

**CENTRO UNIVERSITÁRIO REDENTOR
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ROBSON FARIA PESSOA

**PROJETO DE EDIFICAÇÕES E PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO
ARMADO MULTIFAMILIAR DE 5 PAVIMENTOS NA CIDADE DE ITAPERUNA - RJ**

ROBSON FARIA PESSOA

**PROJETO DE EDIFICAÇÕES E PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO
ARMADO MULTIFAMILIAR DE 5 PAVIMENTOS NA CIDADE DE ITAPERUNA - RJ**

Trabalho de Conclusão de
curso apresentado ao
Centro Universitário
Redentor como parte para
obtenção de título de
Bacharel em Engenharia
Civil

Orientador: Prof. Rômulo Rodrigues Coelho Delfino Souza

Itaperuna/RJ
2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: ROBSON FARIA PESSOA

Título: PROJETO DE EDIFICAÇÕES E PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO MULTIFAMILIAR DE 5 PAVIMENTOS NA CIDADE DE ITAPERUNA - RJ

Natureza: Trabalho de Conclusão de Curso

Objetivo: Título de Bacharel em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário Redentor

Área de Concentração: Engenharia Civil

Aprovada em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Rômulo Rodrigues Coelho Delfino Souza
Especialista em engenharia de estruturas

Eng. Idis Teodoro de Oliveira Coelho

Eng. Junio de Souza Montes

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me sustentado e guiado durante todo esse processo. Sem o Senhor ao meu lado eu não teria forças para chegar a aonde eu cheguei, muito obrigado por tudo Deus.

Quero agradecer aos meus pais, Robson e Sheila por terem me proporcionado a chance de concluir essa graduação, agradecer por todo o esforço e dedicação que tiveram por mim e por sempre me apoiarem em todas as decisões. Obrigada pela paciência e carinho. Eu amo muito vocês!

Agradeço ao meu irmão e minha irmã, Robson e Lara pelo incentivo durante essa jornada, por todo amor transmitido para eu nunca ter desistido e ter chegado aonde eu cheguei, vocês são muito especiais para mim.

Ao meu orientador Rômulo, meus sinceros agradecimentos por sempre me atender pacientemente e transmitir todo seu conhecimento, obrigado por ter me capacitado a me tornar quem eu sou hoje, obrigado por me ajudar a realizar o meu sonho, você é incrível.

Aos meus amigos e companheiros de faculdade, Henrique e Sérgio, agradeço a amizade de vocês, apesar de todas as dificuldades que passamos, alegrias, tristezas e risadas durante todo esse processo, jamais deixamos de ajudar um ao outro. Foram noites em claro fazendo trabalhos e atividades juntos, mas valeu a pena.

Vocês são irmãos que a faculdade me deu, que possamos ser amigos e companheiros de profissão para a vida toda!!

Meu verdadeiro agradecimento à Deus, minha família e amigos, vocês são muito especiais para mim.

AMO VOCÊS!!

Robson Faria Pessoa

RESUMO

O presente trabalho refere-se ao planejamento e projeto de engenharia civil de um edifício residencial multifamiliar de 5 pavimentos na cidade de Itaperuna-RJ. O trabalho trata-se do desenvolvimento e dimensionamento de acordo com as Normas Brasileiras e legislação municipal, sendo assim, com a elaboração da arquitetura que é formada pelas suas características, tais como: fachada, pavimento térreo, pavimento tipo, cobertura e cortes, nos permite dar continuidade no processo da elaboração do projeto estrutural onde através de software foram feitos os dimensionamentos das estruturas, onde são lançadas as cargas e sobrecargas que se dão através da arquitetura e peso próprio da estrutura, gerando o detalhamento de toda a estrutura da edificação, visando o processo de sua construção. A proposta do atual trabalho é promover a arquitetura e o dimensionamento estrutural de acordo com o projeto elaborado.

Palavra-Chave: Edificação; Projeto; Estrutural; Dimensionamento.

ABSTRACT

The present work refers to the planning and civil engineering design of a multifamily residential building with 5 floors in the city of Itaperuna-RJ. The work deals with the development and dimensioning in accordance with the Brazilian Norms and municipal legislation, therefore, with the elaboration of the architecture that is formed by its characteristics, such as: facade, ground floor, type floor, roof and cuts, in the allows to continue the process of elaboration of the structural project where, through software, the dimensions of the structures were made, where the loads and overloads that occur through the architecture and the structure's own weight are launched, generating the detailing of the entire structure of the building, regarding the construction process. The proposal of the current work is to promote the architecture and the structural dimensioning according to the elaborated project.

KEYWORDS: Edification; Project; Structural; Sizing.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	12
1.2 Justificativa	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Projeto de Engenharia	13
2.1.1 Características Gerais do Projeto	13
2.1.2 Normas Técnicas	13
2.1.3 Plano Diretor	14
2.1.4 Código de Obras	16
2.2 Projeto Estrutural em Concreto Armado	17
2.2.1 Propriedades Gerais do Concreto Armado	17
2.2.2 Sobrecargas e Solicitações de Projeto	17
2.2.3 Estádios do Concreto	18
2.2.4 Estados Limites	19
2.2.5 Elementos Estruturais	20
2.2.5.1 Vigas	20
2.2.5.2 Lajes	22
2.2.5.3 Pilares	24
2.2.5.4 Fundação	24
2.2.5.5 Desenho de Projeto Estrutural	26
3 METODOLOGIA	27
3.1 Projeto de Engenharia Civil	27
3.1.1 Coeficientes Urbanísticos	27
3.1.2 Características do Terreno	28
3.1.3 Programa de Necessidade	28
3.2 Acessibilidade	28
3.2.1 Escadas	29
3.2.2 Rampas	31
3.2.3 Corrimão	32
3.2.4 Elevadores	33
3.2.5 Vaga de Garagem	34
3.2.6 Corredores	35
3.3 Estrutura de Concreto Armado	35
3.3.1 Classe de Agressividade	36

3.3.2 Cargas e Solicitações na Estrutura	38
3.3.3 Módulo de Elasticidade	39
3.3.4 Dimensionamento de Vigas	41
3.3.4.1 Posição da Linha Neutra	44
3.3.4.2 Área do Aço	45
3.3.4.3 Cálculo da Área do Aço	46
3.3.4.4 Estado Limite	47
3.3.4.5 Estribos.....	48
3.3.4.6 Espaçamento Entre Barras	51
3.3.5 Dimensionamento de Lajes.....	52
3.3.5.1 Tipos de Casos	53
3.3.5.2 Esforço Cortante e Momento Fletor	54
3.3.5.3 Compatibilização de Momento	57
3.3.5.4 Cálculo da Área de Aço	61
3.3.5.5 Análise Quanto à Resistência ao Esforço Cortante	61
3.3.6 Dimensionamento de Pilares	63
3.3.6.1 Índice de Esbeltez.....	64
3.3.6.2 Excentricidade de 1ª ordem	66
3.3.6.3 Raio de Curvatura e Momento Total	72
3.3.6.4 Área de Aço	72
3.3.6.5 Detalhamento.....	72
3.3.7 Dimensionamento de Escadas.....	74
3.3.7.1 Carregamentos	74
3.3.7.2 Armadura da Escada	77
3.3.8 Dimensionamento da Fundação	79
3.3.8.1 Determinação das Dimensões da Sapata	79
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	86
4.1 Projeto de Engenharia Civil.....	86
4.1.1 Pavimento Térreo	87
4.1.2 Pavimento Tipo.....	88
4.1.3 Cobertura.....	91
4.2 Projeto em Concreto Armado	91
4.2.1 Pilar	92
4.2.1.1 Armadura longitudinal	92
4.2.1.2 Área mínima.....	93
4.2.1.3 Detalhamento.....	93
4.2.1.4 Área de aço transversal	93
4.2.2 Viga	94
4.2.2.1 Carregamentos atuantes.....	94

4.2.2.2 Estado Limite Último	94
4.2.2.3 Posição da linha neutra.....	95
4.2.2.4 Área do aço	95
4.2.2.5 Área mínima.....	95
4.2.2.6 Resistência a tração do concreto	95
4.2.2.7 Detalhamento.....	95
4.2.2.8 Armadura tracionada.....	95
4.2.2.9 Armadura comprimida.....	96
4.2.2.10 Dimensionamento dos estribos	96
4.2.2.11 Verificação da resistência da biela aos esforços	96
4.2.2.12 Parcela resistida pelo concreto	97
4.2.2.13 Parcela resistida pelo aço	97
4.2.2.13.1 Área do aço.....	97
4.2.2.13.2 Área de aço mínima	98
4.2.2.14 Detalhamento dos estribos.....	98
4.2.2.14.1 Área de aço.....	98
4.2.3 Laje.....	99
4.2.3.1 Dimensionamento da Laje.....	99
4.2.3.2 Estado limite último	99
4.2.3.3 Posição da linha neutra.....	99
4.2.3.4 Área de aço	100
4.2.3.5 Detalhamento.....	100
5 CONCLUSÃO.....	102
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	103

1 INTRODUÇÃO

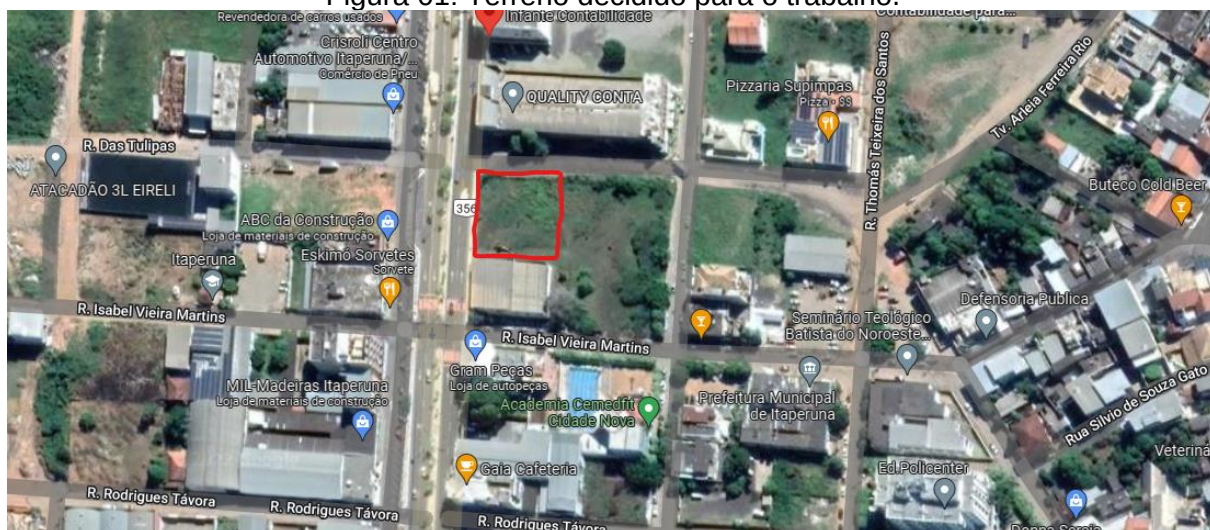
A engenharia nos proporciona uma ampla qualificação pra várias áreas, uma delas é a construção civil, uma área que afeta todas regiões pois a construção está sempre inovando com o passar do tempo. Com a escalada da economia nos últimos anos, a área da construção civil encontra-se em um momento de expansão. Itaperuna - RJ uma cidade que vem obtendo um aumento populacional sendo de grande maioria universitária, devido à gama de cursos ofertados pelas faculdades, com este fato, acarretou-se também obtendo um crescimento, que por vez influência na arquitetura de novas edificações, em vista da atual situação, uma proposta de uma edificação residencial seria muito útil.

A ideação da edificação de um projeto estrutural, entre outros fatores, são pontos importantes para o projeto proposto. A edificação a ser projetada neste trabalho irá se desenvolver em um terreno situado no bairro Cidade Nova, com a localização próxima a faculdade, supermercados, academia e entre outras comodidades, um terreno que proporciona 400 m² aproximados, com mais facilidade em arquitetar e desenvolver mais funcionalidade.

A escolha desse terreno foi feita justamente por conta da sua locação, ele se encontra em um âmbito de desenvolvimento, no bairro que vem crescendo e abrangendo muitas novas áreas, é um ponto onde o bairro está se tornando uma expansão do centro de Itaperuna, que com o passar do tempo só tem a acrescentar, inovando novas áreas de comércio, moradia e acessibilidade, criando uma movimentação maior no bairro e originando (concebendo) mais interesse pela localização, o intuito do prédio é trazer mais benefícios tanto para moradores regionais, como morados da cidade.

O projeto é elaborado com previsão de estrutura em concreto armado, havendo um total de 5 pavimentos, referindo-se ao 1° andar para distribuição de garagens, o 2° com 1 salão de festas e 1 apartamento, o 3° com 2 apartamentos, o 4° com 2 apartamentos e o 5° sendo a cobertura dos dois últimos apartamentos, no total de 5 apartamentos.

Figura 01: Terreno decidido para o trabalho.



Fonte: GOOGLE MAPS 2022.

Este projeto então trás uma análise do espaço para a construção de um edifício, com térreo e uma parte multifamiliar de 4 (quatro) pavimentos, de forma a utilizar o espaço da melhor maneira possível para o conforto e lazer, portanto, trazendo um local de moradia mais seguro e confiável a todos. Este projeto acompanha todas as normas técnicas relacionadas aos projetos.

Levando em consideração também, o Código de Obras e o Plano diretor do município, que apresentam a localização do terreno, como sendo uma área de densidade média, que por virtude, aprova edificações até 13 (treze) pavimentos. No que diz respeito a parte estrutural, o projeto é denotado através de cálculos e detalhamentos, explicando cada fundação, pilar, viga, laje, escada, alvenaria e esquadria, que se faz necessário para sustentação e arquitetura da estrutura.

1.1 Objetivo

Trata-se da elaboração de um edifício de acordo com cada etapa mencionada no projeto.

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um projeto de edificação com térreo e 4 pavimentos de edificação multifamiliar, totalizando 5 pavimentos, contendo o projeto de engenharia civil e estrutural em concreto armado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaboração de caderno teórico contendo a revisão de literatura e metodologia de cálculo e processos;
- Elaborar um projeto de engenharia civil para a edificação multifamiliar com 5 pavimentos, atendendo às Normas e Legislações vigentes;
- Dimensionar e elaborar um projeto estrutural para a edificação descrita acima, obedecendo às Normas Brasileiras, em especial a ABNT NBR 6118:2014.

1.2 Justificativa

Ao falar de construção civil, se fala da área industrial, comercial ou residencial, essas áreas nunca cerram, elas se adaptam. Olhando para um prisma de melhorar pontos que possam viabilizar o crescimento da construção civil.

A edificação nos ajuda a repensar em como podemos planejar espaços urbanos de forma que a urbanização crescente se torne favorável para uso da edificação.

Itaperuna que por vez vem obtendo um aumento populacional, se torna fundamental a qualificação da construção civil para fins comerciais, industriais e residenciais, áreas que se tornam necessárias para a população, que propõe o trabalho, a produção e a moradia.

Portanto, edificações multifamiliares fazem mais do que economizar recursos, embora a sustentabilidade seja um benefício atraente e importante dessas estruturas, a caracterização do projeto que proporciona área de residências, num espaço inutilizado de uma área de grande valor para Itaperuna, implantando um programa habitacional o que torna uma ideia viável e coerente, gerando atração a nova área proposta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção tem objetivo de apresentar os conceitos mais relevantes de um projeto de engenharia visando a viabilidade econômica e execução de obras de qualidade, atendendo a todas ABNT NBR e NR.

2.1 Projeto de Engenharia

Um empreendimento, seja ele, industrial, civil ou comercial, todos tem um certo período de tempo a ser executado. De acordo com os objetivos específicos e custos definidos, o engenheiro desde o momento que o projeto se encontra no papel até o fim da obra, coordena tomando decisões de cada processo a ser executado de forma controlada, proporcionando o melhor para os trabalhadores e para a obra. A importância da elaboração do projeto deve ser feita sempre visando analisar a viabilidade econômica, gerenciamento, execução das obras e construções, sejam elas, casas, prédios, pontes e estradas.

2.1.1 Características Gerais do Projeto

Um projeto serve para organizar a ideia e saber por onde começar, criando etapas, para evitar erros e ter um passo a passo pra ser feito, elaborar uma séries de atividades que são planejadas para realizar com um determinado tempo, dentro de alguns quesitos, como custo, qualidade e desempenho. Seguindo o projeto de acordo com a ABNT NBR 6492: 2021, obdecendo o crtitério de cada itens.

Algumas etapas são: Levantamento topográfico, sondagem do solo, projeto de arquitetura, projeto estrutural, projeto de acessibilidade.

2.1.2 Normas Técnicas

As normas ABNT NBR e NR trazem as regras, diretrizes, que precisamos seguir para cada projeto, para cada especificação dentro do projeto, são exigências que se adequam para todas pessoas, seja ela um projeto relacionado ao público, que trás benefícios a todos, ou um projeto particular visando o melhor para a pessoa. Não só relacionada a projeto, mas para cada documento, material, produto ou serviço.

Algumas normas que são muito importante quando se trata do projeto, tais como:

A ABNT NBR 13532:1995, norma referente a elaboração de projetos de edificações, onde está escrito as condições exigíveis para cada elaboração de projeto para a construção de edificações, esta norma serve para qualquer classe, seja ela: habitacional, educacional, religiosa e etc.

ABNT NBR 6118: 2014, norma que se trata de projeto de estruturas de concreto — procedimento, vem a oferecer diretrizes do que deve ser feito ao trabalhar estruturas de concreto para evitar desperdícios, descarte impróprio de resíduos e, principalmente, acidentes no canteiro de obras.

ABNT NBR 9050:2015, esta norma se aplica em relação a acessibilidade, independente de sua condição física, seja uma, edificação, mobiliário, espaços ou equipamentos urbanos, devem ser acessíveis a todos e esta norma faz com que essa diretriz seja concretizada.

2.1.3 Plano Diretor

É um instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, constituído pela lei que deve ser seguida tanto pra cidade, quanto para os seus moradores, lei que estabelece, diretrizes e ações para o desenvolvimento urbano municipal, ordenamento do território municipal, o planejamento e a gestão democrática da política urbana.

Que promove diferentes aspectos de espaço, obtendo um estudo aprofundado da cidade, obtendo um planejamento urbano, visando o melhor para os objetivos sociais, para a população e meio ambiente, levantando questões para uma distribuição equilibrada para a urbanização, que com o estudo local, obtendo um desenvolvimento personalizado e sustentável.

O plano diretor, a lei de parcelamento do solo urbano e o código de obras têm leis que devem ser seguidas de acordo com suas exigências, será através delas que terão uma solução legítima para o desenvolvimento e expansão de forma efetiva, que tangem aos seus aspectos físicos territoriais, que é importante no planejamento de cada projeto, e junto com essas leis inclui o coeficiente de aproveitamento (CA), a taxa de ocupação (TO) e a taxa de permeabilidade (TP) que são necessárias para o desenvolvimento do projeto sendo assim :

O coeficiente de aproveitamento (CA) que é a relação entre a área total

construída em um terreno e a área desse mesmo terreno. Indica a quantidade máxima de metros quadrados a serem permitidos em um lote, somando-se as áreas de todos os pavimentos.

$$CA = (\text{área total da edificação})/(\text{área total do terreno}) \quad (1)$$

É possível utilizar o mesmo coeficiente de aproveitamento em dois terrenos, exemplo: um terreno de 24m x 30m (vinte e quatro metros por trinta metros), que tem o CA=2,0, ele pode ter um prédio com a taxa de ocupação (TO) de 50% (cinquenta por cento) tendo 4 pavimentos ou de 25% (vinte e cinco por cento) tendo 8 pavimentos.

A taxa de ocupação é a relação percentual entre a projeção da edificação e a área do terreno, ela representa a proporção do terreno sobre o qual há edificação.

$$TO = (\text{área construída})/(\text{área do terreno}) \quad (2)$$

Taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, são razões entre duas medidas, entretanto, por convenção a taxa de ocupação é sempre expressa em porcentagem. Além disso, como o TO leva em consideração apenas a projeção da edificação, não tem importância a quantidade de pavimentos que existem, certificando que todos os pavimentos estão dentro da mesma projeção do pavimento térreo, caso a projeção de um pavimento a cima estiver para fora da projeção, então o TO, deve ser alterada e obtendo um novo resultado para a taxa de ocupação (TO).

