

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA JÚLIA SILVA GONÇALVES

BEATRIZ BORBAS SILVA

**ESTUDO DE TÉCNICAS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE
ESTRUTURAS E SEU IMPACTO NA EXECUÇÃO DE
PROJETOS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS**

ANÁPOLIS / GO

2020

ANA JÚLIA SILVA GONÇALVES

BEATRIZ BORBAS SILVA

**ESTUDO DE TÉCNICAS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE
ESTRUTURAS E SEU IMPACTO NA EXECUÇÃO DE
PROJETOS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO
DA SILVA**

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

GONÇALVES, ANA JÚLIA SILVA/ SILVA, BEATRIZ BORBAS

Estudo de técnicas de pré-dimensionamento de estruturas e seu impacto na execução de projetos estruturais de edifícios.

77P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Projeto estrutural

3. Concreto armado

I. ENC/UNI

2. Pré-dimensionamento

4. Estruturas

II. Bacharel

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONÇALVES, Ana Júlia Silva; SILVA, Beatriz Borbas. Estudo de técnicas de pré-dimensionamento de estruturas e seu impacto na execução de projetos estruturais de edifícios. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 77p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ana Júlia Silva Gonçalves

Beatriz Borbas Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de técnicas de pré-dimensionamento de estruturas e seu impacto na execução de projetos estruturais de edifícios.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA 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.

Ana Júlia Silva Gonçalves

E-mail: aanaajuliaahoppy@gmail.com

Beatriz Borbas Silva

E-mail: bia411borbas1998@gmail.com

ANA JÚLIA SILVA GONÇALVES

BEATRIZ BORBAS SILVA

**ESTUDO DE TÉCNICAS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE
ESTRUTURAS E SEU IMPACTO NA EXECUÇÃO DE
PROJETOS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre
(UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)**

**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra
(UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 de novembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria, força e fé que me deu até aqui. Aos meus pais que me apoiaram desde o início, e que deram o máximo de si para que mais essa jornada se concretizasse. Todo meu esforço e dedicação dedico a eles, obrigada por tudo e por tanto. À minha grande amiga e parceira de trabalho Bia e nosso orientador que se dedicou tanto para que para executássemos um ótimo trabalho.

.....

Ana Júlia Silva Gonçalves

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria, discernimento e paciência para a realização do trabalho, aos meus pais por todo o apoio e dedicação á mim, se desdobrando pra que esse sonho se realizasse, agradeço ao meu professor por todo o conhecimento repassado, agradeço a minha dupla e amiga Ana Júlia por tanto companheirismo e dedicação na realização deste trabalho.

.....

Beatriz Borbas Silva

RESUMO

O projeto estrutural demanda várias etapas distintas para sua execução, sendo a concepção estrutural considerada por vários pesquisadores uma das etapas mais importantes, pois permite avaliar e prever o comportamento da estrutura antes dos cálculos finais, avaliar a estabilidade inicial do edifício, analisar a viabilidade do quantitativo de peças lançadas. Além de impactar no custo final do projeto e no custo final da obra.

Dentro de tal importância a fase de concepção deve demandar um tempo considerável na fase de projeto. Vários engenheiros não dão o devido valor dessa etapa, sofrendo com retrabalhos devido a reajustes constantes de dimensão das peças estruturais. Diversos pesquisadores na literatura sugerem métodos de pré-dimensionamento distintos com o intuito de otimizar a fase de concepção. Dentre esses pesquisadores escolheu-se cinco métodos com o intuito de avaliar a viabilidade de cada um deles. Ao avaliar as metodologias observou que para pilares a discrepância entre os resultados foi considerável sendo escolhidas duas metodologias para uma análise avançada: um método econômico e um mais com resultados mais robustos. Para vigas e lajes a discrepância não foi grande sendo adotado apenas o modelo mais econômico para análise, sendo que os pilares são os que mais interferem globalmente no projeto. Observou-se que o método mais robusto para pilar apresentado por José Milton de Araújo gerou menos erros de concepção reduzindo o tempo de análise e cálculo final do projeto.

PALAVRAS-CHAVE:

Pré-dimensionamento. Projeto estrutural. Pilares. Vigas. Lajes.

ABSTRACT

The structural design requires several distinct stages for its execution, with the structural design being considered by several researchers as one of the most important stages, since it allows to evaluate and predict the behavior of the structure before the final calculations, evaluate the initial stability of the building, analyze the viability of the building. number of pieces launched. In addition to impacting the final cost of the project and the final cost of the work.

Within such importance, the design phase should demand considerable time in the design phase. Several engineers do not give due importance to this stage, suffering from rework due to constant readjustments in the dimension of structural parts. Several researchers in the literature suggest different pre-dimensioning methods in order to optimize the design phase. Among these researchers, five methods were chosen in order to assess the viability of each one. When evaluating the methodologies, he observed that for the pillars the discrepancy between the results was considerable, being chosen two methodologies for an advanced analysis: an economic method and a more with more robust results. For beams and slabs, the discrepancy was not great, with only the most economical model being adopted for analysis, and the pillars are the ones that most interfere globally in the project. It was observed that the most robust method for pillar presented by José Milton de Araújo generated less design errors, reducing the time of analysis and final calculation of the project.

KEYWORDS:

Pre-dimensioning. Structural design. Pillars. Beams. Slabs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas que compõem o projeto estrutural	18
Figura 2- Modelo da estrutura	19
Figura 3- Requisitos de qualidade do projeto	21
Figura 4- Requisitos de qualidade do projeto	21
Figura 5- Requisitos de qualidade do projeto	21
Figura 6- Representação dos elementos estruturais	22
Figura 7- Representação de elementos lineares	23
Figura 8- Representação de elementos bidimensionais	23
Figura 9- Elementos bidimensionais	24
Figura 10- Representação de elementos tridimensionais	24
Figura 11- Representação de um pilar	25
Figura 12- Esquema de transferência de cargas	25
Figura 13- Classificação dos pilares	26
Figura 14- Representação de pilar intermediário	26
Figura 15- Representação de pilar de extremidade	27
Figura 16- Representação de pilar de canto	27
Figura 17- Representação da seção transversal de uma viga	28
Figura 18- Representação de uma viga semi invertida e invertida	29
Figura 19- Laje Maciça	30
Figura 20- Representação das fundações a)superficiais b)profundas	31
Figura 21- Representação das fundações mistas	31
Figura 22- Fundações superficiais	32
Figura 23- Fundações profundas	33
Figura 24- Áreas de influência de pilares	35
Figura 25- Determinação do esforço característico	36
Figura 26- Planta baixa	47
Figura 27- Corte AA do projeto	48
Figura 28- Planta com pilares, lajes e vigas	64
Figura 29- Desenho 3D do prédio modelo 1	64
Figura 30- Pilares que apresentaram erro	65
Figura 31- Vigas que apresentaram erro	65
Figura 32- Lajes que apresentaram erro	66

Figura 33– Desenho do deslocamento do prédio 1.....	66
Figura 34– Diagrama de esforços cortantes do prédio 1	67
Figura 35– Diagrama de momentos fletores do prédio 1	67
Figura 36– Desenho 3D do prédio modelo 2.....	68
Figura 37– Pilares que apresentaram erro 2	68
Figura 38– Vigas que apresentaram erro 2.....	69
Figura 39– Lajes que apresentaram erro 2.....	69
Figura 40– Desenho do deslocamento do prédio 2.....	70
Figura 41– Diagrama de esforços cortantes do prédio 2	70
Figura 42– Diagrama de momentos fletores do prédio 2	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Combinações para simulação	63
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Coeficientes de Majoração	39
Tabela 2- Coeficientes de correção	41
Tabela 3- Fórmulas de pré-dimensionamento usando o Método do Vão Ponderado.....	44
Tabela 4- Pré-dimensionamento de pilares, método 1	48
Tabela 5- Pré-dimensionamento de pilares, método 2.....	49
Tabela 6- Pré-dimensionamento de pilares, método 3.....	50
Tabela 7- Pré-dimensionamento de pilares, método 4.....	51
Tabela 8- Pré-dimensionamento de pilares, método 5.....	52
Tabela 9- Pré-dimensionamento de vigas, método 1	53
Tabela 10- Pré-dimensionamento de vigas, método 2	54
Tabela 11- Pré-dimensionamento de vigas, método 3	54
Tabela 12- Pré-dimensionamento de vigas, método 4	55
Tabela 13- Pré-dimensionamento de vigas, método 5	56
Tabela 14- Pré-dimensionamento de lajes, método 1	56
Tabela 15- Pré-dimensionamento de lajes, método 2	57
Tabela 16- Pré-dimensionamento de lajes, método 3	57
Tabela 17- Pré-dimensionamento de lajes, método 4	58
Tabela 18- Pré-dimensionamento de lajes, método 5	59
Tabela 19- Comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de pilares	60
Tabela 20- Comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de vigas	61
Tabela 21- Comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de lajes	62

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira
f_{ck}	Resistência do Concreto a Compressão Axial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 METODOLOGIA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 PROJETO ESTRUTURAL	18
2.1 ELEMENTOS DE UMA ESTRUTURA.....	21
2.1.1 Pilar.....	24
2.1.2 Vigas	28
2.1.3 Lajes.....	29
2.1.4 Fundação	30
3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	34
3.1 PILARES.....	34
3.1.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo.....	35
3.1.2 Método 2 segundo José de Moura.....	37
3.1.3 Método 3 segundo Gerson Alva	38
3.1.4 Método 4 segundo João Carlos Souza	39
3.1.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha.....	40
3.2 VIGAS.....	42
3.2.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo.....	42
3.2.2 Método 2 segundo José de Moura.....	43
3.2.3 Método 3 segundo Gerson Alva	43
3.2.4 Método 4 segundo João Carlos Souza	43
3.2.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha.....	43
3.3 LAJES	44
3.3.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo.....	45
3.3.2 Método 2 segundo José de Moura.....	45
3.3.3 Método 3 segundo Gerson Alva	45
3.3.4 Método 4 segundo João Carlos Souza	45
3.3.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha.....	45

4 ESTUDO DE CASO	47
4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO	47
4.2 PRÉ DIMENSIONAMENTO DE PILAR	48
4.2.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo	48
4.2.2 Método 2 segundo José de Moura	49
4.2.3 Método 3 segundo Gerson Alva	50
4.2.4 Método 4 segundo João Carlos Souza	51
4.2.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha.....	52
4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VIGAS	53
4.3.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo.....	53
4.3.2 Método 2 segundo José de Moura.....	53
4.3.3 Método 3 segundo Gerson Alva	54
4.3.4 Método 4 segundo João Carlos Souza	55
4.3.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha.....	55
4.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE LAJES.....	56
4.4.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo.....	56
4.4.2 Método 2 segundo José de Moura.....	57
4.4.3 Método 3 segundo Gerson Alva	57
4.4.4 Método 4 segundo João Carlos Souza	58
4.4.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha.....	58
5 RESULTADOS	60
5.1 PILAR	60
5.2 VIGA.....	61
5.3 LAJE	61
5.4 VERIFICAÇÃO	62
5.4.1 Combinação 1	63
5.4.2 Combinação 2	68
5.4.3 Comparação dos resultados.....	71
6 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Com o passar das décadas nota-se evoluções e mudanças em diversos contextos sociais, fato que se aplica diretamente à construção civil. É perceptível a construção de prédios cada vez mais altos e robustos, o que conseqüentemente demanda maior dedicação e tempo de trabalho para o desenvolvimento desses projetos com maior relevância quando seu pré-dimensionamento for feito em tentativa e erro. Antagônico a esse fator se encontra uma sociedade mais exigente e com maior competitividade, nesse cenário se faz necessário a otimização de projetos. “Essa otimização busca alinhar qualidade, redução de custos, agilidade e satisfação desse modo, utilizam-se ferramentas que forneçam resultados de maneira econômica e conveniente” (MAIA,2009*apud*VANDERPLAATS, 1984). Portanto, para efeito desse método baseiam em pré-dimensionamentos o que comumente abrandam as chances de retrabalho.

O pré-dimensionamento pode ser entendido como a disposição das dimensões iniciais que serão adotadas nos elementos estruturais (pilares,vigas,lajes) para serem utilizados nos cálculos das estruturas. Existem inúmeras formas de pré-dimensionamento, no qual cada autor fundamenta-se de um parâmetro estabelecendo assim o seu método.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), “cabe definir os critérios gerais que regem o projeto das estruturas de concreto, sejam elas de edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos ou aeroportos etc. Assim, ela deve ser complementada por outras normas que fixem critérios para estruturas específicas”.

Segundo Pinheiro; Muzardo, Santos (2007),

O pré-dimensionamento dos elementos estruturais é necessário para que se possa calcular o peso próprio da estrutura, que é a primeira parcela considerada no cálculo das ações. O conhecimento das dimensões permite determinar os vãos equivalentes e as rigidezes, necessários no cálculo das ligações entre os elementos.

Para mais nessa ótica, é salvo enaltecer a importância de pré-dimensionamento uma vez que existem softwares que realizam cálculos de estruturas como, por exemplo, ALTO QI,Cypecad dentre outros, se tratando de programas com uma interface árdua de desenho e que mudanças podem levar a erros e conseqüências nos cálculos não anulando a necessidade da atuação de profissionais cada vez mais capacitados e comprometidos para que essa relação esteja em concordância.

É importante salientar que em sua maioria os pré-dimensionamentos são realizados baseados em estruturas já calculadas somada a habilidade do engenheiro projetista, tornando muitas vezes estruturas superdimensionadas e com alto custo e sendo inerente com a proposta da otimização. Sendo assim, diante do contexto apresentado o trabalho visa estudar as melhores técnicas de pré-dimensionamentos e todos os seus benefícios, haja visto que sendo bem dimensionado, além de todas as questões ligadas com projeto, execução, custos serem impactadas positivamente, a relação engenheiro e cliente é aprimorada, tornando-se um aspecto de grande eficácia principalmente na atualidade em que o mercado busca por agilidade e além disso oferece ao profissional oportunidades de grandes ganhos em seu escritório uma vez que, a quantidade de projetos será acrescida.

1.1 JUSTIFICATIVA

O dimensionamento pode ser designado das etapas de cálculo, a mais importantes na concepção do projeto da construção civil, é por meio dele que o engenheiro calculista define o uso dos materiais considerando dimensões de vigas, pilares e lajes. O presente trabalho é extremamente relevante uma vez que tem por motivação apresentar métodos de pré-dimensionamento, onde reduzam o tempo da execução de projetos, para que seja possível realizar o cálculo do peso próprio, tendo em vista que o engenheiro deva realizar uma previsão estrutural necessária.

As obras da literatura mais atuais e utilizadas de pré-dimensionamento trazem métodos para realização deste, em geral através de processos de análises gráficas, que direcionam a uma grande variação da dimensão das peças, e poucas delas consideram fatores que influenciam de forma significativa no resultado final, como geometria, carregamento, condições de apoio que dificultam a obtenção dos valores mais próximos daqueles previstos pelo dimensionamento (MELO, 2013).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo sobre a fase de pré-dimensionamento de uma estrutura com o intuito de otimizar o tempo de execução dos projetos de estruturas de concreto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamento bibliográfico do tema;
- Destacar os principais modelos de pré-dimensionamento de laje;
- Destacar os principais modelos de pré-dimensionamento de viga;
- Destacar os principais modelos de pré-dimensionamento de pilar;
- Comparar os resultados obtidos em cada modelo;
- Criar um material didático destacando o melhor método para cada tipo de estrutura.

1.3 METODOLOGIA

Na construção desse trabalho serão utilizadas duas vertentes a revisão bibliográfica sobre o tema proposto em conjunto com o estudo de caso.

