nos pilares da estrutura, neste pavimento houve uma economia de cerca de 24,58% do consumo de aço.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 08: Relação de Custos do Aço

4.4 Pavimento tipo 01

A figura 08 representa o consumo de aço no pavimento tipo 01, dividindo-se entre os consumos nos pilares, vigas e lajes. Verifica-se que neste pavimento o consumo de aço nas vigas e lajes foram superiores na estrutura otimizada, houve um acréscimo de 2,27 % de aço. Porém ao analisar o consumo nos pilares a economia gerada foi bem superior, gerando uma economia 26,38% do consumo de aço neste pavimento.

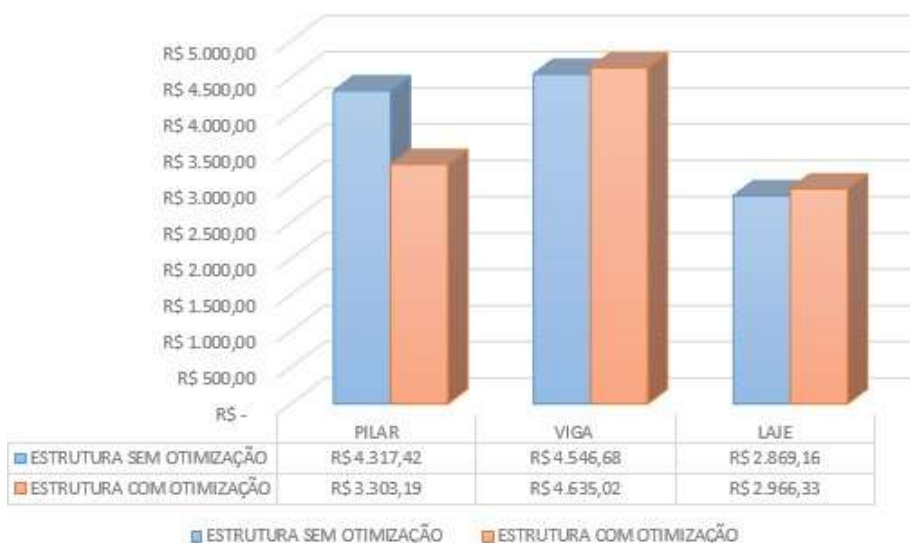


Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 09: Relação de Custos do Aço

4.5 Pavimento tipo 02

Ao analisar os resultados obtidos no pavimento tipo 2, verifica-se que o mesmo apresenta a mesma característica do pavimento tipo 01, onde há um acréscimo dos custos referentes ao aço das vigas e lajes, no entanto a economia gerada no custo do aço é de 7,06%, segundo demonstrado na figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 10: Relação de Custos do Aço

4.6 Pavimento tipo 03 e Pavimento Cobertura

A figura 10 e a figura 11 representam o custo do aço dos pavimentos tipo 03 e cobertura respectivamente, ao realizar a análise do custo entre os dois modelos estruturais nestes dos pavimentos, observa-se que nos mesmos obtiveram um acréscimo no custo da estrutura otimizada, quando comparado a estrutura não otimizada, constatou-se que o acréscimo gerado foi de aproximadamente 4,80%.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 11: Relação de Custos do Aço



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 12: Relação de Custo do Aço

No entanto, quando analisada a estrutura por completo, somando-se os custos totais de aço utilizado em toda a estrutura, verifica-se que com a otimização desta estrutura foi possível a obtenção de uma economia de cerca de 9,60% no preço total do aço utilizado na estrutura, valor este correspondente a R\$ 5.010,23 reais.

5. CONCLUSÃO

Constatou-se com este trabalho que, ao se realizar um dimensionamento mais criterioso da estrutura, consegue-se obter uma economia bastante significativa quando comparado ao preço global da edificação.

Verificou-se que, a maior economia gerada foi nos pilares da edificação, porém nota-se que nos dois últimos pavimentos (tipo 3 e cobertura) houve um acréscimo no custo do aço utilizado, porém este custo não foi tão oneroso a ponto de elevar muito o preço global do aço na estrutura.

Vale ressaltar que, a economia gerada irá depender muito das características do projeto, pois cada projeto tem a sua particularidade, não podendo afirmar que todos poderão ter o mesmo resultado obtido através da estrutura analisada neste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concretos-Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1988 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003 18p.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, v. 1, 2014.

ARAÚJO, M. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, v. 2, 2014.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Rio grande: Dunas, v. 3, 2014.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Rio grande: Dunas, v. 4, 2014.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. D. F. **Cálculo e detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4ª. ed. São Carlos: EDUFSCar, 2014. 415 p.

JÚNIOR, P. S. B. A. **Concepção e projeto estrutural para construções de múltiplos pavimentos: definição, elementos estruturais, métodos de cálculo**. 2011. 67pg. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em engenharia civil, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.

LEET, K. M.; UANG, C.-M.; GILBERT, A. M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3ª Edição. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MARTHA, L. F. **Análise de estruturas conceitos e metodosbasicos**. 1ª. ed. Rio de Janeiro :Elsevier, 2010.

NEVES, W. T. **Análise da influência da rigidez das ligações viga-pilar em estruturas de concreto armado de múltiplos pavimentos.** 2016. 74pg. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

REIS, J. J. **ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS ALTOS.** Monografia de conclusão de curso. Florianópolis/SC. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. 2013.

VERGUTZ, J.A, CUSTÓDIO, R. **Análise comparativa de resultados obtidos em softwares de dimensionamento de estruturas em concreto armado.** 2010. 261pg. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KIRSTEN, A. Reduzir a armadura de pilares modificando sua posição. 2019. AltoQi, Florianópolis, 2019