Entretanto não há uma regra, que estipule como esse instrumento seja utilizado em cada lugar, fazendo assim, com que cada município determine caso a caso o detalhe de sua aplicação. É a legislação urbanística municipal que vai definir o coeficiente de aproveitamento (CA) e taxa de ocupação (TO), e essa legislação inclui o plano diretor, lei de uso e ocupação do solo e o código de obras.

A taxa de permeabilidade, corresponde ao percentual do lote que deve obrigatoriamente ser livre de áreas de edificações, onde deve ser livre para absorver a água da chuva de forma natural. Essa taxa de permeabilidade, tem uma capacidade mínima exigida que deve ser respeitada por cada lote de acordo com suas dimensões, uma vez que a água deve chegar no lençol freático sem nenhum bloqueio pelo seu percurso.

$$\text{área permeável} = \text{taxa de permeabilidade} * \text{área do terreno} \quad (3)$$

É desse modo que se obtém a área permeável mínima, qualquer construção deve ser elaborada, portanto, condicionada a esta taxa.

2.1.4 Código de Obras

De acordo com os conceitos do código de obras estão incorporados artigos que visam assegurar conforto ambiental, conservação de energia, acessibilidade as pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida com objetivo de assegurar uma melhor qualidade de vida para a população tanto da área urbana como da área rural do município. Está lei deve ser seguida de acordo com a norma, para que ninguém faça como bem entender, padronizando os processos da obra e organizando a cidade, impedindo o crescimento fora da ordem e construções imprópria

O código de obras estabelece normas técnicas para todo tipo de construção, definindo também, os procedimentos de aprovação de projeto e licenças para execução de obras, bem como os parâmetros para fiscalização do andamento da obra e aplicação de penalidades.

É reforçada a importância deste instrumento para as prefeituras no sentido de assegurar melhor qualidade de vida para seus habitantes. As diretrizes para construção presentes no Código de Obras e Edificações, complementam-se e devem estar adaptadas com outros instrumentos urbanísticos, que por vez, devem ser elaborados ou revisados para o efetivo controle da execução.

As construções de uso coletivo, como escadas, rampas e corredores, deverão ter no mínimo 1.20m (um metro e vinte centímetros) de largura, atendendo a necessidade de um pedestre ou cadeirante.

Em relação a escada, degraus com o espelho contendo 18cm (dezoito centímetros) e com material incosustível e piso antiderrapante, e em relação a rampa uma declividade superior a 12,5% (doze e meio por cento).

Compartimentos que tendem a ter permanência prolongada, funções destinadas a manter-se, dormir, trabalhar, estudar, copas, cozinhas e etc, exija-se iluminação e ventilação direta de no mínimo 1/6m² (um sexto metro quadrado), não poderá haver

em compartimentos de permanência prolongada que tenha confrontação do mesmo lote distância menor do que 3m (três metros).

Já o compartimento de permanência transitória como, banheiros, depósitos, vestiários, despensas, exige no mínimo $1/8\text{m}^2$ (um oitavo metro quadrado). (A iluminação e ventilação devem ser calculada em relação à área total do piso de cada compartimento em questão).

2.2 Projeto Estrutural em Concreto Armado

O projeto estrutural abrange os cálculos sobre a estrutura da edificações, onde cada estrutura vai ter o seu cálculo de dimensionamento.

2.2.1 Propriedades Gerais do Concreto Armado

Em uma estrutura de concreto armado, as principais funções são: resistir aos esforços de compressão que está submetido a estrutura e certificar proteção ao aço. É composto por: cimento, areia, brita e água.

Para prosseguir com o concreto, antes de tudo é preciso atender algumas especificações, tais como: o projeto, cuidados referente a armadura, fôrmas e escoramento, pra que quando chegar no concreto, cada material utilizado no concreto seja dosado corretamente, atendendo também a sua forma de concretagem, caso algum item não for realizado adequadamente, pode haver uma grande probabilidade de problemas que possa vir acontecer. (pinheiro 2004)

O concreto tem sua forma pastoso até seu estado sólido, isso ocorre devido ao fato do cimento entrar em contato com a água ele se transforma em inúmeras partículas que vão formando seu estado sólido, obtendo a sua forma de acordo com a fôrma e criando a resistência contra a compressão, quanto mais cimento mais compacta a estrutura vai ser.

2.2.2 Sobrecargas e Solicitações de Projeto

O resultado dos carregamentos que se encontra sobre a estrutura é uma das etapas mais importantes da evolução do projeto estrutural, naquilo que diz respeito à segurança, sendo assim, torna-se necessário o cálculo da cargas permanentes e acidentais, obedecendo a sua ABNT NBR 6120: 1980.

É preciso que se obtenha essas cargas com certa precisão para que o dimensionamento dos elementos possa ser feito de modo a evitar o desperdício ou, levando em consideração o pior, a perda da estabilidade, que poderia resultar num colapso da estrutura.

Cargas permanentes, todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes como: revestimentos, pisos, enchimentos, concretos, parede divisória e outros .

Cargas acidentais, todas as cargas que podem atuar sobre a estrutura em função do seu uso, sendo assim : pessoas, móveis, veículos e materiais diversos.

2.2.3 Estádios do Concreto

Conforme a carga aplicada sobre uma viga aumenta, a peça de concreto passa por fases de fissuração e deformação até que o rompimento ocorra de fato. Essas formam os estádios do concreto I, II e III do concreto.(SCHNEIDER, 2019).

Figura 02: Estádios do concreto I,II e III.



Fonte : SCHNEIDER 2019

- Estádio I - A carga aplicada na peça solicita um esforço de tração menor que a resistência à tração do próprio concreto nesse caso, sem armadura, que é algo em torno de 10% da resistência à compressão, fazendo com que a estrutura se mantenha erguida só pela resistência do concreto.
- Estádio II - A carga aplicada passa a ser o suficiente para gerar fissuras na região tracionada do concreto, a partir desse momento a armadura torna-se necessária para a estrutura, fazendo com que a armadura resista à tração que o concreto não resiste.

- Estádio III - A carga aplicada beira o limite de resistência da peça, gerando fissuras não apenas na região tracionada da peça, mas também fissuras de cisalhamento ao longo da peça.

2.2.4 Estados Limites

Estado limite é o estado que define inconveniências para o uso da estrutura, por razões de segurança, utilidade ou estética, desempenho fora dos padrões especificados para sua utilização normal ou suspensão de funcionamento em razão dos escombros de um ou mais de seus componentes.

Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS), são os dois critérios de segurança estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014 que se refere aos métodos de projeto de estruturas de concreto, sendo assim temos 2 tipos de estados limites, que são:

- Estado limite último (ELU) - O ELU está relacionado ao estado na qual, a estrutura já não pode ser utilizada por conta da sua capacidade de resistência já está esgotada e proporcionando risco à segurança. Nesse caso, quando a estrutura está submetida ao estado limite último, são necessários reformas ou até mesmo a substituição da construção para que a segurança seja eficaz.(VIANA, 2018)
- Estado limite de serviço (ELS) - Diferente do estado limite último, os estados limites de serviço são os critérios de segurança que estão relacionados ao conforto para os usuários, durabilidade da estrutura, aspecto e de bom aproveitamento de um modo geral.
- Entre os exemplos mais comuns do ELS, que provocam desconfortos aos usuários, perda de durabilidade da estrutura e até risco à segurança, estão os seguintes: Flechas excessivas em lajes ou vigas, fissura exagerada, forte vibração da estrutura.(VIANA, 2018).

A principal diferença entre o estado limite último e o estado limite de serviço é que o primeiro oferece um risco iminente da estrutura, tornando-se necessário o

reparado imediato.

Já o segundo estado limite de serviço não oferece risco eminente, estando apenas fora dos critérios normais de funcionamento. Mesmo não oferecendo um risco iminente, o ELS não deve ser ignorado.

2.2.5 Elementos Estruturais

As estruturas pode ser feitas como conjunto de elementos estruturais básicos, seja ela linear, de superfície, bidimensionais e tridimensionais.

A especificação dos elementos estruturais se dão segundo a sua geometria, levando em consideração as suas 3 dimensões (comprimento, altura e espessura) e a sua função estrutural.

Os elementos estruturais são sub-divididos em três categorias, sendo elas :

- Elementos estruturais lineares - São aqueles onde o comprimento longitudinal é maior em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal (ABNT NBR 6118:2014) sendo também denominados de barras. Alguns exemplos são: viga, pilar, tirantes e arco.
- Elementos estruturais bidimensionais - São aqueles que a espessura é pequena e seu comprimento e largura são maiores (ABNT NBR 6118:2014), sendo denominados também como superfície. Alguns exemplos são : lajes e pares.
- Elementos estruturais tridimensionais - São os elementos onde as três dimensões têm a mesma ordem de grandeza, os elementos de volume (ABNT NBR 6118:2014). Alguns exemplos são: blocos e sapatas de fundação.

2.2.5.1 Vigas

São elementos lineares (barras), juntamente com os demais elementos estruturais proporcionando a instabilidade de uma edificação, onde a flexão atua como carga principal, sua função primordial é vencer vãos e transmitir as cargas para os

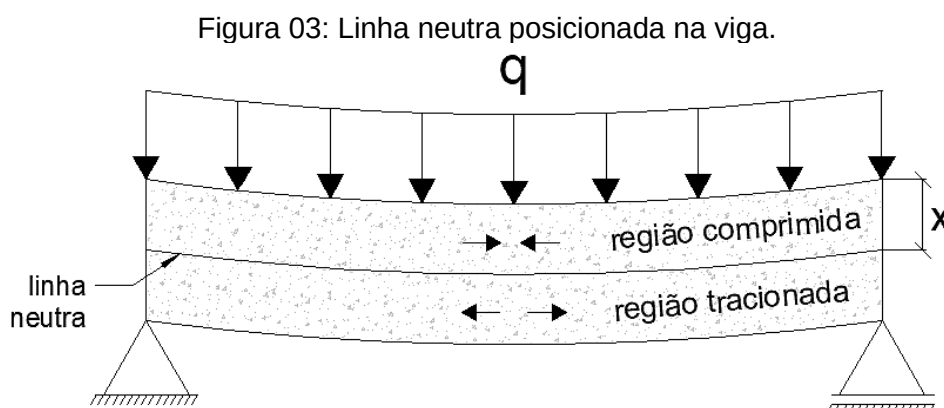
apoios, os carregamentos são provenientes da laje, das paredes, dos pilares ou de outras vigas. (BORGES, 2020)

É elaborada de acordo com a carga que será apoiada sobre ela, na horizontal e sendo retas, tendo sua armação na longitudinal e transversal, sendo composta pelas varas e estribos, resistindo a forças de torção, tração e compressão na direção do seu eixo longitudinal.

Ao longo de seu eixo longitudinal a viga obtém muitas cargas atuando sobre ela, como as das lajes, paredes, pilares e outros, sendo assim, a linha neutra facilita a forma de lidar com essas cargas.

A linha neutra é a superfície de uma viga, que serve para separar os esforços de tração e compressão existente na viga, de acordo com o estágio que a peça se encontra. (item apresentado em 2.2.3)

De acordo com as cargas aplicadas e resistências do concreto e do aço, a linha neutra deve ter a posição modificada.



Fonte: DE MOURA 2019

Se a peça tem maior parte da estrutura sendo comprimida, sua linha neutra deve estar um pouco abaixo do seu eixo.

Se a maior parte da peça estiver sendo tracionada, a linha neutra deve estar um pouco acima do seu eixo.

Se a carga de tração e compressão estiver agindo por igual, a linha neutra passa próxima ao centro da peça.

2.2.5.2 Lajes

É um elemento plano, bidimensional cuja função principal é servir de piso ou cobertura nas construções, executada na horizontal, resistindo ao esforço de tração e compressão, e que geralmente atua recebendo as ações verticais aplicadas, dependendo da utilização da laje de acordo com sua função arquitetônica, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e de outros tipos de carga que podem existir. As atuações perpendiculares ao plano da laje podem ser separadas em:

- Distribuída na área - Peso próprio, contrapiso, revestimento na borda inferior e outros;
- Distribuída linearmente - Carga de parede apoiada na laje, concentrada, pilar apoiado na laje.

As cargas são geralmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas ocasionalmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares, as lajes existem em variados tipos, como maciças, nervuradas, pré-moldadas e outras.

As lajes maciças tem seu volume totalmente preenchido pelo concreto, sem vazios e com a armadura embutida no meio do concreto, construída geralmente para obras de grande porte, como edifícios, hospitais, escolas e outros, de acordo com a (ABNT NBR 6118:2014 item 13.2.4), exigindo no mínimo 8cm (oito centímetros) de espessura para laje de piso não sendo em balanço, contendo seus apoios geralmente em seus cantos e bordas, lembrando que nem sempre ela precisa ser apoiada em todos seus cantos, com cálculos é possível tornar uma laje em balanço contendo apoios em apenas 2 ou 3 cantos. (SCHNEIDER, 2020).

Figura 04: Lajes maciças em processo de concretagem.



Fonte : GOOGLE IMAGENS 2022

As lajes nervuradas são utilizadas para superar grandes vãos e geralmente dispensa o uso de vigas. A ABNT NBR 6118:2014, define as lajes nervuradas como: lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras.

Figura 05: Lajes nervuradas



Fonte : GOOGLE IMAGENS 2022

Seu grande destaque se encontra nos vazios entre as nervuras, que são responsáveis pela redução do peso próprio para melhor aproveitamento do concreto e do aço, tornando o custo e benefício mais adequado. (MAGALHÃES, 2020)

Existem variedades de opções que devem ser escolhidas de acordo com o tipo de projeto e custos. As fôrmas podem ser de materiais plásticos, madeira ou metal,

geralmente utiliza-se a fôrma de plástico por ter um peso fávorable e fácil reaproveitamento, trazendo mais eficiência para a obra.

2.2.5.3 Pilares

O pilar é um dos elementos estrutural posicionado na vertical, a função do pilar é receber as cargas das vigas e lajes transportando elas para as sapatas, cooperando pela instabilidade da edificação.

Figura 06: Esquema de montagem do pilar



Fonte : INSON 2022

É erguido logo após a fundação, obtendo o papel de resistir as forças de compressão, cisalhamento e flexão, para isso utiliza-se seu composto mais comum sendo o concreto e aço, cada pilar tem seu volume calculado de acordo com sua posição e cargas que está sendo recebida, possui diversos tipos de amarração de acordo com a força exercida sobre ele e as cargas existentes.

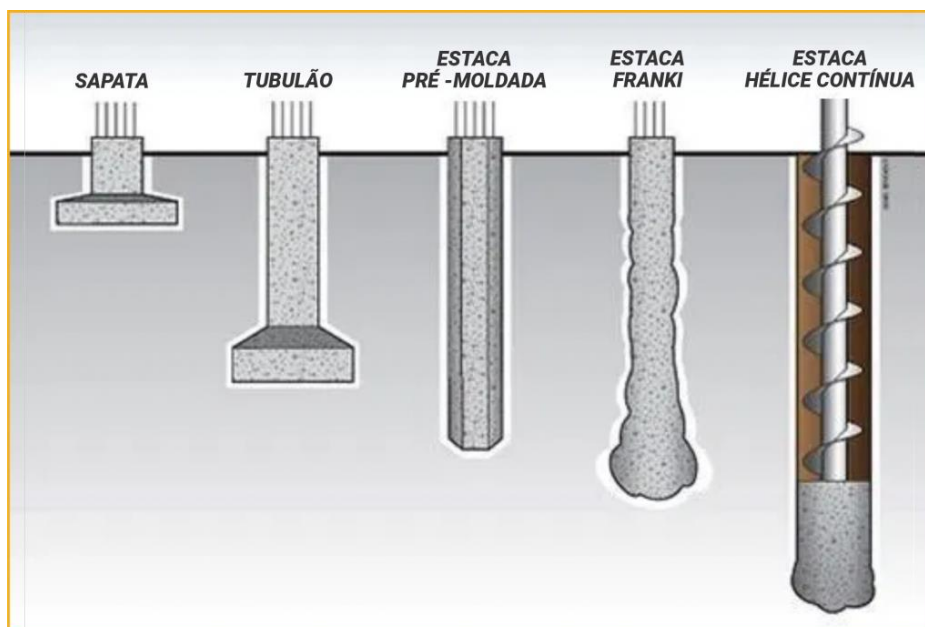
Possuindo diversas tipos de formas utilizadas tanto por certas ocasiões como pra estética da edificação, alguns de seus perfis são: retangulares, circulares, seção L, seção retangular vazada, seção U, seção I e Seção T. (PAULA, 2018)

2.2.5.4 Fundação

São responsáveis por distribuir o peso (carga) da edificação no solo, ajudando na instabilidade e evitando problemas como trincas, rachaduras ou deslizamento de

solo, por isso cada local deve ser estudado para saber qual tipo de fundação vai ser necessária utilizar (BARROS, 2011).

Figura 07: Tipos de fundações entre as rasas e as profundas



Fonte : MEDINA 2021

É composta por estacas, baldrame (viga), blocos ou sapatas, juntos eles formam o alicerce da edificação, é a base que vai receber toda a carga que existe por cima de toda a fundação, por isso cada estrutura tem seu tipo de fundação, todas as construções devem seguir os parâmetros que o local exige para cada tipo de fundação a ser feita, alguns de seus tipos são:

- Fundações diretas ou rasas - É bastante utilizada em construções de até dois pavimentos devido ao custo e benefício. Seu formato muda de acordo com seu tipo, seja ela, sapata isolada, viga baldrame, radier, sapata corrida e outras, mas todas são construídas com concreto e aço, são fundações de 3m (três metros) ou menos de profundidade que descarrega as cargas através da base para o solo.
- Fundações indiretas ou profundas - É utilizadas quando o solo não é muito resistente ou quando encontra-se material rochoso superficialmente. As cargas dos pilares na fundações indiretas são transmitidas pelo atrito lateral,

resistência de ponta ou pela combinação das duas. (geralmente combinando até as fundações rasas para ajudar na fixação da estrutura).

2.2.5.5 Desenho de Projeto Estrutural

O projeto estrutural é uma das fases de análise em cima da planta baixa que foi projetada, elaborando o posicionamento dos pilares, vigas, blocos de coroamento ou sapatas, dimensionando o tamanho da área de seção do concreto e da ferragem, de acordo com a carga que vai ser recebida, realizando o detalhamento de toda a estrutura.

A junção dos elementos que compõe o estrutural gera uma resistência muito maior, permitindo uma ampla elaboração de projetos estruturais e projetando formas com mais eficácia de trabalhar. Os elementos que se combinam devem cumprir com sua determinada função, seja ela, vencer um vão, resistir a forças existentes ou conter um empuxo, que deve ser garantida durante sua via útil prevista.

Depois que o projeto estrutural estiver pronto, é levado para a obra onde vai ser feita a execução das amarrações e das formas, onde vai ter o acompanhamento pelo engenheiro de acordo com a evolução da obra.

3 METODOLOGIA

Nessa etapa será trabalhado a ideia de elaborar um projeto arquitetônico de engenharia civil e o projeto estrutural em concreto armado, juntamente com seus cálculos, com a ideação da construção de um edifício multifamiliar com 5 pavimentos.

3.1 Projeto de Engenharia Civil

O início desse processo será com a elaboração do projeto arquitetônico de engenharia civil através de software como o Autocad e Revit, nele serão elaboradas toda a parte arquitetônica do edifício, onde vamos abranger sobre os cômodos, em relação a área quadrada e onde vai ser posto cada tipo cômodo, juntamente também as esquadrias com suas medidas de acordo com o que se propõe, levando em consideração as ABNT NBR e a legislação do Código de Obras, com relação a abertura de janelas e levantamento de muros e espaços a serem respeitados.

O projeto irá conter plantas do tipo: pavimento térreo com escala de (1:75), pavimento tipo com escala de (1:75) e planta do telhado com escala de (1:100), juntamente com seus cortes obtendo uma vista lateral de cada pavimento, altura de janelas, pé direito, altura da caixa d'água e outros, com escala de (1:50), a fachada da edificação, mostrando como será a parte da frente do edifício com a escala de (1:50) e a planta de locação e situação, mostrando o lote que está sendo utilizado como desenvolvimento e dentro do lote a situação da edificação, área em que consta a construção. Cada uma com uma escala, sendo a planta de situação na escala de (1:250) e a de locação com escala de (1:100).

3.1.1 Coeficientes Urbanísticos

O coeficiente de aproveitamento (CA) que é a relação entre a área total construída em um terreno e a área desse mesmo terreno. Diferente da taxa de ocupação, calcular o coeficiente de aproveitamento inclui os pavimentos. Conforme a equação (1).

Taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, são razões entre duas medidas, entretanto, por convenção a taxa de ocupação é sempre expressa em porcentagem. Calcular a taxa de ocupação permite elaborar áreas aproveitáveis da edificação de um projeto, tanto para os novos quanto nas reformulações de obras.