Na revisão bibliográfica será buscado o aprofundamento do assunto com ênfase nos distintos tipos de pré-dimensionamentos e seus impactos nos cálculos estruturais através da bibliografia disponível na biblioteca de nossa instituição e pesquisas realizadas na internet, no qual ao fim do trabalho vamos realizar uma comparação e uma avaliação do melhor, levando em consideração os erros de seção.

No estudo de caso, trabalharemos a execução de um projeto de grande porte em que será aplicado todos os estudos realizados na revisão bibliográfica utilizando o software Eberick o programa no qual é disponibilizado no laboratório da faculdade e pré-dimensionamentos variados determinando a partir de então a técnica mais favorável que ocasionará economia nos projetos e execução.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo será apresentada a introdução, onde é exposta a importância do pré-dimensionamento para o projeto estrutural expondo suas respectivas vantagens, em conjunto com a justificativa e objetivos de demonstrar o melhor pré-dimensionamento, também se encontra a metodologia utilizada para a realização de todo o trabalho.

O segundo capítulo aborda sobre o projeto estrutural, trazendo a sua definição bem como o que é necessário para ser realizado corretamente e todos os custos que o compõem, é inserido também nesse capítulo o que precisa apresentar após ficar pronto para o êxito de

projetos e engenheiro, está também associado aos elementos de uma estrutura, ou seja, tipos e classificações de elementos que compõem a estrutura, para melhor entendimento e determinação das estruturas utilizadas. É nesse capítulo que se encontra as estruturas principais de uma edificação (Pilar, Vigas, Lajes e Fundações).

O terceiro capítulo demonstra a proposta do pré-dimensionamento, são utilizados nos mesmo alguns autores e formulas para dimensionar uma estrutura. De forma detalhada apresenta separadamente as formulações e recomendações para cada elemento estrutural.

2 PROJETO ESTRUTURAL

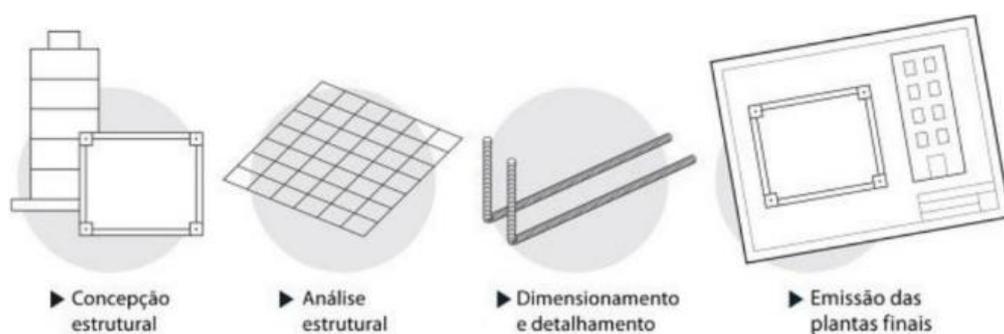
Projeto estrutural pode ser definido como uma das fases mais relevantes do projeto. Ele demanda muito tempo e a possibilidade de retrabalho é muito grande devido ao número de elementos. Entende-se por projeto estrutural segundo (ANJOS, 2017):

É um projeto complementar ao arquitetônico cujo foco é o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais (pilares, vigas, lajes). Hoje em dia, já observamos em alguns projetos um pré-lançamento dos pilares por parte dos arquitetos, o que facilita muito o trabalho do engenheiro, que pode partir logo para a fase de dimensionamento e detalhamento dos elementos. Nessa fase de dimensionamento, o engenheiro, auxiliado por normas (NBR- 6118/2014 e NBR- 6120/1980) e por softwares.

É de suma importância que se atente a todos os custos que circundam o projeto de estruturas. Partindo do ponto de vista de Albuquerque (1999), o projeto estrutural corresponde a um custo elevado, levando em consideração o valor total com uma representatividade variando de 15 a 20% referente ao custo.

Para a formulação do projeto de estruturas, podemos subdividi-lo em quatro etapas sendo elas, definir os dados também intitulados concepções estruturais, análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento e por fim emitir a plantas (KIMURA, 2018). Conforme (Figura 1).

Figura 1- Etapas que compõem o projeto estrutural



Fonte: KIMURA, 2018.

- **Concepção estrutural-** nesta fase inicial acontece o pré-dimensionamento de elementos, define dados dos elementos que serão utilizados além de, definir os carregamentos atuantes na estrutura.

Na realização dessa concepção o engenheiro precisa levar em consideração alguns aspectos primordiais entre as quais está a garantia de que o projeto arquitetônico será funcional juntamente com a manutenção da estética. E mesmo tendo diversos fatores que possam influenciar na formulação da estrutura, cabe ao engenheiro buscar a alternativa mais econômica (ALBUQUERQUE, 1999).

- **Análise Estrutural**- nesta etapa será prevista quais os efeitos na estrutura dos carregamentos expondo resumidamente, será feita uma simulação estrutural e através da mesma serão realizados os cálculos estruturais.

“A análise estrutural é uma etapa muito importante. De nada adianta dimensionar as armaduras de uma maneira extremamente refinada se os esforços calculados não traduzirem a realidade à qual a estrutura está sujeita” (KIMURA, 2018).

Nessa etapa precisam ser levados em consideração alguns fatores que afetam diretamente no dimensionamento, sendo eles o f_{ck} do concreto, as condições climáticas da região, e as cargas permanentes e cargas acidentais (ANJOS, 2017).

É indispensável que o engenheiro apresente habilidade e de maneira satisfatória represente o modelo real e ressalta-se que a importância da preocupação do engenheiro para representar da melhor forma a estrutura (GIONGO, 2007). Conforme (Figura 2).

Figura 2- Modelo da estrutura



Fonte: GIONGO, 2007.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), na análise estrutural tem-se por objetivo estabelecer todos os efeitos advindos de ações que possibilitem afetar a segurança estrutural, levando em conta a verificação dos possíveis estados limites último e dos de serviço.

Conforme a NBR 8681 (ABNT, 2003) “ações são causas que provocam esforços ou deformações na estrutura.” Essas ações podem ser divididas em: permanentes, variáveis, excepcionais e acidentais.

- **Ações Permanentes-** são ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. Segundo Giongo (2006), ações permanentes podem ser subdivididas em diretas e indiretas.
- **Ações Permanentes Diretas-** são advindas do peso proveniente de elementos da construção, considerando-se também peso próprio estrutural e dos elementos permanentes. Em estruturas de edifícios, são inclusos peso próprio de elementos constituídos por concreto armado.
- **Ações Permanentes Indiretas-** em se tratando de concreto armado, essas ações são tratadas como força de pretensão em peças de concreto pretendido.
- **Ações Variáveis-** são aquelas que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno da sua média, durante a vida de construção. Conforme com (Giongo, 2006), essas ações são utilizadas nas construções, assim como seus próprios efeitos, do vento, variação de temperatura, dentre outros. Devido à probabilidade de ocorrer essas ações podem ser divididas em normais ou especiais.
- **Ações Variáveis Normais-** são ações com grande probabilidade de ocorrer, para que assim possam ser levadas em consideração no projeto.
- **Ações Variáveis Especiais-** são ações sísmicas ou cargas acidentais de intensidades especiais. Cargas especiais são aquelas compostas por caminhões de transporte de turbinas de usinas hidrelétricas.
- **Ações excepcionais-** São ações que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrer durante a vida da construção, mas que precisam ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas. Segundo (Giongo, 2006), essas ações são decorrentes de explosões, choque de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.
- **Dimensionamento e detalhamento-** nesta fase é realizado o dimensionamento alinhado ao detalhamento das armaduras dos elementos estruturais.
- **Emissão das plantas-** esta é a etapa final, onde ficam todos os desenhos e maneiras de execução da estrutura em canteiro de obra.

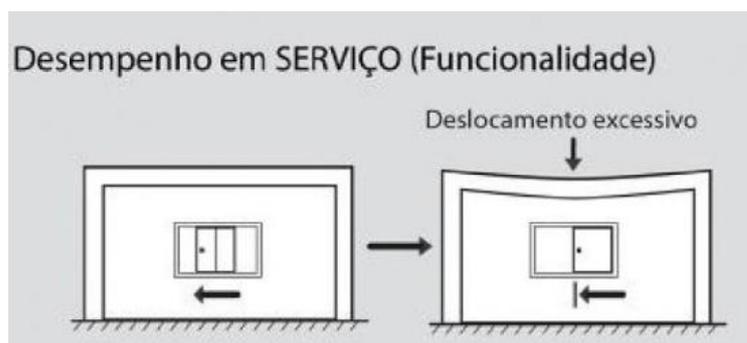
Pode-se dizer então que os projetos estruturais de qualidade eminente devem atender três recursos primordiais, sendo eles: grande capacidade em suportar os esforços em outras palavras ser seguro, dinamismo durante o serviço, ser funcional e, sobretudo ser durável (KIMURA, 2018). Conforme (Figuras 3, 4 e 5).

Figura 3- Requisitos de qualidade do projeto



Fonte: KIMURA, 2018.

Figura 4- Requisitos de qualidade do projeto



Fonte: KIMURA, 2018.

Figura 5- Requisitos de qualidade do projeto



Fonte: KIMURA, 2018.

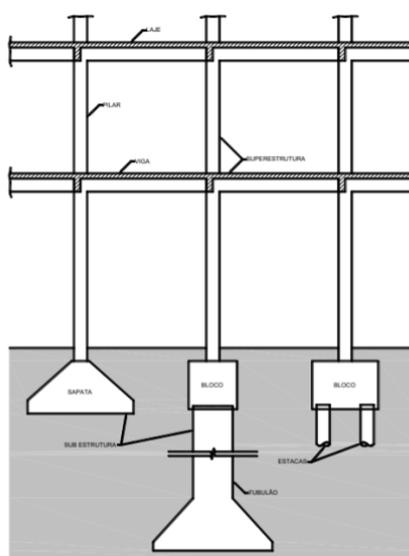
2.1 ELEMENTOS DE UMA ESTRUTURA

Estrutura pode ser entendida como um conjunto de elementos no qual cada um dispõe de uma função e comportamento, tais elementos se compõem em superestrutura, subestruturas e complementares.

Também denominada como fundação, a subestrutura são elementos estruturais no geral localizadas abaixo do último nível do sol e são responsáveis por transmitir todas as cargas existentes na estrutura para o solo.

Já as superestruturas são os elementos que se apoiam na subestrutura e transferem em geral no sentido vertical para a mesma todas as suas cargas (BASTOS, 2019). Conforme (Figura 6).

Figura 6- Representação dos elementos estruturais



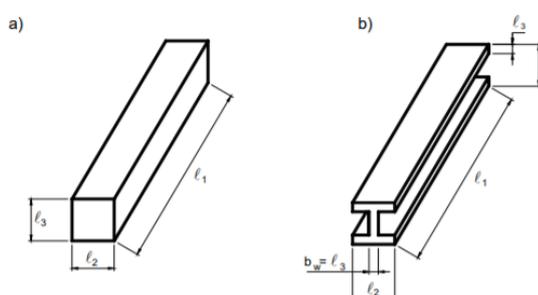
Fonte: BASTOS, 2019.

De acordo com Bastos (2006), “A classificação dos elementos estruturais segundo a sua geometria se faz comparando a ordem de grandeza das três dimensões principais do elemento (comprimento, altura e espessura)”.

E os classificam em elementos lineares, elementos bidimensionais e elementos tridimensionais.

- **Elementos Lineares:** são elementos no qual uma das dimensões é menor que as demais, também conceituados como chapas. Existem também elementos que não são executados com concreto armado em que a espessura é consideravelmente menor que a altura e são chamados elementos lineares de seção delgada. As vigas e pilares exemplificam esses elementos (Figura 7).

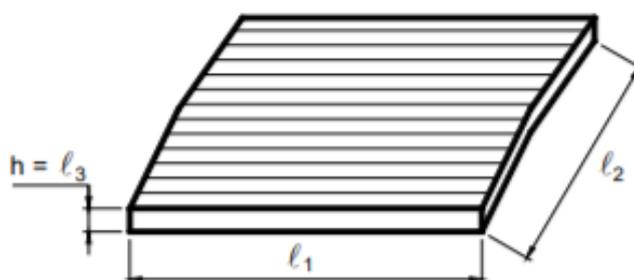
Figura 7- Representação de elementos lineares



Fonte: BASTOS, 2006.

- **Elementos Bidimensionais:** são elementos no qual uma das dimensões é maior que as demais, sendo também conceituados como elemento de superfície. Esses elementos recebem ainda outra classificação, sendo cascas quando a superfície é curva e chapas quando a mesma é plana (Figuras 8 e 9).

Figura 8- Representação de elementos bidimensionais



Fonte: BASTOS, 2006.

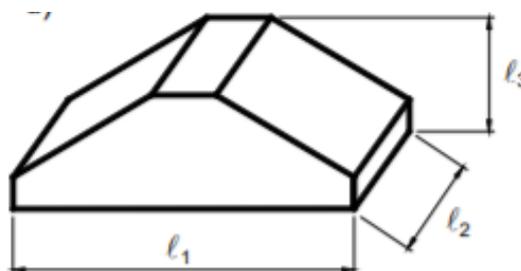
Figura 9- Elementos bidimensionais



Fonte: BASTOS, 2006.

- **Elementos tridimensionais:** também denominados elementos de volume possuem as três dimensões com a mesma proporção de tamanho (Figura 10).

Figura 10- Representação de elementos tridimensionais

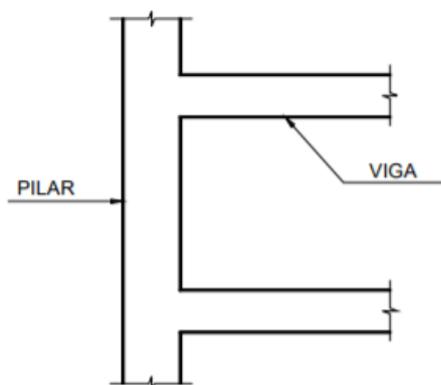


Fonte: BASTOS, 2006.

Torna-se indescritível mencionar que os elementos estruturais devem apresentar compatibilidade com o projeto arquitetônico e ainda que a disposição desses elementos seja de extrema relevância para a segurança da estrutura (GIONGO, 2007).

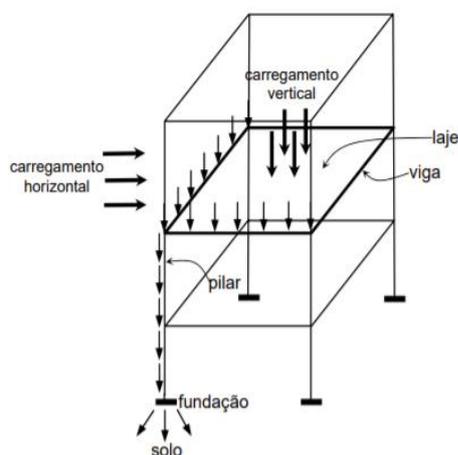
2.1.1 Pilar

Os Pilares fazem parte dos elementos estruturais e apresentam grande funcionalidade para a estrutura sendo conceituado de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) como “Elementos lineares de eixo reto, usualmente disposto na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”. Conforme (Figura 11).

Figura 11- Representação de um pilar

Fonte: BASTOS, 2006.

Entretanto podemos agregar a esse conceito e considerar os pilares como elementos de barra, que fornecem apoio às vigas e atuam como transferidor de cargas para as fundações, tendo como característica resistir também às ações do vento (ALVA,2007). Conforme (Figura 12).

Figura 12- Esquema de transferência de cargas

Fonte: ALVA,2007.