Conforme a equação (2).

A taxa de permeabilidade, corresponde ao percentual do lote que deve obrigatoriamente ser livre de áreas de edificações, onde deve ser livre para absorver a água da chuva de forma natural. Conforme a equação (3).

3.1.2 Características do Terreno

O lote está localizado na AV: Dep. Carlos Pinto Filho, bairro: Cidade Nova, próximo a faculdade Uniredentor, prefeitura, unidade pronto atendimento (UPA), proveniente de um bom local descarta-se problemas referente a inundações, mal cheiro do local inerente a valão ou rede de esgoto.

A análise de aproveitamento do terreno inicia-se com o cálculo do CA, TO, e área permeável necessária para o terreno. A partir disso, é possível, através do Anexo 4, da Lei 879 de 2019 do município de Itaperuna/RJ, verificar o melhor uso do terreno e da edificação, como número de pavimentos ou aproveitamento máximo do terreno.

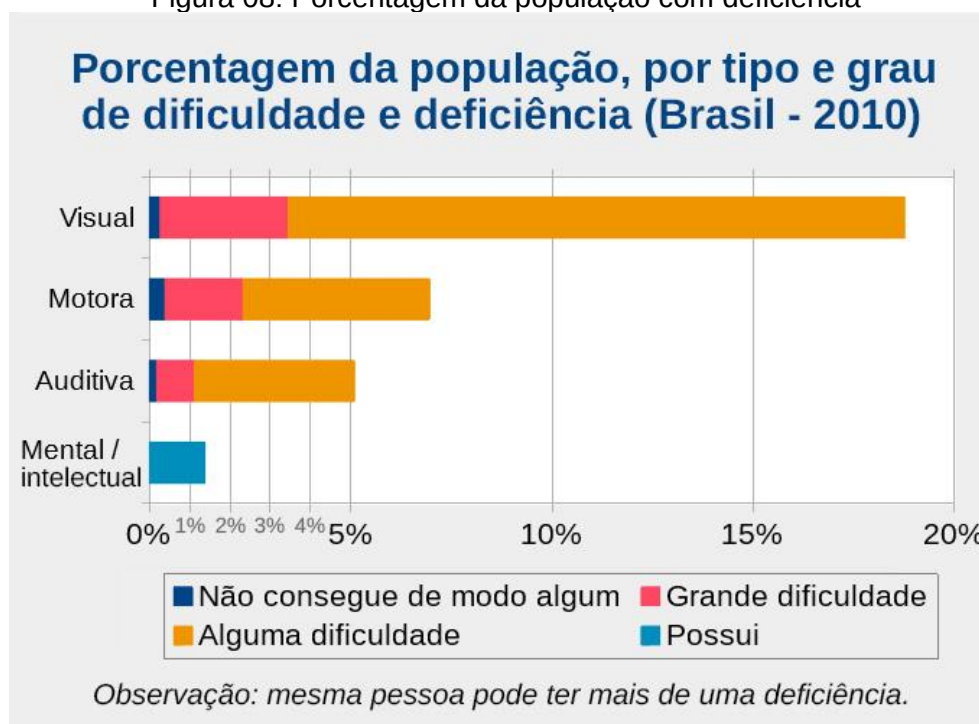
3.1.3 Programa de Necessidade

Refere-se a necessidade de um levantamento do projeto de arquitetura de de acordo com que o cliente propõe do seu edifício, alinhando sua ideia com a do profissional, sobre a projeção dos pavimentos, garagem, cobertura, a metragem quadrada de cada um deles e outros requisitos, com o dever do profissional atender com as necessidades do contratante, obdecendo os critérios exigidos pelas ABNT NBR.

3.2 Acessibilidade

O IBGE (2010) publicou uma pesquisa onde afirma que 24% da população brasileira tem algum tipo de deficiência que impossibilita o indivíduo a desempenhar certas atividades. Segundo o artigo 18 do decreto nº 5.296 (2004) as novas edificações residenciais multifamiliares devem atender de forma acessível todas as áreas de uso comum, como: escadas, elevadores e garagens.

Figura 08: Porcentagem da população com deficiência



Fonte: IBGE, CENSO DEMOGRÁFICO 2010

Elaborar o projeto de acordo com as normas e as leis é preparar aos moradores a melhor forma de deslocamento de maneira segura e autônoma para todos, principalmente para as pessoas com deficiência. A ABNT NBR 9050: 2020 estabelece parâmetros técnicos para construções, adaptações, mobiliários e condições de acessibilidade para as edificações em geral, com o objetivo de melhor atender aos dependentes do espaço físico.

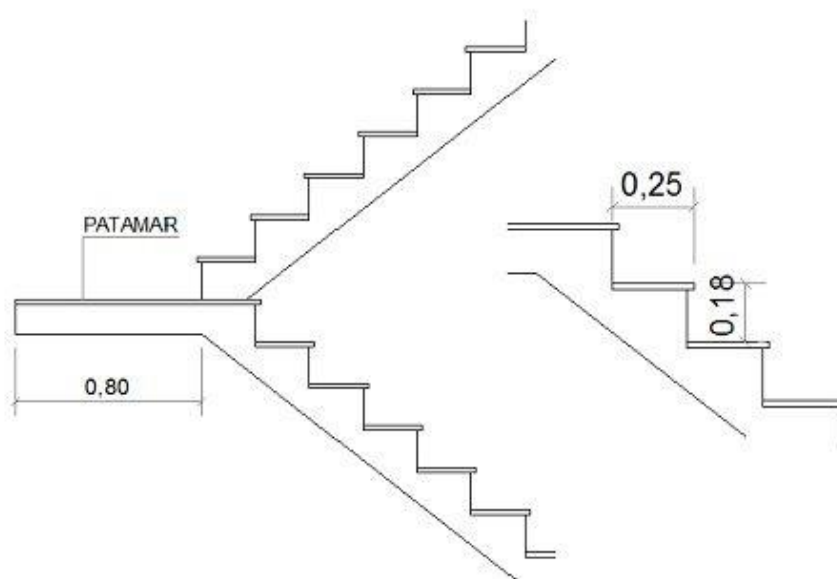
3.2.1 Escadas

As escadas em um edifício tem como papel principal, além de serem uma das passagens utilizadas o acesso aos demais pavimentos, em caso de acidentes ocorrido com a edificação ou risco eminente, são as melhores rotas de saída de emergência. As escadas deverão ser executadas baseando-se na ABNT NBR 9077: 2001. Adequando a acessibilidade da escada de acordo com a ABNT NBR 9050: 2020, pois é a responsável por estabelecer critérios e parâmetros para o projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade.

Deve se atentar aos degraus com suas medidas de acordo com que a norma elabora, sendo elas :

- ✓ Pisos (p): $0,28\text{m} \leq p \leq 0,32\text{m}$;
- ✓ Espelhos (e): $0,16\text{m} \leq e \leq 0,18\text{m}$;
- ✓ Piso + 2 espelhos (p+2e): $0,63\text{m} \leq p + 2e \leq 0,65\text{m}$.

Figura 09: Medidas básicas utilizadas para degraus e patamar



Fonte: DG 2015

As escadas enclausuradas são vastamente utilizadas com o objetivo de retardar a ação do fogo e da fumaça proveniente da queima, possibilitando a evacuação do edifício pelos ocupantes ABNT NBR 9077: 2001. A porta corta-fogo (PCF) é um item de segurança recomendado por norma, pode ser dotada de vidros aramados transparente para serem diferenciada sobre as demais ABNT NBR 9077: 2001.

De acordo com a ABNT NBR 9077: 2001, as exigências para saídas de emergência em edifícios, são:

- Possuir caixas isoladas por paredes resistentes a 2h de fogo;
- Possuir portas corta fogo ou que resista ao fogo por 30 min;
- Possuir janelas de acesso para o espaço livre exterior;
- Possuir alçapão de alívio de fumaça de 1 m² no termino superior;
- Ser composta por material incombustível;

- Guarda corpo lateral;
- Piso em condições antiderrapantes.

Figura 10: Escada Enclausurada a Prova de Fumaça.



Fonte : IADES (2013).

3.2.2 Rampas

Para a NBR 9050:2020, as rampas são desníveis que ao longo da superfície do piso gera uma inclinação de pelo menos 5%. Atendendo a todos os indivíduos seja eles com deficiência ou não, exigindo um limite de inclinação máxima de 8,33%. As inclinações das rampas são calculadas de acordo com a equação (4).

$$i = \frac{(H * 100)}{C} \quad (4)$$

Onde:

- i = Inclinação, em porcentagem;
- H = Altura do desnível;
- C = Comprimento da projeção horizontal.

Tabela 01: Tabela de limite mínimo e máximo de inclinação

Inclinação admissível em cada segmento de rampa i (%)	Desníveis máximos de cada segmento de rampa h (m)	Número máximo de segmentos de rampa
5,00 (1:20)	1,50	Sem limite
$5,00 (1:20) < i \leq 0,25$ (1:16)	1,00	Sem limite
$6,25 (1:16) < i \leq 8,33$ (1:12)	0,80	15

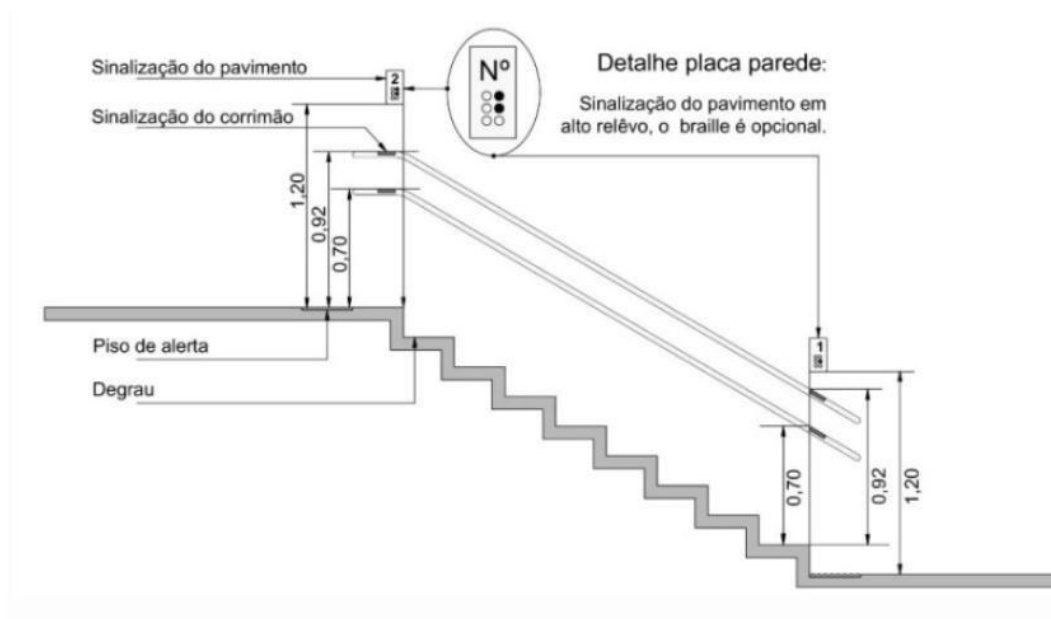
Fonte: ABNT NBR 9050: 2020

3.2.3 Corrimão

Os corrimãos devem ser instalados em escadas e rampas, em ambos os lados, em duas alturas, no caso de escadas: 0,92 m, medida da face superior até a quina do degrau, e 0,70 m, da face inferior até a quina do degrau, devendo se prolongar por pelo menos 30 cm nas extremidades, os corrimãos devem ser contínuos e sem interrupções nas escadas e patamares, caso não tenha patamar deve-se ter acabamento recurvado com 0,30 m.

É importante mencionar também que todos os corrimãos devem ter a numeração de cada pavimento, com a escrita em relevo e em braille, sistema de escrita utilizada por pessoas com deficiência visual, informando aos leitores o pavimento que se encontra.

Figura 11: Altura do Guarda corpo



Fonte: ARCIERI 2020

3.2.4 Elevadores

A disponibilidade de elevador é obrigatória segundo o código de obra da cidade de Itaperuna (2007) e disposto pelo corpo de bombeiros. É necessário que construções com mais de quatro pavimentos ou que possuem uma altura superior a 11,5 metros, sejam dotados de sistema de elevação motora além das escadas.

Os elevadores tem a facilidade de transporte em meio a um quantitativo de pessoas, devido a essa facilidade de deslocamento, devemos levar em conta a utilização para todas as pessoas, para que todos tenham a mesma facilidade de locomoção.

De acordo com a ABNT NBR 9050: 2015, os painéis de chamada dos elevadores devem conter a numeração em relevo e em braille de cada andar contido na edificação, acessíveis para pessoas que utilizam cadeira de rodas.

Com a área da cabine de 1,20 m² sendo a porta com 800 mm de largura livre e automáticas com utilização de barreira infravermelha, sinalização sonora em caso de emergência, espelho, corrimão e placas de informações de uso restrito, em relação ao quantitativo de pessoas, peso suportável e outras informações.

Figura 12: Painel de elevador e acessibilidade



Fonte: SANTOS 2012

3.2.5 Vaga de Garagem

De acordo com o código de obras de Itaperuna-RJ, devemos adotar 1 (uma) vaga de garagem a cada 180 m² (cento e oitenta metros quadrados) para residência multifamiliar. Com isso devemos levar em consideração a utilização de vagas para deficientes, que de acordo com a ABNT NBR 9050: 2020 Acessibilidade, devemos adotar 2% (dois porcentos) do quantitativo total de vagas existentes na edificação residencial multifamiliar, seguindo os critérios de sinalização de acordo com que a ABNT NBR 9050: 2020 propõe, sendo elas:

O símbolo deve conter um pictograma branco sobre um fundo azul, de 1,00m. de lado mínimo.

Figura 13: símbolo para vagas de deficientes

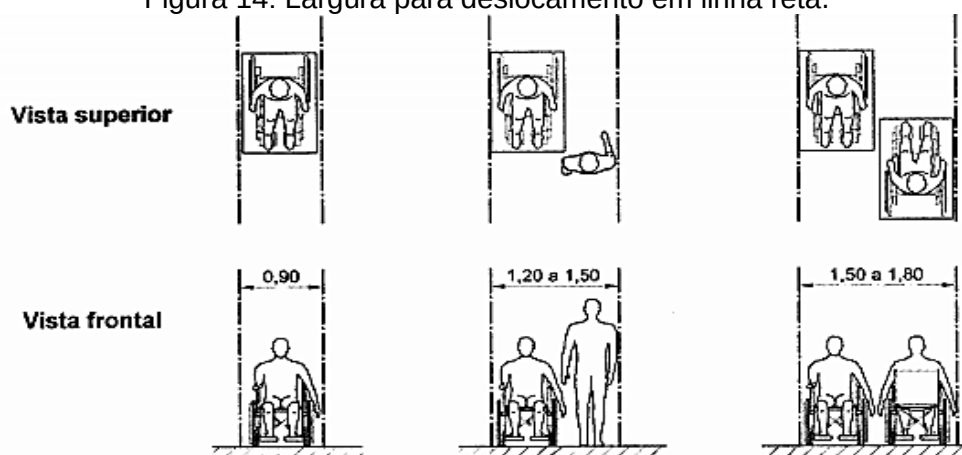


Fonte: ABNT NBR 9050: 2020

3.2.6 Corredores

Obedecendo o normativo da ABNT NBR 9050: 2020 os corredores foram todos elaborados ao dimensionamento que se tem em norma. A figura 14 demonstra os tamanhos mínimos de corredores para edificação.

Figura 14: Largura para deslocamento em linha reta.



Fonte: ABNT NBR 9050: 2020.

3.3 Estrutura de Concreto Armado

O concreto armado tem-se esse nome devido a estrutura de concreto que possui em seu interior, armações feitas com barra de aço.

Suas armações são feitas para poder vencer os momentos de tração que age em toda a estrutura, tendo em vista que o concreto não é tão bom em lidar com a tração, pois o seu forte é a resistência a compressão, as armações de aço são

indispensáveis para estruturas como vigas, pilares e lajes.

Devido a essa união, a junção do concreto com o aço se dão muito bem pois as características de seus materiais são bem trabalhadas combatendo a fraqueza um do outro de maneira conjunta, levando em conta também que o coeficiente de dilatação dos dois materiais são quase, iguais.

O projeto das estruturas de concreto armado é criada por engenheiros especializados no assunto, muitas das vezes utilizam software para a elaboração de cálculos, conhecidos também como calculistas. São eles quem determinam toda a estrutura, cada segmento existente em que se faz necessário a utilização do concreto armado que são: resistência do concreto, a bitola do aço, o espaçamento entre as barras e a dimensão das peças que farão parte do projeto (sapatas, blocos, pilares, lajes, vigas, etc). Segundo Narbal Marcelino, mesmo com a baixa complexidade na execução, é preciso ter cuidados para garantir a qualidade e segurança. Obter conhecimentos das propriedades dos materiais, dos fundamentos de projeto, das normas nacionais e internacionais e da tecnologia de execução, são indispensáveis para na construção de estruturas de concreto seguras e duráveis.

O concreto estrutural pode ser feito por usinas ou preparado no próprio local da obra. O que vai levar em conta é a sua resistência à compressão que é o principal fator que define a sua qualidade. Para se atingir a sua resistência ideal, vai depender das dosagens dos materiais (areia, brita, cimento e água), mas geralmente se utiliza o concreto de usinagem pois proporciona o melhor controle da dosagem com a utilização de balança e caminhões betoneiras que já entregam as propriedades necessárias já garantida.

Para utilização do concreto armado no Brasil há duas normas técnicas principais. A ABNT NBR 6118: 2014 Projeto de estruturas de concreto- Procedimento, é a norma que comporta todas as informações necessárias para se tomar as decisões corretas para o projeto.

3.3.1 Classe de Agressividade

A ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, apresenta que todas as estruturas devem ser projetadas para que além de suportar aos esforços, apresentarem uma boa durabilidade, rendendo uma qualidade de garantia, perante as suas classe de agressividade. De acordo com a ABNT NBR 6118:

2014, a durabilidade, consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, a agressividade ambiental de uma estrutura em projeto é classificada de acordo com às ações físicas e químicas que operam sobre as estruturas de concreto, independente das ações que são feitas para se dimensionar as estruturas de concreto. Segue abaixo a tabela indicando a agressividade de acordo com o ambiente que é feito a execução do projeto de concreto armado.

Quadro 01: Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a,b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a - Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b - Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c - Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

A definição desta classe de agressividade ambiental (CAA) é essencial na concepção do projeto estrutural, pois influenciará na execução do projeto, que devem ser respeitados, desde o valor mínimo proposto até o valor máximo de cada ambiente.

O ambiente correlacionado com o projeto, que vai gerar a classificação da agressividade ao concreto e para resistir a estas agressividades devemos ter um concreto de qualidade e durabilidade, mas para isso ele passa por um processo onde o cimento reage com a água, quanto mais água, maior a sua porosidade e quanto maior a porosidade maior vai ser a agressão exercida no concreto, deixando ele fraco,

por isso devemos utilizar maior a quantidade cimento pois a sua resistência será maior, obtendo o resultado esperado que é a proteção das armaduras que estão no seu interior.

De acordo com o quadro 2 abaixo, é dado os valores máximos da relação de água e cimento e mínimos de fck a serem utilizados, de acordo com a classe de agressividade ambiental do local do projeto a ser executado.

Quadro 02: A classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (tabela1)			
		I	II	III	IV
Relação a/c em massa	CA	≤ 0,60	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR61181: 2014

3.3.2 Cargas e Solicitações na Estrutura

De acordo com a ABNT NBR 6120: 2018, Cada região da planta baixa terá um valor mínimo de carga vertical para ser considerado durante o projeto estrutural. O quadro abaixo apresenta valores a serem utilizados na estrutura.

Quadro 03: Valores mínimos de cargas verticais de cada região

Valores mínimos de carga verticais das regiões a ser utilizadas		kN/m ²
Corredor	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	1,5
Edifícios Residenciais	Dormitório, Sala, Copa, Cozinha e Banheiro	1,5
	Despensa, Área de serviço, Lavanderia	2
Escadas	Com acesso ao público	3
Garagem e Estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com cargas máximas de 25kN por veículo	3
Cobertura	Com acesso apenas para manutenção ou inspeção	1

Fonte : ABNT NBR 6120: 2018

3.3.3 Módulo de Elasticidade

O diagrama tensão versus deformação do concreto verifica o módulo de elasticidade, sendo um critério relativo à deformação do concreto quando sujeito a ação de tensões de compressão ou de tração . É a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente. Devemos levar em consideração alguns fatores como, agregados do concreto e suas características, para determinar as deformações e conhecer as flechas máximas em vigas e lajes. (PINHEIRO, 2004).

O módulos de elasticidade pode ser calculado de acordo com a fórmula (5) :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

Sendo :

- E = Módulo de elasticidade (Gpa)
- σ = Tensão (Mpa)
- ε = Deformação (mm/mm)

O módulo de elasticidade age diferente em cada material, cada um com o seu limite de rigidez, que de acordo com a carga que está sendo colocada sobre o material pode ou não gerar uma deformação, a partir do momento que esse limite é alcançado obtemos a deformação, uma deformação que dependendo da carga colocada, pode até mesmo chegar a ruptura levando a acontecer algum acidente. Devido a isso temos que quanto maior o módulo de elasticidade maior vai ser a rigidez do material.

Quadro 04: Módulo de elasticidades de alguns materiais

MATERIAL	MÓDULO DE YANG(GPA)
DIAMANTE	1000
CARBETO DE SILÍCO (SIC)	450
TUNGSTÊNIO	406
FERRO	196
AÇOS DE BAIXA LIGA	200-207
FERROS-FUNDIDOS	170-190
COBRE	124
TITÂNIO	116
VIDRO (SiO ₂)	94
ALUMÍNIO	69
NYLON	2-4

Fonte: LUZ 2017

Atráves do quadro podemos perceber o módulo de elasticidade ou módulo de young, de alguns materiais, levando em consideração que a temperatura vai influenciar o módulo de elasticidade de cada material, com o aumento da temperatura tende a diminuir o módulo de elasticidade de alguns materiais, ou seja, cada material vai reagir de um jeito perante a carga sobreposta a ele e a temperatura.

Quadro 05: Temperatua ambiente de alguns materiais e seu módulo de elasticidade

MATERIAL	DENSIDADE P (kg/m ³)	MÓDULO DE YOUNG E (10 ⁹ /m ²)
AÇO	7860	200
ALUMÍNIO	2710	70
VIDRO	2190	65
CONCRETO	2310	30
MADEIRA	525	13
OSSO	1900	9
POLIESTIRENO	1050	3

Fonte: LUZ 2017

Temos um fato ocorrido em 11 de setembro de 2001, o atentado ao World Trade Center, mais conhecido como torre gêmeas nos Estados Unidos, dois aviões colidiram com as torres, levando em queda devido ao super aquecimento das estruturas, o material utilizado na construção não resistiu e veio a demolição.

3.3.4 Dimensionamento de Vigas

As vigas são elementos estruturais utilizados para receber cargas de paredes e lajes, conduzindo as forças recebidas até os pilares, não devem apresentar largura menor que 12 cm, podendo ser reduzido em casos excepcionais, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições: Alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e coberturas estabelecidos na norma.(ABNT NBR 6118: 2014)

Toda estrutura deve ter o seu pré dimensionamento, sendo assim a viga, deve ter a sua projeção elaborada de acordo com as cargas que vai suportar, cabe ao profissional, dimensionar todos os seus materiais necessários para sustentar toda a carga, alguns materiais como: área de seção da viga, f_{ck} do concreto, tipo de aço a ser utilizado.

Equações que estabelecem o tamanho para a viga;

- Tramo interno;

$$h = \frac{l_o}{12} \quad (6)$$

- Viga bi-apoiada e tramo externo;

$$h = \frac{l_o}{10} \quad (7)$$

- Balanços;

$$h = \frac{l_o}{5} \quad (8)$$

Onde:

- h = altura;
- l_o = vão livre da estrutura.

Equação da relação entre a altura útil da viga e a altura total:

$$h = d + c + \phi_t + \frac{\phi_l}{2} \quad (9)$$

Onde:

- d = altura útil;
- c = cobrimento;
- ϕ_t = diâmetro dos estribos;
- ϕ_l = diâmetro das barras longitudinais.

Equação referente ao peso próprio da viga:

$$PPviga = Yc * Aviga \quad (10)$$

Referindo-se:

- $PPviga$ = peso próprio da viga;
- Yc = peso específico do concreto (adotar 25kN/m³);
- $Aviga$ = área da seção da viga, conforme a equação.

Equações referente ao Peso da Parede:

$$PPpar = Ytij * Apar \quad (11)$$

$$Apar = hpar * bpar \quad (12)$$

Onde:

- $PPpar$ = peso da parede;

- γ_{tij} = peso específico do tijolo (tijolos maciços) = 18 kN/m³; (tijolos furados) = 13 kN/m³;
- A_{par} = área da seção da parede.

Equações que se tratam dos esforços da viga:

Para vigas bi apoiadas e bi engastadas, utiliza a equação (13):

$$Vd = \frac{Sd * l}{2} \quad (13)$$

Para vigas engastadas de um lado e apoiadas no outro, equação (14):

$$Vd = \frac{5 * Sd * l}{8} \quad (14)$$

O lado apoiado é calculo como, equação (15):

$$Vd = \frac{3 * Sd * l}{8} \quad (15)$$

Os momentos fletores das vigas são calculados pelas equações;

As vigas bi apoiadas são calculadas pela equação (16):

$$Md = \frac{Sd * l^2}{2} \quad (16)$$

As vigas bi engastadas são calculadas pela equação (17):

$$Md = \frac{Sd * l^2}{24} \quad (17)$$

Para vigas engastadas de um lado e apoiadas no outro, utiliza-se a equação (18):

$$Md = \frac{Sd * l^2}{14,22} \quad (18)$$

Referindo-se:

- Vd = esforço cortante;
- Md = momento fletor;
- Sd = combinação de esforços;
- l = comprimento da viga.

Após o cálculo do peso próprio ser realizado de acordo com o descrito acima nas equações, a soma destes valores será a carga que será distribuída sobre a viga.

$$qt = PPviga + PPpar \quad (19)$$

Sendo:

- qt = Carga total aplicada sobre a viga.

Sendo assim, deve ser feito um cálculo de dimensionamento pelo momento positivo e outro pelo momento negativo. O primeiro a ser calculado deve ser momento máximo sobre a viga, segue a equação (20), (21):

$$Msk = qt * \frac{l^2}{8} \quad (20)$$

$$Msd = 1.4 * Msk \quad (21)$$

Sendo:

- Msk = momento máximo;
- Msd = Momento máximo com coeficiente de segurança.

3.3.4.1 Posição da Linha Neutra

A altura útil da viga é calculada de acordo com a equação (22):

$$d = 0.9 * h \quad (22)$$

Sendo:

- d = altura útil da viga
- h = altura da viga.

Espessura da viga é calculada segunda a equação (23):

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.4} \quad (23)$$

Sendo:

- f_{ck} = resistência característica a compressão do concreto;
- f_{cd} = resistência de cálculo do concreto.

Calculo da posição da linha neutra se dá de acordo com a equação (24):

$$X = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{Md}{0,425 * b_w * d^2 * f_{cd}}} \right] \quad (24)$$

Sendo assim:

- x = posição da linha neutra;
- d = altura útil;
- Md = momento fletor máximo;
- b_w = largura da seção (adota-se o valor de 1 por equivaler a 1m);
- f_{cd} = resistência de cálculo do concreto.

3.3.4.2 Área do Aço

Inicialmente devemos calcular o valor característico da resistência de escoamento do aço, conforme a equação (25):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (25)$$

Onde:

- f_{yk} = é a resistência característica ao escoamento;
- γ_s = é o coeficiente de ponderação da resistência do aço.

A resistência característica ao escoamento é dada pelo valor que acompanha o CA na nomenclatura do aço. Por exemplo: As barras com CA-50, sendo assim, sua resistência equivale 50 kN/cm².

3.3.4.3 Cálculo da Área do Aço

A área do aço é utilizada para determinar qual a seção a ser empregada na estrutura:

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * (d - 0,4 * x)} \quad (26)$$

Referindo-se:

- A_s = Área do aço.

Para determinar a área de aço mínima da laje, utiliza-se de acordo com a equação (27):

$$A_{smin} = \rho_{min} * 0,0015 * b_w * h \quad (27)$$

Onde:

- A_{smin} = área de aço mínima;
- ρ_{min} = taxa geométrica da barra longitudinal (utiliza-se o valor de 0,67);
- b_w = largura da seção (adota-se o valor de 1 por equivaler a 1m);
- h = altura.

Quadro 06: Quadro da área de aço da seção conforme o número de barras e diâmetro da bitola

Valor nominal para cálculo		Área de aço da seção conforme número de barras – A_s (cm ²)									
Ø Diâmetro (mm)	Massa Linear (kg/m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	0,16	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
6,3	0,23	0,315	0,63	0,945	1,26	1,575	1,89	2,205	2,52	2,835	3,15
8,0	0,40	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
10,0	0,63	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,80
12,5	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50
16,0	1,60	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
20,0	2,50	3,15	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50
25,0	4,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
32,0	6,30	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00	80,00
40,0	10,00	12,50	25,00	37,50	50,00	65,50	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00

Fonte: SCHNEIDER 2020

3.3.4.4 Estado Limite

O coeficiente de ponderação da resistência do aço e do concreto é dado pela tabela (02):

Tabela 02: Valores dos coeficientes γ_c e γ_s

Combinações	Concreto (γ_c)	Aço (γ_s)
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construções	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,10

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

O ELU está relacionado ao estado pela qual a estrutura já não pode ser utilizada por razão da capacidade resistente já ter sido atingida e esgotada causando risco à segurança.

Nesse caso, quando a estrutura está submetida ao estado limite ultimo, são necessários reparos ou até mesmo a substituição da construção para que a segurança seja assegurada.

O cálculo segue as orientações dadas pelas equações: (22) e (24).

3.3.4.5 Estribos

De maneira geral, os estribos são adotados verticalmente e com $\alpha = 90^\circ$, a área dos estribos ao longo do eixo da viga é dada pela equação (28):

$$V_{sw} = A_{sw} * d * 0.9 * f_{ywd} \quad (28)$$

Sendo:

- A_{sw} = área dos estribos;
- f_{ywd} = tensão na armadura;
- d = altura útil da seção.

Para garantir uma boa estabilidade a estrutura, a armadura transversal deve ser suficiente para resistir as forças de tração, que são resistidas pelo concreto na alma antes da formação de fissuras de cisalhamento.

A armadura transversal mínima é calculada através da equação (29):

$$A_{sw, min} = \frac{A_{sw}}{s} = \rho_{sw, min} * bw \quad (29)$$

Os valores de $\rho_{sw, min}$ são dados pelo quadro (07):

Quadro 07: Valores de $\rho_{sw, min}$ (%)

CONCRETO							
AÇO	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
CA-25	0,1768	0,2052	0,2317	0,2568	0,2807	0,3036	0,3257
CA-50	0,0884	0,1026	0,1159	0,1284	0,1404	0,1580	0,1629
CA-60	0,0737	0,0855	0,0965	0,1070	0,1170	0,1265	0,1357

Fonte: SANTOS (2003)

A ABNT NBR 6118: 2014 apresenta prescrições quanto ao diâmetro mínimo e máximo.

O diâmetro dos estribos deve estar no intervalo: $5 \text{ mm} \leq \phi t \leq \frac{bw}{10}$.

Quando a barra for lisa, $\phi t \leq 12mm$.

Onde:

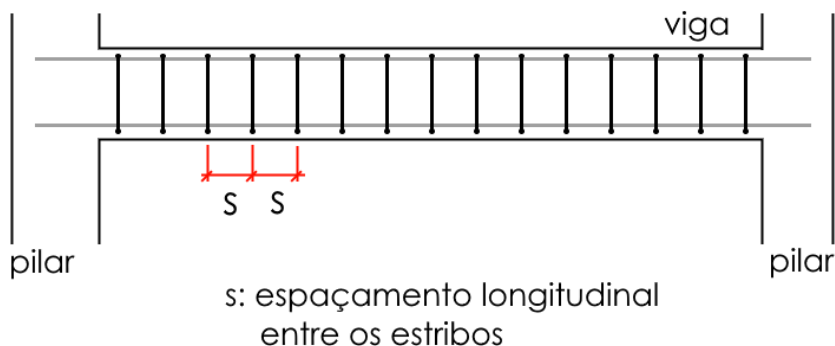
- ϕt = Diâmetro do estribo;
- b_w = Largura da viga.

O espaçamento mínimo entre estribos, medido segundo o eixo longitudinal do elemento estrutural, deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador.

Já o espaçamento máximo entre os estribos "S,máx" deve respeitar as seguintes condições:

- Se $V_d \leq 0,67 VR_d/2$, então $S_{,máx} = 0,6 d \leq 300 \text{ mm}$;
- Se $V_d > 0,67 VR_d/2$, então $S_{,máx} = 0,3 d \leq 200 \text{ mm}$.

Figura 15: Espaçamento longitudinal dos estribos

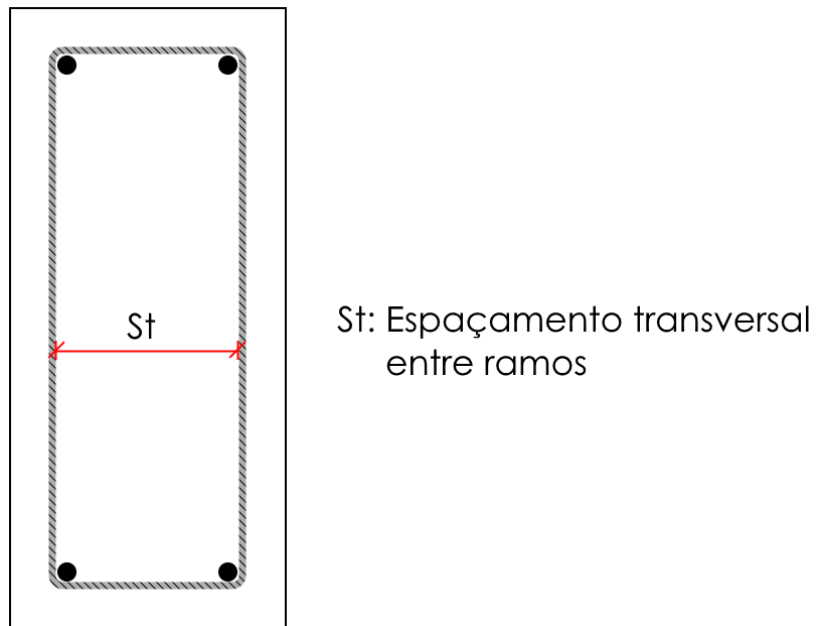


Fonte: MARCHI 2022

O espaçamento transversal entre ramos sucessivos dos estribos não deve ser superior aos seguintes valores:

- Se $V_d \leq 0,20 VR_d/2$, então $S_{t,máx} = d \leq 800 \text{ mm}$;
- Se $V_d > 0,20 VR_d/2$, então $S_{t,máx} = 0,6 d \leq 350 \text{ mm}$.

Figura 16: Espaçamento transversal entre ramos



Fonte: MARCHI 2022

Para obter o número de estribos a ser utilizado na viga é preciso saber o seu comprimento, sendo que cada viga tem seu tamanho e obedecendo a recomendação de que os estribos sejam colocados a cada certa distância um do outro, onde será necessário ter a relação entre a viga e o distanciamento dos estribos.

Sendo assim, calculando da seguinte maneira:

$$Ne = \frac{\text{Comprimento da viga}}{\text{Espaçamento dos estribos}} \quad (30)$$

Onde:

- Ne = Número de estribos;

Em seguida, para descobrir a metragem do aço, é preciso multiplicar a quantidade de estribo pelo tamanho de cada estribo. Nesse caso, o cálculo será:

$$Qa = Ne * Pe \quad (31)$$

Onde:

- Qa = Metragem a ser utilizada de aço em cada pórtico;

- Pe = Perímetro do estribo.

Por último, basta multiplicar a metragem de estribos pela quantidade de vigas, seguindo a equação (32):

$$Qt = Qv * Qa \quad (32)$$

Onde:

- Qt = Quantidade total de aço para o estribo;
- Qv = Quantidade de viga;

3.3.4.6 Espaçamento Entre Barras

O espaçamento mínimo livre entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores.

No sentido horizontal (eh):

- ✓ 20 mm;
- ✓ Diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
- ✓ 1,2 vezes o diâmetro máximo do agregado.

No sentido vertical (ev):

- ✓ 20 mm;
- ✓ diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
- ✓ 0,5 vezes o diâmetro máximo do agregado.

Para calcular o espaçamento entre as barras, utiliza-se a equação (33):

$$S = \frac{bw}{N_{bar}} \quad (33)$$

Referindo-se:

- S = espaçamento entre as barras;

- b_w = comprimento equivalente a 1m (100 cm).

3.3.5 Dimensionamento de Lajes

O cálculo de lajes baseia-se no dimensionamento da sua espessura, na quantificação do aço necessários para as armaduras e no detalhamento das dimensões de cada ferro, baseando-se nos métodos iniciais: cargas, tipos de apoio, materiais que serão usados, interação entre lajes e estabilidade da estrutura (BORGES, 2010).

A classe de agressividade ambiental de cada projeto, varia de acordo com tipo do ambiente e a intensidade de agressividade, determinando qual tipo de concreto a ser utilizado ABNT NBR 6118, 2014 podendo ser analisada pela tabela 02.

Espessuras mínimas, a ABNT NBR 6118:2014, estipula valores limites mínimos para as espessuras de lajes maciças:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

O cobrimento nominal de uma determinada barra deve ser dado por:

$$C_{nom} \geq \Phi \text{ barra} \quad (34)$$

A dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20 % a espessura nominal do cobrimento, ou seja:

$$d_{\max} \leq 1,2C_{\text{nom}} \quad (35)$$

A ABNT NBR 6118: 2014 determina o cobrimento mínimo, de acordo com o quadro (08):

Quadro 08: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elementos	Classe de agressividade ambiental (tabela 1)			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje ^(b)	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
Concreto ^(a) Protendido	Todos	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por um cobrimento nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

^c Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45 \text{ mm}$.

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

De acordo com o quadro 2 é possível analisar os parâmetros mínimos que devem ser atendidos para a qualidade do concreto de acordo com a ABNT NBR 6118: 2014.

3.3.5.1 Tipos de Casos

Através da figura (17), é possível identificar os vínculos da laje com outros elementos, sendo importante para a consideração do comportamento conjunto com outras lajes e reações nas vigas.

Figura 17: Vinculações das lajes.

Borda livre		Borda simplesmente apoiada		Borda engastada	
-----		—————		/////////	

Caso	Vinculação	Caso	Vinculação	Caso	Vinculação
1		2A		2B	
Quatro bordas simplesmente apoiadas		Uma borda menor engastada		Uma borda maior engastada	
3		4A		4B	
Duas bordas adjacentes engastadas		Duas bordas menores engastadas		Duas bordas maiores engastadas	
5A		5B		6	
Uma borda maior apoiada		Uma borda menor apoiada		Quatro bordas engastadas	

Fonte: LIBÂNIA 2007

3.3.5.2 Esforço Cortante e Momento Fletor

Para determinar o cálculo da cortante e o momento fletor sobre a laje é preciso determinar as cargas existente sobre ela.

Para determinar o peso próprio da laje, utiliza-se a equação (36):

$$P_{Plaje} = \gamma \cdot h \quad (36)$$

Onde:

- P_{Plaje} = Peso próprio da laje;
- γ = Peso próprio do concreto;
- h = espessura da laje.

Para obter o peso próprio da parede utiliza-se a seguinte equação (37):

$$P_{Pparede} = Esp.h.P_{Ptijolo} \quad (37)$$

Onde:

- PP_{parede} = Peso próprio da parede;
- Esp = Espessura da parede;
- h = Altura da parede;
- PP_{tijolo} = Peso próprio do tijolo.

Utilizamos o revestimento como um valor tabelado, sendo ele:

- $Rev = 1,0 \text{ Kn/m}^2$

Para a carga de utilização de uma laje, segundo a ABNT NBR 6120: 2018 é utilizado para:

- Dormitórios, sala, copa, cozinha e sanitários uma carga de $1,5 \text{ kN/m}^2$.
- Despensa, área de serviço e lavanderia é utilizado uma carga mínima de 2 kN/m^2 .
- Em corredores de uso comum é utilizado 3 kN/m^2 .

A combinação de carregamentos atuantes sobre a laje adota o coeficiente de segurança equivalente a $\gamma = 1,4$ correlacionando os elementos necessários para a combinação das ações presentes na laje, obtemos a equação (38):

$$S_d = 1,4 (P_p + R_{ev}) + 1,4(q) \quad (38)$$

Sendo:

- P_p = peso próprio da laje;
- R_{ev} = revestimento;
- q = a carga de utilização.