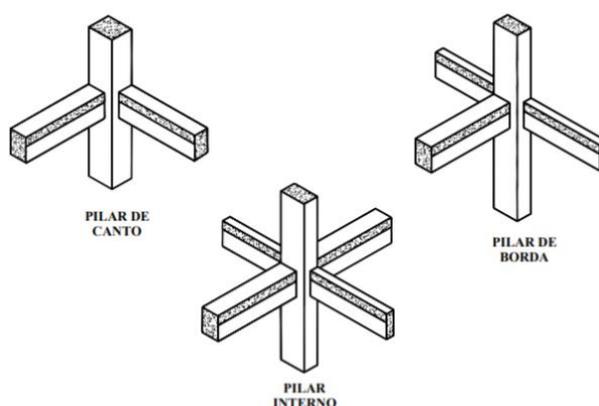
Podemos dizer que os pilares assumem grande importância na estrutura, e indo além pode ser classificado como o elemento de maior importância estrutural, pois ligado ao fato de possuir grande resistência se associa sua capacidade de segurança (BASTOS, 2006).

Diante dos conceitos apresentados e para fim de projetos os pilares são definidos e classificados de acordo com suas seções e localização nas estruturas.

Em sua grande maioria os pilares possuem seção retangular e podem estar auxiliando o apoio das mesmas localizadas nos cruzamentos das vigas ou cantos de edificação, de acordo com seu posicionamento são determinados os vãos das vigas que possuem em sua maioria seções retangulares e formatos de T ou L (ALVA, 2007).

De acordo com Bastos (2015) os pilares são divididos em pilares intermediários, pilares de extremidade e pilares de canto (Figura 13).

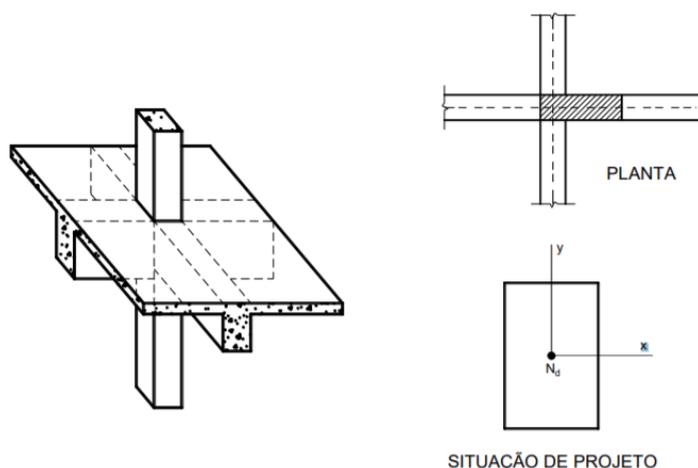
Figura 13– Classificação dos pilares



Fonte: BASTOS, 2015.

Pilares intermediários são aqueles pelos quais as vigas passam por ele, mas não possuem terminação nesse pilar, não possuindo momento fletor (Figura 14).

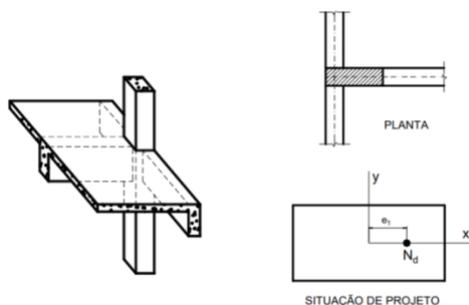
Figura 14- Representação de pilar intermediário



Fonte: BASTOS, 2015.

Pilares de extremidade são aqueles em que uma das vigas que passa pelo pilar termina no mesmo, ou seja, gera momento nesse pilar, normalmente estão na borda das edificações (BASTOS, 2015). Conforme (Figura 15).

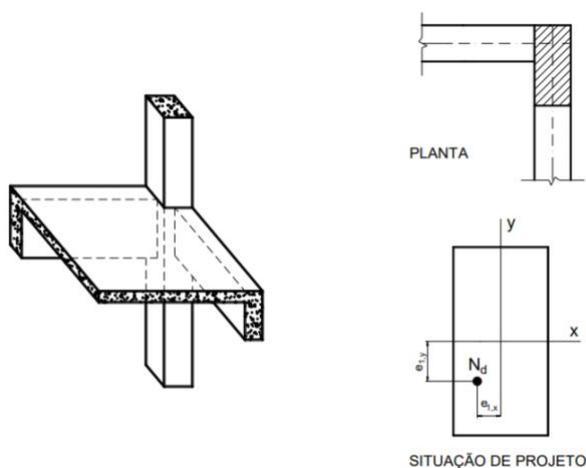
Figura 15- Representação de pilar de extremidade



Fonte: BASTOS, 2015.

Pilares de canto são os pilares que possuem momentos nas duas direções, pois todas as vigas descarregam nesse pilar, sendo localizados nos cantos dos edifícios (BASTOS,2015). Conforme (Figura 16).

Figura 16- Representação de pilar de canto



Fonte: BASTOS,2015.

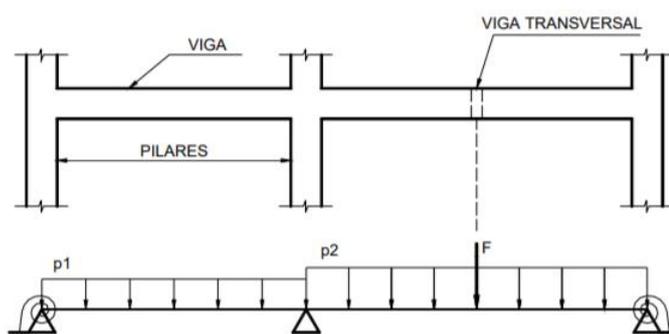
2.1.2 Vigas

Dentre os elementos estruturais de maior importância temos as vigas que de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) é exposto com “Elementos lineares em que a flexão é preponderante”.

Geralmente são horizontais e retas consideradas barras, em sua maioria recebem o carregamento de lajes, paredes, ressalta ainda que, tem como encargo vencer os vãos das estruturas e repassar aos apoios os carregamentos recebidos.

Diante todas as ações existentes, em sua maioria são perpendiculares ao eixo e podem ser distribuídas ou concentradas e fazem parte da estabilidade da estrutura (BASTOS, 2006). Conforme (Figura 17).

Figura 17- Representação da seção transversal de uma viga



Fonte: BASTOS, 2006.

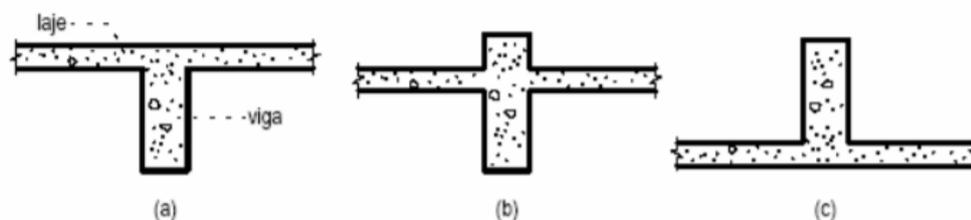
Pode-se dizer que as dimensões finais e o detalhamento adotado nas vigas dominam o seu custo, e uma vez que for devidamente projetada cada peça, apresentará satisfatória economia no produto final (MUÑIZ JUNIOR & OLIVEIRA, 2014).

Para facilitar o dimensionamento as vigas são classificadas e possuem características particulares (CARDOSO, 2016 *apud* BORGES, 2010) as classificam em três tipos “isoladas, contínuas ou em balanço. Vigas isoladas são as que possuem apenas um vão com dois apoios. Vigas contínuas são sustentadas por vários apoios, formando dois ou mais vãos. Vigas em balanço são sustentadas por apenas um apoio engastado”.

Dependendo da localização da alma em relação à laje as vigas podem ser apoiadas ou invertidas. Quando utilizadas por questões estéticas, ou seja, não é viável que apareça na face mais baixa da laje denominamos vigas invertidas, já as que possuem sua altura limitada e ser

exigida vigas altas pelo projetista estrutural utiliza-se vigas semi-invertidas (ALVA, 2007). Conforme (Figura 18).

Figura 18- Representação de uma viga semi invertida e invertida



Fonte: ALVA, 2007.

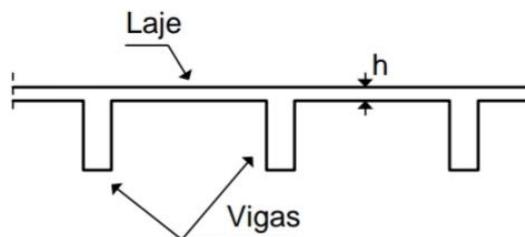
2.1.3 Lajes

Lajes são definidas como sendo elementos estruturais que possuem a função de receber cargas que são aplicadas nos pisos e transmitidas para as vigas. Também são utilizadas na distribuição de ações horizontais que estão entre elementos estruturais de contraventamento e funcionam como mesa que resiste a compressão de viga T. São elementos que possuem superfície bidimensional plana, onde sua espessura (h) é muito inferior às demais dimensões (ARAÚJO, 2014).

Em edifícios usuais, lajes maciças possuem uma grande contribuição em relação ao consumo do concreto, de aproximadamente 50% do resultado final (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2003). Dentre os vários tipos de lajes, as mais utilizadas são: as maciças, nervuradas, lisas e cogumelo, podendo ser moldada no local (*in loco*) ou pré-moldada.

As lajes maciças são muito comuns dentre os vários tipos de lajes, em pontes, edifícios de múltiplos pavimentos e em grandes construções. As de concreto armado são projetadas para diversos tipos de construção bem como escadas, reservatórios, escolas, hospitais, etc. (BASTOS, 2015). Conforme (Figura 19).

Figura 19- Laje Maciça



Fonte: ARAÚJO, 2014.

As lajes nervuradas são as mais utilizadas em construções de pequeno porte, sendo elas residenciais ou comerciais, uma vez que apresentam grandes vantagens em relação à economia e facilidade na construção (BASTOS, 2015).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 97), laje nervurada pode ser definida como sendo “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.” São utilizadas em casos onde se necessita vencer grandes vãos, normalmente são superiores a 8 m (ARAÚJO, 2014).

As lajes nervuradas são caracterizadas pela diminuição de concreto, na região que sofre tração, esse material pode ser utilizado como enchimento e deve ser o mais leve possível. Ressalta-se que esse material não é levado em consideração no cálculo da laje. Vários são os tipos de matérias que são utilizados como enchimento, dentre eles estão: os blocos cerâmicos, os blocos vazados de concreto e os blocos de EPS (poliestireno expandido), conhecido popularmente como isopor (PINHEIRO; RAZENTE, 2003).

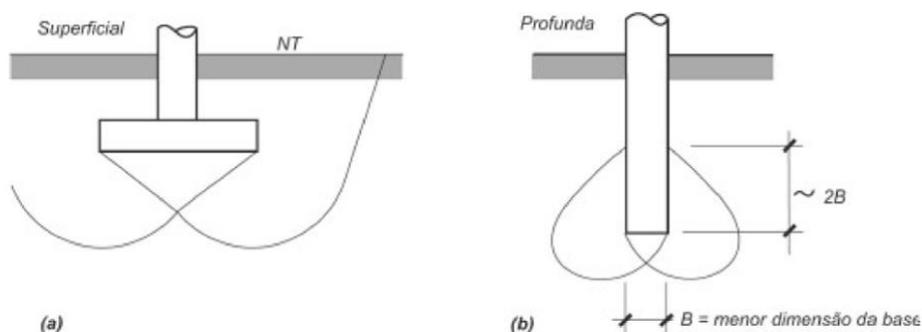
Ainda há as lajes lisas e as lajes cogumelo, segundo a NBR 6118 (ABNT 2014, p. 97) “as lajes cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são as apoiadas nos pilares sem capitéis”.

2.1.4 Fundação

Segundo Milititsky; Consoli; Schaid (2015), “fundação é o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura.” As fundações podem ser divididas em dois grupos: fundações superficiais (rasas) e fundações profundas (diretas), além dessas pode ser acrescentando as fundações chamadas mistas, pelo qual que combinam

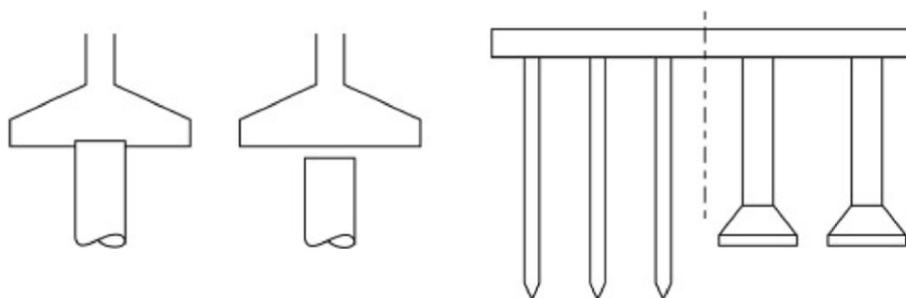
resultados da superficial com as fundações profundas (VELLOSO & LOPES, 2004). Conforme (Figuras 20 e 21).

Figura 20- Representação das fundações a) superficiais b) profundas



Fonte:VELLOSO eLOPES,2004.

Figura 21- Representação das fundações mistas



Fonte:VELLOSO;LOPES, 2004.

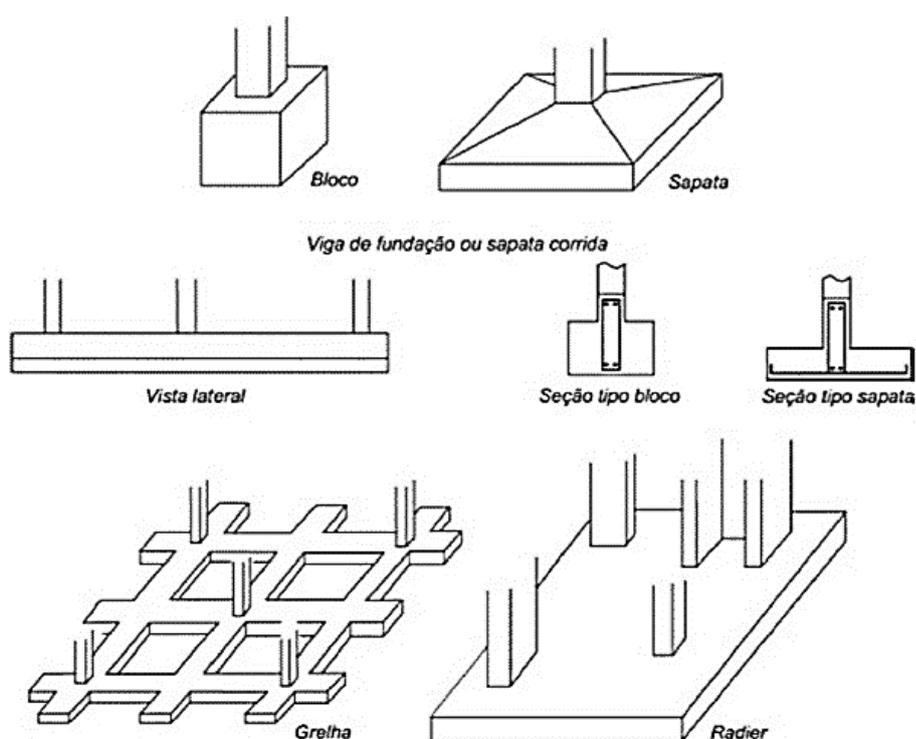
De acordo com NBR 6122 (ABNT 2010), “fundação superficial é definida como sendo elementos que transmitem a carga pela base, cuja profundidade de assentamento deverá ser inferior a duas vezes a menor dimensão”. São designadas como fundação superficial ou rasa a sapata, radier, bloco, sapata associada, sapata corrida e grelha.