Os momentos máximos positivos nas direções x e y, são calculados respectivamente pela equação (39), (40):

$$M_x = \mu_x * \frac{p * l_x^2}{100} \quad (39)$$

$$M_y = \mu_y * \frac{p * l_x^2}{100} \quad (40)$$

Os momentos máximos negativos nas direções x e y, são calculados respectivamente pela equação (41), (42):

$$M'_x = \mu'_x * \frac{p * l_x^2}{100} \quad (41)$$

$$M'_y = \mu'_y * \frac{p * l_x^2}{100} \quad (42)$$

Onde:

- l_x = Menor vão da laje;
- p = Carregamento uniformemente distribuído sobre a laje;
- $\mu'_x, \mu_x, \mu'_y, \mu_y$ = coeficientes retirados das tabelas;
- M'_x e M_x = Momentos fletores na direção do menor vão l_x (kN.m/m);
- M'_y e M_y = Momentos fletores na direção do maior vão l_y (kN.m/m).

As lajes com dois engastes, são calculadas pela equação (43), (44):

$$Md^+ = \frac{(q * l_x^2)}{24} \quad (43)$$

$$Md^- = -\frac{(q * l_x^2)}{12} \quad (44)$$

As lajes com apoio e engaste, são calculadas pela equação (45), (46):

$$Md^+ = \frac{(q * l_x^2)}{14,22} \quad (45)$$

$$Md^- = -\frac{(q * l_x^2)}{8} \quad (46)$$

As lajes biapoiadas, são calculadas pela equação (47):

$$Md^+ = \frac{(q * l_x^2)}{8} \quad (47)$$

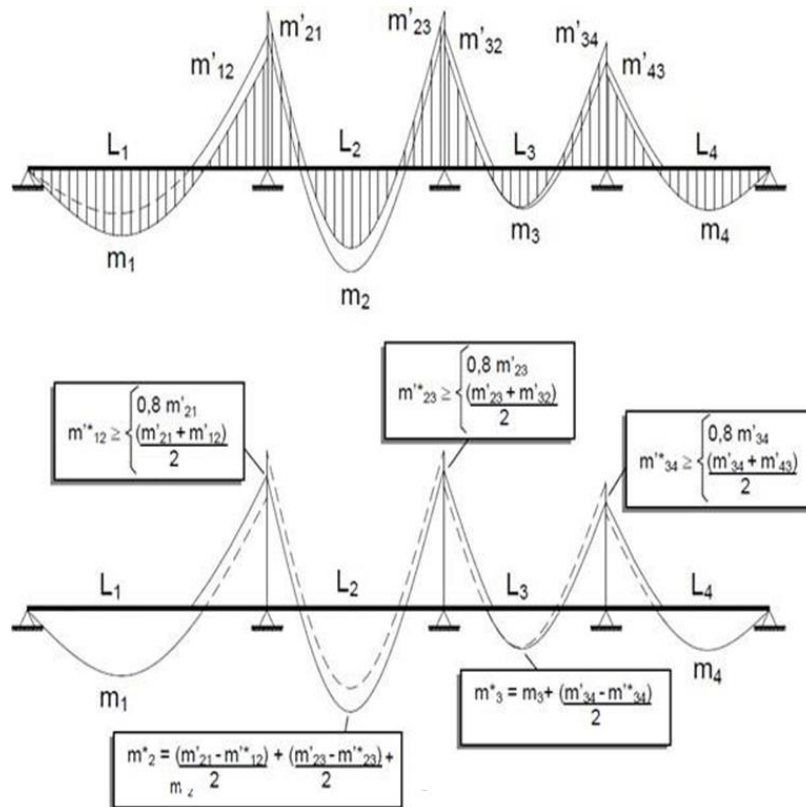
Referindo-se:

- Md^+ = momento fletor positivo;
- Md^- = momento fletor negativo;
- q = carregamento atuante;
- l_x = menor vão.

3.3.5.3 Compatibilização de Momento

A análise dos momentos positivos se faz necessária na mesma direção da compatibilização dos momentos negativos. Caso essa correlação tende a diminuir o valor do momento positivo, despreza-se a redução a favor da segurança (BASTOS 2006).

Figura 18: Compatibilização dos momentos.



Fonte: LIBÂNIO 2077

A ABNT NBR 6118: 2014 estabelece os limites de deslocamento dos elementos estruturais, sendo calculados de acordo com a equação (48):

$$\alpha_i = \frac{\alpha}{100} * \frac{b}{12} * \frac{pl_x^4}{E_c l} \quad (48)$$

Sendo:

- α_i = largura da seção;
- p = carga uniforme;
- E_c = módulo de elasticidade;
- I = momento de inércia.

A ABNT NBR 6118: 2014 não especifica critérios de pré-dimensionamento para lajes maciças retangulares, as condições de deformações limites são atendidas quando o valor da altura útil é respeitada pela equação (49):

$$d \geq \frac{l}{\psi_2 * \psi_3} \quad (49)$$

Em que:

- Ψ_2 = coeficiente depende das condições de vinculação;
- Ψ_3 = coeficiente que depende do tipo de aço ;
- l = menor dos dois vãos das lajes.

Quadro 09: Valores de Ψ_3 , utilizados no pré-dimensionamento da altura das lajes.

Aço	Vigas e lajes nervuradas	Lajes maciças
CA25	25	35
CA32	22	33
CA40	20	30
CA50	17	25
CA60	15	20

Fonte: Carvalho & Filho, 2014.

Com isso, é possível determinar a altura h da laje, através da equação (50):

$$h = \frac{d + \phi_l}{2 + c} \quad (50)$$

Referindo-se:

- h = altura da laje;
- d = altura útil da laje;
- ϕ_l = diâmetro da barra longitudinal da laje;
- c = cobrimento.

A ABNT NBR 6118:2014, padroniza a majoração das ações pelo coeficiente de ponderação γ_f , de acordo com equação (51):

$$\gamma_f = \gamma_{f1} * \gamma_{f2} * \gamma_{f3} \quad (51)$$

Em que,

- γ_f = coeficiente;
- γ_{f1} = variabilidade das ações;
- γ_{f2} = simultaneidade de atuação das ações;
- γ_{f3} = possíveis desvios gerados nas construções e aproximações realizadas em projetos.

Quadro 10: Coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalque de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ¹	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0
Nota: D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis e T é a temperatura. 1) para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.								

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

Quadro 11: Valores do coeficiente γ_{f2} .

Ações		γ_{f2}		
		Ψ_0	Ψ_1 ¹	Ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas. 2)	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas. 3)	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens.	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral.	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local.	0,6	0,5	0,3
1) para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga. 2) Edifícios residenciais. 3) Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

3.3.5.4 Cálculo da Área de Aço

De acordo com o cálculo da área de aço da laje segue os mesmos conceitos dos cálculos da área de aço em vigas, de acordo com as equações (25) e (26).

3.3.5.5 Análise Quanto à Resistência ao Esforço Cortante

Para o dimensionamento do cálculo do cortante deve adotar a seguinte condição, expressa na equação (52):

$$V_d \leq V_{rd} \quad (52)$$

Referindo-se:

- V_d = cortante de cálculo;
- V_{rd} = resistência ao cisalhamento.

O cálculo da resistência ao cisalhamento é feito através da equação (53):

$$V_{rd1} = [\delta_{rd} * k * (1,2 + 40 * \rho_1) + 0,15 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (53)$$

O de δ_{rd} é obtido através da seguinte sequência de equações(54), (55), (56), (57):

$$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad (54)$$

$$f_{ctm,inf} = 0,7 * f_{ctm} \quad (55)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (56)$$

$$\delta_{rd} = 0,25 * f_{ctd} \quad (57)$$

Sendo:

- V_{rd1} = força cortante resistente de cálculo;
- f_{ctm} = resistência média do concreto à tração;
- $f_{ctk, inf}$ = resistência à tração direta;
- f_{ctd} = resistência à tração do concreto;
- δ_{rd} = força cortante solicitante de cálculo;
- k = coeficiente que fornece a parcela de M_{sd} transmitida ao pilar, quando 50% da armadura inferior não alcançar o apoio, adota-se o valor de $k = 1$.

Os demais valores encontrados através das seguintes equações (58), (59), (60), (61):

$$A_{s1} = N_{barras} * A_{\emptyset} \quad (58)$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w * d} \quad (59)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} \quad (60)$$

$$k = 1,6 - d \geq 1 \quad (61)$$

Referindo-se:

- A_{s1} = área da seção da armadura tracionada;
- σ_{cp} = tensão de compressão no concreto devido à protensão;
- N_{sd} = força longitudinal devido à protensão;
- A_c = área da seção transversal do concreto;
- ρ_1 = deve ser $\leq 0,02$;
- d = altura útil da seção.

Caso ocorra $V_d \geq V_{rd1}$, deve-se alterar a altura da laje ou a resistência do concreto. Levando em consideração que com o aumento da altura da laje gera aumento do volume de concreto.

3.3.6 Dimensionamento de Pilares

Os pilares podem ser classificados de acordo com suas solicitações, isso vai influenciar sobre qual tipo de pilar o dimensionamento vai ser feito, seja ele:

Pilar de borda, tem-se uma flexão normal, que surgem do momento fletor que atua no plano perpendicular a borda e uma excentricidade inicial perpendicular a borda que surge devido as lajes e viga apoiada sobre ele.

Pilar de canto, apresentam excentricidade inicial na direção das bordas, isso é gerado devido a flexão composta oblíqua causada pela interrupção da laje e das vigas nas duas direções.

Pilar interno, não apresentam excentricidades iniciais, uma vez que estão localizados

no interior da edificação, devido as vigas e lajes serem continuas e estão apoiada nas duas direções, sendo assim, submetidos apenas a compressão simples.

Segundo a ABNT NBR 6118: 2014, os pilares não devem possuir seção transversal inferior a 19 cm, em alguns casos em específicos utilizasse dimensões menores, porém ao realizar seções com 14 cm que é o mínimo, é necessária a multiplicação do coeficiente γ_n , indicado na tabela abaixo, pelos esforços solicitantes.

É inadmissível que a seção transversal inferior do pilar seja menor que 360 cm², sendo assim um pilar com 14 cm deve ter a sua dimensão maior com 26 cm no mínimo.

Quadro 12: Valores do coeficiente adicional γ_n

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
Onde $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b:$ b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros(cm) Nota O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes dinais de cálculo quando de seu dimensionamento.						

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

3.3.6.1 Índice de Esbeltez

O índice de esbeltez mostra a tendência do pilar a flambar, sendo a carga crítica de flambagem o fator crucial para definir a flambagem. Pode-se utilizar pilares com alto índice de esbeltez desde que se escolha um material com grande módulo de elasticidade. (SCHNEIDER 2020):

- Pilares medianamente esbeltos ($\lambda \leq 90$): os efeitos de 2° ordem podem ser adotados métodos de pilar-padrão com curvatura ou com rigidez aproximada.
- Pilares esbeltos ($90 \leq \lambda \leq 140$): deve ser levado em consideração o efeito da fluência. Para a curvatura crítica, os efeitos de 2° ordem pode ser avaliados pelo processo pilar-padrão.
- Pilares muito esbeltos ($140 \leq \lambda \leq 200$): o efeito da fluência deve ser levado em conta e os efeitos de 2° ordem, avaliados pelo método geral.

O comprimento equivalente (l_e), partindo da teoria de curvatura da linha elástica, depende da situação das vinculações do pilar, sendo assim:

$$L_e = \begin{cases} L \\ L_0 + h \end{cases} \quad (62)$$

Onde:

- L_0 = distância entre as faces internas dos elementos estruturais;
- h = altura da seção transversal do pilar;
- L = distância entre os eixos dos elementos estruturais.

A ABNT NBR 6118:2014 define que no caso de pilares em balanço deve-se utilizar $l_e = 2l$.

O raio de giração que é a relação entre o momento de inércia e a área seção transversal do pilar, sendo assim:

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad (63)$$

Onde:

- h = altura da seção transversal do pilar.

Com isso podemos calcular o índice de esbeltez do pilar através da seguinte equação (64):

$$\lambda = \frac{l_e}{i} \quad (64)$$

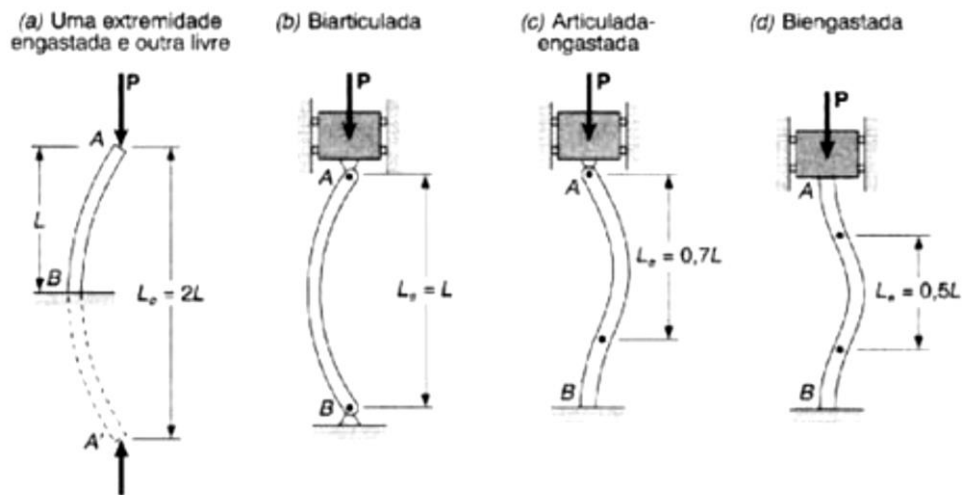
Onde:

- l_e = comprimento equivalente;
- i = raio de giração.

Não é aconselhável o projeto e construção de pilares com índice de esbeltez maior que 200. ABNT NBR 6118: 2014.

Segundo Bastos (2017), o tipo de vinculação das extremidades do pilar é preponderante para a determinação do comprimento de flambagem, de acordo com a figura abaixo:

Figura 19: Comprimento de flambagem.



Fonte: BASTOS 2017.

3.3.6.2 Excentricidade de 1ª ordem

A excentricidade inicial ocorre apenas em pilares que se localizam nas extremidades, desconsiderando os momentos transmitidos pelas vigas aos pilares intermediários. Utiliza-se as equações abaixo, de acordo com o ponto onde ocorre os esforços (BASTOS, 2017):

$$ei_{sup} = \frac{M_{sup}}{N_d} \quad (65)$$

$$ei_{centro} = \frac{M_{centro}}{N_d} \quad (66)$$

$$ei_{inf} = \frac{M_{inf}}{N_d} \quad (67)$$

Referindo-se:

- ei_{sup} = excentricidade no topo do pilar;
- ei_{centro} = excentricidade no centro do pilar;
- ei_{inf} = excentricidade na base do pilar;

- M_{sup} = momento no topo;
- M_{centro} = momento no centro;
- M_{inf} = momento na base;
- N_d = força normal de cálculo.

O momento de engastamento perfeito é dado pela seguinte equação (68):

$$M_{eng} = \frac{S_d * l^2}{12} \quad (68)$$

Referindo-se:

- M_{eng} = momento de engastamento;
- S_d = carregamento;
- l = comprimento da viga ou pilar.

Para o cálculo da rigidez da peça, utiliza-se a seguinte equação (69):

$$r = \frac{I_{viga}}{L_{viga}} \quad (69)$$

Referindo-se:

- r = rigidez da peça;
- I = momento de inércia da peça;
- L_{viga} = comprimento da peça (viga ou pilar).

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (70)$$

Os momentos são calculados de acordo com a localização do mesmo, através das equações abaixo.

Momento no pilar superior se calcula através da seguinte fórmula (71):

$$M_{sup} = \frac{3 * r_{sup}}{3 * r_{sup} * 3 * r_{inf} * 4r_{viga}} * M_{eng} \quad (71)$$

Momento no pilar inferior se calcula através da seguinte fórmula (72):

$$M_{inf} = \frac{3 * r_{inf}}{3 * r_{sup} * 3 * r_{inf} * 4r_{viga}} * M_{eng} \quad (72)$$

Momento na viga se calcula através da seguinte fórmula (73):

$$M_{viga} = \frac{3 * r_{inf} + 3 * r_{sup}}{3 * r_{sup} * 3 * r_{inf} * 4r_{viga}} * M_{eng} \quad (73)$$

Referindo-se:

- M_{sup} = momento superior;
- M_{inf} = momento inferior;
- M_{viga} = momento na viga;
- r_{sup} = rigidez superior;
- r_{inf} = rigidez inferior;
- r_{viga} = rigidez na viga.

A excentricidade acidental é dividida em imperfeições globais e locais, sendo caracterizada devido à incerteza da localização da força atuante, ou defeitos na confecção da peça (BASTOS, 2017). De acordo com a ABNT NBR 6118: 2014, os cálculos das imperfeições globais podem ser feitos por meio da imperfeição geométrica pelo ângulo θ_1 , através das equações (74), (75), (76):

$$\theta_1 = \frac{1}{100 * \sqrt{H}} \quad (74)$$

$$\theta_a = \theta_1 \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{n}}{2}} \quad (75)$$

$$\theta_{1,max} = \frac{1}{200} \quad (76)$$

A ABNT NBR 6118: 2014, estipula para estruturas de nós fixos, a equação (77):

$$\theta_{1,min} = \frac{1}{400} \quad (77)$$

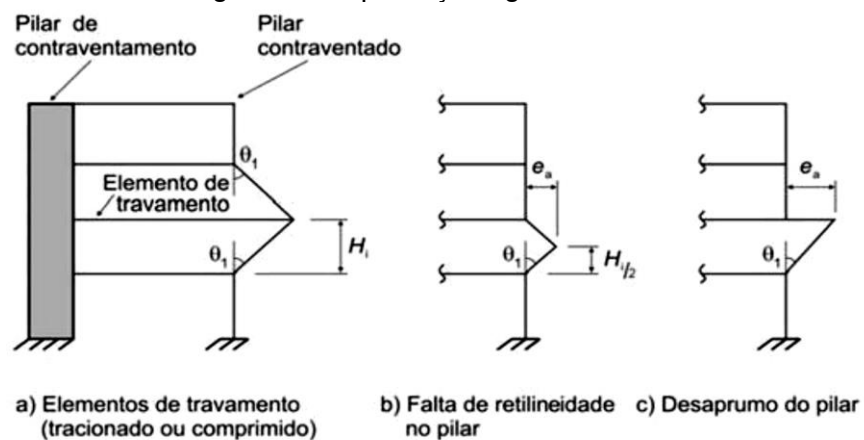
A ABNT NBR 6118: 2014, estipula para estruturas de nós móveis, a equação (78):

$$\theta_{1,min} = \frac{1}{300} \quad (78)$$

As imperfeições são locais quando existe a falta de retilidade dos pilares, conforme a figura abaixo, obtendo-se a excentricidade a partir da equação (79), ABNT NBR 6118: 2014.

$$e_a = \theta_1 * \frac{H}{2} \quad (79)$$

Figura 20: Imperfeições geométricas.



Fonte: ABNT NBR 6118: 2014.

Considera-se o desaprumo para cálculo de pilares em balanço, de acordo com a equação (80):

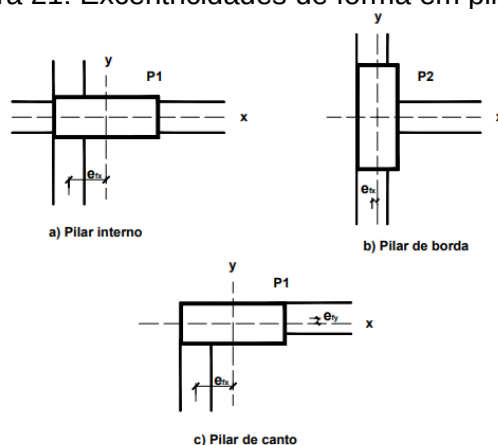
$$e_a = \theta_1 * H \quad (80)$$

Referindo-se:

- θ_1 = desaprumo de um elemento vertical contínuo;
- H = altura total da estrutura (em m);
- n = número de elementos verticais;
- ea = excentricidade accidental.

A excentricidade de forma acontece quando os eixos das vigas não passam pelo centro de gravidade da seção transversal do pilar, na figura abaixo é mostrada exemplos desta excentricidade em cada tipo de pilar.

Figura 21: Excentricidades de forma em pilares



Fonte: PINHEIRO (2005)

No geral, as excentricidades de forma não são utilizadas no dimensionamento de pilares.

De acordo com a ABNT NBR 6118: 2003, o efeito das imperfeições locais nos pilares pode ser substituído em estruturas reticuladas pelo momento mínimo de 1ª ordem, encontrado através da equação (81):

$$M_{1d,min} = N_d * (0,015 + 0,03*h) \quad (81)$$

Sendo:

- h = a altura total da seção transversal na direção considerada; (em metros)
- N_d = carga atuante sobre a estrutura.

Em estruturas reticuladas, considera-se os efeitos imperfeições locais agem se o valor do momento total mínimo for respeitado. Sendo assim adicionado os momentos de 2º ordem.usualmente se considera que o efeito das imperfeições locais funcionem se este valor do momento total mínimo for respeitado. A este momento deve ser acrescido os momentos de 2º ordem. Nos pilares que são submetidos à flexão oblíqua composta, este mínimo é respeitado em cada uma das principais direções.

A excentricidade suplementar deve ser calculada pela equação abaixo, quando ocorrer $\lambda > 90$ ABNT NBR 6118: 2014.

$$e_{cc} = \left(\frac{M_{sg}}{N_{sg}} + e_a \right) * \left(2,718 * \frac{\varphi N_{sg}}{N_e - N_{sg} - 1} \right) \quad (82)$$

Onde, N_e é calculado através da equação (83):

$$N_e = \frac{10 * E_{ci} * I_c}{l_e^2} \quad (83)$$

Referindo-se:

- e_{cc} = excentricidade adicional;
- M_{sg} e N_{sg} = esforços solicitantes;
- e_a = excentricidade devido às imperfeições locais;
- φ = coeficiente de fluência;
- E_{ci} = módulo de elasticidade;
- I_c = momento de inércia no estádio;
- l_e = comprimento equivalente do pilar.

3.3.6.3 Raio de Curvatura e Momento Total

A relação momento-curvatura é dado pela fórmula da equação (84):

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (84)$$

Onde:

- ρ = raio de curvatura em um ponto específico;
- M = momento fletor interno na viga no ponto p ;
- E = módulo de elasticidade do material;
- I = momento de inércia calculado em torno do eixo neutro;
- EI = rigidez à flexão.

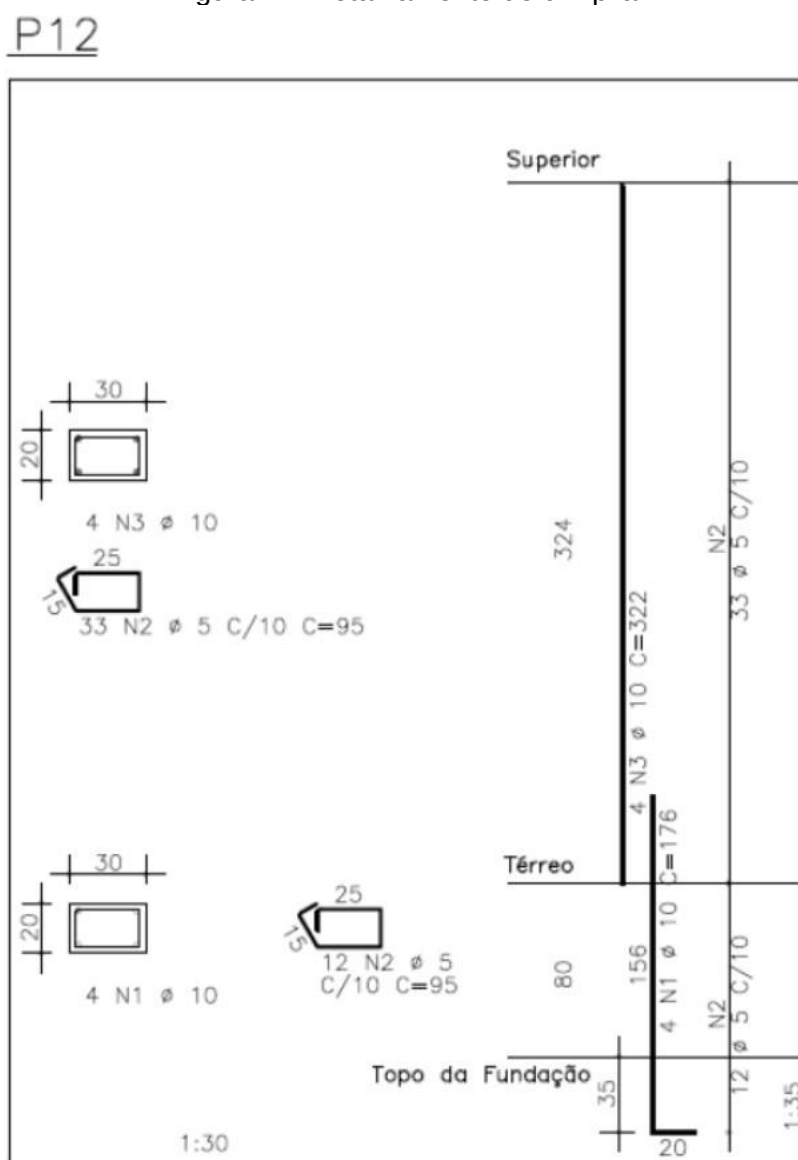
3.3.6.4 Área de Aço

De acordo com o cálculo da área de aço do pilar segue os mesmos conceitos dos cálculos da área de aço em vigas, de acordo com as equações (25) e (26).

3.3.6.5 Detalhamento

Em relação ao detalhamento podemos observar um exemplo de um pilar na figura abaixo, onde ele apresenta a altura do pilar, sua nomeclatura, quantidade de estribos, tamanho dos estribos e tamanho da seção do pilar.

Figura 22: Detalhamento de um pilar



Fonte: Marinho 2020

Nomeclatura do estribo do pilar superior é feita da seguinte maneira:

33 N2 Ø 5 c/10 c=95

Onde:

- 33 = Quantidade de estribos;
- N2 = Posição de projeto;
- Ø5 = Diâmetro (bitola) do aço;
- c/10 = Espaçamento dos estribos;
- C = 95 = comprimento da vara de aço.

Nomeclatura do pilar superior é feita da seguinte forma:

$$4 \text{ N3 } \Phi 10 \text{ C} = 322$$

Onde:

- 4 = Quantidade de vara de aço;
- N3 = Posição de projeto;
- $\Phi 10$ = Diâmetro (Bitola)de aço;
- C = 322 = Comprimento da vara de aço.

3.3.7 Dimensionamento de Escadas

De acordo com a norma ABNT NBR 9050: 2020 devemos seguir os seguintes critérios para o dimensionamento de escadas, item 3.2.1.

3.3.7.1 Carregamentos

As ações verticais aplicadas nas escadas referem-se aos carregamentos atuantes, conforme abaixo:

O peso próprio da laje com degraus de concreto é calculado pela equação (85):

$$PP = \gamma_{conc} * h_m \quad (85)$$

Referindo-se:

- γ_{conc} = peso específico do concreto igual a 25 kN/m²;
- h_m = espessura média da escada.

A espessura média da escada (h_m) é calculada utilizando as equações (86), a Figura (23) auxilia no entendimento do cálculo:

$$\cos \alpha = \frac{p}{\sqrt{p^2 + e^2}} \quad (86)$$

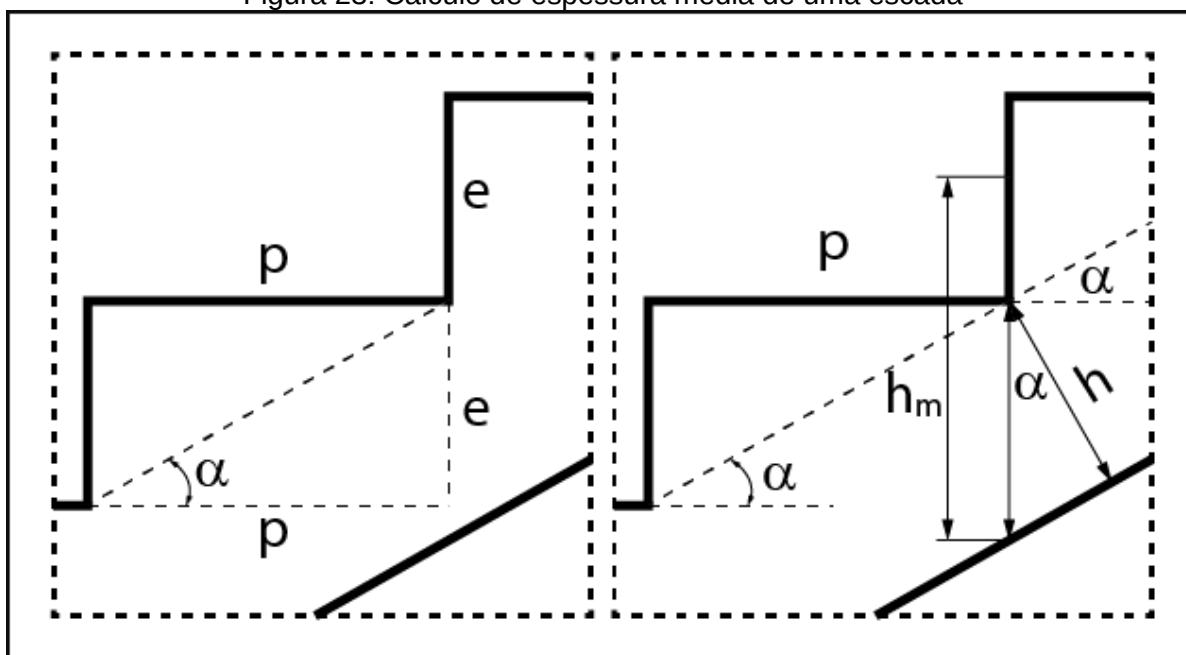
$$\tan \alpha = \frac{e}{p} \quad (87)$$

$$h_1 = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (88)$$

$$h_m = h_1 + \frac{e}{2} \quad (89)$$

$$l_h = s(n - 1) \quad (90)$$

Figura 23: Cálculo de espessura média de uma escada



Fonte: MOURA 2019

Onde:

- α = ângulo de inclinação da escada;
- h = espessura da laje;
- h_1 = espessura medida na vertical;
- h_m = espessura média;
- h_l = altura livre $\geq 2,10$ m;
- l_v = desnível a vencer;
- l_h = desenvolvimento horizontal.

Segundo Araújo (2010), o valor do peso do revestimento é obtido por meio do peso específico de cada material escolhido para o piso. Na falta do peso específico, adota-se a equação (91):

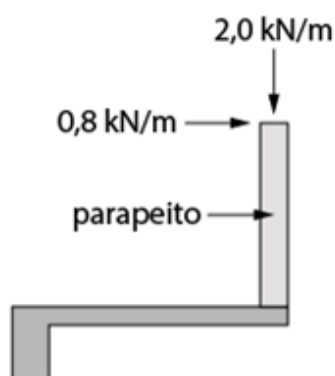
$$PP_{rev} = 1,0 \text{ kN/m}^2 \quad (91)$$

A NBR 6120 (2019), especifica os valores mínimos de carga de utilização para as ações de uso como:

- Escadas com acesso ao público: 3,0 kN/m²;
- Escadas sem acesso ao público: 2,5 kN/m².

De acordo com a ABNT NBR 6120: 2019, para carregamentos do peitoril na horizontal adota-se 0,8 kN/m² e para carregamentos na vertical adota-se 2,0 kN/m², de acordo com a figura (24).

Figura 24: Cargas acidentais nos parapeitos.



Fonte: ARAÚJO (2010).

Utiliza-se a equação abaixo, para a determinação da combinação do lance.

$$Sd_{lance} = 1,4 (PP_{lance} + R_{ev}) + 1,4 (q) \quad (92)$$

Onde:

- PP_{lance} = peso próprio do lance;
- R_{ev} = peso do revestimento;
- q = carga de utilização.

De acordo com a equação abaixo, é possível determinar a combinação do patamar.

$$Sd_{patamar} = 1,4 (PP_{patamar} + R_{rev}) + 1,4 (q) \quad (93)$$

Sendo:

- $PP_{patamar}$ = peso próprio do patamar.

Atráves das reações de apoio vamos calcular as forças em X e em Y, de acordo com a fórmula (94), (95), (96).

$$\sum F_x = 0 \quad (94)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (95)$$

$$\sum M_f = 0 \quad (96)$$

Com as reações de apoio, vamos calcular o diagrama de momento fletor, onde vamos encontrar o momento máximo, sendo calculados pela soma de seus momentos gerados na estrutura até o ponto onde o momento máximo se encontra.

3.3.7.2 Armadura da Escada

Para o cálculo de armadura da escada vamos começar pela posição da linha neutra.

Utiliza-se a fórmula (24) para encontrar a posição da linha neutra em escadas.

Com o resultado da linha neutra podemos definir qual dominio pertence, cálculo do dominio se dá através das fórmulas (97), (98):

$$X_{2,3} = 0,259 * d \quad (97)$$

$$X_{3,4} = 0,628 * d \quad (98)$$

Onde:

- $X_{2,3}$ = Domínio 2 ou 3;
- $X_{3,4}$ = Domínio 3 ou 4;
- x = Posição da linha neutra;
- d = altura útil

➤ Área de aço

Para o cálculo da área de aço da escada, utiliza-se o mesmo conceito utilizado da fórmula de vigas, que se encontra na fórmula (25) e (26).

➤ Detalhamento

O detalhamento da armadura é feito de acordo com a fórmula (99):

$$A_{sb} = \frac{\pi * d_b^2}{4} \quad (99)$$

Sendo:

- d_b = Diâmetro da barra;
- A_{sb} = Área da barra.

Para determinar a quantidade de barras, segue-se de acordo com o cálculo abaixo:

$$Nb = \frac{A_s}{A\Phi} \quad (100)$$

Onde:

- A_s = área do aço;
- $A\Phi$ = área do diâmetro do aço.

O espaçamento entre as barras é calculado a partir da equação (101):

$$S = \frac{Larg\ escada}{Nb} \quad (101)$$

Sendo:

- S = espaçamento entre as barras;
- $L\ escada$ = largura da escada;
- Nb = número de barras total

3.3.8 Dimensionamento da Fundação

Nesse projeto, será utilizado a fundação rasa, que são fundações através de sapatas, esse tipo de fundação nos permite distribuir as cargas da edificação no solo, sendo que quanto maior o peso a ser recebido, maior será a área da sapata.

3.3.8.1 Determinação das Dimensões da Sapata

O primeiro passo para o seu dimensionamento é calcular a carga total da sapata através do coeficiente de segurança que irá considerar 10% a mais de carga como sendo o peso próprio da sapata. Este cálculo é mostrado na equação (102):

$$Qt = Q * 1,1 \quad (102)$$

Sendo:

- Qt = carga total da sapata;
- Q = Carga anterior.

Após este cálculo se dimensiona as dimensões A (maior lado) e B (menor lado) a partir das equações (103), (104):

$$B = \frac{(b_p - a_p)}{2} + \sqrt{\frac{(b_p - a_p)}{4} + S_{sap}} \quad (103)$$

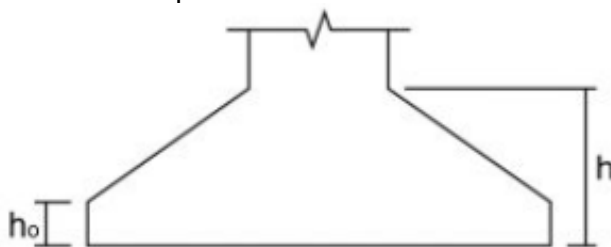
$$A - B = a_p - b_p \quad (104)$$

Onde:

- B = é a menor dimensão da base da sapata (cm);
- A = é a maior dimensão da base da sapata (cm);
- b_p = é a menor dimensão da seção do pilar (cm);
- a_p = é a maior dimensão da seção do pilar (cm);
- S_{sap} = é a área da base da sapata.

Após o cálculo das dimensões de base, é calculada a altura total e a altura da aba da sapata. A figura (25) exemplifica a altura total (h) e a altura da aba (h_0).

Figura 25: Exemplo de uma sapata com a altura total e a altura da aba delimitadas.



Fonte: SCHNEIDER (2019)

Através das equações (105), (106) podemos obter a altura da escada e a altura da aba da sapata:

$$h \geq \frac{A - a_p}{3} \quad (105)$$

$$h_0 \geq \begin{cases} \geq 15 \text{ cm} \\ \geq h/3 \end{cases} \quad (106)$$

Onde:

- h = é a altura da sapata;
- A = é a maior dimensão da sapata;
- a_p = é a maior dimensão da seção do pilar;
- h_0 = é a altura da aba da sapata.

A ancoragem do pilar deve ser feita na sapata conforme descrito no quadro (13):

Quadro 13: Ancoragem em função do diâmetro.

Comprimento da ancoragem em função do diâmetro		
Fck (Mpa)	Sem gancho	Com gancho
15	53*	37*
20	44*	31*
25	38*	26*
30	33*	23*
35	30*	21*
40	28*	19*
45	25*	18*
50	24*	17*
* = Multiplicar pela área da bitola.		

Fonte: SCHNEIDER (2019)

De acordo com o fck do concreto pode se obter o comprimento da ancoragem para casos “sem gancho” e para casos “com gancho”.

A altura útil se define como a distância entre o topo da sapata e o cento de gravidade da armadura, e é calculada seguindo a equação (107):

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} \quad (107)$$

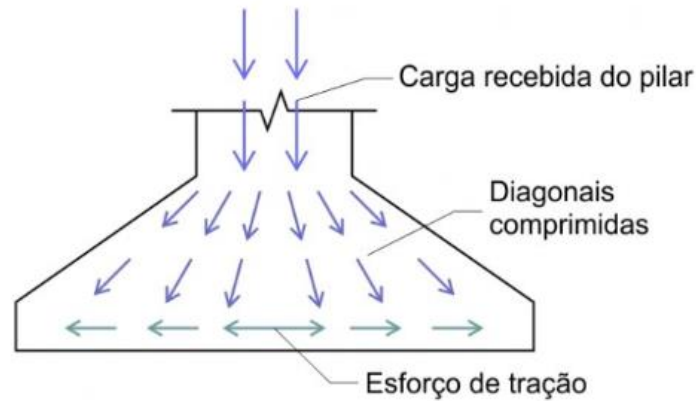
Onde:

- d = é a altura útil;
- h = é a altura total da sapata;
- c = é o cobrimento;
- $\emptyset$ é o diâmetro das barras.

Após calculados a ancoragem e a altura útil é preciso verificar se $d > L_b$, ou seja, é preciso que a altura útil seja maior que a ancoragem. Caso isso não ocorra é necessário que se aumente o valor do fck do concreto ou a altura da sapata até que seja maior que L_b .

A figura (26) mostra com mais clareza o esquema de como ocorre a diagonal comprimida.

Figura 26: Esquema de esforços em diagonais comprimidas.



Fonte: SCHNEIDER (2019)

Para se determinar a verificação da tensão na diagonal comprimida é importante que se tenha em mente que $T_{sd} \leq Tr_{d2}$, ou seja, o esforço cisalhante solicitante (T_{sd}) deve ser menor que o esforço cisalhante resistente (Tr_{sd}). Estes esforços são expostos através das equações (108), (109), (110) e (111).

$$T_{sd} = \frac{F_{sd}}{u_0 * d} \quad (108)$$

Onde:

- F_{sd} = é o esforço solicitante majorado, definido pela equação seguinte:

$$F_{sd} = Q * 1,4 \quad (109)$$

- U_0 = é o perímetro do pilar, que se utiliza somando todos os lados;
- d = é a altura útil;

$$Tr_{d2} = 0,27 * \alpha_v * f_{cd} \quad (110)$$

Onde:

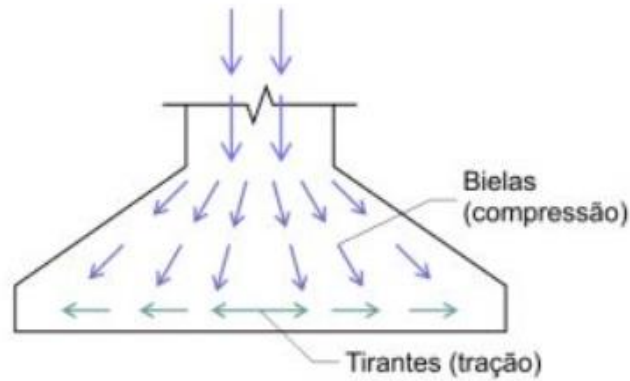
- f_{cd} = é a resistência à compressão do concreto minorada;
- α_v = é dado pela equação abaixo:

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (111)$$

Caso o resultado for $T_{sd} \geq Tr_{d2}$, a altura da sapata ou o f_{ck} do concreto deve ser aumentado.