As definições a seguir, são definidas segundo (VELLOSO; LOPES, 2004), conforme (Figura 22):

- **Sapata:** “elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas por armadura especialmente disposta para este fim”.
- **Radier:** “elemento de fundação superficial que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura”.

- **Bloco:** “elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele resultantes possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura”.
- **Sapata Associada:** “sapata que recebe mais de um pilar”.
- **Sapata Corrida:** “sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares em um mesmo alinhamento”.
- **Grelha:** “elemento de fundação constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares”.

Figura 22- Fundações superficiais



Fonte: VELLOSO; LOPES, 2004.

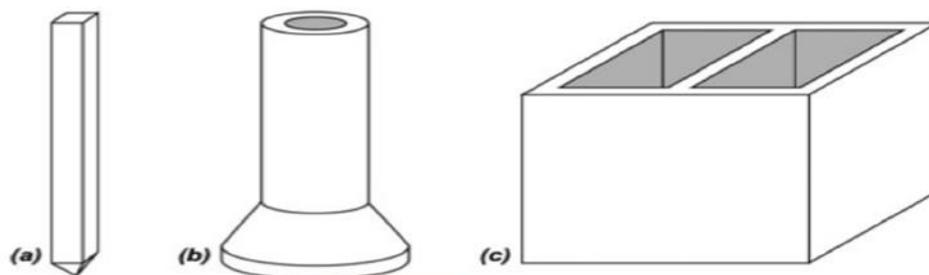
Ainda segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), fundação profunda é definida como elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3m.

As fundações profundas são divididas em três grupos: estaca, tubulão e caixão (VELLOSO; LOPES, 2004). Conforme (Figura 23).

- **Estaca:** Pode ser executado através de ferramentas ou equipamentos, podendo ser feita por cravação, escavação ou até mesmo mista.

- **Tubulão:** Possui forma cilíndrica, em sua fase final de execução é exigida a descida de um operário ou até mesmo técnico.
- **Caixão:** Possui forma de prisma, é concretado em sua superfície e sua instalação é feita de forma interna.

Figura 23- Fundações profundas



Fonte: VELLOSO; LOPES, 2004.

3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Pré-dimensionamento é constituído por estimativas das dimensões de seções transversais em se tratando de elementos estruturais. Um meio utilizado para tratar desse problema é por meio de fórmulas simplificadas que são oriundas da resistência dos materiais e teoria das estruturas (PELIZARO & CUNHA, 2017).

Segundo Melo (2003), pré-dimensionamento de uma edificação é considerado como determinante em relação à concepção arquitetônica, levando em conta os espaços estruturais constituídos em planta é também em elevação.

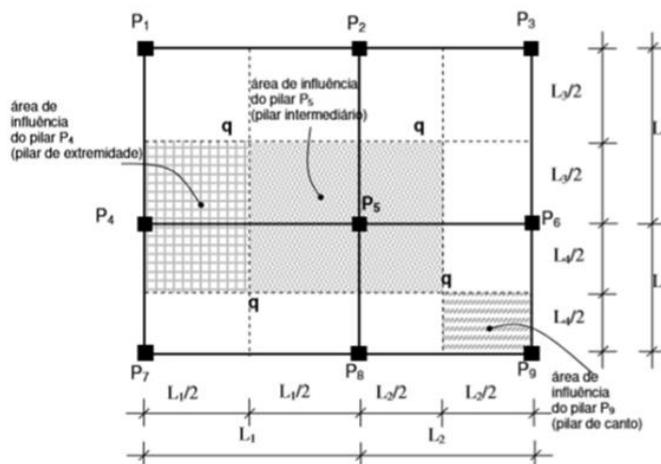
3.1 PILARES

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, item 14.4.1.2, pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças axiais de compressão são preponderantes. Além de transmitir os carregamentos da estrutura para a fundação, os pilares são solicitados por esforços de flexão, advindos de ações de vento, por exemplo.

Para dimensionamento dos pilares consideram-se os esforços solicitantes de cálculo, que incluem os momentos fletores, esforços cortantes e axiais. No caso de pré-dimensionamento o cálculo se baseia em funções simplificadas. Além disso, deve ser realizada a classificação dos pilares que irá nortear em todos os métodos de pré-dimensionamento.

Para calcular os pilares utiliza-se a área de influência em todos os métodos. No modelo 1 assim como em outros modelos é calculado a área de influência, descrita na Figura 24.

Figura 24- Áreas de influência de pilares



Fonte: MELO- editada, 2013.

3.1.1 Método 1

Segundo Araújo (2009), o esforço normal característico depende da área de influência calculada conforme apresentado na Figura 24. Após a área de influência determina-se a carga média que segundo proposto pelo método é de 12 kN/m². Por fim multiplica-se pelo número de pavimentos acima do pavimento adotado. A área de influência é dada por:

$$A_i = \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (1)$$

Tendo calculado a área de influência o passo seguinte é determinar a força nominal do pilar representada por N_k , que é dado pela seguinte equação:

$$N_k = A_i q n_{pav} \quad (2)$$

Onde:

N_k = Força normal nominal do pilar (kN);

A_i = Área de influência do pilar (m²);

q = Carga por área;

n_{pav} = Número de pavimentos.

Após o cálculo do N_k , calcula-se o N_d , que é apresentado a seguir:

$$N_d = q A_i F_s \quad (3)$$

Onde:

N_d = Força normal de cálculo (kN);

F_s = Fator de segurança.

Figura 25– Determinação do esforço característico

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

Onde:
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$;
 b é a menor dimensão da seção transversal do pilar.
 NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118, 2014.

Após o cálculo do esforço característico determina-se o esforço de cálculo multiplicando pelos fatores de segurança. O primeiro fator de segurança é 1,4 conforme estabelecido pela NBR 6118/2014. O segundo fator é γ_n , que de acordo com a norma depende da menor dimensão adotada da tabela conforme apresentado na Figura 25.

Deve-se para determinar a área de concreto classificar o tipo de pilar em pilar de centro, canto ou extremidade conforme descrito no item 2.1.1. Em seguida calcula-se o A_c , determinado pela Equação 4 ou 5 de acordo com o tipo de pilar.

a) Pilar de centro

$$A_c = \frac{N_d}{0,5 f_{ck} + 0,4} \quad (4)$$

b) Pilar de extremidade e de canto

$$A_c = \frac{1,5 N_d}{0,5 f_{ck} + 0,4} \quad (5)$$

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm². Enfim determina-se a altura do pilar através da Equação(6).Para uma melhor execução adota-se o próximo múltiplo de 5.

$$H = \frac{A_c}{b_w} \quad (6)$$

3.1.2 Método 2

O método apresentado por Moura (2018) inicia-se com a determinação do tipo de pilar, conforme descrito abaixo. Em seguida determina-se um dos coeficientes de majoração da força normal, sendo elas:

$\alpha = 1,3 \rightarrow$ pilares internos ou de extremidade, na direção da maior dimensão;

$\alpha = 1,6 \rightarrow$ pilares de extremidade, na direção da menor dimensão;

$\alpha = 1,8 \rightarrow$ pilares de canto

Definidos os coeficientes, calcula-se então uma carga atuante no pilardenominada N_k ,que é representado pela Equação (7), onde 12 é o carregamento estimado para pavimentos tipo, quando pretende-se calcular a carga atuante do pilar, 1 é considerado a proporção de 100% para pavimento tipo, 0,3 representa a porcentagem descrita em 30% da carga para o pavimento térreo e 0,7 representa 70% da carga para a cobertura.

$$N_k = 12 A_i (1 + 0,3 + 0,7) \quad (7)$$

Após a determinação do N_k é possível determinar a força normal de cálculo N_d , representado pela Equação (8).

$$N_d = \gamma_f \gamma_n \alpha N_k \quad (8)$$

Determinada a força de área, calcula-se o A_c , onde f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto

$$A_c = \frac{N_d}{(0,85f_{cd} + 0,84)} \quad (9)$$

f_{cd} → resistência de cálculo do concreto (KN/cm²).

3.1.3 Método 3

De acordo com Alva (2014), o passo seguinte referente à pré-dimensionamento de pilares, após ser estabelecido as áreas de influência, será determinar a força normal estimada (N_k) para cada pilar, realizada pela seguinte equação:

$$N_k = n(g+q)A_i \quad (10)$$

n = número de pavimentos acima do pavimento analisado;

$g+q$ = carregamento por unidade de área, adotado 12 kN/m²;

A_i = área de influência (m²).

Para o pré-dimensionamento de seções transversais referentes a pilares são executadas de forma que as dimensões sejam próximas o máximo do real necessário, multiplica-se ao esforço normal um coeficiente α denominado coeficiente de majoração, que varia segundo a situação de projeto, para considerar os esforços de flexão advindos das excentricidades da carga. Sendo assim o esforço final é dado por:

$$N_d = \alpha N_k \quad (11)$$

A Tabela 1 a seguir apresenta o valor dos coeficientes de majoração destinados à classificação dos pilares.

Tabela 1- Coeficientes de Majoração

POSIÇÃO DO PILAR	α
INTERMEDIÁRIO	1,8
EXTREMIDADE	2,2
CANTO	2,5

Fonte: Próprio autor, 2020.

Após o carregamento ser definido, o passo seguinte é a determinação da área de concreto (A_c) que se faz necessária na sustentação dos esforços. Através da equivalência entre a solicitação de cálculo e a resistência de cálculo, fazendo as manipulações necessárias, é possível chegar à seguinte equação:

$$A_c = \frac{N_d}{0,85 f_{cd} + \rho_s \sigma_{s2}} \quad (12)$$

ρ_s = taxa geométrica de armadura longitudinal, com valores recomendados entre 0,015 a 0,02;

σ_{sd} = tensão no aço para a deformação de 0,2%, resultando em 42 kN/m².

Para obter a altura do pilar divide-se a área de concreto A_c calculada pela largura (b_w) adotada. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) nenhum pilar deve possuir área menor que 360 cm², sua largura não pode ser menor que 19 cm, respeitando um limite absoluto de 14 cm.

Respeitando os limites mínimos impostos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), deduz-se que o menor pilar a ser utilizado em qualquer construção, independente do seu porte, deverá ser usualmente de 14 x 30 cm.

3.1.4 Método 4

Segundo Souza (2019), o carregamento de um pilar se altera em cada pavimento e pode ser estimado pelo método das áreas de influência. Considera-se que cada m² de área de influência de cada laje contribuirá com 1000 kgf de carga para o pilar, aí estando incluídos o

peso próprio da laje, o peso das paredes e revestimentos e as cargas acidentais. Admite-se que a contribuição da primeira laje, que está em contato com o solo, e da última laje, a mais superior, seja de apenas 500 kgf/m². (JOÃO CARLOS SOUZA, 2019).

$$N_d = N_{pav\ tipo} 1000 + T\acute{e}rreo 500 + Superior 500 \quad (13)$$

Após encontrar o valor de N_d é possível calcular a área de concreto que é representada pela seguinte equação:

$$A_c = \frac{N_d}{100} \quad (14)$$

Como descrito no item 1.1.1 A_c não pode ser inferior a 360 cm², sendo assim para calcular a altura utiliza-se a expressão a seguir:

$$H = \frac{A_c}{b_w} \quad (15)$$

3.1.5 Método 5

Segundo Cunha (2014), “A primeira estimativa da seção transversal de pilares pode ser feita através da seguinte formulação”.

$$A_c = \left(\frac{N_d}{\sigma_{id}} \right) \gamma_{corr} \quad (16)$$

A_c - Área da seção transversal do pilar (cm²);

N_d - Carregamento de cálculo do pilar;

γ_{corr} - coeficiente de correção (Tabela 2);

σ_{id} : tensão ideal de cálculo do concreto.

A tensão ideal de cálculo é equacionada em função da taxa de armadura, resistência de cálculo do concreto e resistência de cálculo de aço para deformação de 0,2 %. Para esse trabalho foi considerado aço CA-50 e taxa de armadura de 2%. A tensão ideal de cálculo vale:

$$\sigma_{id} = 0,85f_{cd} + \rho(f_{sd} - 0,85f_{cd}) \quad (17)$$

onde

$\rho = A_s/A_c$: taxa de armadura;

f_{cd} : resistência de cálculo do concreto;

$f_{sd} = 420$ MPa (CA-50): resistência de cálculo do aço para deformação de 0,2 %.

Tabela 2- Coeficientes de correção

POSIÇÃO DO PILAR	COEFICIENTE
INTERMEDIÁRIO	1,5
EXTREMIDADE	2,0
CANTO	4,0

Fonte: CUNHA-editada, 2014.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correção segundo a posição dos pilares. Para o cálculo do esforço axial de cálculo do pilar, utiliza-se a Equação (18).

$$N_d = 1,4 A_i [q_T(n_p + 0,7) + q_c] \quad (18)$$

Sendo:

A: área de influência do pilar do pavimento tipo;

q_T : carregamento do pavimento tipo por unidade de área;

q_c : carregamento do telhado por unidade de área;

Segundo Cunha (2014), para pré-dimensionamento deve-se considerar de forma aproximada, os valores seguintes para carregamentos (q_T) para pavimentos de edifícios.

- Laje maciça ou nervurada, com paredes em blocos de concreto: 1500 kgf/m²;
- Laje maciça ou nervurada, com paredes em tijolos cerâmicos: 1200 kgf/m²;
- Laje nervurada com blocos leves (EPS): 1000kgf/m²;
- Lajes não maciças com paredes em gesso acartonado: 800 kgf/m².

Já para carregamento de cobertura (q_c), Cunha (2014) afirma que podem ser levados em conta os valores a seguir, considerando também o carregamento advindo do vento.

- Telhas de concreto, com madeiramento: 150 kgf/m²;
- Telhas cerâmicas, com madeiramento: 120 kgf/m²;
- Telhas de fibrocimento, com madeiramento: 50 kgf/m²;
- Telhas de aço e estrutura de aço: 50 kgf/m²;
- Telhas de alumínio e estrutura de aço: 40 kgf/m²;
- Telhas de alumínio e estrutura de alumínio: 30 kgf/m².

Como descrito no item **1.1.1A_c** não pode ser inferior a 360 cm², sendo assim para calcular a altura utiliza-se a expressão a seguir:

$$H = \frac{A_c}{b_w} \quad (19)$$

3.2 VIGAS

Vigas têm por finalidade servir como apoio para lajes, sustentar paredes ou ações advindas de outras vigas. Pode desenvolver pórticos juntamente com pilares, o que garantirá a segurança através do vento, assegurando assim a estabilidade global (CUNHA, 2014).

De com a NBR 6118 (ABNT, 2014) as vigas devem apresentar seção transversal com largura que seja superior ou igual a 12 cm e das vigas-parede, inferior a 15 cm.

Para realizar o pré-dimensionamento das vigas é necessário em todos os métodos classificá-las e determinar o comprimento de seus vãos.

3.2.1 Método 1

Segundo Araújo (2009), para determinar a altura já tendo os vãos e classificações, seguiremos nesse método o seguinte posicionamento:

$$Biapoiada = l_0/10;$$

$$\text{Contínua Interna} = l_0/12.$$

Sendo l_0 o maior vão. O valor obtido deve ser arredondado para o próximo múltiplo de 5.

3.2.2 Método 2

O método 2 apresentado por Moura (2018), se iguala ao método 1 em todas as formulações.

3.2.3 Método 3

No método 3 de Alva (2014), tendo os vãos e a classificação das vigas, determina-se a média entre os vãos, denominado L_m . Com o resultado obtido é possível obter a altura da viga dividindo-o por 11. Salvo que esse valor deve ser arredondado para o próximo múltiplo de 5.

3.2.4 Método 4

O método 4 Souza (2019), se iguala aos métodos 1 e 2 em todas suas formulações.

3.2.5 Método 5

Valores adotados para largura de vigas (CUNHA, 2014).

- $b_w = 12$ cm para vãos ≤ 4 m;
- $b_w = 20$ cm para $4 \text{ m} < \text{vão} \leq 8$ m;
- $b_w = 25$ a 30 cm para vãos > 8 m.

Porém, em inúmeros casos, deve-se escolher a largura da viga de forma que fique embutida na alvenaria. Se possível deve-se padronizar a altura das vigas de forma que suas dimensões sejam múltiplas de 5 cm (PELIZARO & CUNHA, 2017).

A Tabela 3, proposta por Cunha (2014), apresenta o “Método do Vão Ponderado”. Esse método considera a posição em que a viga se encontra no projeto estrutural, apresenta

também se é utilizada como apoio para outras vigas, sugerindo assim uma fórmula composta pela altura da viga (h) que é baseada no seu vão (L).

Tabela 3- Fórmulas de pré-dimensionamento usando o Método do Vão Ponderado

Caso	Posição da viga	Dá apoio a outra(s) viga(s)	Fórmula
1	Central	Sim	$h= 14\% L$
2	Central	Não	$h= 10\% L$
3	Periférica	Sim	$h= 10\% L$
4	Periférica	Não	$h= 9\% L$

Fonte: CUNHA-editada, 2014.

A Equação 1, proposta por Melo (2013) é utilizada para obter o vão que foi utilizado nas fórmulas apresentadas na Tabela 1 que é direcionada para vigas compostas de vários tramos.

$$L = \frac{L_{adjacente} + L_{adjacentemaior}}{2} \quad (20)$$

3.3 LAJES

Segundo Pelizaro e Cunha (2014), lajes são definidas como sendo elementos que têm a capacidade de suportar diretamente carregamentos, que estão posicionados na vertical dos pavimentos, causando solicitação com predominância em flexão. A NBR 6118 (ABNT, 2014), relata que há alguns limites quanto à espessura de lajes maciças, que devem ser respeitados, são eles:

- 7 cm para cobertura sem balanço;
- 8 cm para lajes de piso sem balanço;
- 10 cm para que lajes que estejam em balanço;
- 10 cm para lajes que resistam à veículos de peso que sejam \leq a 30KN;
- 12 cm para lajes que resistam à veículos de peso que sejam $>$ que 30KN.

Todas as lajes utilizadas no prédio em questão são maciças comum e serão utilizadas em todos os métodos.

3.3.1 Método 1

No método de Araújo (2009), para iniciar, determinam-se os vãos das lajes. Sendo l_x =menor vão e $l_y=0,7$ maior vão. A altura é representada na Equação

$$h = \frac{l_0}{40} \quad (21)$$

Sendo l^* o menor vão entre l_x e l_y , representado na Equação 22.

$$l^* \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7 l_y \end{cases} \quad (22)$$

3.3.2 Método 2

O presente método definido por Moura (2018), assemelha-se ao método 1, porém não é utilizado fator de minoração. Sendo utilizado a Equação 22.

3.3.3 Método 3

Este método de Alva (2014), iguala-se ao método 2 em todas as formulações e na escolha da altura mínima.

3.3.4 Método 4

O método 4 segundo Souza (2019), iguala-se aos métodos 2 e 3 em todas as formulações e na escolha da altura mínima.

3.3.5 Método 5

Pelizaro e Cunha (2014), ainda afirmam que, as lajes trabalham em uma ou duas direções. Se estiverem armadas em somente uma direção, essas são calculadas como vigas apoiadas ou contínuas. Caso estejam armadas em duas direções, essas são calculadas como sendo placas, baseando-se na teoria da elasticidade. Essa classificação pode ser definida como:

- $0,5 \leq \left(\frac{l_y}{l_x}\right) \leq 2$, lajes que estejam armadas em duas direções;
- $\left(\frac{l_y}{l_x}\right) < 0,5$ $\left(\frac{l_y}{l_x}\right) > 2$, lajes que estejam armadas em uma direção.

l_x - menor vão da laje;

l_y - maior vão da laje.

O método apresentado é denominado “Método do vão”, esse método foi proposto por Cunha (2014), tem como referência o vão da laje (L), pré-dimensionamento da espessura (h).

Obtém-se:

- Laje maciça armada em duas direções: $\left(\frac{L}{40}\right) \leq h \leq \left(\frac{L}{32}\right)$;
- Laje maciça armada em apenas uma direção: $\left(\frac{L}{38}\right) \leq h \leq \left(\frac{L}{30}\right)$.

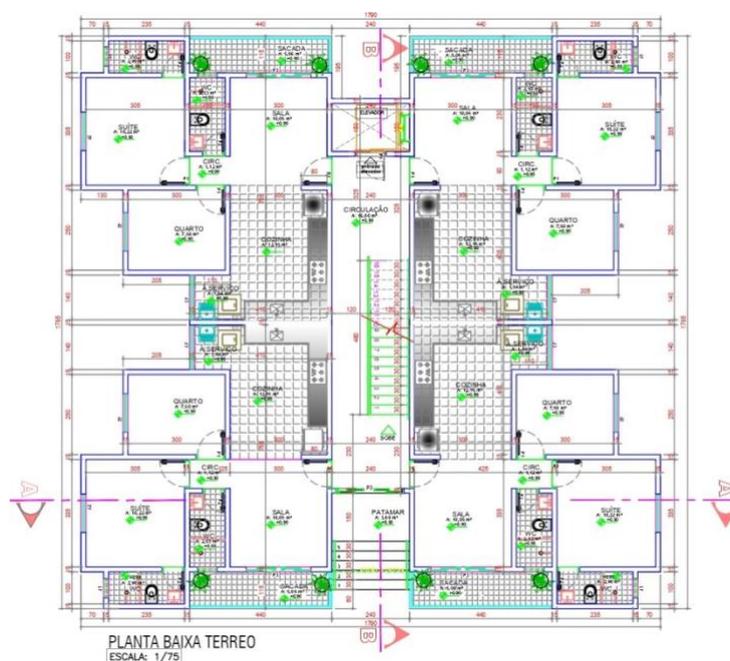
L- menor vão.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

O trabalho apresentado trata-se de um projeto residencial, que contém 5 andares sendo 4 apartamentos por andar. Utilizou-se classe de agressividade II. O concreto utilizado possui $f_{ck} = 25$ Mpa. Na Figura 26 é apresentada a planta baixa do projeto utilizado como base para o pré-dimensionamento.

Figura 26- Planta baixa



Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 27 representa o corte AA do projeto.

Figura 27- Corte AA do projeto



Fonte: Próprios autores, 2020.

4.2 PRÉ DIMENSIONAMENTO DE PILAR

4.2.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo

No método 1 após classificarmos os pilares utilizamos a área de influência que se estende a todos os outros métodos. A partir de então utilizando as formulações calculamos o N_k e N_d com os coeficientes de acordo com os pilares classificados. Em sequência calculamos o A_c , e por fim os comprimentos dos pilares arredondando para múltiplos de 5. Levando à determinação da dimensão dos pilares. Os resultados dos cálculos do método 1 de pilares é representado pela Tabela 4.

Tabela 4– Pré-dimensionamento de pilares, método 1

(continua)

Pilares	Classificação	bw	Coef. de Pond.	Área (m ²)	NK	ND	AC	AC adot.	H	H adot.	Dimensão
P1=P4=P39=P42	de Canto	14	1,25	0,89	36	62	312	360	26	30	14x30
P2=P3	Intermediário	14	1,25	1,45	58	102	122	360	26	30	14x30
P5=P8	de Canto	14	1,25	5,23	209	366	1831	1831	131	135	14x135
P6=P7	Extremidade	14	1,25	9,32	373	652	783	783	56	60	14x60
P9=P10	Extremidade	15	1,25	9,78	391	685	822	822	59	60	15x60
P11=P16	de Canto	14	1,25	5,73	229	401	2006	2006	143	145	14x145
P12=P15	Intermediário	15	1,25	10,95	438	767	920	920	66	70	15x70

Tabela 4– Pré-dimensionamento de pilares, método 1

(conclusão)											
Pilares	Classificação	bw	Coef. de Pond.	Área (m ²)	NK	ND	AC	AC adot.	H	H adot.	Dimensão
P13	Intermediário	15	1,25	8,87	355	621	745	745	53	55	15x55
P14	Intermediário	15	1,25	8,67	347	607	729	729	52	55	15x55
P17=P20=P23=P26	de Canto	14	1,25	1,2	48	84	420	420	30	35	14x35
P18=P19	Extremidade	14	1,25	6,57	263	460	552	552	39	40	14x40
P21	Extremidade	14	1,25	13,25	530	928	1113	1113	80	80	14x80
P22	Extremidade	14	1,25	13,48	539	944	1133	1133	81	85	14x85
P24=P25	Extremidade	14	1,25	6,71	268	470	564	564	40	45	14x45
P27=P32	de Canto	14	1,25	5,21	208	365	1824	1824	130	135	14x135
P28=P31	Intermediário	15	1,25	11,06	442	774	929	929	66	70	15x70
P29=P30	Intermediário	15	1,25	11,43	457	800	961	961	69	70	15x70
P33	de Canto	14	1,25	4,99	200	349	1747	1747	125	125	14x125
P34=P37	Extremidade	14	1,25	10,63	425	744	893	893	64	65	14x65
P35=P36	Extremidade	14	1,25	4,35	174	305	366	366	26	30	14x30
P38	de Canto	14	1,25	5,08	203	356	1778	1778	127	130	14x130
P40	Intermediário	14	1,25	1,18	47	83	100	360	26	30	14x30
P41	Intermediário	14	1,25	1,35	54	95	114	360	26	30	14x30

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.2.2 Método 2 segundo José de Moura

O método 2 assemelha -se ao método 1, uma vez que utilizamos a mesma área de influência, associado ao coeficiente de ponderação e um fator α relacionados à classificação dos pilares, em seguida amparados pelas fórmulas propostas pode-se calcular o comprimento do pilar. Conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5– Pré-dimensionamento de pilares, método 2

(continua)									
Pilares	α	Área (m ²)	NK (KN)	ND (KN)	AC (cm ²)	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P1=P4=P39=P42	1,8	0,89	21,36	67,28	28,54	360	26	30	14x30
P2=P3	1,3	1,45	34,8	79,17	33,58	360	26	30	14x30
P5=P8	1,8	5,23	125,52	395,39	167,69	360	26	30	14x30
P6=P7	1,6	9,32	223,68	626,3	265,62	360	26	30	14x30
P9=P10	1,6	9,78	234,72	657,22	278,73	360	26	30	14x30
P11=P16	1,8	5,73	137,52	433,19	183,72	360	26	30	14x30
P12=P15	1,3	10,95	262,8	597,87	253,56	360	26	30	14x30
P13	1,3	8,87	212,88	484,3	205,4	360	26	30	14x30

Tabela 5– Pré-dimensionamento de pilares, método 2

(conclusão)

Pilares	α	Área (m ²)	NK (KN)	ND (KN)	AC (cm ²)	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P14	1,3	8,67	208,08	473,38	200,77	360	26	30	14x30
P17=P20=P23=P26	1,8	1,2	28,8	90,72	38,48	360	26	30	14x30
P18=P19	1,6	6,57	157,68	441,50	187,25	360	26	30	14x30
P21	1,6	13,25	318	890,40	377,63	378	27	30	14x30
P22	1,6	13,48	323,52	905,86	384,19	384	27	30	14x30
P24=P25	1,6	6,71	161,04	450,91	191,24	360	26	30	14x30
P27=P32	1,8	5,21	125,04	393,88	167,05	360	26	30	14x30
P28=P31	1,3	11,06	265,44	603,88	256,11	360	26	30	14x30
P29=P30	1,3	11,43	274,32	624,08	264,68	360	26	30	14x30
P33	1,8	4,99	119,76	377,24	159,99	360	26	30	14x30
P34=P37	1,6	10,63	255,12	714,34	302,96	360	26	30	14x30
P35=P36	1,6	4,35	104,4	292,32	123,98	360	26	30	14x30
P38	1,8	5,08	121,92	384,05	162,88	360	26	30	14x30
P40	1,3	1,18	28,32	64,43	27,32	360	26	30	14x30
P41	1,3	1,35	32,4	73,71	31,26	360	26	30	14x30

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.2.3 Método 3 segundo Gerson Alva

Partindo para o método 3, se diferencia-se do método 1 apenas o n_k , sendo que é acrescido dois fatores sendo eles a carga vertical usuais em edifícios e outra já usada nos outros métodos que é o número de pavimentos, já on_d possui fatores relacionados a classificação dos pilares. Em seguida pode-se calcular o comprimento do pilar. Conforme a Tabela 6.

Tabela 6– Pré-dimensionamento de pilares, método 3

(continua)

Pilares	NK	ND	AC	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P1=P4=P39=P42	53,4	133,5	56,62	360	26	30	14x30
P2=P3	87	156,6	66,42	360	26	30	14x30
P5=P8	313,8	784,5	332,72	360	26	30	14x30
P6=P7	559,2	1230,24	521,76	522	37	40	14x40
P9=P10	586,8	1290,96	547,51	548	39	40	14x40
P11=P16	343,8	859,5	364,53	365	26	30	14x30
P12=P15	657	1182,6	501,56	502	36	40	14x40
P13	532,2	957,96	406,28	406	29	30	14x30
P14	520,2	936,36	397,12	397	28	30	14x30

Tabela 6– Pré-dimensionamento de pilares, método 3

(conclusão)

Pilares	NK	ND	AC	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P17=P20=P23=P26	72	180	76,34	360	26	30	14x30
P18=P19	394,2	867,24	367,81	368	26	30	14x30
P21	795	1749	741,78	742	53	55	14x55
P22	808,8	1779,36	754,65	755	54	55	14x55
P24=P25	402,6	885,72	375,65	376	27	30	14x30
P27=P32	312,6	781,5	331,45	360	26	30	14x30
P28=P31	663,6	1194,48	506,60	507	36	40	14x40
P29=P30	685,8	1234,44	523,54	524	37	40	14x40
P33	299,4	748,5	317,45	360	26	30	14x30
P34=P37	637,8	1403,16	595,10	595	43	45	14x45
P35=P36	261	574,2	243,53	360	26	30	14x30
P38	304,8	762	323,17	360	26	30	14x30
P40	70,8	127,44	54,05	360	26	30	14x30
P41	81	145,8	61,84	360	26	30	14x30

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.2.4 Método 4segundo João Carlos Souza

Diferente dos métodos anteriores o método 4 não possui n_k , o n_d é calculado de forma distinta uma vez que é acrescido uma carga por pavimento tipo em relação as lajes e outra referentes à térreo e cobertura. Conforme a Tabela 7.