O método das bielas é um dos mais utilizados para dimensionamento de fundações. As bielas são vetores que transmitem uma força linear de compressão, enquanto isso, as tirantes tem o papel de transmitir aa força linear de tração como mostra a figura (27).

Figura 27: Exemplificação estrutural do método das bielas.



Fonte: SCHNEIDER (2019)

Para que este método tenha suas aplicações é necessário que se siga a seguinte equação:

$$d \geq \begin{cases} \frac{a-a_0}{4} \\ \frac{b-b_0}{4} \\ 1,44 * \sqrt{\frac{P}{\sigma_a}} \end{cases} \quad (112)$$

$$\sigma_a = 0,85 * \frac{f_{ck}}{1,96} \quad (113)$$

Onde:

- d = é a altura útil;
- a = é a maior dimensão da sapata;

- a_0 = é a maior dimensão do pilar;
- b = é a menor dimensão da sapata;
- b_0 = é a menor dimensão do pilar;
- P = é a carga do pilar;
- f_{ck} = é a resistência à compressão do concreto.

Caso algumas das indicações não for verdadeira, é preciso que altere as dimensões da sapata até que isto seja modificado.

O primeiro passo para o cálculo da armadura é a determinação das tensões em cada direção seguidas pelas equações (114) e (115).

$$T_x = \frac{P * (a - a_0)}{8 * d} \quad (114)$$

$$T_y = \frac{P * (b - b_0)}{8 * d} \quad (115)$$

Sendo:

- T_x = é a força de tração na base da sapata na direção X;
- T_y = é a força de tração na base da sapata na direção Y;
- P = é a carga do pilar;

A partir deste irá calcular a área do aço nas duas direções. Equações (116) e (117).

$$A_{sx} = \frac{1,61 * T_x}{f_{yk}} \quad (116)$$

$$A_{sy} = \frac{1,61 * T_y}{f_{yk}} \quad (117)$$

Sendo:

- A_{sx} = é a área de aço na direção x;
- A_{sy} = é a área de aço na direção y.

Com a área de aço já calculada, pode se obter por meio da tabela (07) a relação entre

o diâmetro da ferragem e a área de aço.

Para cada direção irá calcular o número de barras a partir da equação (118).

$$Nbarras = \frac{\emptyset}{As} \quad (118)$$

Onde:

- Φ = Diâmetro da barra;
- As = Área da barra.

O espaçamento entre as barras deve permanecer entre 10 e 20 cm, sendo assim, o cálculo para determinar o espaçamento é apresentado na equação (119).

$$e = \frac{205 - 5 * 2(cobrimento\ lateral)}{Nbarras - 1} \quad (119)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para confecção do projeto os aspectos normativos foram observados e empregados em cada passo, as pesquisas em livros e sites foram de extrema importância para que o embasamento e a metodologia de cálculo do projeto de engenharia civil fossem realizados.

Com a utilização das informações coletadas durante as pesquisas, espera-se obter resultados expressivos, como:

- Desenvolver um projeto que seja acessível, seguro e principalmente funcional.

O projeto deve possuir uma integração única entre o espaço social e cultural local, assim então ele poderá atender às necessidades dos usuários e posteriormente respeitar a sua interação com o nicho social onde ele se encontra;

- Aplicar os conhecimentos que foram adquiridos ao longo da graduação de uma forma prática, integrando os conteúdos que foram estudados no desenvolvimento de projeto de engenharia civil, unindo os aspectos arquitetônicos e estruturais;

- Demonstrar através de dimensionamento as diferenças da locação dos elementos estruturais, comparando o dimensionamento dos elementos através de um software e cálculos realizados a mão.

- Demonstrar as diferentes dimensões das seções de vigas e pilares com o uso do concreto armado.

4.1 Projeto de Engenharia Civil

O terreno utilizado para implantação do edifício está localizado na AV. Dep. Carlos Pinto Filho, bairro CIDADE NOVA na cidade de Itaperuna, Rio de Janeiro. O zoneamento municipal segundo o plano diretor classifica o terreno como ZRMD, permitindo elaborar projetos com o número máximo de 13 pavimentos.

No projeto desenvolvido consta a elaboração de um edifício residencial, com 4

(quatro) pavimentos com moradias de alto padrão e 1 (um) pavimento de garagem como mostra a Figura 28, totalizando 5 pavimentos construídos, a área total edificada é de 1383,12 m², ocupando 76,72% do terreno, os pavimentos possuem as seguintes características:

Figura 28: Fachadas



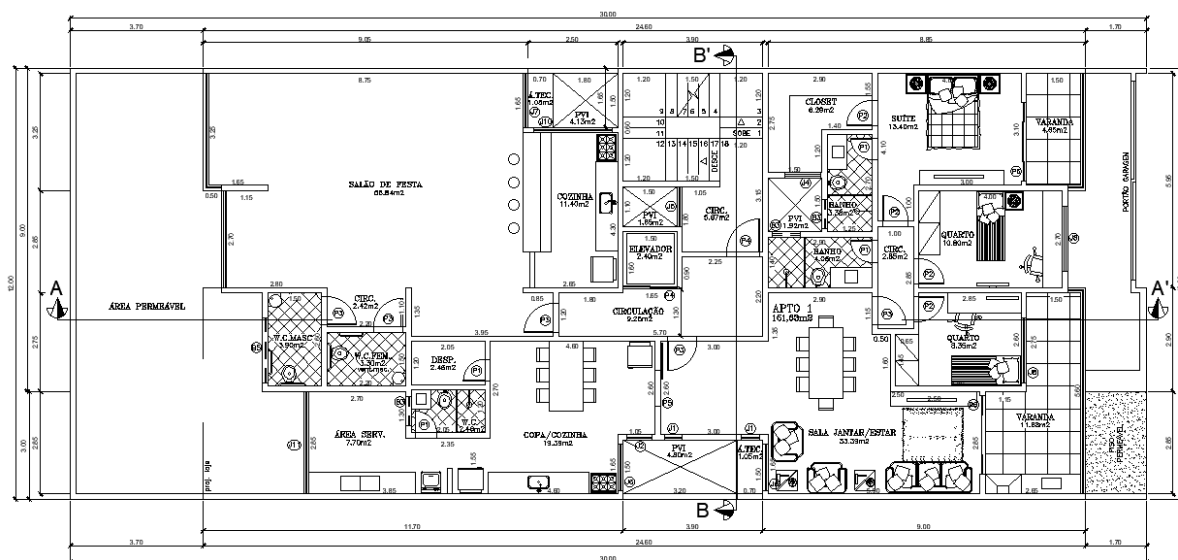
Fonte: AUTOR 2022

4.1.1 Pavimento Térreo

O pavimento térreo destina-se ao uso de garagem e acesso aos pavimentos residenciais. O projeto encontra-se na prancha 01/05 do projeto desenvolvido, o pavimento demonstrado na Figura 29 conta com dois acessos a garagem, a garagem 1 possui 60,09 m² e garagem 2 possui 161,35 m² totalizando 276,19 m² do pavimento térreo, disponibilizando 10 vagas de garagem, uma recepção para identificação com 14,04 m².

As vagas de garagem serão destinadas como, garagem 1 sendo do pavimento cobertura, onde cada apartamento tem direito a 2 vagas, e a garagem 2 obtendo 6 vagas de garagem disponível para os demais apartamentos, obedecendo ao disposto

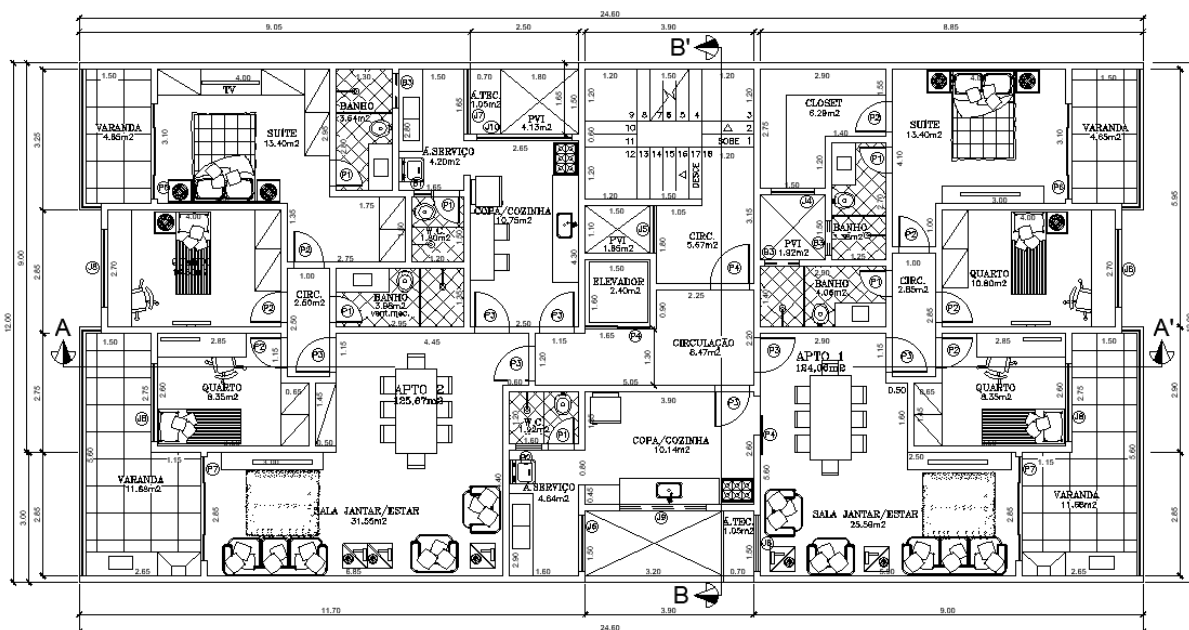
Figura 30: 2º Pavimento



PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO

Fonte: AUTOR 2022

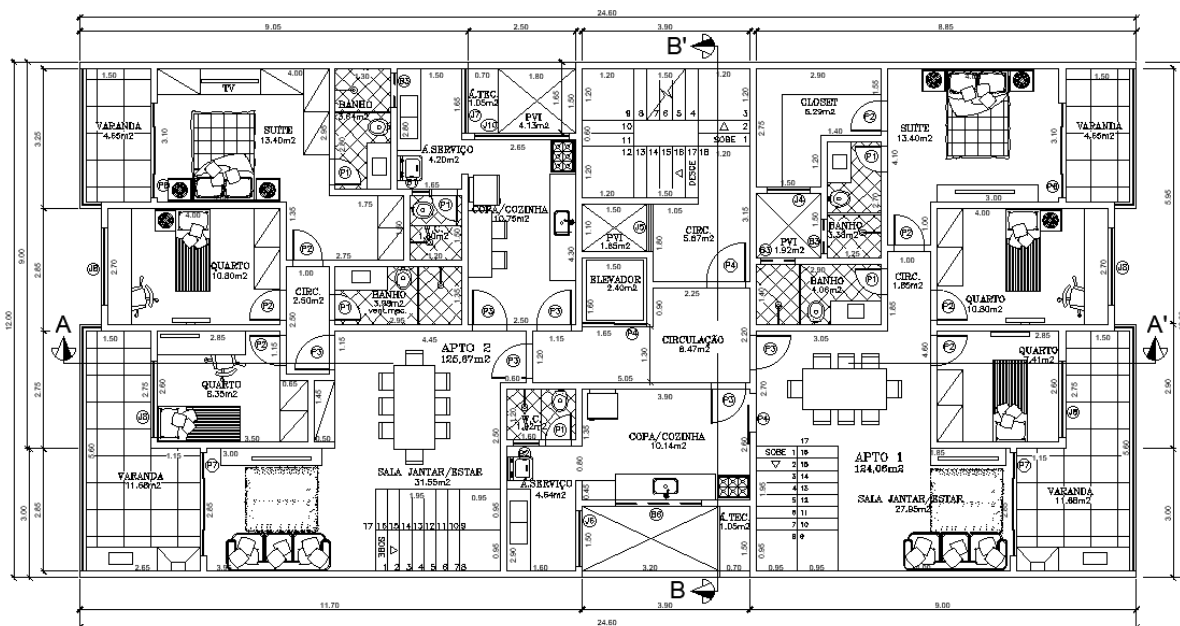
Figura 31: 3º Pavimento



PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO

Fonte: AUTOR 2022

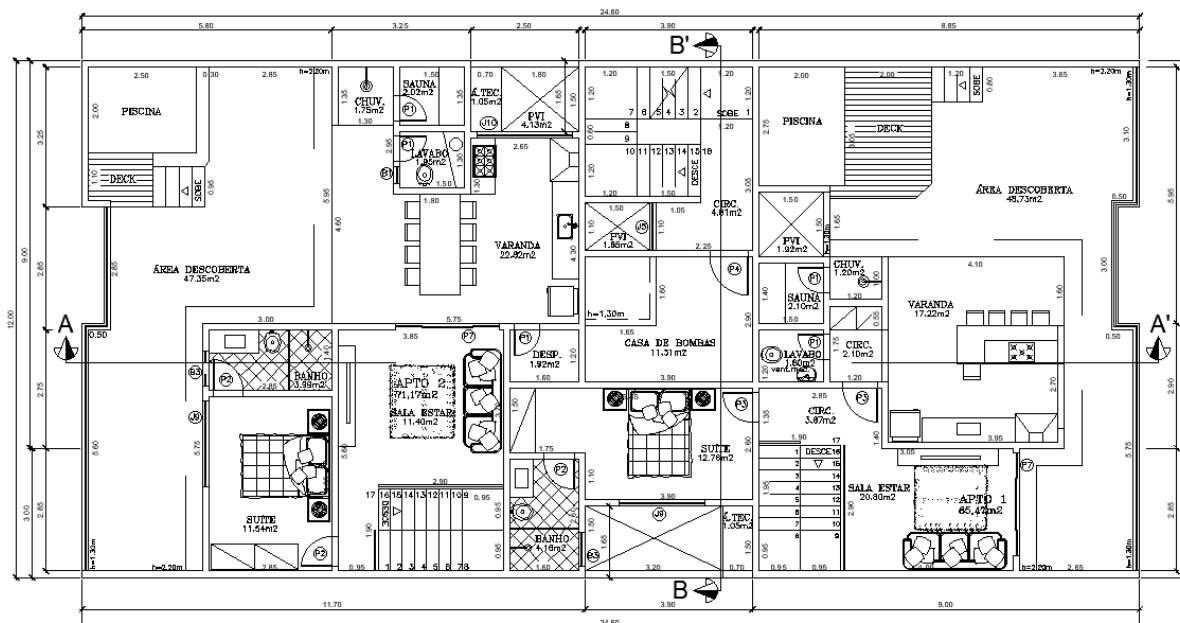
Figura 32: 4º Pavimento



PLANTA BAIXA COBERTURA-1ºPAV.

Fonte: AUTOR 2022

Figura 33: 5º Pavimento



PLANTA BAIXA COBERTURA-2ºPAV.

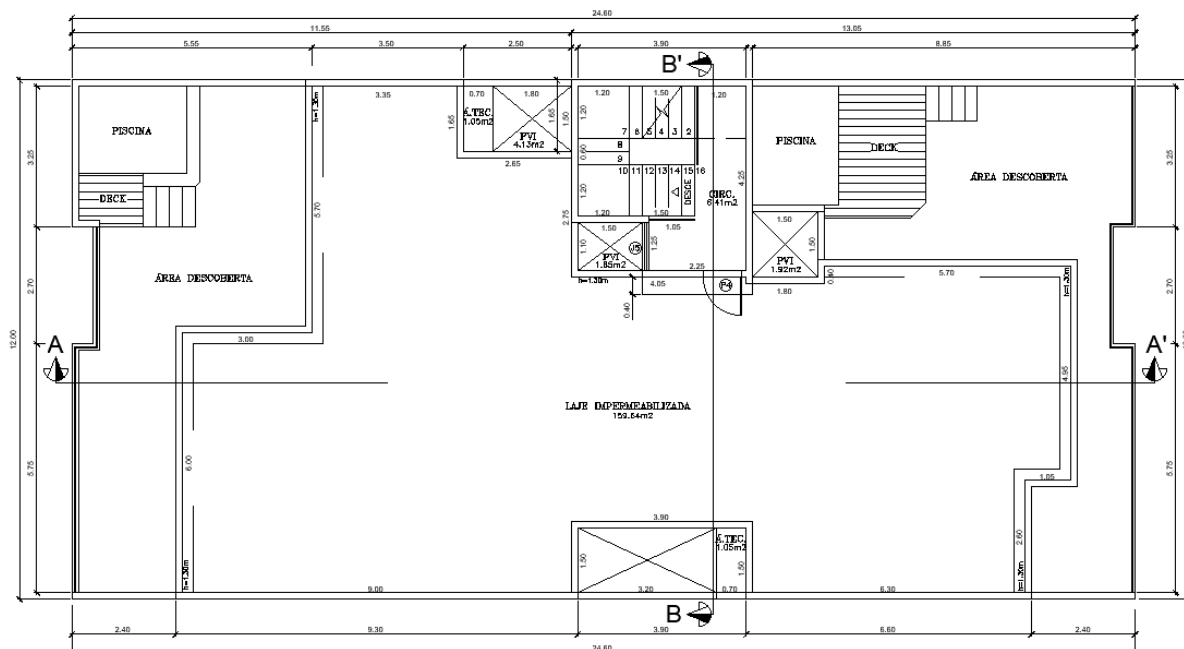
Fonte1: AUTOR 2022

Os apartamentos possuem área interligadas para maior interação e concepção de espaço, quartos, suítes e sacada individual, banheiro social, sala de estar, cozinha e área de serviço, todos os ambientes foram pensados e elaborados da melhor forma.

4.1.3 Cobertura

Além da laje impermeabilizada, estão também localizados o duto de saída de ar da escada e o acesso ao reservatório superior, feito nesse pavimento. Toda a laje impermeabilizada da cobertura possui 159,64 m², observe a figura abaixo.

Figura 34: Laje da Cobertura



PLANTA DE COBERTURA

Fonte: AUTOR 2022

4.2 Projeto em Concreto Armado

O projeto estrutural em concreto armado foi calculado de acordo com o item 3.2, seguindo a NBR 6118 (2014).

Sendo locado no bairro Cidade Nova de Itaperuna-RJ, ambiente urbano, com classe de agressividade II de acordo com a tabela 2, moderada, o cobrimento utilizado foi de 2,5 cm para lajes e 2,0 cm para pilares, vigas. A resistência do concreto utilizada foi de 25 MPa.

O *software* utilizado para o dimensionamento da estrutura foi o Eberick, não sendo considerada a utilização de juntas de dilatação. A seguir serão demonstrados os cálculos de um pilar, uma viga e uma laje.

4.2.1 Pilar

O pilar escolhido para o dimensionamento foi o pilar 21 do 3º pavimento. Possui carga de 654,20 kN e momento 43,45 kN, com sua seção de 20cm x 60cm. O cálculo será gerado através do método da rigidez, situado na prancha armação dos pilares 3º parte.

4.2.1.1 Armadura longitudinal

- Flexão Normal

Pela Equação (23) respectivamente, obtém-se a resistência de cálculo e tensão.

$$f_{cd} = \frac{25}{1,4} = 17,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * 17,86 = 15,18 \text{ MPa}$$

A equação (82) é responsável pelo resultado de v para assim encontrar a taxa de armadura.

$$v = \frac{654,20}{0,20 * 0,60^2 * 15,18 \times 10^3} = 0,36$$

Com os valores encontrados, é possível identificar a taxa de armadura.

Área de aço, através da equação (37).

$$A_s = \frac{50,02}{(0,27 - 0,4 * 5,8 \times 10^{-3}) * 434,78 \times 10^3} =$$

$$A_s = 4,29 \text{ cm}^2$$

4.2.1.2 Área mínima

Pela equação (29) é encontrada a área de aço mínima.

$$A_{s, \min} = 0,15 \frac{654,20}{434,78 \times 10^3} = 2,26 \times 10^{-4} = 2,246 \text{ m}^2$$

4.2.1.3 Detalhamento

$$A_{\emptyset} = \frac{\pi(d^2)}{4}$$

$$A_{\emptyset} = \frac{\pi * 1,25^2}{4} = 0,785 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 7,8 \text{ mm} \cong 8 \text{ mm}$$

$$N_{\text{barras}} = \frac{4,29}{0,785} = 5,47 = 6 \text{ barras}$$

$$6 \text{ N1 } \emptyset 10.0$$

De acordo com a ABNT NBR 6118, pilares não devem adotar a barra longitudinal com bitolas inferiores a de 10.0mm, portanto deve se aumentar a bitola quando a área de aço for inferior a 10.0mm.