Tabela 7– Pré-dimensionamento de pilares, método 4

(continua)

Pilares	ND	AC	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P1=P4=P39=P42	4984	49,84	360	26	30	14x30
P2=P3	8120	81,2	360	26	30	14x30
P5=P8	29288	292,88	360	26	30	14x30
P6=P7	52192	521,92	522	37	40	14x40
P9=P10	54768	547,68	548	39	40	14x40
P11=P16	32088	320,88	360	26	30	14x30
P12=P15	61320	613,2	613	44	45	14x45
P13	49672	496,72	497	35	40	14x40
P14	48552	485,52	486	35	35	14x35
P17=P20=P23=P26	6720	67,2	360	26	30	14x30
P18=P19	36792	367,92	368	26	30	14x30
P21	74200	742	742	53	55	14x55

Tabela 7– Pré-dimensionamento de pilares, método 4

(conclusão)

Pilares	ND	AC	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P22	75488	754,88	755	54	55	14x55
P24=P25	37576	375,76	376	27	30	14x30
P27=P32	29176	291,76	360	26	30	14x30
P28=P31	61936	619,36	619	44	45	14x45
P29=P30	64008	640,08	640	46	50	14x50
P33	27944	279,44	360	26	30	14x30
P34=P37	59528	595,28	595	43	45	14x45
P35=P36	24360	243,6	360	26	30	14x30
P38	28448	284,48	360	26	30	14x30
P40	6608	66,08	360	26	30	14x30
P41	7560	75,6	360	26	30	14x30

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.2.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha

Já o método 5 assemelha -se ao método 4 pelo fato de não haver N_k , porém seu se distingue uma vez que é acrescido q_T , multiplicado por 0,7 e o número de pavimentos mais q_c e possuir um coeficiente de correção em relação a classificação do pilar. Conforme a Tabela 8.

Tabela 8– Pré-dimensionamento de pilares, método 5

(continua)

Pilares	ND	γ_{corr}	AC	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P1=P4=P39=P42	5595	4	96,04	360	26	30	14x30
P2=P3	9115	1,5	58,68	360	26	30	14x30
P5=P8	32876	4	564,39	564	40	45	14x45
P6=P7	58586	2	502,88	503	36	40	14x40
P9=P10	61477	2	527,70	528	38	40	14x40
P11=P16	36019	4	618,35	618	44	45	14x45
P12=P15	68832	1,5	443,12	443	32	35	14x35
P13	55757	1,5	358,95	360	26	30	14x30
P14	54500	1,5	350,86	360	26	30	14x30
P17=P20=P23=P26	7543	4	129,50	360	26	30	14x30
P18=P19	41299	2	354,50	360	26	30	14x30
P21	83290	2	714,93	715	51	55	14x55
P22	84735	2	727,34	727	52	55	14x55
P24=P25	42179	2	362,05	362	26	30	14x30
P27=P32	32750	4	562,23	562	40	45	14x45

Tabela 8– Pré-dimensionamento de pilares, método 5

(conclusão)

Pilares	ND	Ycorr	AC	AC adotada	H	H adot.	Dimensão
P28=P31	69523	1,5	447,57	448	32	35	14x35
P29=P30	71849	1,5	462,55	463	33	35	14x35
P33	31367	4	538,49	538	38	40	14x40
P34=P37	66820	2	573,56	574	41	45	14x45
P35=P36	27344	2	234,71	360	26	30	14x30
P38	31933	4	548,20	548	39	40	14x40
P40	7417	1,5	47,75	360	26	30	14x30
P41	8486	1,5	54,63	360	26	30	14x30

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

4.3.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo

Para determinar as alturas das vigas são utilizados métodos de acordo com a sua classificação e utilizando o maior vão da viga. A altura utilizada é múltipla de 5 e em seguida determina-se a dimensão da viga. Conforme a Tabela 9.

Tabela 9– Pré-dimensionamento de vigas, método 1

Vigas	Classificação da Viga	Maior Vão	Base (cm)	H (cm)	H adot. (cm)	Dimensão
V1=V2	Contínua Externa	440	14	36,67	40	14x40
V3=V4=V18=V19	Contínua Interna	447	14	37,25	40	14x40
V5=V6=V8=V15=V17	Biapoiada	255	14	25,50	30	14x30
V7=V16	Contínua Interna	428	14	35,67	40	14x40
V9=V10=V13=V14	Contínua Externa	205	14	17,08	20	14x20
V11=V12	Biapoiada	407	14	40,70	45	14x45
V22=V23=V39=V40	Biapoiada	332	14	33,20	35	14x35
V24=V37=V25=V38	Biapoiada	114	14	11,40	15	14x15
V26=V27=V35=V36	Biapoiada	248	14	24,80	25	14x25
V28=V34	Biapoiada	295	14	29,50	30	14x30
V29=V33	Contínua Interna	840	14	70	70	14x70
V30=V32	Contínua Interna	403	14	33,58	35	14x35
V31	Biapoiada	377	14	37,70	40	14x40

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.3.2 Método 2 segundo José de Moura

O método 2 é semelhante ao 1, utilizando as mesmas formulações e alturas mínimas.

Conforme a Tabela 10.

Tabela 10– Pré-dimensionamento de vigas, método 2

Vigas	Classificação da Viga	Maior Vão	Base (cm)	H (cm)	H adot. (cm)	Dimensão
V1=V2	Contínua Externa	440	14	36,67	40	14x40
V3=V4=V18=V19	Contínua Interna	447	14	37,25	40	14x40
V5=V6=V8=V15=V17	Biapoiada	255	14	25,50	30	14x30
V7=V16	Contínua Interna	428	14	35,67	40	14x40
V9=V10=V13=V14	Contínua Externa	205	14	17,08	20	14x20
V11=V12	Biapoiada	407	14	40,70	45	14x45
V22=V23=V39=V40	Biapoiada	332	14	33,20	35	14x35
V24=V37=V25=V38	Biapoiada	114	14	11,40	15	14x15
V26=V27=V35=V36	Biapoiada	248	14	24,80	25	14x25
V28=V34	Biapoiada	295	14	29,50	30	14x30
V29=V33	Contínua Interna	840	14	70	70	14x70
V30=V32	Contínua Interna	403	14	33,58	35	14x35
V31	Biapoiada	377	14	37,70	40	14x40

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.3.3 Método 3 segundo Gerson Alva

O método 3 se difere dos anteriores uma vez que para calcular a altura da viga faz-se uma média entre os vãos, e essa altura é dividida por um fator diferente. Conforme a Tabela 11.

Tabela 11– Pré-dimensionamento de vigas, método 3

(continua)						
Vigas	Classificação da Viga	Base (cm)	Lm	H (cm)	H adot. (cm)	Dimensão
V1=V2	Contínua Externa	14	336,5	30,59	35	14x35
V3=V4=V18=V19	Contínua Interna	14	380	34,55	35	14x35
V5=V6=V8=V15=V17	Biapoiada	14	255	23,18	25	14x25
V7=V16	Contínua Interna	14	348	31,64	35	14x35
V9=V10=V13=V14	Contínua Externa	14	157,5	14,32	15	14x15
V11=V12	Biapoiada	14	407	37,00	40	14x40
V22=V23=V39=V40	Biapoiada	14	332	30,18	35	14x35
V24=V37=V25=V38	Biapoiada	14	114	10,36	15	14x15
V26=V27=V35=V36	Biapoiada	14	248	22,55	25	14x25

Tabela 12– Pré-dimensionamento de vigas, método 3

(conclusão)						
Vigas	Classificação da Viga	Base (cm)	Lm	H (cm)	H adot. (cm)	Dimensão

V28=V34	Biapoiada	14	295	26,82	30	14x30
V29=V33	Contínua Interna	14	511	46,45	50	14x50
V30=V32	Contínua Interna	14	295,2	26,84	30	14x30
V31	Biapoiada	14	377	34,27	35	14x35

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.3.4 Método 4 segundo João Carlos Souza

O método 4 é igual aos métodos 1 e 2. Conforme a Tabela 12.

Tabela 13– Pré-dimensionamento de vigas, método 4

Vigas	Classificação da Viga	Maior Vão	Base (cm)	H (cm)	H adot. (cm)	Dimensão
V1=V2	Contínua Externa	440	14	36,67	40	14x40
V3=V4=V18=V19	Contínua Interna	447	14	37,25	40	14x40
V5=V6=V8=V15=V17	Biapoiada	255	14	25,50	30	14x30
V7=V16	Contínua Interna	428	14	35,67	40	14x40
V9=V10=V13=V14	Contínua Externa	205	14	17,08	20	14x20
V11=V12	Biapoiada	407	14	40,70	45	14x45
V22=V23=V39=V40	Biapoiada	332	14	33,20	35	14x35
V24=V37=V25=V38	Biapoiada	114	14	11,40	15	14x15
V26=V27=V35=V36	Biapoiada	248	14	24,80	25	14x25
V28=V34	Biapoiada	295	14	29,50	30	14x30
V29=V33	Contínua Interna	840	14	70	70	14x70
V30=V32	Contínua Interna	403	14	33,58	35	14x35
V31	Biapoiada	377	14	37,70	40	14x40

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.3.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha

Já o método 5 se difere dos outros métodos, uma vez que os vãos utilizados para encontrar a altura são calculados em relação aos vãos adjacentes e as alturas são porcentagens de seus vãos. Conforme a Tabela 13.

Tabela 14– Pré-dimensionamento de vigas, método 5

Vigas	Classificação da Viga	Base (cm)	L (cm)	H (cm)	H adot. (cm)	Dimensão
V1=V2	Contínua Externa	20	337	34	35	20x35
V3=V4=V18=V19	Contínua Interna	20	380	53	55	20x55
V5=V6=V8=V15=V17	Biapoiada	12	255	23	25	12x25
V7=V16	Contínua Interna	20	372	37	40	20x40
V9=V10=V13=V14	Contínua Externa	12	158	16	20	12x20
V11=V12	Biapoiada	20	407	57	60	20x60
V22=V23=V39=V40	Biapoiada	12	332	30	30	12x30
V24=V37=V25=V38	Biapoiada	12	114	11	15	12x15
V26=V27=V35=V36	Biapoiada	12	248	25	25	12x25
V28=V34	Biapoiada	12	295	27	30	12x30
V29=V33	Contínua Interna	25	751	75	80	30x80
V30=V32	Contínua Interna	20	503	45	50	20x50
V31	Biapoiada	12	377	53	55	12x55

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE LAJES

4.4.1 Método 1 segundo José Milton de Araújo

O método 1 se iguala aos métodos 2, 3 e 4, distinguindo-se apenas pelo fato de que seu maior vão é multiplicado por 0,7. Conforme a Tabela 14.

Tabela 15– Pré-dimensionamento de lajes, método 1

(continua)

Lajes	Classificação das lajes	lx	ly	I*	H	H adot.
L1=L4=L31=L34	Maciça Comum	251	80,5	80,5	2	8
L2=L3=L32=L33	Maciça Comum	440	80,5	80,5	2	8
L5=L8=L27=L30	Maciça Comum	445,4	255,5	255,5	6,4	8
L6=L7	Maciça Comum	315,6	245,7	245,7	6,1	8
L9	Maciça Comum	254,7	157,15	157,15	3,9	8
L10=L13=L23=L26	Maciça Comum	314,9	185,5	185,5	4,6	8
L11=L12	Maciça Comum	315,6	185,5	185,5	4,6	8
L14=L17=L18=L22	Maciça Comum	110,1	108,15	108,15	2,7	8
L15=L16	Maciça Comum	315,6	108,15	108,15	2,7	8
L19=L21	Maciça Comum	315,6	108,15	108,15	2,7	8
L20	Maciça Comum	154,3	367,85	154,3	3,9	8
L24=L25	Maciça Comum	315,6	185,5	185,5	4,6	8

Tabela 16– Pré-dimensionamento de lajes, método 1

(conclusão)

Lajes	Classificação das lajes	l_x	l_y	l^*	H	H adot.
L28=L29	Maciça Comum	315,6	245,7	245,7	6,1	8

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.4.2 Método 2 segundo José de Moura

O método 2 se difere do método 1 apenas no cálculo do l_y . Conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 17– Pré-dimensionamento de lajes, método 2

Lajes	Classificação das lajes	l_x	l_y	l^*	H	H adot.
L1=L4=L31=L34	Maciça Comum	251	115	115	2,88	8
L2=L3=L32=L33	Maciça Comum	440	115	115	2,88	8
L5=L8=L27=L30	Maciça Comum	445,4	365	365	9,13	10
L6=L7	Maciça Comum	315,6	351	315,6	7,89	8
L9	Maciça Comum	254,7	224,5	224,5	5,61	8
L10=L13=L23=L26	Maciça Comum	314,9	265	265	6,63	8
L11=L12	Maciça Comum	315,6	265	265	6,63	8
L14=L17=L18=L22	Maciça Comum	110,1	154,5	110,1	2,75	8
L15=L16	Maciça Comum	315,6	154,5	154,5	3,86	8
L19=L21	Maciça Comum	315,6	154,5	154,5	3,86	8
L20	Maciça Comum	154,3	525,5	154,3	3,86	8
L24=L25	Maciça Comum	315,6	265	265	6,63	8
L28=L29	Maciça Comum	315,6	351	315,6	7,89	8

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.4.3 Método 3 segundo Gerson Alva

O método 3 se iguala ao método 2. Conforme a Tabela 16.

Tabela 18– Pré-dimensionamento de lajes, método 3

(continua)

Lajes	Classificação das lajes	l_x	l_y	l^*	H	H adot.
L1=L4=L31=L34	Maciça Comum	251	115	115	2,88	8
L2=L3=L32=L33	Maciça Comum	440	115	115	2,88	8
L5=L8=L27=L30	Maciça Comum	445,4	365	365	9,13	10
L6=L7	Maciça Comum	315,6	351	315,6	7,89	8

Tabela 19– Pré-dimensionamento de lajes, método 3

(conclusão)

Lajes	Classificação das lajes	l_x	l_y	l^*	H	H adot.
L9	Maciça Comum	254,7	224,5	224,5	5,61	8
L10=L13=L23=L26	Maciça Comum	314,9	265	265	6,63	8
L11=L12	Maciça Comum	315,6	265	265	6,63	8
L14=L17=L18=L22	Maciça Comum	110,1	154,5	110,1	2,75	8
L15=L16	Maciça Comum	315,6	154,5	154,5	3,86	8
L19=L21	Maciça Comum	315,6	154,5	154,5	3,86	8
L20	Maciça Comum	154,3	525,5	154,3	3,86	8
L24=L25	Maciça Comum	315,6	265	265	6,63	8
L28=L29	Maciça Comum	315,6	351	315,6	7,89	8

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.4.4 Método 4 segundo João Carlos Souza

O método 4 se igual aos métodos 2 e 3. Conforme a Tabela 17.

Tabela 20– Pré-dimensionamento de lajes, método 4

Lajes	Classificação das lajes	l_x	l_y	l^*	H	H adot.
L1=L4=L31=L34	Maciça Comum	251	115	115	2,88	8
L2=L3=L32=L33	Maciça Comum	440	115	115	2,88	8
L5=L8=L27=L30	Maciça Comum	445,4	365	365	9,13	10
L6=L7	Maciça Comum	315,6	351	315,6	7,89	8
L9	Maciça Comum	254,7	224,5	224,5	5,61	8
L10=L13=L23=L26	Maciça Comum	314,9	265	265	6,63	8
L11=L12	Maciça Comum	315,6	265	265	6,63	8
L14=L17=L18=L22	Maciça Comum	110,1	154,5	110,1	2,75	8
L15=L16	Maciça Comum	315,6	154,5	154,5	3,86	8
L19=L21	Maciça Comum	315,6	154,5	154,5	3,86	8
L20	Maciça Comum	154,3	525,5	154,3	3,86	8
L24=L25	Maciça Comum	315,6	265	265	6,63	8
L28=L29	Maciça Comum	315,6	351	315,6	7,89	8

Fonte: Próprios autores, 2020.

4.4.5 Método 5 segundo Pelizaro e Cunha

Já o método 5 é igual aos métodos 2, 3 e 4, porém há a determinação das direções da laje que é o que leva ao cálculo da determinação da altura da mesma. Conforme a Tabela 18.

Tabela 21– Pré-dimensionamento de lajes, método 5

Lajes	Classificação das lajes	l_x	l_y	Condição	Direções	H	H adot.
L1=L4=L31=L34	Maciça Comum	251	115	0,46	1D	3,83	8
L2=L3=L32=L33	Maciça Comum	440	115	0,26	1D	3,83	8
L5=L8=L27=L30	Maciça Comum	445,4	365	0,82	2D	11,41	12
L6=L7	Maciça Comum	315,6	351	1,11	2D	10,97	12
L9	Maciça Comum	254,7	224,5	0,88	2D	7,02	8
L10=L13=L23=L26	Maciça Comum	314,9	265	0,84	2D	8,28	8
L11=L12	Maciça Comum	315,6	265	0,84	2D	8,28	8
L14=L17=L18=L22	Maciça Comum	110,1	154,5	1,40	2D	4,83	8
L15=L16	Maciça Comum	315,6	154,5	0,49	1D	5,15	8
L19=L21	Maciça Comum	315,6	154,5	0,49	1D	5,15	8
L20	Maciça Comum	154,3	525,5	3,41	1D	17,52	18
L24=L25	Maciça Comum	315,6	265	0,84	2D	8,28	8
L28=L29	Maciça Comum	315,6	351	1,11	2D	10,97	12

Fonte: Próprios autores, 2020.

5 RESULTADOS

5.1 PILAR

A Tabela 19 apresenta a comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de pilares que foram utilizados no presente trabalho, sendo comparadas as áreas calculadas adotadas. Conforme a Tabela 19.

Tabela 22– Comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de pilares

PILAR	AC Método1	AC Método2	AC Método3	AC Método4	AC Método5
P1=P4=P39=P42	360	360	360	360	360
P2=P3	360	360	360	360	360
P5=P8	1831	360	360	360	564
P6=P7	783	360	522	522	503
P9=P10	822	360	548	548	528
P11=P16	2006	360	365	360	618
P12=P15	920	360	502	613	443
P13	745	360	406	497	360
P14	729	360	397	486	360
P17=P20=P23=P26	420	360	360	360	360
P18=P19	552	360	368	368	360
P21	1113	378	742	742	715
P22	1113	384	755	755	727
P24=P25	564	360	376	376	362
P27=P32	1824	360	360	360	562
P28=P31	929	360	507	619	448
P29=P30	961	360	524	640	463
P33	1747	360	360	360	538
P34=P37	893	360	595	595	574
P35=P36	366	360	360	360	360
P38	1778	360	360	360	548
P40	360	360	360	360	360
P41	360	360	360	360	360

Fonte: Próprios autores, 2020.

Tendo em vista a busca otimizada do dimensionamento adotou-se dois critérios. O primeiro critério foi economia e o segundo critério foi redução do tempo de retrabalho devido a correções no tamanho do pilar. Analisando os resultados dos métodos utilizados acima

utilizaremos o método 2 para fins de cálculo, tendo em vista que seria o mais econômico. Em função da redução do retrabalho o método 1 apresentou ser mais condizente com a prática apresentando pilares em função da carga real utilizado no projeto. Para fins de avaliação da eficiência em seguida os dois modelos serão lançados no Eberick para avaliação da eficiência dos resultados obtidos.

5.2 VIGA

Na Tabela 20 é apresentada a comparação entre os 5 métodos de pré-dimensionamento de vigas que foram utilizados no presente trabalho. Comparou-se a altura adotada dos métodos. Conforme a Tabela 20.

Tabela 23– Comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de vigas

Vigas	H Modelo 1	H Modelo 2	H Modelo 3	H Modelo 4	H Modelo 5
V1=V2=V20=V21	40	40	35	40	35
V3=V4=V18=V19	40	40	35	40	55
V5=V6=V8=V15=V17	30	30	25	30	25
V7=V16	40	40	35	40	40
V9=V10=V13=V14	20	20	15	20	20
V11=V12	45	45	40	45	60
V22=V23=V39=V40	35	35	35	35	30
V24=V37=V25=V38	15	15	15	15	15
V26=V27=V35=V36	25	25	25	25	25
V28=V34	30	30	30	30	30
V29=V33	70	70	50	70	80
V30=V32	35	35	30	35	50
V31	40	40	35	40	55

Fonte: Próprios autores, 2020.

Observa-se com a comparação dos resultados que não ocorreu grande discrepância entre os métodos, fato justificado pela proximidade dos métodos propostos. Portanto nesse caso buscou-se apenas o critério econômico. Tendo em vista os resultados apresentados, utilizaremos o método 3 para fins de cálculo, uma vez que é mais econômico.

5.3 LAJE

A Tabela 21 apresenta a comparação das alturas das lajes dos 5 métodos apresentados anteriormente. Conforme a Tabela 21.

Tabela 24– Comparação dos 5 métodos de pré-dimensionamento de lajes

Lajes	H Modelo 1	H Modelo 2	H Modelo 3	H Modelo 4	H Modelo 5
L1=L4=L31=L34	8	8	8	8	8
L2=L3=L32=L33	8	8	8	8	8
L5=L8=L27=L30	8	10	10	10	12
L6=L7	8	8	8	8	12
L9	8	8	8	8	8
L10=L13=L23=L26	8	8	8	8	8
L11=L12	8	8	8	8	8
L14=L17=L18=L22	8	8	8	8	8
L15=L16	8	8	8	8	8
L19=L21	8	8	8	8	8
L20	8	8	8	8	18
L24=L25	8	8	8	8	8
L28=L29	8	8	8	8	12

Fonte: Próprios autores, 2020.

Observa-se com a comparação dos resultados que não ocorreu grande discrepância entre os métodos, fato justificado pela proximidade dos métodos propostos. Portanto nesse caso buscou-se apenas o critério econômico. Uma vez que os métodos acima apresentaram praticamente o mesmo resultado e não houve discrepância utilizaremos o modelo 1 para fins de cálculo.

5.4 VERIFICAÇÃO

O EBERICK é o programa no qual são dimensionadas peças estruturais com agilidade, destinado a criar projetos estruturais considerados por muitos profissionais da Engenharia Civil como uma das melhores alternativas para o cálculo estrutural, o programa gera modelos em três dimensões além de promover a compatibilizações de projetos e informações.

Com o intuito de verificar a eficiência dos pré-dimensionamentos apresentados será apresentada a simulação dos valores obtidos no programa EBERICK 2019, onde será avaliado o número de erros apresentados relacionados às dimensões das peças estruturais e a possibilidade de retrabalho. Para tanto adotou-se duas combinações, conforme apresenta o Quadro 1.

Quadro 1– Combinações para simulação

TIPO DE ESTRUTURA	COMBINAÇÃO 1	COMBINAÇÃO 2
PILAR	Método 2	Método 1
VIGA	Método 3	Método 3
LAJE	Método 1	Método 1

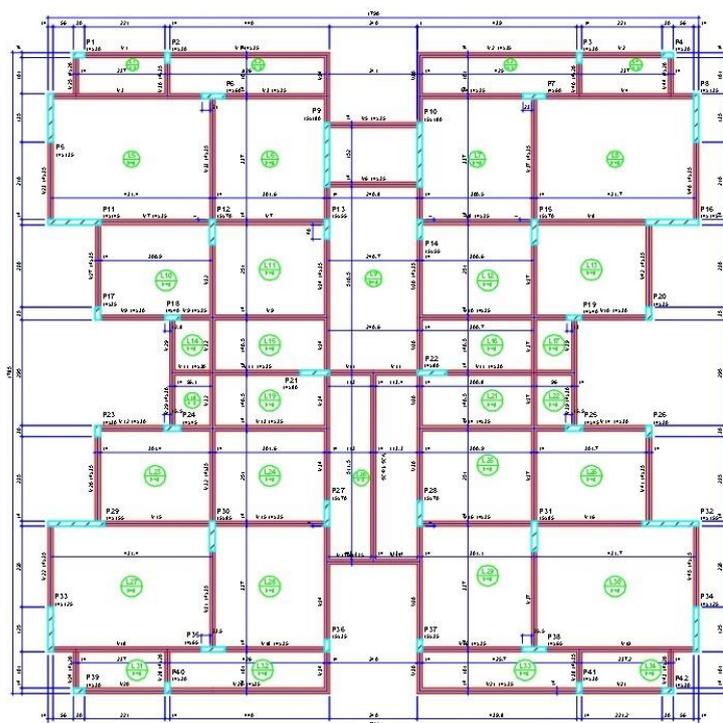
Fonte: Próprios autores, 2020.

Conforme descrito apenas os pilares apresentaram uma grande discrepância nos resultados. Dessa forma a principal avaliação será relacionada ao método de dimensionamento dos pilares.

5.4.1 Combinação 1

A combinação 1 se baseia em métodos distintos para o dimensionamento de cada elemento estrutural. Para os pilares utilizamos o método 2 uma vez que, estamos priorizando a economia, na mesma prioridade para as vigas utilizamos o método 3, já para as lajes foi utilizado o método 1. Após ter feito as escolhas utilizamos o programa EBERICK pelo qual nos norteia a realidade do prédio com ênfase nos elementos estruturais e tudo que está nas normalidades e também o que precisa ser ajustado.

Figura 28- Planta com pilares, lajes e vigas

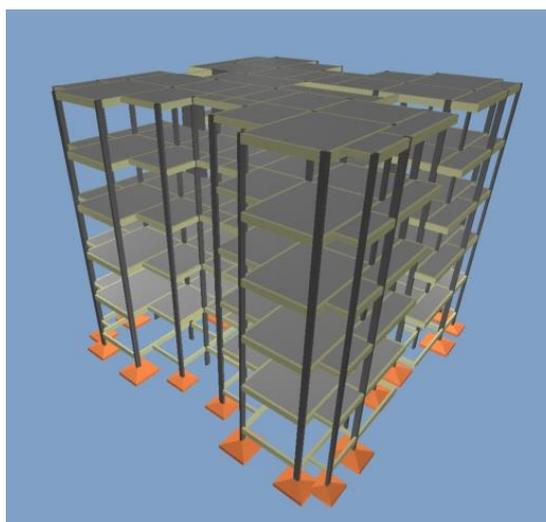


Forma do pavimento PAVIMENTO 1 1

Fonte: Próprios autores, 2020.

Na Figura 28 é representada a planta do projeto utilizado com todos os pilares, vigas e lajes posicionadas.

Figura 29– Desenho 3D do prédio modelo 1



Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 29 representa o desenho em 3D feito no EBERICK do projeto utilizado para a realização do trabalho em questão. Utilizando o método 2 de pilares para a combinação 1.

Figura 30– Pilares que apresentaram erros de seção

	Nome								
1	P1	11	P11	21	P21	31	P31	41	P41
2	P2	12	P12	22	P22	32	P32	42	P42
3	P3	13	P13	23	P23	33	P33		
4	P4	14	P14	24	P24	34	P34		
5	P5	15	P15	25	P25	35	P35		
6	P6	16	P16	26	P26	36	P36		
7	P7	17	P17	27	P27	37	P37		
8	P8	18	P18	28	P28	38	P38		
9	P9	19	P19	29	P29	39	P39		
10	P10	20	P20	30	P30	40	P40		

Fonte: Próprios autores, 2020.

Diante da Figura 30 apresentada conta-se que aproximadamente 74% dos pilares apresentam erros na seção, haja vista que do total de 42 pilares 31 não atenderiam a seção necessária. Sendo assim devido a possibilidade de retrabalho, que demanda muito tempo no ajuste dos pilares, não se recomenda usar o presente método para pré-dimensionamento de pilares, mesmo este sendo o mais econômico.

Figura 31– Vigas que apresentaram erros de seção

	Nome								
1	V1	11	V11	21	V21	31	V31	37	V37
2	V2	12	V12	22	V22	32	V32	38	V38
3	V3	13	V13	23	V23	33	V33	39	V39
4	V4	14	V14	24	V24	34	V34	40	V40
5	V5	15	V15	25	V25	35	V35	41	V41
6	V6	16	V16	26	V26	36	V36	42	V42
7	V7	17	V17	27	V27	37	V37	43	V43
8	V8	18	V18	28	V28	38	V38	44	V44
9	V9	19	V19	29	V29	39	V39	45	V45
10	V10	20	V20	30	V30	40	V40	46	V46

Fonte: Próprios autores, 2020.

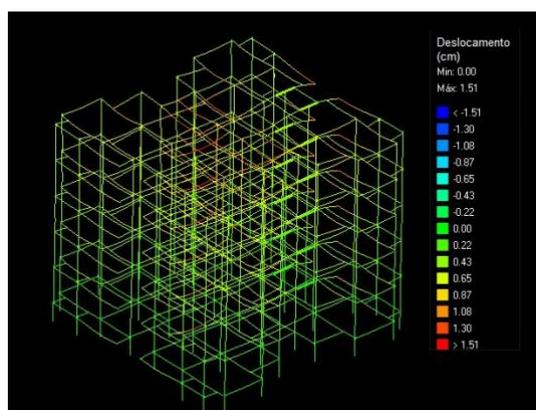
A Figura 31 representa a quantidade de vigas presentes no projeto e quais delas apresentam erro na seção. Das 46 vigas em questão apenas 8 não estavam em concordância, uma porcentagem de 17%. Observa-se que os métodos para pré dimensionamento de vigas são semelhantes e apresentam resultados eficientes no pré-dimensionamento das vigas. Os erros apresentados podem ser justificados pelos problemas apresentados nos pilares descritos no item anterior. A correção dos apoios poderá melhorar os resultados obtidos para as vigas.

Figura 32– Lajes que apresentaram erros de seção

Nome	Nome	Nome	Nome
L1	L11	L21	L25
L2	L12	L22	L26
L3	L13	L23	L27
L4	L14	L24	L28
L5	L15	L25	L29
L6	L16	L26	L30
L7	L17	L27	L31
L8	L18	L28	L32
L9	L19	L29	L33
L10	L20	L30	L34

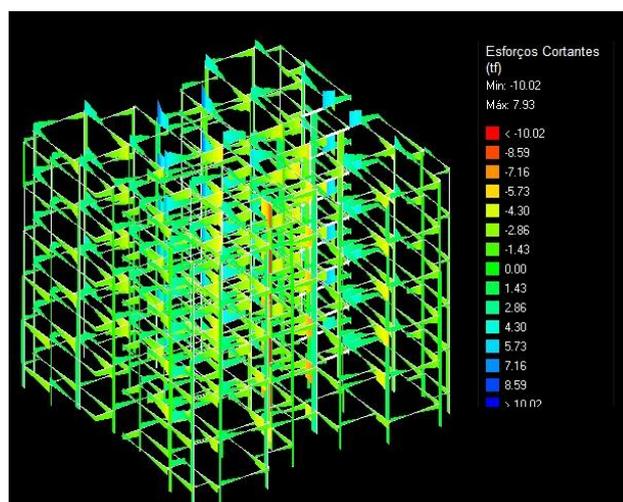
Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 32 tem por finalidade apresentar quais das 34 lajes apresentam, caso haja, erro de seção. É notável que no método utilizado não houve erro, apresentando assim uma porcentagem de 100% de possibilidade de ser utilizado.

Figura 33– Desenho do deslocamento do prédio 1

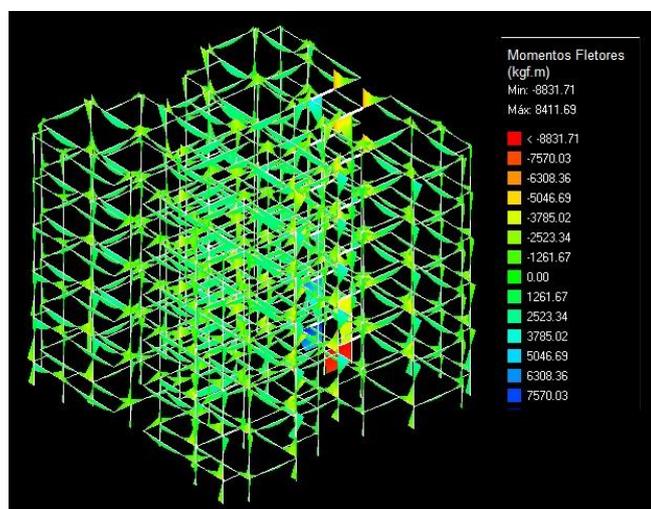
Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 33 tem por finalidade representar o deslocamento do prédio para esse modelo. Ela apresenta um deslocamento máximo de 1,51 cm.