4.2.1.4 Área de aço transversal

O cálculo dos estribos obedece a equação (29) e a tabela (9).

$$A_{\phi} = \frac{\pi * 0.8^2}{4} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\phi_{est} = 5 \text{ mm}$$

$$S = 25 \text{ cm}$$

$$S = \frac{150}{6} = 25 \text{ cm}$$

$$NT = \frac{310}{10} = 31 \text{ barras}$$

$$31 \text{ N2 } \phi 5.0 \text{ c/25}$$

4.2.2 Viga

A viga selecionada para dimensionamento manual foi a V17 armações da vida do teto do 1º pavimento da cobertura 2º parte, e possui seção 12 cm X 40 cm, situado na prancha armação das vigas.

4.2.2.1 Carregamentos atuantes

Para calcular o peso próprio, utiliza-se a equação (10).

$$PP_{viga} = \gamma_c * A_{viga} = 25 * (0,12 * 0,40) = 1,2 \text{ kN/m}$$

O peso da parede é calculado pela equação (11)

$$PP_{par} = 0,15 * 3,15 * 13 = 6,14 \text{ kN/m}$$

4.2.2.2 Estado Limite Último

Para o cálculo do estado limite último, utilizou-se as equações (23) e (25).

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,4} = 17,86 \text{ Mpa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ Mpa}$$

4.2.2.3 Posição da linha neutra

Para o cálculo da posição da linha neutra, foram utilizadas as equações (24) e (33).

$$x = 1,25 * 0,36 * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{38,81}{0,425 * 0,15 * 0,36^2 * 17,86 \times 10^3}} \right]$$

$$x = 0,0636$$

4.2.2.4 Área do aço

Para o cálculo da área de aço, foi utilizada a equação (26).

$$A_s = \frac{38,81}{(0,36 - 0,4 * 0,0636) * 17,86 \times 10^3} =$$

$$A_s = 2,67 \text{ cm}^2$$

4.2.2.5 Área mínima

Para o cálculo da área de aço mínima, foi utilizada a equação (27).

$$A_{sw,min} = 0,0015 * 0,12 * 0,4 = 0,72 \text{ cm}^2$$

4.2.2.6 Resistência a tração do concreto

Foram usadas as equações (54) (55) , respectivamente.

$$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} = 0,3 * 25^{2/3} = 2,56 \text{ Mpa}$$

$$f_{ctm,inf} = 0,7 * f_{ctm} = 0,7 * 2,56 = 1,79 \text{ MPa}$$

4.2.2.7 Detalhamento

Deve-se calcular as armaduras inferiores e superiores para determinar o detalhamento.

4.2.2.8 Armadura tracionada

Área da barra de acordo com a equação (99).

$$A_{\emptyset} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1)^2}{4} = 0,78 \text{ cm}^2 \cong 8\text{mm}^2$$

Número de barras de acordo com a equação (100)

$$N_{bar} = \frac{A_s}{A_{\emptyset}} = \frac{2,67}{0,78} = 3,42 \cong 4 \text{ barras}$$

A área tracionada equivale a 4 $\emptyset$ 8.0.

4.2.2.9 Armadura comprimida

Área da barra de acordo com a equação (99).

$$A_{\emptyset} = \frac{\pi \cdot d}{4} = \frac{\pi \cdot (1)^2}{4} = 0,78 \text{ cm}^2 \cong 8\text{mm}^2$$

Número de barras de acordo com a equação (100)

$$N_{bar} = \frac{A_s}{A_{\emptyset}} = \frac{2,67}{0,78} = 3,42 \cong 4 \text{ barras}$$

A área comprimida equivale a 4 $\emptyset$ 8.0.

4.2.2.10 Dimensionamento dos estribos

Para o dimensionamento dos estribos, é necessária a verificação da resistência da biela.

4.2.2.11 Verificação da resistência da biela aos esforços

As equações utilizadas são respectivamente (110) e (53). Logo após é feita a verificação.

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{25}{250} = 0,9$$

$$V_{rd2} = 0,27 * 0,9 * 17,86 \times 10^3 * 0,20 * 0,054 = 46,87 \text{ kN}$$

Para saber se a condição será atendida, é necessário comparar o V_{rd2} com o

esforço cortante.

$$V_{rd2} = 46,87 \text{ kN} \geq 21,91 \text{ kN}$$

Resiste, pois a condição foi atendida.

4.2.2.12 Parcela resistida pelo concreto

A parcela resistente pelo concreto é calculada pela equação.

$$V_c = 0,6 * 1,28 \times 10^3 * 0,2 * 0,054 = 8,29 \text{ kN}$$

4.2.2.13 Parcela resistida pelo aço

A equação (28) representa a parcela resistente pelo aço.

$$V_{sw} = 0,27 * 0,036 * 0,9 * 17,86 \times 10^3 = 23,43 \text{ kN}$$

4.2.2.13.1 Área do aço

A área de aço é calculada de acordo com a equação (26).

$$A_s = \frac{18,5}{(0,36 - 0,4 * 0,0636) * 434,78 \times 10^3} = 1,32 \text{ cm}^2$$

4.2.2.13.2 Área de aço mínima

Determina-se a área de aço laje de acordo com a equação (27).

$$A_{smin} = 0,67 * 0,0015 * 1 * 0,6 = 0,603 \text{ cm}^2$$

4.2.2.14 Detalhamento dos estribos

Para o detalhamento dos estribos é necessário o cálculo da área de aço, número de estribos e espaçamento.

4.2.2.14.1 Área de aço

Foi utilizada a equação 43 para determinar a área da bitola do aço (99).

$$A\phi = \frac{\pi \cdot (0,5^2)}{4} = 0,196 \text{ cm}^2$$

Número de barras de acordo com a equação (100)

$$N_{bar} = \frac{A_s}{A\phi} = \frac{1,32}{0,196} \cong 7 \text{ estribos}$$

Espaçamento de acordo com a equação (33)

$$S = \frac{bw}{N_{bar}} = \frac{150}{7} = 22 \text{ cm}$$

O espaçamento máximo deve atender às equações para que não ocorra ruptura por cisalhamento:

$$V_{rd2} = 46,87 \text{ kN e } V_{sd} = 21,91 \text{ kN}$$

$$21,91 \leq 0,67 * 46,87$$

$$21,91 \text{ kN} \leq 31,40 \text{ kN (ok)}$$

$$S_{m\acute{a}x} = 0,6 * 0,54 \leq 300 \text{ mm}$$

$$S_{m\acute{a}x} = 30 \text{ cm}$$

Espaçamento adotado = 20 cm.

Número total de barras

$$N = \frac{310}{22} = 14 \text{ estribos}$$

Sendo então 14 $\phi 5.0$ c/22.

4.2.3 Laje

A laje escolhida para o dimensionamento foi a L6 da armação das lajes do teto do 2º pavimento de cobertura, na prancha de armação de lajes, possui 10 cm de espessura e suas dimensões são de 5,65 x 3,90 metros.

4.2.3.1 Dimensionamento da Laje

Os momentos gerados a partir do Software foram:

- Armação Positiva: $M_{dy} = 16,73 \text{ kN.m}$; $M_{dx} = 15,26 \text{ kN.m}$
- Armação Negativa: $M_{dy} = 6,42 \text{ kN.m}$; $M_{dx} = 6,11 \text{ kN.m}$

O cálculo foi feito a utilizando o M_{dy} que é referente a ao Momento do lado positivo na diereção y.

A partir destes valores foi calculado as ferragens a serem utilizados em cada direção.

4.2.3.2 Estado limite último

Os primeiros cálculos para o dimensionamento da laje foram feitos respectivamente seguindo as equações (22), (23) e (25), desta forma:

$$d = 0,9 \cdot 0,15 = 0,135$$

$$f_{cd} = \frac{25}{1,4} = 17,86 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

4.2.3.3 Posição da linha neutra

Primeiro foi calculado o as ferragens na no lado positivo e na direção y (utilizando $M_{dy} = 16,73 \text{ kN.m}$). O calculo para conhecer a posição da linha neutra foi feito seguindo a equação (24):

$$x = 1,25 * 0,135 * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{16,73}{0,425 * 1 * 0,135^2 * 17,86 \times 10^3}} \right]$$

$$x = 0,01$$

$x < x_{23}$ – x é de domínio 2 ou 3

4.2.3.4 Área de aço

O cálculo da área de aço e área de aço mínima foi feito seguindo as fórmulas (26) e (27).

$$A_s = \frac{16,73}{(0,135 - 0,4 * 0,01) * 17,86 \times 10^3} = 2,93 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = 0,67 * 0,0015 * 1 * 0,15 = 1,5 \text{ cm}^2$$

4.2.3.5 Detalhamento

O primeiro passo para o detalhamento é calcular o diâmetro máximo das barras.

$$\phi L = \frac{H l a j e}{8} = 1,25 \text{ cm} = 12,5 \text{ mm}$$

Após, se calcula o diâmetro da bitola da armadura principal.

$$A\phi = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} = 0,50 \text{ cm}^2 = 5 \text{ mm}^2 \text{ aprox.}$$

Para o número de barras e o espaçamento entre elas se utiliza as equações (100) e (101), respectivamente:

$$N_{barras} = \frac{2,93}{0,50} = 5,86 = 6 \text{ barras aprox.}$$

$$S = \frac{150}{6} = 25 \text{ cm.}$$

O calculo se conclui com o número total de barras:

$$N_{\text{total}} = \frac{L_{\text{laje}}}{s} = \frac{565}{25} = 22 \text{ barras}$$

Desta forma, para a direção y do lado positivo na laje 7 tem-se 22 N2 Ø 5.0 c/ 25.

5 CONCLUSÃO

O método aplicado de estudo e elaboração permitiu conhecer mais sobre o que representa um projeto e o desenvolvimento de um projeto, o compromisso de se envolver no processo, do compartilhamento de conhecimentos da metodologia de cálculos, dimensionamentos aplicados na elaboração de um projeto residencial multifamiliar. O projeto de engenharia seguiu normas de acessibilidade e segurança, considerando o uso e ocupação do solo em Zona Urbana. Entende-se que o trabalho atingiu seus objetivos ao detalhar os requisitos e a estruturação desse modelo e como resultado obteve-se uma edificação sólida que atenda às necessidades dos residentes.

A elaboração deste projeto de engenharia civil apresentou não só conhecimentos computacionais e planejamento para a elaboração de projetos, ele mostrou a responsabilidade e a dedicação em se dispor a realizar sonhos que satisfaçam futuros moradores.

No processo de desenvolvimento e criação de projetos arquitetônicos e estruturais, aplicou-se o conhecimento adquirido durante o curso de Engenharia Civil.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050:2020. Acessibilidade a edificações. Disponível em: <https://www.caurn.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/ABNT-NBR-9050-15-Acessibilidade-emenda-1-03-08-2020.pdf>. Acesso em Maio de 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050:2015. Acessibilidade a edificações. Disponível em http://acessibilidade.unb.br/images/PDF/NORMA_NBR-9050.pdf. Acesso em Maio de 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9077/1993. Saída de Emergência em Edifícios. Disponível em https://www.cnmp.mp.br/portal/images/Comissoes/DireitosFundamentais/Acessibilidade/NBR_9077_Sa%C3%ADdas_de_emerg%C3%Aancia_em_edif%C3%AEdcios-2001.pdf. Acesso em Março de 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2003. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>. Acesso em Maio de 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6120/1980. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Disponível em: <https://engenhariacivilunip.weebly.com/uploads/1/3/9/9/13991958/nbr-6120.pdf>. Acesso em Março de 2022.

ALVA, Gerson. ESTRUTURAS DE CONCRETO: PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA. [S. l.], 9 dez. 2014. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Aulas_9-12_2014.pdf. Acesso em: 30 maio 2022.

BARROS, Carolina. Técnicas Construtivas - Edificações. [S. l.], 12 abr. 2011. Disponível em: <https://edificacoes.files.wordpress.com/2011/04/apo-fundac3a7c3b5es-completa.pdf>. Acesso em: 22 maio 2022.

BASTOS, PAULO. FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO. [S. l.]. <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

BASTOS, PAULO. LAJES DE CONCRETO ARMADO. [S. l.], 18 fev. 2021. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2022.

BORGES, Ezequiel. O que são vigas?. [S. l.], 14 ago. 2019. Disponível em: <https://www.tudoengcivil.com.br/2019/08/o-que-sao-vigas.html>. Acesso em: 1 maio 2022.

Cisalhamento em Vigas. Disponível em <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Cisalhamento.pdf>. Acesso em Abril de 2022.

Cisalhamento em laje de Concreto. Disponível em <https://www.guiadaengenharia.com/cisalhamento-lajes-concreto/>. Acesso em Maio de 2022.

CONSIDERAÇÕES iniciais de um projeto estrutural: Carregamentos. [S. l.], 5 jun. 2022. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/consideracoes-iniciais-de-um-projeto-estrutural->

carregamentos/#:~:text=Outros%20exemplos%20de%20cargas%20permanente s,suporta%20uma%20sala%20de%20aula. Acesso em: 23 mar. 2022.

COLUCCI, Pietro. Pré-dimensionamento de estruturas de concreto armado. [S. l.], 14 mar. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pr%C3%A9-dimensionamento-estrutura-de-concreto-armado-pietro-colucci> . Acesso em: 30 maio 2022.

CRUZ, TALITA. Programa de Necessidades: Veja Como Fazer do Jeito Certo. [S. l.], 28 out. 2021. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/programa-de-necessidades/> . Acesso em: 10 maio 2022.

DE MOURA, Tiago. DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DA LINHA NEUTRA EM VIGAS SUBMETIDAS À FLEXÃO. [S. l.], 14 nov. 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/calculo-da-linha> . Acesso em: 13 maio 2022.

DECORA, VIVA. Taxa de Ocupação e Coeficiente de Aproveitamento: Veja Como Calcular e Realize Seus Projetos Dentro das Normas. [S. l.], 21 jan. 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/taxa-de-ocupacao/> . Acesso em: 15 maio 2022.

Dimensionamento Viga de Concreto Armado - Métodos Simplificados. Disponível em <https://nelsoschneider.com.br/dimensionamento-viga-de-concreto-armado/> >. Acesso em Março de 2022.

Disposições construtivas gerais das amaduras. Disponível em <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/c29_disposi%C3%A7%C3%B5es_construtivas_gerais%20.pdf> . Acesso em Abril de 2022.

Dimensionamento de Pilares. Disponível em <<https://nelsoschneider.com.br/dimensionamento-de-pilares/>> . Acesso em Maio de 2022.

Dimensionamento de escadas de concreto armado. Disponível em <<https://www.guiadaengenharia.com/escadas-concreto-dimensionamento/>> . Acesso em Maio de 2022.

DO CARMO, Luciano. ELEMENTOS ESTRUTURAIS. [S. l.], 18 jul. 2014. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/01_01%20-%20Elementos%20Estruturais.pdf . Acesso em: 19 abr. 2022.

DG, Fernanda. COMO CALCULAR AS MEDIDAS DA ESCADA. [S. l.], 9 jun. 2015. Disponível em: <https://dicasdearquitetura.com.br/como-calcular-as-medidas-da-escada/> . Acesso em: 15 maio 2022.

Estruturas de Concreto – Capítulo 16. Disponível em <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec802/Pilares/16%20Pilares.pdf>> . Acesso em Maio de 2022.

FRANCESCHI, Lucas. Classes de agressividade normativas. [S. l.], 5 jan. 2022. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115004556014-Classes-de-agressividade-normativas> . Acesso em: 20 maio 2022.

FURLANETTO, Pedro. Classes de agressividade e propriedades do concreto. [S. l.], 6 set. 2019. Disponível em: <https://neoipsum.com.br/classes-de-agressividade-e-propriedades-do-concreto/> . Acesso em: 20 maio 2022.

IBGE, índice de desenvolvimento humano. Disponível em <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>> . Acesso em março de 2022.

Índice de Esbeltez de Pilares. Disponível em <

<https://nelsoschneider.com.br/indice-de-esbeltez-de-pilares/#:~:text=O%20C3%ADndice%20de%20esbeltez%20dos,pilar%20tem%20de%20se%20encurvar> .>. Acesso em Maio de 2022.

INSON, NATHALIA. Pilar de Concreto: O Que É, Tipos, Como Dimensionar e Usar no Projeto. [S. l.], 28 jan. 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/pilar-de-concreto/> . Acesso em: 10 maio 2022.

LUZ, Gelson. Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young. [S. l.], 10 dez. 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/12/modulo-de-elasticidade-ou-modulo-de-young.html> . Acesso em: 22 maio 2022.

MARCHI, Fabio. Armaduras transversais de vigas segundo a NBR 6118 (2014). [S. l.], 7 jan. 2022. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115005071093-Armaduras-transversais-de-vigas-segundo-a-NBR-6118-2014-> . Acesso em: 24 maio 2022.

MARINHO, Filipe. Pranchas de um projeto estrutural. [S. l.], 19 fev. 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/pranchas-projeto-estrutural/> . Acesso em: 28 maio 2022.

MARCELLINO, Narbal. Concreto armado é solução durável e econômica: De fácil acesso e utilização, material é amplamente empregado em diferentes tipos de construções. [S. l.], 25 jul. 2019. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica/6993> . Acesso em: 20 maio 2022.

MAGALHÃES, Vaneza. Laje Nervurada. [S. l.], 5 jul. 2020. Disponível em: <https://carluc.com.br/projeto-estrutural/laje-nervurada/> . Acesso em: 1 maio 2022.

MEDINA, Miguel. Tipos de Fundações. [S. l.], 25 jul. 2021. Disponível em: <https://engm3.com/tipos-de-fundacoes-2/> . Acesso em: 2 maio 2022.

Métodos de dimensionamentos de Lajes maciças com e sem embasamento da norma NBR 6118:2014. Disponível em < <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662197026/html/> > Disponível em>. Acesso em Maio de 2022.

MOURA, José. Estádios do concreto: aprenda na prática. [S. l.], 23 abr. 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/estadios-deformacao-concreto/> . Acesso em: 17 abr. 2022.

MOURA, José. Estados Limites de Serviço ELS – CNE Engenharia: O que são os Estados Limites de Serviço (ELS)?. [S. l.], 1 fev. 2020. Disponível em: <https://www.cneconcursos.com.br/post/estados-limites-de-servi%C3%A7o> . Acesso em: 17 abr. 2022.

PAULA, CELSO. Pilares de concreto armado. [S. l.], 13 nov. 2018. Disponível em: <https://celsoipaula.com/2018/11/pilares-de-concreto-armado/> . Acesso em: 13 abr. 2022.

PINHEIRO, Libânio. Concreto Armado Propriedades dos Materiais. [S. l.], 10 jan. 1996. Disponível em: http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6198/Pinheiro_Libanio_Concretoarmado.pdf?sequence=1 . Acesso em: 16 abr. 2022.

PINHEIRO, Libânio. FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS. [S. l.], 22 maio 2007. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf . Acesso em: 26 maio 2022.

RETONDO, Lucas. Tipos de fundações: o que são e quais os tipos?. [S. l.], 1 maio 2021. Disponível em: <https://construindocasas.com.br/blog/construcao/tipos-de-fundacoes/> . Acesso

em: 15 abr. 2022.

SANTOS, Larissa. Paineis de elevador e a acessibilidade. [S. l.], 2 set. 2012. Disponível em: <https://pbsemparreiras.wordpress.com/2012/09/02/painel-de-elevador-e-a-acessibilidade/> . Acesso em: 15 maio 2022.

SCHNEIDER, Nelso. Dimensionamento de Pilares: Considerações gerais. [S. l.], 28 maio 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/?s=dimensionamento+de+lajes> . Acesso em: 2 jun. 2022.

SCHNEIDER, Nelso. Dimensionamento de Sapata – Exercício Resolvido. [S. l.], 22 jul. 2019. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/dimensionamento-de-sapata-exercicio-resolvido/> . Acesso em: 28 maio 2022.

SCHNEIDER, Nelso. Laje Maciça: O que é? Projeto e execução. [S. l.], 5 ago. 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/laje-macica/> . Acesso em: 2 maio 2022.

SCHNEIDER, Nelso. O Que São Os Estádios do Concreto?. [S. l.], 5 ago. 2019. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/o-que-sao-os-estadios-do-concreto/> . Acesso em: 26 mar. 2022.

VIANA, DANDARA. Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço. [S. l.], 14 nov. 2018. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2018/11/estados-limites-elu-e-els-aprenda.html> . Acesso em: 26 mar. 2022.