Figura 34– Diagrama de esforços cortantes do prédio 1

Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 34 é responsável pela representação do diagrama de esforço cortante do prédio para a combinação 1. Nesse método apresenta um esforço cortante máximo de 10,02 tf.

Figura 35– Diagrama de momentos fletores do prédio 1

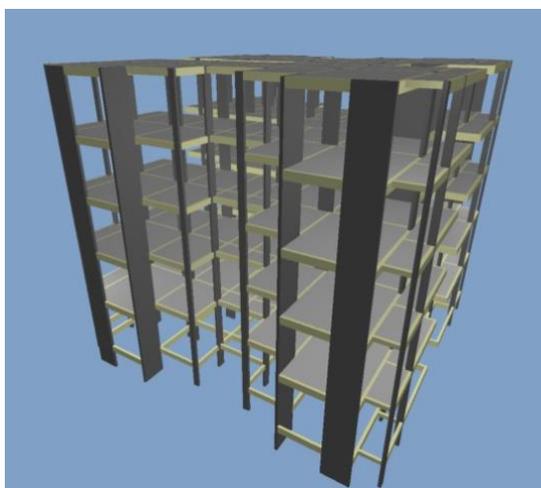
Fonte: Próprios autores, 2020.

Por fim a Figura 35 tem por finalidade apresentar o diagrama de momento fletor do prédio para a combinação 1. Nesse caso apresentou-se um momento fletor máximo de 8411,69 kgf.m.

5.4.2 Combinação 2

A combinação 2 assim como a combinação 1 se baseia em métodos distintos para o dimensionamento de cada elemento estrutural. Para os pilares utilizamos o método 1 uma vez que, estamos priorizando a economia, na mesma prioridade para as vigas utilizamos o método 3, já para as lajes foi utilizado o método 1. Após ter feito as escolhas utilizamos o programa EBERICK pelo qual nos norteia a realidade do prédio com ênfase nos elementos estruturais e tudo que está nas normalidades e também o que precisa ser ajustado.

Figura 36– Desenho 3D do prédio modelo 2



Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 36 representa o desenho em 3D feito no EBERICK do projeto utilizado para a realização do trabalho em questão. Utilizando o método 1 de pilares para a combinação 2.

Figura 37– Pilares que apresentaram erros de seção 2

	Nome		Nome		Nome		Nome
1	P1	11	P11	21	P21	31	P31
2	P2	12	P12	22	P22	32	P32
3	P3	13	P13	23	P23	33	P33
4	P4	14	P14	24	P24	34	P34
5	P5	15	P15	25	P25	35	P35
6	P6	16	P16	26	P26	36	P36
7	P7	17	P17	27	P27	37	P37
8	P8	18	P18	28	P28	38	P38
9	P9	19	P19	29	P29	39	P39
10	P10	20	P20	30	P30	40	P40
						41	P41
						42	P42

Fonte: Próprios autores, 2020.

Diante da Figura 37, conta-se que apenas 12% dos pilares apresentam erros na seção, haja visto que do total de 42 pilares somente 5 não atenderiam a seção necessária. Em relação

ao método 2 utilizado na combinação 1 para o dimensionamento de pilares há uma diferença de 62% a mais que no método 1 utilizado na combinação 2. Sendo assim, mesmo que seja menos econômico o método 1 a viabilidade em usá-lo é bem maior reduzindo a possibilidade de retrabalho.

Figura 38– Vigas que apresentaram erros de seção 2

	Nome		Nome		Nome		Nome
1	V1	11	V11	21	V21	31	V31
2	V2	12	V12	22	V22	32	V32
3	V3	13	V13	23	V23	33	V33
4	V4	14	V14	24	V24	34	V34
5	V5	15	V15	25	V25	35	V35
6	V6	16	V16	26	V26	36	V36
7	V7	17	V17	27	V27	37	V37
8	V8	18	V18	28	V28	38	V38
9	V9	19	V19	29	V29	39	V39
10	V10	20	V20	30	V30	40	V40

Fonte: Próprios autores, 2020.

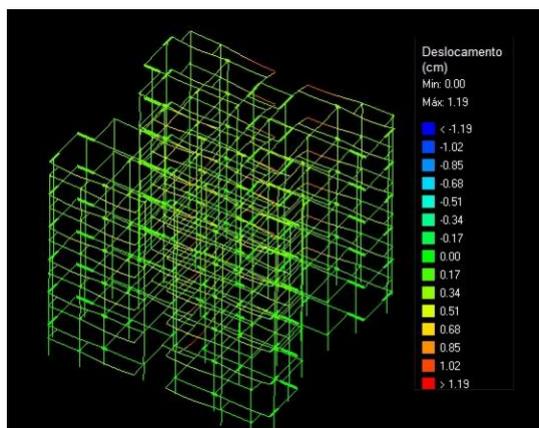
A Figura 38 representa a quantidade de vigas presentes no projeto e quais delas apresentam erro na seção. Das 46 vigas em questão apenas uma não estavam em concordância, uma porcentagem de 2,2%. Em relação à combinação 1 apresentou-se uma diferença de 14,8% a menos de erros na combinação 2. Demonstrando a influencia dos apoios nos erros das vigas.

Figura 39– Lajes que apresentaram erro 2

Nome	Nome	Nome	Nome
L1	L11	L21	L25
L2	L12	L22	L26
L3	L13	L23	L27
L4	L14	L24	L28
L5	L15	L25	L29
L6	L16	L26	L30
L7	L17	L27	L31
L8	L18	L28	L32
L9	L19	L29	L33
L10	L20	L30	L34

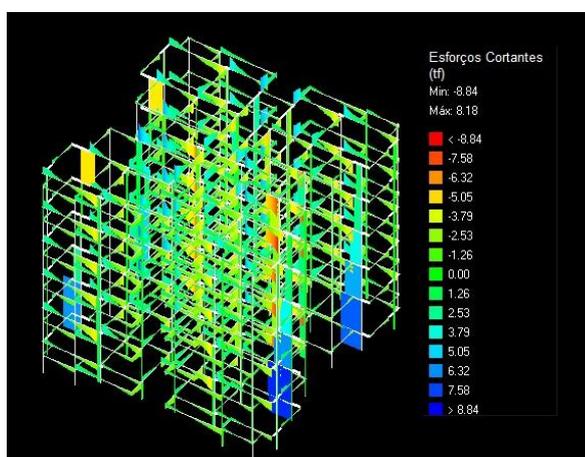
Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 39 tem por finalidade apresentar quais das 34 lajes apresentam, caso haja, erro de seção. Assim como na combinação 1 é notável que no método utilizado não houve erro, apresentando assim uma porcentagem de 100% de possibilidade de ser utilizado.

Figura 40– Desenho do deslocamento do prédio 2

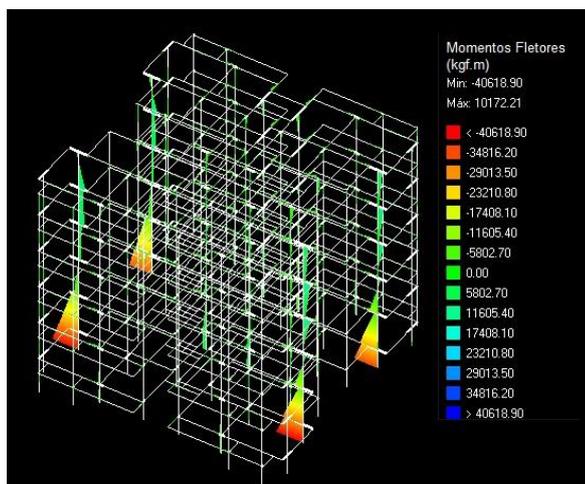
Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 40 tem por finalidade representar o deslocamento do prédio para a combinação 2. Ela apresenta um deslocamento máximo de 1,19 cm, sendo 0,32 cm a menos que na combinação 1.

Figura 41– Diagrama de esforços cortantes do prédio 2

Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 41 é responsável pela representação do diagrama de esforço cortante do prédio para a combinação 2. Nesse método apresenta um esforço máximo é de 8,84 sendo 1,18 tf a mais que na combinação 1.

Figura 42– Diagrama de momentos fletores do prédio 2

Fonte: Próprios autores, 2020.

Por fim a Figura 42 tem por finalidade apresentar o diagrama de momento fletor do prédio para a combinação 2. Nesse caso apresentou-se um momento fletor máximo de 10172,21 tf sendo 0,83% a mais que na combinação 1.

5.4.3 Comparação dos resultados

Após todas as verificações deduzimos que na combinação 1, os métodos utilizados não são totalmente seguros gerando uma possibilidade de retrabalho com vários reajustes na estruturas demandando um tempo maior e maior possibilidade de erros de lançamento.

A viabilidade da combinação 2 é maior que a combinação 1 uma vez que apresentou menor quantidade de erros de seção para pilares e vigas.

6 CONCLUSÃO

Para os engenheiros denominados calculistas a fase de lançamento estrutural é uma fase delicada que pode ocasionar diversos erros no processamento do projeto. Um dos erros que se pode citar são problemas devido à concepção da estrutura. Vários engenheiros pulam a fase de pré-dimensionamento da estrutura iniciando o lançamento com as dimensões mínimas exigidas pela norma ou com a chamada “experiência de vida”. O fato é que grande parte do retrabalho de um engenheiro calculista está ligado ao ajuste das dimensões das peças estruturas que pode causar dor de cabeça sendo necessário reajuste dos elementos nos programas de cálculo que apesar da evolução pecam muito na área de desenho permitindo apenas ajustes finos.

Tal retrabalho gera atrasos na entrega do trabalho, impacta nos custos finais do projeto levando o engenheiro a prejudicar seu nome e a prejuízos. Dessa forma vários autores sugerem na literatura métodos diversos de pré-dimensionamento com o intuito de ajudar na etapa da concepção e, por conseguinte reduzir trabalhos futuros. Porém como a previsão de carregamentos da estrutura é variável cada método leva a resultados distintos podendo ou não auxiliar em certa ocasião. Com essa preocupação o presente trabalho buscou avaliar alguns métodos da literatura adotando como referência um projeto predial de pequeno porte com o intuito de auxiliar os novos engenheiros nessa etapa tão importante e também conscientizar da importância dessa fase na execução do projeto.

Os métodos de pré-dimensionamento são inúmeros e em sua maioria baseiam-se em formulações simplificadas para cada elemento estrutural. Para a elaboração deste trabalho foi utilizado a comparação entre cinco métodos distintos buscando o mais econômico. Utilizamos as formulações e foi constatado que em alguns elementos como pilares a discrepância dos resultados é em sua maioria bem relevante, comprometendo assim a segurança das construções. Nas vigas é notória a discrepância, porém em menor escala entre os métodos estudados. Nos elementos lineares que apresenta mínima diferença entre os métodos são as lajes, uma vez que em todos os métodos apresentam resultados semelhantes. Para os pilares o método com menor seção não é o mais viável.

Ao avaliar duas combinações de dimensionamento, a mais econômica e a mais robusta, observou-se que a metodologia menos econômica e mais robusta proporcionou menor retrabalho ao realizar o cálculo da estrutura apresentando uma diferença considerável em

relação ao outro modelo adotado. Resta como sugestão a pesquisas futuras avaliar o impacto econômico do método escolhido com o intuito de avaliar se a redução no retrabalho impacta no custo final do projeto e na futura execução.

As metodologias adotadas foram para pilar o método proposto por José Milton de Araújo, para viga o método proposto por Gerson Alva e para lajes o método proposto também por José Milton de Araújo.

Cabe ressaltar que o estudo feito foi aplicado em um edifício residencial de pequeno porte, sugere-se também uma avaliação dos métodos para edifícios altos, que segundo a literatura apresentam um grande desperdício de tempo em retrabalhos referente à concepção estrutural inicial.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1998. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil. maio de 2007. notas de aula. Universidade Estadual de Santa Maria, Santa Maria.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Pré-dimensionamento da estrutura**. Disponível em: <http://ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Aulas_9-12_2014.pdf>. Acesso em: 22, set. 2020.

ANJOS, Pedro. **O que é um projeto estrutural?** 2017. Disponível em: <<https://www.concretaconsultoria.com.br/single-post/2017/03/21/O-que-%C3%A9-um-projeto-estrutural>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado: lajes**. 4. ed. Rio Grande do Sul: Dunas, 2014. 44 p. Volume 2.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas de fundação**. Departamento de engenharia civil. junho 2019, notas de aula. universidade estadual paulista, bauru, São Paulo.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Departamento de engenharia civil. agosto de 2006. notas de aula. Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Departamento de engenharia civil. março de 2015. notas de aula. Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo.

CARDOSO, Júlia Rodrigues. **"Pré-dimensionamento da seção transversal de vigas de transição para edificações em concreto armado"**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 07 dez. 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1208>>. Acesso em: 07, abr. 2020

_____ Curso de concreto armado. 4. ed. Rido Grande: Dunas, 2014a. v. 2.

ESCOLA ENGENHARIA. Sapata de Fundação. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/sapatas-de-fundacao/>> Acesso em: 05, abr. 2020.
MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. Patologia das fundações. Oficina de Textos, 2015.

KIMURA, Alio. **Informática Aplicada a Estruturas de Concreto Armado**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

GIONGO, José Samuel. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. 2007. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia das Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LOPES, Francisco de Rezende; VELLOSO, Dirceu de Alencar. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MAIA, J. P. R. **Otimização estrutural: estudo e aplicações em problemas clássicos de vigas utilizando a ferramenta Solver**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2009.

MELO, Paula Rodrigues de. **Pre-dimensionamento de estruturas de madeira de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Cap. 2.

MOURA, José. **Pré-dimensionamento de pilares, vigas e lajes de concreto armado**. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/pre-dimensionamento-concreto-armado/>>. Acesso em: 22, set. 2020.

MUÑIZ JUNIOR, Felix Horacio Munõz; OLIVEIRA, Danielle Meireles de. **Otimização de vigas de concreto armado com seção retangular submetidas à flexão normal simples**. Construindo, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p. 51-57, jun. 2014.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: 2014.

_____. **NBR 6122**: Projeto é execução de fundações – Procedimento. Rio de Janeiro: 2010.

_____. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: 2003.

PELIZARO, Thaís V. G; CUNHA, Jesiel. **Estudo do pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares de concreto**. Universidade Federal de Uberlândia.

PINHEIRO, Libânio M; MUZARDO, Cassiane D; SANTOS, Pedro S. **Estruturas de Concreto– Pré-dimensionamento**, 2003. In: __. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007. cap. 5.

PINHEIRO, Libânio M; RAZENTE, Julio A. **Estruturas de Concreto – Lajes Nervuradas, 2003**. In: __. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007. cap. 17.

RYBERG, Catalina. **Tudo o que você precisa saber sobre o EBERICK na engenharia**. Disponível em: <<https://blogdaengenharia.com/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-eberick-na-engenharia>> Acesso em: 2, nov. 2020.

SOUZA, João Carlos. **Aprenda a pré-dimensionar uma estrutura em concreto armado**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/891672/aprenda-a-pre-dimensionar-uma-estrutura-em-concreto-armado>>. Acesso em: 22, set. 2020.

VANDERPLAATS, G. N. (1984). **Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications**. EUA: McGraw-Hill.